



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Facultad de Ingeniería

Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transporte, Tercera Cohorte

Análisis de los asentamientos en suelos aluviales de la llanura del río Tarqui debido a los terraplenes que se construirán para la Autopista Acceso Sur a Cuenca

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Magíster en Ingeniería en Vialidad y Transporte

Autora:

Ing. Andrea Elizabeth Naula Salazar

CI: 0105247936

Correo electrónico: angienaula10@hotmail.com

Director:

Ing. Jaime Asdrúbal Bojorque Iñiguez, PhD

CI:0102857885

Cuenca - Ecuador

31-marzo-2022



RESUMEN

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO) ente encargado de gestionar, evaluar, implementar, planificar y desarrollar proyectos de carreteras, contrató el estudio de la autopista Acceso Sur a Cuenca, en el cual se considera la construcción de terraplenes que soporten a la vía, donde algunos tramos se asientan sobre suelos blandos, que de acuerdo a las propiedades que presenta cada estrato, pueden ocasionar problemas por asentamientos que comprometan la serviciabilidad de la vía. El presente trabajo de titulación se enfoca en calcular y analizar los asentamientos generados en los terraplenes, incluyendo un análisis de sensibilidad de los parámetros más influyentes que interviene en el cálculo del mismo, mediante métodos de elementos finitos (PLAXIS). La evaluación se realiza en la sección de terraplén de la abscisa 11+530 del trazado vial, que se ubica en la llanura de inundación del río Tarqui. El suelo de fundación fue caracterizado por medio de información geológica, geofísica, geotécnica (ensayos de laboratorio e in situ), encontrando estratos de suelos granulares y finos.

En el terraplén de análisis se realizó la evaluación de la estabilidad global, encontrándose factores de seguridad para las condiciones estáticas de 1.88 y pseudoestáticas de 1.11, considerando la construcción de un pedraplén por debajo de la punta del terraplén como medida de mejoramiento. Para el estado de servicio, utilizando PLAXIS y el modelo constitutivo de Soft Soil, el asentamiento obtenido fue de 0.36 m (menor a la normativa) cuando se ha disipado el exceso de presión de poro.

Los materiales de suelo fino presentan características de permeabilidad, sobreconsolidación y compresibilidad que influyen en el cálculo de los asentamientos, por lo tanto, se seleccionó al índice de compresión y recompresión (CR y RR) como los parámetros más influyentes dentro del análisis de sensibilidad, cuyos rangos de variación se definieron mediante una evaluación estadística de la media muestral y poblacional de dichos parámetros, dando como resultado un rango para CR de (0.14, 0.24) y RR de (0.02, 0.04) para las arcillas y para los limos de (0.11, 0.15), (0.03, 0.02) de CR y RR, respectivamente. Del análisis de sensibilidad, se encontró que el parámetro más influyente en el asentamiento es CR del estrato de Arcilla 2 con un porcentaje de sensibilidad de 66% seguido de CR de la Arcilla 1 con un valor de 16 % y finalmente, el índice de compresión del Limo 1 con un porcentaje de 6%. En el caso de los índices de recompresión para los 3 estratos se han obtenido valores del 6%, 5% y 1% para la Arcilla 2, Arcilla 1 y Limo 2, por lo que se evidencia que no tienen gran influencia en el cálculo de las deformaciones.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

PALABRAS CLAVES: Terraplenes. Asentamientos, Índices de compresión CR y recompresión RR, PLAXIS



ABSTRACT

The Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), the entity in charge of managing, evaluating, implementing, planning and developing highway projects, contracted the study of the highway Acceso Sur a Cuenca. The study considers the construction of embankments to support the road, where some sections are located on soft soils, which, according to the properties of each stratum, can cause settlement problems that compromise the serviceability of the road. This degree project is focused on calculating and analyzing the settlements generated in the embankments, including a sensitivity analysis of the most influential parameters involved in the calculation of settlements, using finite element methods (PLAXIS). The evaluation is carried out in the embankment section of the 11+530 abscissa of the road, that is located the floodplain of the Tarqui river, where information is available from the borings performed on the site. The foundation soil was characterized by means of geological, geophysical and geotechnical information (laboratory and in situ tests), finding strata of granular and fine soils.

In the analyzed embankment the evaluation of the global stability was performed, resulting in safety factors for static conditions of 1.88 and pseudo-static of 1.11, considering the construction of a pedraplén below the toe of the embankment as an improvement measure. For the serviceability condition, using PLAXIS and the Soft Soil constitutive model, the settlement obtained was 0.36 m (less than the regulations) when the excess pore pressure has been dissipated.

The fine soil materials have permeability, over consolidation and compressibility characteristics that influence the settlement calculation, therefore, the compression and recompression index (CR and RR) were selected as the most influential parameters within the sensitivity analysis, whose ranges of variation were defined by a statistical evaluation of the sample and population mean of these parameters, resulting in a CR range of (0.14, 0.24) and RR range of (0.02, 0.04) for clays and for silts of (0.11, 0.15), (0.03, 0.02) of CR and RR, respectively. From the sensitivity analysis, it was found that the most influential parameter on settlement is CR of Clay 2 stratum with a sensitivity percentage of 66% followed by CR of Clay 1 with a value of 16% and finally the compression index of Silt 1 with a percentage of 6%. In the case of the recompression indexes for the 3 strata, values of 6%, 5% and 1% have been obtained for Clay 2, Clay 1 and Silt 2, so it is evident that they do not have a great influence on the calculation of deformations.



UNIVERSIDAD DE CUENCA

KEYWORDS: Embankments. Settlements. Compression and recompression index CR and RR, PLAXIS



ÍNDICE DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	16
1.1	Antecedentes	18
1.2	Análisis del Problema	19
1.3	Justificación	20
1.4	Objetivos	21
1.4.1	Objetivo General	21
1.4.2	Objetivos Específicos	21
1.5	Generalidades	21
1.5.1	Zona de Estudio	22
1.5.2	Información Existente	23
1.5.3	Ensayos de Campo y Laboratorio	23
1.5.4	Información Geológica-Geotécnica	25
2	MARCO TEÓRICO	28
2.1.1	Cimentaciones Superficiales	28
2.1.2	Distribución de Esfuerzos	29
2.1.3	Asentamientos	29
2.1.4	Parámetros de Asentamientos	32
2.1.5	Magnitud Aceptable de los Asentamientos	32
2.1.6	Análisis con Elementos Finitos	33
2.1.7	Análisis de Sensibilidad	43
2.1.8	Teoría de Variación de Parámetros	46
3	METODOLOGÍA	47
3.1	Normativa Empleada	48
3.2	Geología	49
3.3	Geotecnia	50
3.4	Ensayos de Laboratorio	53
3.5	Nivel Freático	54



UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.6	Permeabilidad.....	54
3.7	Sobreconsolidación de los Materiales.....	55
3.7.1	Esfuerzo de preconsolidación.....	55
3.8	Índice de Compresibilidad, CC.....	60
3.9	Índice de Recompresibilidad, Cr.....	61
3.10	Recolección de datos de CR y RR.....	62
3.11	Análisis Estadístico CR y RR.....	63
3.11.1	Diagrama de Caja.....	64
3.11.2	Test de Kolmogorov-Smirnov.....	65
3.11.3	Intervalo de Confianza.....	67
3.12	Modelación en Software de Elementos Finitos Plaxis 2D.....	68
3.12.1	Soil (Suelo).....	70
3.12.2	Mesh (Malla).....	74
3.12.3	Staged Constructions (Etapas constructivas).....	74
3.13	Determinación de Parámetros Geomécánicos.....	75
4	RESULTADOS.....	77
4.1	Resultados del Análisis Estadístico.....	77
4.1.1	Diagrama de Cajas.....	78
4.1.2	Test K-S.....	78
4.1.3	Intervalo de Confianza Media Poblacional.....	79
4.2	Estabilidad Global del Terraplén.....	80
4.3	Implementación del Modelo de Elemento Finitos.....	81
4.4	Resultado de Asentamientos por medio de Modelos de Elementos Finitos.....	85
4.4.1	Exceso de Presión de Poro.....	87
4.4.2	Curva de Consolidación.....	90
4.4.3	Asentamiento Permitido.....	91
4.5	Resultados de Análisis de Sensibilidad.....	92
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	98
5.1	Conclusiones.....	98



UNIVERSIDAD DE CUENCA

5.2	Recomendaciones.....	100
6	BIBLIOGRAFÍA.....	102
7	ANEXOS	105
7.1	Anexo1. Oficio Nro. MTOP-SUBZ6-20-204-OF.....	105
7.2	Anexo 2. LOG PPE- 17.....	109
7.3	Anexo 3. Ensayos de Consolidación (Arcillas y Limos).....	111



ÍNDICES DE FIGURAS

Fig. 1.1. Ubicación geográfica de los terraplenes en el proyecto Acceso Sur.	19
Fig. 1.2. Zona de Estudio para la evaluación del terraplén.....	22
Fig. 1.3. Sección de Análisis.	25
Fig. 1.4. Perfil característico km 8+500 (Vía Acceso Sur)	26
Fig. 1.5. Perfil de análisis km 11+530 (Vía Acceso Sur).....	26
Fig. 2.1 Cimentación Superficial (Terraplén).	28
Fig. 2.2. Historial esquemático de los asentamientos.....	30
Fig. 2.3. Esfuerzo de Pre-consolidación vertical en relación con tensión vertical in situ. ...	36
Fig. 2.4. Relación constitutiva elástica-perfectamente plástica.....	37
Fig. 2.5. Superficie de fluencia de Mohr-Coulomb en el espacio de tensión principal (c=0).	38
Fig. 2.6 Relación logarítmica entre la deformación volumétrica y el esfuerzo medio.	39
Fig. 2.7 Superficie de falla del modelo Soft Soil Model en el plano p' - q	41
Fig. 2.8 Contorno de falla del modelo Soft Soil Model.....	41
Fig. 2.9. Sensibilidad relativa total en forma de diagrama.	45
Fig. 3.1. Depósitos Aluviales del río Tarqui.	49
Fig. 3.2. Terraza aluvial de material fino arcilloso.	50
Fig. 3.3. Mapa y perfil geológico.	52
Fig. 3.4. Sísmica de refracción.....	52
Fig. 3.5. Curva Edométrica de laboratorio.....	56
Fig. 3.6 Determinación de la carga de preconsolidación según Casagrande (1936).	58
Fig. 3.7 Determinación de la carga de preconsolidación según Pacheco Silva (1970).	59
Fig. 3.8 OCR vs Profundidad.	60
Fig. 3.9. Curva Edométrica.	61
Fig. 3.10 Pendiente de la recta de compresibilidad C_c y de recompresión C_r	62
Fig. 3.11. Representación de un diagrama de caja.	64
Fig. 3.12. Comparación de distribución acumulada con el Test K-S.....	66
Fig. 3.13. Gráfica para intervalo de confianza.	68
Fig. 3.14. Entorno de entrada PLAXIS.	68
Fig. 3.15. Pestaña de modos, PLAXIS.....	69
Fig. 3.16. Entorno PLAXIS para sección de terraplén de Acceso Sur.	70
Fig. 3.17. Envolvente de falla para suelos granulares.....	71
Fig. 3.18. Envolvente de falla de arcilla saturada.	72
Fig. 3.19. Envolvente de falla de arcilla saturada a diferentes profundidades.	72



Fig. 4.1. Diagrama de Caja para Acillas y Limos.....	78
Fig. 4.2. Condiciones Estáticas.....	80
Fig. 4.3. Condiciones Pseudoestáticas	80
Fig. 4.4. Condiciones Estáticas. Pedraplén.....	81
Fig. 4.5. Condiciones Pseudoestáticas. Pedraplén	81
Fig. 4.6. Geometría para cálculo de Asentamientos.....	82
Fig. 4.7. Grafica de las estratigrafías.	83
Fig. 4.8. Asentamiento en fase inicial (Phase 1).	86
Fig. 4.9. Asentamiento en fase 2 (Phase 2).	87
Fig. 4.10. Exceso de presión de poro Phase 1, Punto A.	88
Fig. 4.11. Exceso de presión de poro Phase 2.....	89
Fig. 4.12. Curva de P_{excess} Arcilla.	90
Fig. 4.13. Curvas de Consolidación.	91
Fig. 4.14. Curva de Consolidación, asentamiento a los 18 meses.	91
Fig. 4.15. Análisis de Sensibilidad.....	93
Fig. 4.16. Sensibilidad del parámetro λ^* en los estratos blandos.....	93
Fig. 4.17. Sensibilidad del parámetro κ^* en los estratos blandos	94
Fig. 4.18. Curva de Consolidación de los Análisis A0 – A11. Arcilla 1.....	95
Fig. 4.19. Exceso de presión de agua de poro Punto A.	96



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Ensayos in-situ realizados en la zona de ubicación del terraplén.	24
Tabla 1.2. Ensayos de laboratorio realizados en la zona de ubicación del terraplén.	24
Tabla 2.1 Propiedades del modelo constitutivo Mohr-Coulomb.....	38
Tabla 2.2 Propiedades del modelo constitutivo Soft Soil.....	42
Tabla 2.3. Matriz de Sensibilidad.	44
Tabla 3.1. Criterio de asentamientos.	48
Tabla 3.2. Exploración Geofísica.	51
Tabla 3.3. Exploración Geotécnica.	51
Tabla 3.4. Ensayos de laboratorio.....	54
Tabla 3.5 Ensayos de permeabilidad para terraplenes del proyecto Acceso Sur.	55
Tabla 3.6. Datos de CR y RR para Arcillas.	62
Tabla 3.7. Datos de CR y RR para Limos.	63
Tabla 3.8. Valores de USDA para diferentes tipos de suelos.	73
Tabla 3.9. Tamaño de Malla PLAXIS.....	74
Tabla 3.10 Parámetros obtenidos mediante la perforación PPE-17.	76
Tabla 4.1. Resumen de Test K-S.....	79
Tabla 4.2. Intervalos de Confianza.....	79
Tabla 4.3. Clasificación basada en la compresibilidad del suelo CR y RR	80
Tabla 4.4. Análisis de Estabilidad.	81
Tabla 4.5. Parámetros de suelo adoptado. P-PE-17	84
Tabla 4.6. Asentamientos	92
Tabla 4.7. Valores Mínimos y Máximos de λ^* y κ^*	92
Tabla 4.8. Permutaciones λ^* y κ^*	94
Tabla 4.9. Asentamientos Análisis A0 – A11.....	95
Tabla 4.10. Máximo exceso de presión de poro.....	96
Tabla 4.11. Asentamientos en Análisis A0 - A11.....	97
Tabla 4.12. Combinaciones en términos de CR y RR	97



NOMENCLATURA O GLOSARIO

C_v	Coeficiente de consolidación
C_c	Índice de compresión
C_r	Índice de recompresión
CR	Índice de compresión normalizado
RR	Índice de recompresión normalizado
k	Permeabilidad
σ'_p	Esfuerzo de preconsolidación
c'	Cohesión
φ'	Ángulo de fricción efectivo ($^\circ$).
σ'	Tensión efectiva
ϵ'	Tasas de deformación
ϵ_v	Deformación volumétrica
λ^*	Índice de compresión modificado
κ^*	Índice de expansión modificado
SPT	Standar Penetration Test
CPTu	Cone penetration Test
SRS	Símica de refracción
TE	Ensayos de resistividad eléctrica
Su	Resistencia al corte no drenada.
σ'_v	Esfuerzo vertical efectivo
$(Su/\sigma'_v)_{NC}$	Relación normalmente consolidada
OCR	Relación de sobreconsolidación
e	Relación de vacíos
σ'_v	Presión vertical



Cláusula de licencia y autorización para publicación en el Repositorio Institucional

Andrea Elizabeth Naula Salazar en calidad de autora y titular de los derechos morales y patrimoniales del trabajo de titulación "Análisis de los asentamientos en suelos aluviales de la llanura del río Tarqui debido a los terraplenes que se construirán para la Autopista Acceso Sur a Cuenca", de conformidad con el Art. 114 del CÓDIGO ORGÁNICO DE LA ECONOMÍA SOCIAL DE LOS CONOCIMIENTOS, CREATIVIDAD E INNOVACIÓN reconozco a favor de la Universidad de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos.

Asimismo, autorizo a la Universidad de Cuenca para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el repositorio institucional, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Cuenca, 31 de marzo de 2022

Andrea Elizabeth Naula Salazar

C.I: 0105247936



Cláusula de Propiedad Intelectual

Andrea Elizabeth Naula Salazar autora del trabajo de titulación "Análisis de los asentamientos en suelos aluviales de la llanura del río Tarqui debido a los terraplenes que se construirán para la Autopista Acceso Sur a Cuenca", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor/a.

Cuenca, 31 de marzo de 2022

Andrea Elizabeth Naula Salazar

C.I: 0105247936



AGRADECIMIENTOS

Extiendo mi más sincero agradecimiento al Ing. Jaime Bojorque E. PhD, por su colaboración como director, gracias a su ayuda y compromiso se ha culminado satisfactoriamente el proyecto, agradezco además por todos los conocimientos brindados como docente y profesional. A mi gran amigo y colega Sebastián López por su predisposición en todo momento y paciencia para apoyarme con sus amplios y vastos conocimientos en cada duda que se presentaba en el desarrollo del trabajo de titulación.

Agradezco a mi familia de todo corazón por el apoyo brindado y cada amigo/colega que siempre tuvieron palabras de ánimo ¡Gracias infinitas!.



DEDICATORIA

A mi familia, en especial a mis papis, Néstor y Narsisa que han sido los promotores de todos mis logros alcanzado, gracias a sus enseñanzas me he permitido seguir adelante a pesar de todo. Dios nos brinde salud y vida para compartir más momentos.



ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS EN SUELOS ALUVIALES DE LA LLANURA DEL RÍO TARQUI DEBIDO A LOS TERRAPLENES QUE SE CONSTRUIRÁN PARA LA AUTOPISTA ACCESO SUR A CUENCA

1 INTRODUCCIÓN

Las carreteras son obras de ingeniería civil que se implantan sobre una superficie de rodadura continua, por la cual circulan los vehículos. Están constituidas por varios elementos desde el punto de vista geotécnico, como son la construcción de cortes y/o rellenos (terraplenes), pedraplenes, entre otros. Es así que, se vuelve esencial el análisis técnico de cada uno de estos elementos que conforman el proyecto vial.

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), Subsecretaria Regional 6, en su calidad de ente regulador y administrador de las carreteras del país ha propuesto la construcción de una autopista denominada Acceso Sur a Cuenca, vía por la cual se realizará el ingreso alternativo a la ciudad de Cuenca. Para el caso del diseño y construcción de este proyecto vial, se presentan tramos que involucran la implementación de terraplenes, para lo cual se requiere realizar un estudio de las propiedades que presenta el suelo sobre el cual se realiza la intervención. En este caso, se trabaja en la llanura del río Tarqui, misma que presenta estratos de arcillas y limos que, debido a la presencia de agua, tienden a contraerse, lo cual llega a generar asentamientos inmediatos, por consolidación y esto, por lo tanto, podría generar deficiencias en la estructura de la vía en general.

Los terraplenes se definen como una estructura flexible y deformable que dependiendo del tipo de material en el cual se asientan sufren deformaciones importantes a lo largo de su vida útil. La consolidación del suelo debajo de un terraplén que se construye para una vía, tiene en cuenta los asentamientos bajo el efecto de cargas externas. Las sobrecargas debidas al alto tránsito de vehículos y en sí al peso propio de los terraplenes, producen un aumento en los esfuerzos transmitidos al suelo y la expulsión del agua de los poros, que conducen a la consolidación del suelo (Garnica Anguas & Ramírez Culebro, 2014).

A lo largo del trazado vial del Acceso Sur existirá la construcción de terraplenes, los cuales se asentarán en un área comprendida entre la ciudad de Cuenca y el intercambiador de Cumbe, para los análisis posteriores, la zona seleccionada de estudio es cercana a la parroquia Tarqui del cantón Cuenca provincia del Azuay, sitio que geológicamente se clasifica como llanura de depósitos aluviales. El río Tarqui atraviesa esta zona formando meandros, los mismos que han producido el depósito de materiales con comportamientos anisotrópicos,



no lineales, no consecutivos y sobre todo con una gran variabilidad y heterogeneidad como son las arenas, arcillas y limos, por lo tanto, es necesaria la evaluación de los asentamientos y desempeño del terraplén sobre estos suelos. Al construir un terraplén se deben determinar los riesgos y la estabilidad del mismo, para lo cual es necesario realizar un análisis con diferentes métodos, procedimientos y técnicas que permitan reducir la incertidumbre en el diseño (Garnica Anguas & Ramírez Culebro, 2014). Para tal fin, se vuelve necesario realizar una caracterización geológica-geotécnica del terreno donde se cimentarán los mismos.

Los asentamientos que se generen debido a la construcción de terraplenes sobre la llanura del río, se pueden mitigar mediante el análisis adecuado de los estados límites de falla y servicio, y a su vez con estos resultados recomendar soluciones para la construcción de los terraplenes de forma que se garantice una vida útil para el proyecto.

Adicionalmente, en los terraplenes se pueden presentar fallas por agrietamiento, ya sean de tipo longitudinal o transversal. Las fallas por agrietamiento en sentido transversal ocurren generalmente por asentamientos (movimientos) diferenciales en los hombros del terraplén y su parte central, así como también, suelen ocurrir este tipo de fallas cuando se construye sobre suelos blandos, arcillosos y comprensibles (Rico Rodriguez et al., 1988). Esto sumado a sucesiones de temporadas lluviosas y secas producen cambios volumétricos y por tanto elevaciones y descensos de nivel.

Teniendo en cuenta estos tipos de falla que pueden presentarse al momento de construir terraplenes, se plantean diferentes ensayos para determinar los valores de los parámetros de entrada más importantes e indispensables para realizar el cálculo de los asentamientos como los parámetros de compresibilidad C_c (índice de compresión), C_r (índice de recompresión), relación de vacíos, OCR (Overconsolidatio Ratio, razón de sobreconsolidación), coeficiente de consolidación, entre los más relevantes. Esta información será implementada en PLAXIS (software basado en modelos de elementos finitos), con la cual se determinará el valor de los asentamientos producidos por la obra civil, esta metodología facilitará y mejorará los procesos de obtención de resultados.

Mediante un análisis de sensibilidad y variación de parámetros, que son metodologías que relacionan los modelos de simulación entre sí, identificando cuantitativamente cuán variables son ciertos parámetros del suelo con respecto a otros se proyecta obtener varios resultados de asentamientos. En otras palabras, el análisis de sensibilidad identifica cuantitativamente que tan variables son los datos de salida debido al cambio de los parámetros de entrada (Shuku & Nishimura, 2015).



La consolidación determinará el comportamiento del suelo ante las cargas provocadas por la construcción de terraplenes (Durán G, 2013), y por lo tanto se recomendarán diferentes propuestas de estabilización, para lo cual se busca que los resultados de los análisis se encuentren dentro de los rangos establecidos. Con los resultados de los análisis de estabilidad y de asentamientos se recomendarán soluciones que disminuyan las probabilidades de falla y reduzca la incertidumbre en las estimaciones de los asentamientos. Algunas de estas soluciones podrían comprender la implementación de bermas estabilizadoras, la colocación de geomallas y pedraplenes, columnas de grava apisonada, así como también dejar abierto el proyecto a nuevas líneas de investigación aplicando otras formas de estabilización para este tipo de materiales.

1.1 Antecedentes

El proyecto vial Acceso Sur a lo largo de su trazado, se asentará sobre una zona (sector Tarqui), donde se encuentran suelos de mediana a alta compresibilidad CR y RR entre 0.10 a 0.4 como recomienda (Ameratunga et al., 2016) y a su baja resistencia; características que han sido determinadas por medio de las exploraciones y ensayos de laboratorio respectivos. La construcción de terraplenes sobre este tipo de material generará asentamientos, producto de la compresibilidad del suelo bajo la carga del terraplén; en otras palabras, se originará dentro de la masa del suelo blando una presión de poro, donde muy lentamente el agua irá disipándose, el suelo blando se empezará a comprimir y se originarán descensos, los cuales a veces son muy grandes y ocasionan la pérdida de serviciabilidad de la plataforma vial. Los asentamientos son un problema muy complejo, que tienen características negativas para la vida útil de cualquier proyecto vial.

La zona de análisis presenta terrenos blandos (arcillas y limos) y tiene riesgo de sufrir grandes deformaciones debido a las cargas de los terraplenes que conforman la autopista Acceso Sur a Cuenca. En base a lo anterior, se plantea el presente trabajo de investigación que busca determinar los asentamientos y la influencia de los parámetros en la evaluación de los mismos.

En la Fig. 1.1 se presenta la ubicación de la autopista Acceso Sur a Cuenca, la cual tiene una longitud aproximada de 14.6 km, conectando la ciudad de Cuenca con la actual carretera E35 (Cuenca – Girón – Pasaje) en el redondel de Cumbe. La vía se desarrolla por zonas montañosas y onduladas-llanas, cuyas alturas van de 2563 msnm (metros sobre el nivel del

mar) en Cuenca, 2617 msnm en la zona de la denominada llanura de Tarqui y finalmente, hasta los 2628 msnm en el redondel de Cumbe.

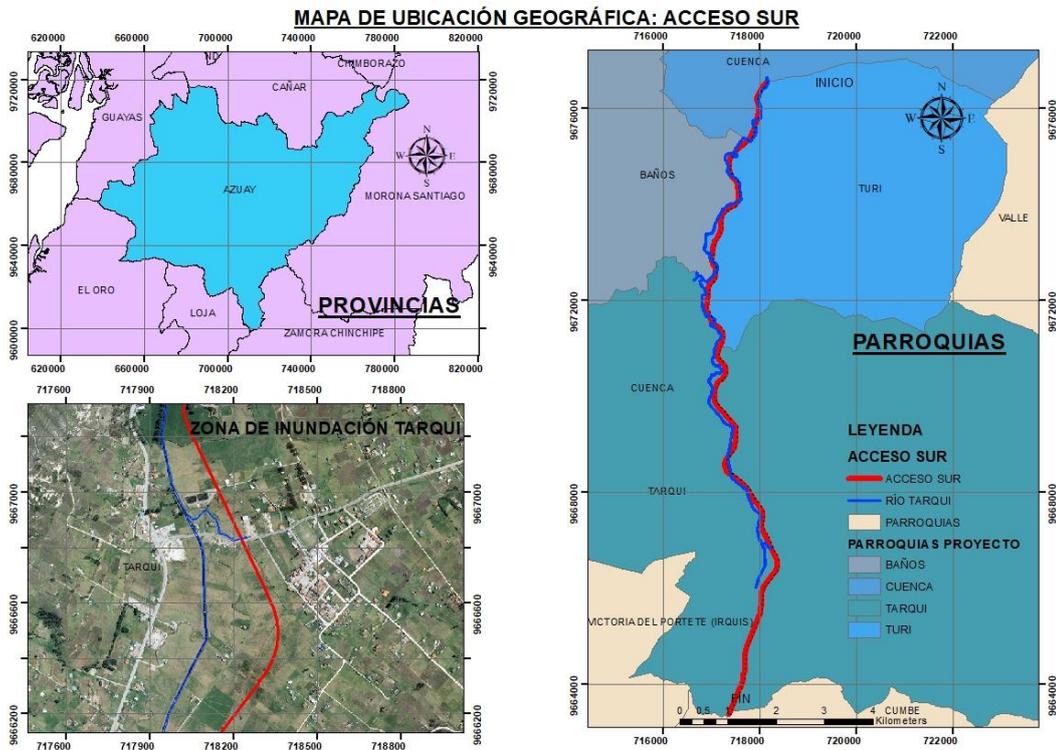


Fig. 1.1. Ubicación geográfica de los terraplenes en el proyecto Acceso Sur.

La autopista Acceso Sur a Cuenca, cuyos estudios definitivos están a cargo de la Dirección Provincial del Azuay del Ministerio de Transporte y Obras Públicas, atraviesa la zona que se ha delimitado como área de estudio ubicada entre las abscisas 8+500 a 12+300 del trazado vial.

Este proyecto de titulación se elabora bajo principios teóricos, normativos y técnicos, que validan la calidad de la información obtenida de la exploración geológica, geofísica y geotécnica con la que se procede a caracterizar los materiales del suelo de fundación y posterior cálculo de los asentamientos de los terraplenes de la vía.

1.2 Análisis del Problema

En la construcción de terraplenes se presentan diferentes mecanismos de falla como son: fallas por capacidad de carga, inestabilidad global con propagación de falla, deslizamientos laterales del terraplén, la masa de suelo se desplaza por un debilitamiento en el plano de contacto entre el suelo natural y el suelo del terraplén (Bonaparte & Christopher, 1987); y finalmente, falla por asentamientos muy elevados e intolerables si se cimientan sobre



materiales compresibles y de baja permeabilidad como arcillas y limos (Wang et al., 2007), que al no cumplir con lo especificado en las diferentes normativas de diseño, como por ejemplo, la Normativa Geotécnica del Departamento de Transporte y Carreteras Principales de Australia (Department of Transport and Main Roads, 2015), son un problema para la obra vial. En este caso particular, debido a las características de los suelos, los asentamientos esperados debido a los terraplenes son de interés.

Los asentamientos pueden ser inmediatos o ligados al tiempo, siendo los más importantes los segundos en el caso de arcillas y limos y se clasifican en consolidaciones primarias y secundarias: la primera presenta cambios de volúmenes en suelos cohesivos saturados debido a la expulsión de agua de los espacios vacíos y su velocidad de ocurrencia depende de la permeabilidad y compresibilidad del suelo; la segunda ocurre en suelos finos saturados, la misma que evoluciona con el tiempo después de la disipación total del exceso de presión de poro, se produce cuando ha finalizado la consolidación primaria (Balasubramaniam & Brenner, 1981). Por lo indicado, es fundamental realizar un análisis que garantice que estos asentamientos no produzcan estados límites de servicio.

Una parte de los terraplenes propuestos en el proyecto Accesos Sur se asentarán sobre una zona donde se presentan materiales cohesivos como arcillas y limos, normalmente consolidados o ligeramente sobreconsolidados. Al ser suelos arcillosos, otra de sus características es que presentan bajas permeabilidades y como consecuencia sufrirán procesos de consolidación a lo largo del tiempo, generando posibles problemas de serviciabilidad de la estructura que sustentan.

Una vez identificados los posibles problemas que se presentarán al construir terraplenes sobre terrenos de estas características, es importante conocer las propiedades del suelo con una alta confiabilidad con el fin de mejorar la capacidad portante del mismo en caso de presentarse problemas de deformaciones, con los resultados de la caracterización del suelo se propone realizar un análisis de los asentamientos en los terraplenes y definir un rango de los parámetros más influyentes en el cálculo que puedan comprometer la estabilidad de la construcción.

1.3 Justificación

En base a lo indicado, se considera seleccionar una sección de análisis que represente a los terraplenes que se ubicarán en la zona de estudio para el cálculo de los asentamientos. Una vez estimados estos desplazamientos, se establecerá un rango de confianza de los



parámetros seleccionados como influyentes en el asentamiento en el cual se realizará un análisis de sensibilidad para identificar su importancia e influencia; quedando establecido unos límites para los parámetros seleccionados que servirá de referencia para futuros proyectos, en suelos de características similares, en los casos que no se disponga de información suficiente, por falta de los ensayos de campo o laboratorio.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Analizar los asentamientos producto de la construcción de los terraplenes para la autopista Acceso Sur de Cuenca, en una sección de análisis representativa que se ubica en la llanura del río Tarqui, cantón Cuenca, evaluando los diferentes parámetros de entrada para caracterizar el comportamiento tenso-deformacional de dicha sección.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Analizar los resultados de los ensayos de laboratorio e in situ para caracterizar los suelos presentes en la zona de estudio.
- Evaluar el estado límite de falla con el fin de obtener la estabilidad global en la sección de análisis propuesta para el terraplén.
- Analizar las deformaciones en los sitios en donde se encuentra ubicada la sección del terraplén en estudio que presenta suelos problemáticos.
- Realizar un análisis de sensibilidad y variabilidad de los parámetros del modelo, definiendo los parámetros más influyentes en el cálculo de asentamientos.

1.5 Generalidades

Para el desarrollo del presente documento se requiere disponer de la información necesaria con la que se trabajará a lo largo de la investigación, por lo tanto, en este capítulo se describirá de manera general un resumen de los datos disponibles.

1.5.1 Zona de Estudio

El tramo en estudio se encuentra entre las abscisas 8+400 y 12+300 del proyecto vial Acceso Sur a Cuenca. En dicho tramo se cuenta con información de varias perforaciones como se muestra en la Fig. 1.2, sin embargo, para el desarrollo del presente documento se va a trabajar con la sección ubicada en la abscisa 11+530, considerándola como una sección representativa, la misma que se implanta en un sitio muy cercano al centro parroquial de Tarqui, zona clasificada a su vez como una llanura.

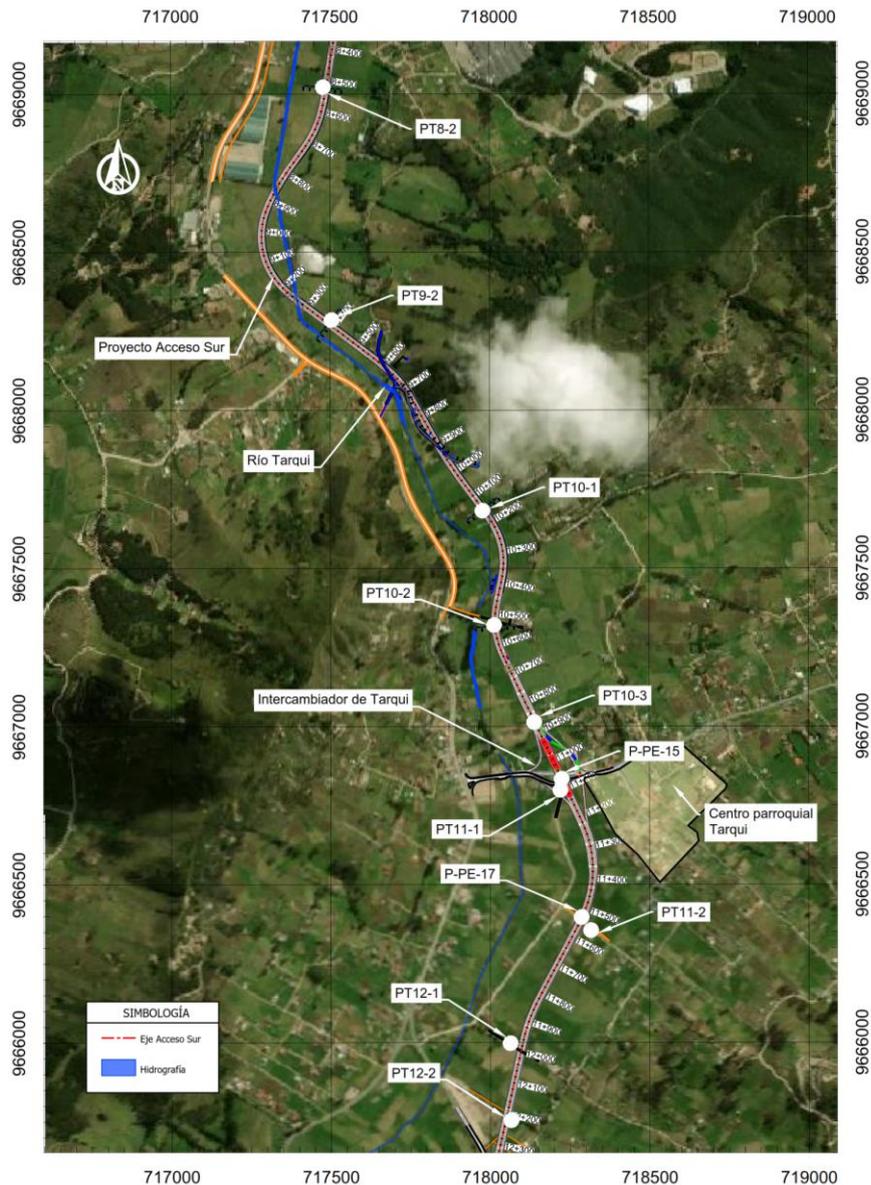


Fig. 1.2. Zona de Estudio para la evaluación del terraplén.

Este sitio ha sido seleccionado por presentar materiales de bajas capacidades portantes, y localizado en una zona de inundación, por lo que será de mayor importancia el cálculo de



los asentamientos y análisis de sensibilidad de ciertos parámetros que influyen en la determinación de los mismo.

1.5.2 Información Existente

Lo que se pretende en los diseños y la construcción de los terraplenes, es lograr que los asentamientos esperados ocurran en igual o menor proporción a lo permitido por las normativas, por lo que se evaluará la ocurrencia de los asentamientos usando modelos de elementos finitos en los cuales es necesario parámetros como; el coeficiente de consolidación (C_v), índice de compresibilidad normalizados (CR y RR), permeabilidad (k), esfuerzo de preconsolidación (σ'_{p_0}), cohesión (c') y ángulo de fricción efectivo (ϕ'). Estos parámetros se determinan a través de los resultados de ensayos in situ (geofísica, torvane, SPT, CPTu, permeabilidad) y de laboratorio como consolidaciones, triaxiales, compresión simple, entre otros, que en conjunto ayudan a simular el comportamiento del terreno ante la acción de cargas.

La información de ensayos de campo y laboratorio de las exploraciones geofísica y geotécnica del proyecto fue proporcionada por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), Subsecretaria Regional 6, mediante el "Oficio Nro. MTO-SUBZ6-20-204-OF" (Anexo 1), la cual forma parte de los "ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA: PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY", (MTO, 2020). Con la información correspondiente se desarrolla el presente Proyecto de Titulación.

1.5.3 Ensayos de Campo y Laboratorio

A continuación, se presenta un resumen de algunas de las exploraciones geotécnicas recopiladas, con las que se caracterizó los suelos del tramo seleccionado para mostrar una idea general de la composición del material en base a información real de ensayos de campo y laboratorio. En Tabla 1.1 se detallan los trabajos in situ, perforaciones, ensayos de geofísica, ensayos SPT y CPT, mientras que en la Tabla 1.2 se indican los ensayos de laboratorio: triaxiales, compresión simple, ensayos Torvane, con los que se determinó que el área seleccionada presenta materiales finos muy compresibles y de baja permeabilidad. Sin embargo, como se ha mencionado anteriormente, se eligió una única sección de análisis mostrada en la Fig. 1.3. Los datos con los que se trabajará a lo largo del documento serán los



determinados de la perforación PPE-7 cercana a la abscisa 11+530 marcada en las Tabla 1.1, Tabla 1.2. e indicada y ubicada en la Fig. 1.3.

Tabla 1.1. Ensayos in-situ realizados en la zona de ubicación del terraplén.

ID	Tramo de Vía	Sección Análisis	H _{máx} (m)	Perforación cercana	Calicata	CPTu	SRS	MASW+ ReMi	Resistividad Eléctrica Continua
1	Km 8+400 - Km 12+300	8+500	5	PT8-2	CT-17	-	-	-	-
2		9+380	5	PT9-2	CT-18	-	SRS_P_48	RM_P_23	-
3		10+150	2	PT10-1	-	-	-	-	-
4		10+540	7	PT10-2	-	-	SRS_G_9	-	TE-G-02
5		10+870	8	PT10-3	-	-	SRS_G_10	RM-G-03	-
6		11+070	8.7	P-PE-15	-	CPTu 11-1	-	-	-
7		11+100	7.2	PT11-1	CT-19	-	SRS-PE-19	-	-
8		11+530	9	P-PE-17	-	CPTU 11-2	-	-	-
9		11+550	10	PT11-2	-	-	0	0	-
10		11+980	7	PT12-1	CT-20	-	SRS-G-12	-	TE-G-04
11		12+170	5	PT12-2	-	-	SRS-T-16	RM-T-07	TE-T-06

Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)

Tabla 1.2. Ensayos de laboratorio realizados en la zona de ubicación del terraplén.

ID	Tramo de Análisis	Sección Análisis	Perforación cercana	Consolidación	CS	Triaxial	Triaxial
						UU	CU
1	Km 8+400 - Km 12+300	8+500	PT8-2	1	-	-	1
2		9+380	PT9-2	1	1	-	-
3		10+150	PT10-1	2	2	-	1
4		10+540	PT10-2	-	3	-	-
5		10+870	PT10-3	1	1	-	1
6		11+070	P-PE-15	1	4	2	-
7		11+100	PT11-1	2	2	1	2
8		11+530	P-PE-17	4	3	2	-
9		11+550	PT11-2	1	-	1	3
10		11+980	PT12-1	2	3	-	1
11		12+170	PT12-2	1	1	1	-

Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)

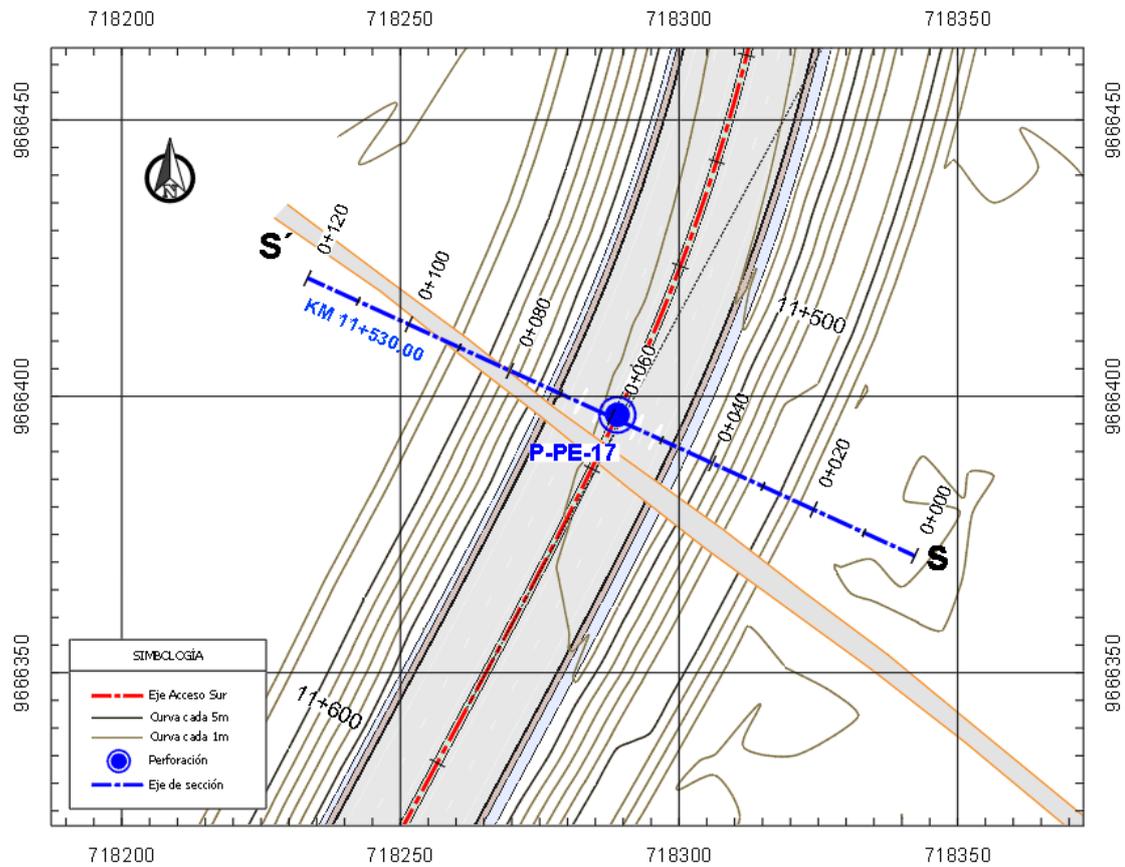


Fig. 1.3. Sección de Análisis.

1.5.4 Información Geológica-Geotécnica

Para los tramos del río Tarqui donde se forman meandros, los suelos encontrados son depósitos de materiales de arenas, limos y arcillas, con cambios a distancias cortas. En la Fig. 1.4 y Fig. 1.5 se presentan los perfiles geotécnicos que muestran las estratigráficas que presenta la zona de análisis (área comprendida entre el km 8+300 y 12+400). Es importante mencionar que, al presentar cortes para los terraplenes en la mayoría de los casos, se dispone de una sola perforación en dirección transversal de la vía, por lo que, los perfiles estratigráficos serán idealizados en capas horizontales.

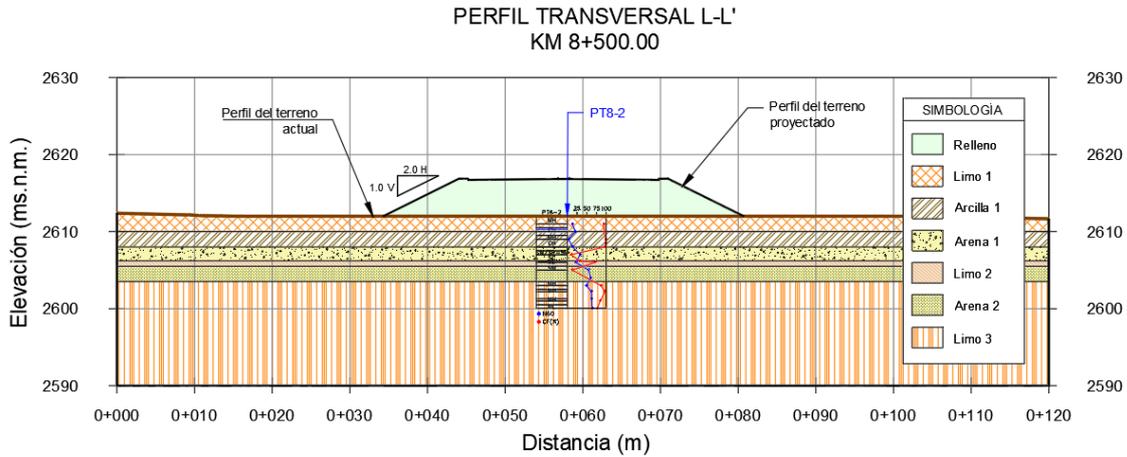


Fig. 1.4. Perfil característico km 8+500 (Vía Acceso Sur)
Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)

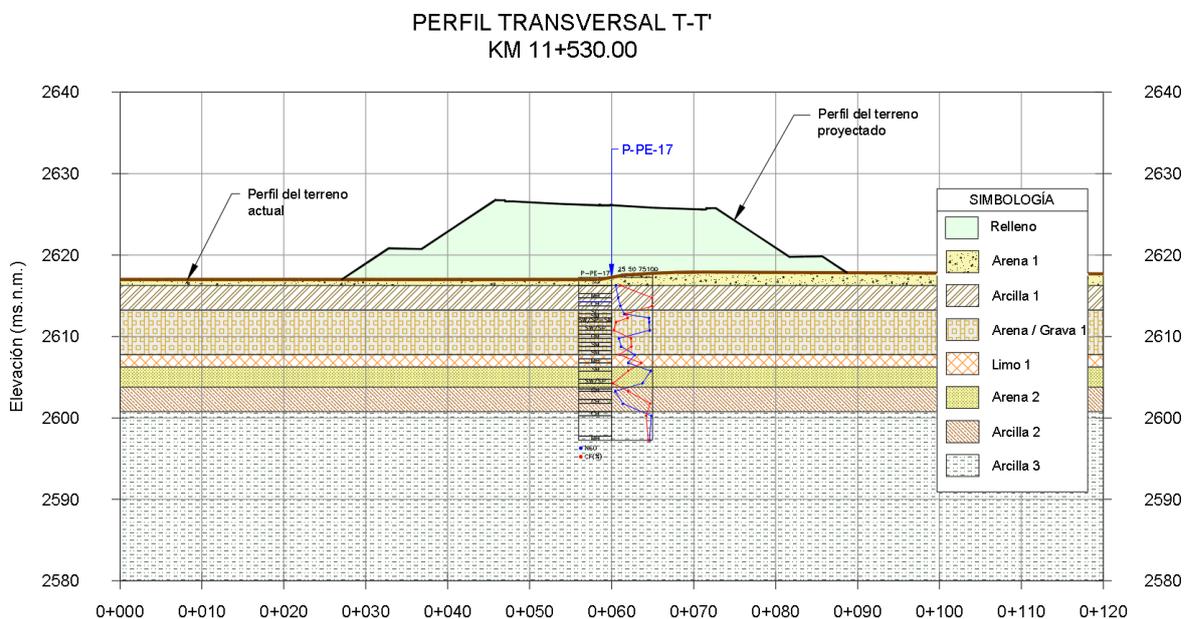


Fig. 1.5. Perfil de análisis km 11+530 (Vía Acceso Sur)
Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)

Como se puede observar en la Fig. 1.4, los estratos que se presentan en la zona de estudio del proyecto vial tiene una composición de depósitos de materiales de limos, arcillas y arenas (depósitos aluviales) y según la Fig. 1.5, los materiales que conforman los estratos son depósitos de arenas, limos, arcillas y arcillas compresibles, los cuales se evaluarán detalladamente para verificar la adecuada serviciabilidad de la vía cuando se presentan suelos de alta compresibilidad y baja permeabilidad.

Debido a que en el terraplén se deben analizar los estados límite de falla y servicio, es necesario suponer un modelo que considere el comportamiento de esfuerzo y deformación de los materiales. Este modelo se realizará por medio de programas basados en Elementos



Finitos como PLAXIS (Plaxis 2D, 2019), el cual permite simular el comportamiento del suelo para resolver problemas de interacción terreno-estructura con mayor precisión que la obtenida a través de métodos clásicos. Entre los diferentes modelos constitutivos que PLAXIS incluye, y que se relaciona con el tipo de material a investigar, se tiene el Mohr Coulomb y Soft Soil, que consideran tanto la rigidez como el reblandecimiento del suelo, respectivamente. De esta forma, se establecerán posibles soluciones para evitar que los asentamientos generados no superen al máximo permitido por las normativas (NEC, 2015) y (Department of Transport and Main Roads, 2015). Esta última norma, enfocada en terraplenes de vías, considera un rango de asentamientos máximos permitidos de servicio en base al tipo de terraplén y pavimento proyectado dentro de 40 años de construcción.

Al elegir el modelo constitutivo para suelos blandos, los parámetros C_v , CR, RR, k , σ'_p , c' , ϕ' y demás, que este incluye tienen un efecto en la racionalidad del análisis de asentamientos, los parámetros que se investigan a mayor detalle son los coeficientes de compresión normalizado (CR) y recompresión normalizado (RR), considerados para este documento, los que mayor influencia tienen sobre los asentamientos y mediante el análisis de sensibilidad se verificará la variabilidad de estos parámetros de entrada y se cuantificará cuál es su importancia dentro de los cálculos, por lo tanto, el proyecto generará más alternativas en la toma de decisiones sobre la viabilidad técnica del proyecto.

2 MARCO TEÓRICO

En este capítulo se desarrollan las definiciones más relevantes sobre los asentamientos de terraplenes para infraestructuras viales, así como las descripciones teóricas de los métodos que se utilizarán para el cálculo del asentamiento y el proceso de análisis de sensibilidad de los parámetros que intervienen en estas deformaciones.

2.1.1 Cimentaciones Superficiales

Las cimentaciones superficiales son estructuras que descansan sobre las capas superficiales del suelo, dichas capas son capaces de soportar la carga que recibe de la construcción. Para obras viales las cimentaciones más comunes son los terraplenes (volumen de material terreno, colocado y compactado sobre el nivel de la superficie de suelo existente). Los terraplenes son clasificados como cimentaciones superficiales flexibles, ya que sufrirán deformaciones a lo largo de tiempo dependiendo del suelo de fundación sobre el cual se asienten.

Como se indica en la Fig. 2.1, los terraplenes tienen una interacción con el suelo de fundación, por medio de este, se transmitirán las cargas que genera el peso del terraplén (distribución de esfuerzos) y las tensiones resultantes del suelo serán adicionadas a las que existen actualmente debido a la historia geológica del suelo. Dependiendo del tipo de material del que se componga el suelo, uno de los problemas geotécnicos más importante que se deriva de ello, es la determinación de los asentamientos que se producen por la construcción de un terraplén.

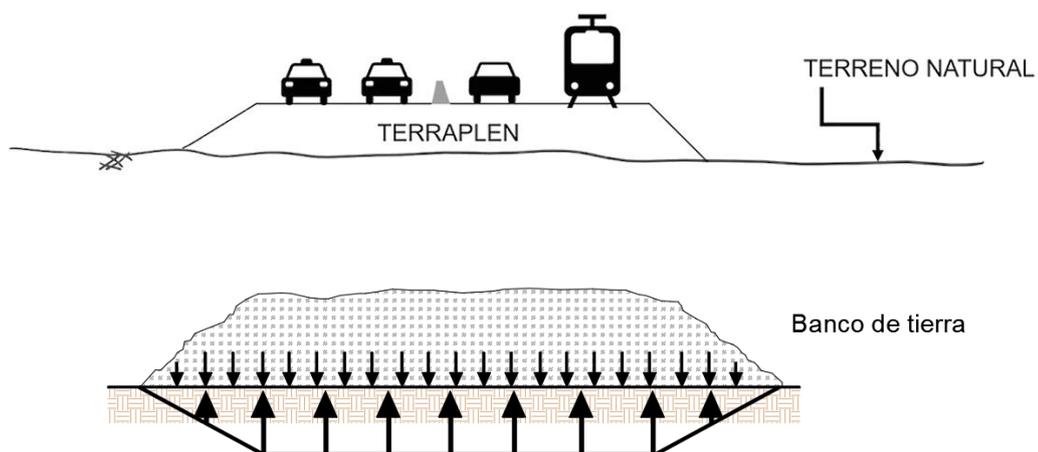


Fig. 2.1 Cimentación Superficial (Terraplén).



2.1.2 Distribución de Esfuerzos

En la masa de suelo existen esfuerzos dentro del esqueleto del mismo que actúan interpartícula, además, existen esfuerzos dentro del fluido intersticial que ocupa los poros. Una variación de fuerza modificará el campo de esfuerzos internos que presenta el suelo ya sea por el peso propio o por cargas externas producto de la construcción de alguna obra ingenieril (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973). Para determinar los asentamientos de un terraplén es indispensable realizar un cálculo e interpretación del incremento de esfuerzos verticales en cualquier punto del suelo debido a presiones de interface cimentación-suelo que estarán en función de las cargas y geometría del terraplén.

2.1.3 Asentamientos

El asentamiento se define como la deformación de un material cuando es sometido a cargas o esfuerzos. La deformación significa una distorsión de forma o cambio de volumen. Dependiendo del tipo de material, este cambio en algunos casos, se presenta de manera inmediata, en otros la respuesta ocurrirá en un tiempo relativamente largo, en especial para suelos arcillosos, siendo más concreto, cuando se habla de la deformación total vertical de la superficie de un depósito arcilloso generado por una carga, se hablará propiamente de asentamientos (Budhu, 2010).

Según lo mencionado anteriormente, los asentamientos ocurrirán cuando se aplica una carga sobre un suelo de características blandas, estos asentamientos están constituidos por los asentamientos inmediatos, asentamientos por consolidación, y asentamientos por consolidación secundaria, para diferentes tipos de suelos (Holtz & Kovacs, 1989) como se indica en la Ecuación 2.1.

$$ST = Si + Sc + Ss \quad \text{Ecuación 2.1}$$

Donde:

ST: asentamiento total (m)

Si: asentamientos inmediatos (m)

Sc: asentamientos por consolidación primaria (m)

Ss: asentamientos por consolidación secundaria (m)

En la Fig. 2.2 se muestra un esquema del comportamiento del asentamiento total. El asentamiento inmediato ocurre inmediatamente con la aplicación de la carga. Los otros dos componentes resultan de la expulsión gradual del agua de vacíos y la concurrente compresión del esqueleto del suelo.

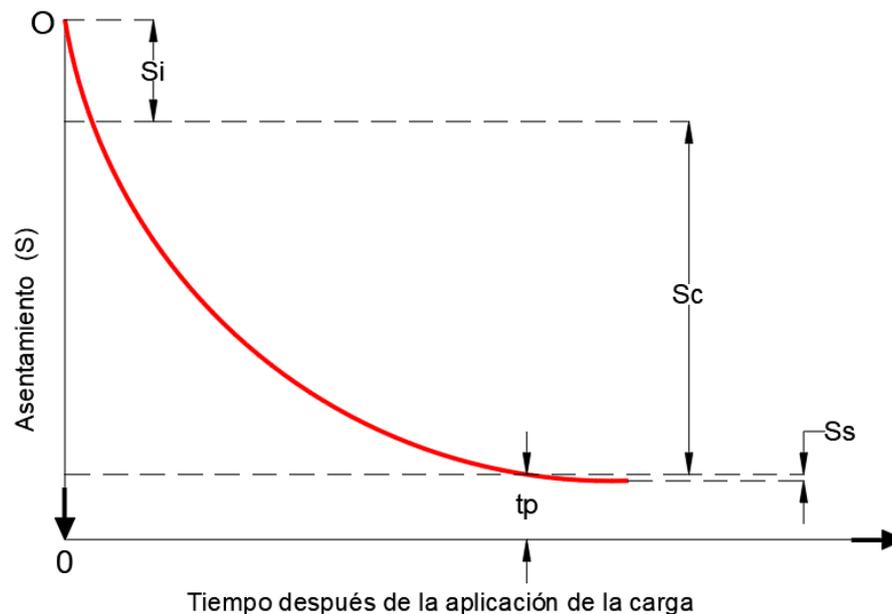


Fig. 2.2. Historial esquemático de los asentamientos.
Fuente: (HSAI-VANG FANG, 2002)

En los asentamientos por consolidación, la tasa de asentamiento en el tiempo (t_p) está controlada por la tasa a la que el agua puede ser expulsada de los vacíos del suelo. En la compresión secundaria (asentamientos secundarios) la tasa de asentamiento está controlada en gran medida por la tasa a la que el suelo cede, comprime y arrastra después que el exceso de la presión hidrostática es cero (esfuerzo efectivo constante) (HSAI-VANG FANG, 2002).

Es necesario mencionar que la escala de tiempo y las relativas magnitudes de los tres componentes pueden diferir debido al tipo de suelo en el que se asiente la cimentación.

2.1.3.1 Asentamientos Inmediatos

Los asentamientos inmediatos son deformaciones que ocurren inmediatamente después que la carga es aplicada y cuando los suelos son compresibles entran en el rango plástico. Los asentamientos dependen de la geometría de las cargas debido a que, los esfuerzos resultantes dependen del tipo de carga que se aplique y del estado de deformación que se introduzca al suelo por lo cual se presentación asentamientos inmediatos bajo los siguientes criterios (Juárez Badillo & Rico Rodríguez, 1973):



Asentamientos elásticos bajo una carga concentrada

El asentamiento se estima por medio de la formulación de Boussinesq (Olson & Lai, 2003), para un esfuerzo normal vertical (Ecuación 2.2).

$$\delta_e = \frac{P}{2\pi E} (1 + \nu) \left[2(1 - \nu) + \left(\frac{Z}{R}\right)^2 \right] \frac{1}{R} \quad \text{Ecuación 2.2}$$

Donde:

- δ_e : Asentamiento elástico
- P : Perímetro de la carga
- E : Módulo de Elasticidad
- ν : Relación de Poisson
- Z : Espesor del estrato
- R : Radio de ubicación del punto.

Asentamientos elásticos bajo carga distribuida en superficie rectangular

Para los asentamientos generados por cargas distribuida sobre superficies rectangulares flexibles, (Steinbrenner, 1934) plantea la Ecuación 2.4 simplificada:

$$\delta_z = q \frac{B}{E} (1 + \nu^2) F_1 (1 - \nu - 2\nu^2) F_2 = q \frac{B}{E} F_v \quad \text{Ecuación 2.3}$$

$$F_v, F_1 \text{ y } F_2 = r \left(\frac{Z}{B}, \frac{L}{B} \right) \quad \text{Ecuación 2.4}$$

Donde:

- δ_z : Asentamiento en la sección rectangular
- q : Magnitud de la presión superficial aplicada
- E : Módulo de Elasticidad
- F_1, F_2, F_v : Funciones de Z/B y L/B
- ν : Relación de Poisson
- Z : Profundidad del suelo
- B : Ancho del cimiento
- L : Longitud del cimiento.



2.1.3.2 Asentamientos por Consolidación

Los asentamientos por consolidación o denominados consolidación primaria es un proceso donde se produce el cambio de volumen debido a la expulsión del agua de los vacíos de los suelos, la disipación de los excesos de agua de poro en el suelo está acompañada por un incremento en los esfuerzos efectivos. La consolidación ocurre rápidamente en suelos de materiales granulares, pero lentamente en materiales de suelos fino debido a la baja permeabilidad que estos presentan por el alto contenido de finos (Hsai-Vang Fang, 2002).

2.1.4 Parámetros de Asentamientos

La magnitud de los asentamientos por consolidación que se producen bajo la carga de un terraplén emplea la teoría de la consolidación unidimensional y la relación de entre los coeficientes de compresión (CC) y recompresión (RR) normalizados, valores que se determinan por medio de ensayos de consolidación (Balasubramaniam et al., 2010), la selección de estos parámetros es un paso importante para estimar el asentamientos en cimentaciones.

Los parámetros del suelo para la entrada en cualquier cálculo de asentamiento no deben verse como constantes sino por el contrario dependientes de muchos factores que incluyen: condiciones del suelo, entorno geológico, tipo de cimentación (superficial o profunda) y naturaleza de la carga.

Los parámetros de asentamiento pueden estimarse utilizando diferentes métodos que van desde correlaciones empíricas con pruebas de penetración (por ejemplo, SPT, CPT), pruebas de laboratorio en muestras de campo de alta calidad (edómetro, pruebas triaxiales), hasta pruebas de campo dirigidas a obtener parámetros para cimentaciones poco profundas (por ejemplo, pruebas de carga de placas, mediciones de la velocidad de la onda de corte, entre las más empleadas) (Fellenius, 2017).

2.1.5 Magnitud Aceptable de los Asentamientos

El análisis del asentamiento a menudo se limita a determinar que el desplazamiento esperado no exceda a los 25 mm, sin embargo, al evaluar el asentamiento en un diseño de carreteras, los cálculos deben proporcionar algo más que un límite superior. Es por ello, que se deben evaluar el valor del asentamiento real y los desplazamientos totales y diferenciales (Fellenius, 2017).



Entre los manuales disponibles para determinar un rango aceptable de asentamientos se dispone de (NEC, 2014) y (Department of Transport and Main Roads, 2015).

La multitud de límites demuestra que el asentamiento aceptable varía con el tipo y tamaño de estructura considerada. Además, las estructuras modernas a menudo tienen poca tolerancia para el asentamiento y, por lo tanto, requieren un análisis de asentamientos más completo que el requerido en el pasado. Razón por la cual se debe proporcionar un valor más preciso mediante la realización de un análisis exhaustivo considerando la compresibilidad del suelo, las capas del suelo y las variaciones de carga. Además, el análisis debe situarse en el contexto completo de la estructura.

En el proyecto Acceso Sur a Cuenca la determinación de los asentamientos es considerado de suma importancia por lo que las evaluaciones de los incrementos de esfuerzos y deformaciones serán determinados por medio de soluciones avanzadas de métodos de elementos finitos (PLAXIS 2D).

2.1.6 Análisis con Elementos Finitos

El método de elementos finitos (FEM por sus siglas en inglés Finite Element Method), es uno de los métodos numéricos más conocido en la práctica de la ingeniería. Muchos de los problemas en la mecánica de suelos relacionados con los esfuerzos y deformaciones pueden ser evaluados con esta metodología. El FEM logra proporcionar buenas predicciones sobre el comportamiento de los problemas de interacción de la estructura del suelo, si las diferentes etapas de construcción y el comportamiento del material se simulan correctamente (Wang et al., 2007)

La base del método de los elementos finitos es la representación de un cuerpo o una estructura mediante un ensamblaje llamado elemento finito. Estos elementos están interconectados en puntos nodales, y la solución se obtiene en términos de desplazamientos en estos puntos nodales y tensiones medias de los elementos. El método formula primero una matriz de rigidez para un elemento individual, haciendo uso de la relación constitutiva (tensión-deformación) del material. Las matrices de rigidez individuales se ensamblan luego en una matriz de rigidez global para toda la masa de suelo con límites especificados. Esta matriz de rigidez relaciona los desplazamientos nodales con el vector de carga. Por lo tanto, un procedimiento de este tipo puede tener en cuenta varios tipos de comportamiento tensión-



deformación, no homogeneidad, geometría irregular y condiciones de contorno complejas, así como cargas dependientes del tiempo (Balasubramaniam & Brenner, 1981).

Entre los modelos de materiales que describen el comportamiento tensión-deformación, el elástico lineal es de forma simple, y esto da resultados útiles cuando los parámetros elásticos se evalúan en el rango de tensión apropiado. Otros modelos comúnmente utilizados son: el modelo elástico bilineal, el modelo elastoplástico, las relaciones hiperbólicas, el modelo de estado crítico.

La teoría de unidimensional de consolidación propuesta por (Terzaghi, 1925), ha desarrollado y alcanzado una etapa avanzada de progreso, donde ahora existen soluciones disponibles para la mayoría de los problemas prácticos como son las soluciones numéricas mediante programas computacionales, la teoría básicamente consiste en la determinación de grado de consolidación en un tiempo determinado, basándose en una serie de supuesto como (Fellenius, 2017):

- a) El suelo es homogéneo
- b) El suelo está completamente saturado
- c) Las partículas y el agua son incompresibles
- d) La compresión y el flujo son unidimensionales
- e) El coeficiente de permeabilidad y coeficiente de compresión volumétrica permanecen constantes durante todo el proceso.

Por lo que, el uso de PLAXIS que es un programa numérico basado en el método de elementos finitos desarrollado para el análisis de deformaciones, estabilidad, flujo de agua subterránea e ingeniería geotécnica, en general donde los modelos numéricos bidimensionales o tridimensionales son utilizados para simular el comportamiento del suelo. Las aplicaciones geotécnicas requieren modelos constitutivos avanzado para la simulación del comportamiento de suelos y rocas anisotrópicas, no lineales, dependientes del tiempo (Bentley, 2020a) como la que se indica, por lo que el uso de esta potente herramienta ha sido seleccionada para el presente proyecto ya que el programa utiliza un interfaz gráfica que permite que los usuarios generen de manera rápida la geometría y malla de los elementos finitos basados en una sección transversal vertical, representativa de la situación actual del terreno.

El software dispone de modelos constitutivos que tienen como objetivo establecer la relación entre las tensiones y deformaciones del material. Los suelos presentan comportamientos elásticos en ciertas condiciones y plásticas en otras, por lo tanto, es necesario trabajar con modelos elasto-plásticos, que contemplan la no-linealidad,



dependencia del tiempo y comportamientos anisotrópicos. El modelo numérico del suelo se alimenta con los parámetros característicos obtenidos en los diferentes ensayos de campo, laboratorio y correlaciones. Se reproducirá el comportamiento del suelo al estar sometido a cargas, este ajuste se inclinará por ser lo más conciso a la realidad posible.

Todos los modelos de materiales implementados en PLAXIS se basan en una relación entre las tasas de tensión efectivas, σ' , y las tasas de deformación, ϵ' . En la siguiente sección se describe cómo se definen las tensiones y deformaciones en PLAXIS (Bentley, 2020b). Además, es posible especificar el comportamiento drenado (Drained) y no drenado (Undrained) en un análisis de tensión efectiva utilizando parámetros de modelo efectivos. Esto se logra identificando el tipo de comportamiento del material (tipo de drenaje) de una capa de suelo, entre ellos se puede seleccionar Undrained A que representa el análisis de tensión efectiva no drenada con parámetros de resistencia efectiva o Undrained B que es el análisis de la tensión efectiva no drenada con parámetros de resistencia sin drenaje (Bentley, 2020b). Las consideraciones de este comportamiento son:

Drained: Comportamiento del material drenado o a largo plazo en el que la rigidez y la resistencia se definen en términos de propiedades efectivas ya que todo el material drenará. Sirve en suelos conformados por arenas y gravas.

Undrained A: Comportamiento del material no drenado (corto plazo), en el que la rigidez y la resistencia se definen en términos de propiedades efectivas. Se aplica automáticamente una gran rigidez en el agua a fin de que el suelo en su conjunto sea incompresible, y se calculan las presiones de poros (en exceso), incluso por encima de la superficie freática. Considera de mejor manera la resistencia a diferentes profundidades.

Undrained B: El comportamiento del material no drenaje o a corto plazo en el que la rigidez se define en términos de propiedades efectivas y la resistencia se especifica como resistencia al corte no drenado (S_u).

Esfuerzo de Pre-consolidación en modelos avanzados: Cuando se utilizan modelos avanzados en PLAXIS, se debe determinar una tensión inicial previa a la consolidación. En la práctica de la ingeniería, es común utilizar una tensión de preconsolidación vertical, σ'_p , si un material está sobreconsolidado, se requiere información sobre la Relación de sobreconsolidación (OCR – Overconsolidation Ratio), es decir, la relación de la máxima tensión vertical efectiva alcanzada previamente, σ'_p (Fig. 2.3), y la tensión vertical efectiva in situ, σ'_v .

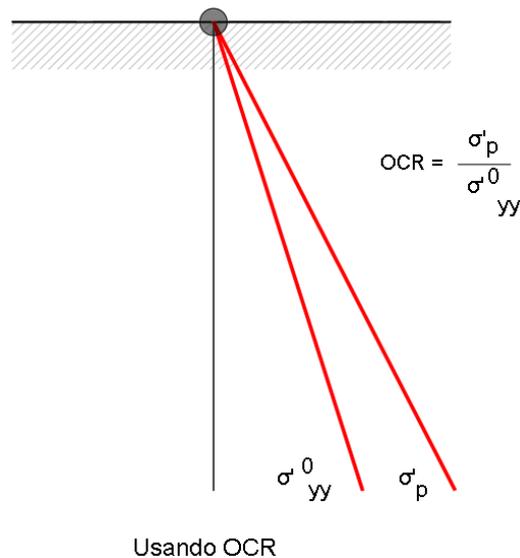


Fig. 2.3. Esfuerzo de Pre-consolidación vertical en relación con tensión vertical in situ.
Fuente: (Bentley, 2020b).

PLAXIS reproducirá el comportamiento del suelo bajo el efecto de la carga del terraplén. El programa permite elaborar los cálculos elasto-plásticos, consolidaciones y asentamientos. Algunos de los modelos de comportamiento disponibles en PLAXIS y los que serán considerados en el presente estudio son Mohr-Coulomb y Soft Soil Model y se describen a continuación.

La carga de gravedad (K_0) basado en los componentes cartesiano de las tensiones efectivas y en la relación de sobreconsolidación de OCR de los sondeos, K_0^{NC} es el valor K_0 asociado a los estados de tensión normalmente consolidados. K_0 tiene algunas formulaciones dependiendo del tipo de modelo. En el caso del presente proyecto se el proceso para los modelos (PLAXIS, 2020):

Mohr-Coulomb

$$K_0 = 1 - \sin\phi \quad (\text{Ecuación 2.5})$$

Soft Soil

$$K_0 = K_0^{NC} OCR - \frac{v_{ur}}{1 - v_{ur}} (OCR - 1) \quad (\text{Ecuación 2.6})$$

2.1.6.1 Mohr Coulomb

Es un modelo elasto-plástico (Fig. 2.4), en el cual la parte elástica lineal se basa en la ley de elasticidad isotrópica de Hooke y la parte perfectamente plástica se basa en el criterio de falla de Mohr-Coulomb, es el comportamiento más adecuado para el suelo, se recomienda usar este modelo para obtener las primeras estimaciones y para los suelos que presente materiales granulares.

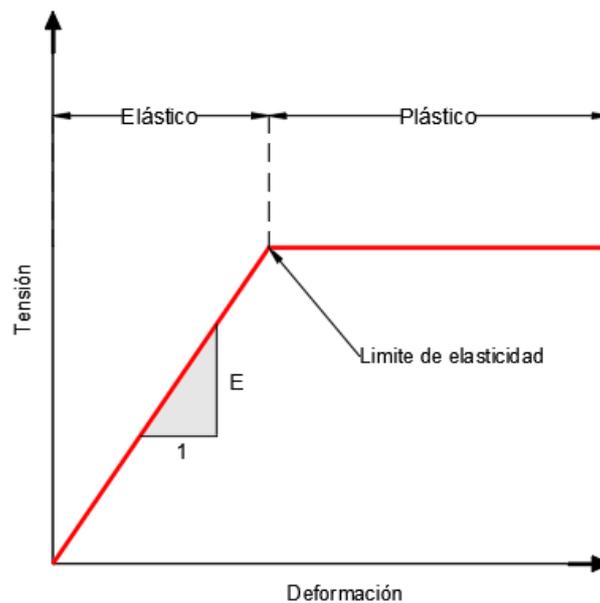


Fig. 2.4. Relación constitutiva elástica-perfectamente plástica.

Al emplear el modelo constitutivo Mohr–Coulomb se determina el límite del comportamiento elástico y plástico de un suelo a partir de funciones de fluencia (Bentley, 2020b). Estas funciones son representadas por un campo en forma de cono hexagonal como se indica en la Fig. 2.5.

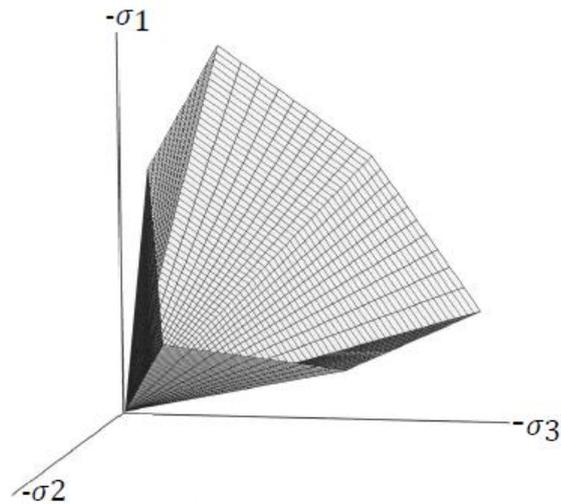


Fig. 2.5. Superficie de fluencia de Mohr-Coulomb en el espacio de tensión principal ($c=0$).
Fuente: (Bentley, 2020b)

Los parámetros de entrada considerados para el modelo se muestra en la Tabla 2.1. Una de las limitaciones de este modelo es que no incluye la dependencia de la trayectoria de la tensión o rigidez anisotrópica, y los estados de tensión efectiva.

Tabla 2.1 Propiedades del modelo constitutivo Mohr-Coulomb.

Parámetro	Propiedad
E	Módulo de Young
ν	Coefficiente de Poisson
φ	Ángulo de fricción interna del suelo
c	Cohesión
ψ	Ángulo de dilatación del suelo

Fuente: (Bentley, 2020b)

2.1.6.2 Soft Soil Model

Diseñado para modelar el comportamiento de compresión de suelos muy blandos (arcillas y limos). Queda definido por los siguientes parámetros: coeficiente de compresión (λ) y coeficiente de hinchamientos (k), que están relacionados con los índices de compresibilidad del suelo (CR y RR), empleado deformaciones volumétricas. Este modelo constitutivo está limitado a situaciones que el suelo está en compresión.

Las principales características que presenta el modelo es que los esfuerzos dependen de la curva de compresibilidad del ensayo de consolidación, por lo que, se puede simular los asentamientos en suelos blandos producto de la consolidación. Además, incluye la relación

de sobreconsolidación del suelo (OCR). El mecanismo de falla va acorde con el criterio de Mohr-Coulomb, es decir, los valores de c' y ϕ' son parámetros de entrada (Bentley, 2020b).

El modelo Soft Soil Model considera que existe una relación logarítmica entre el cambio en la deformación volumétrica, ε_v , y el cambio en el esfuerzo efectivo promedio, p' y se representa mediante la Ecuación 2.7 y la Fig. 2.6 para el caso de compresión virgen.

$$\varepsilon_v - \varepsilon_v^0 = -\lambda^* \ln\left(\frac{p'}{p^0}\right) \quad \text{Ecuación 2.7}$$

Donde:

$\varepsilon_v - \varepsilon_v^0$: Cambio en la deformación volumétrica

λ^* : Índice de compresión modificado, el cual determina la compresibilidad del material en su primer estado de carga

$\frac{p'}{p^0}$: Cambio en el esfuerzo efectivo promedio

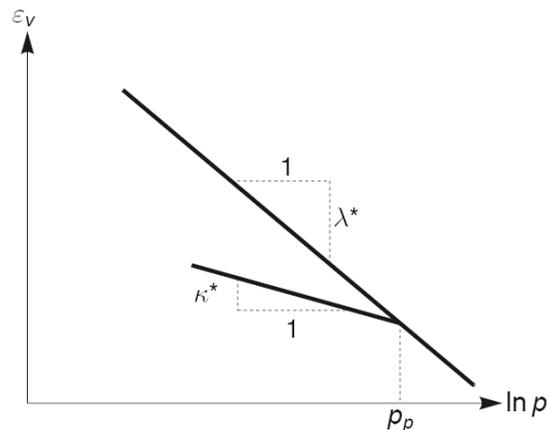


Fig. 2.6 Relación logarítmica entre la deformación volumétrica y el esfuerzo medio.

Fuente: (Bentley, 2020b)

Un valor mínimo de p' debe ser equivalente a una unidad de esfuerzo. La relación que representa el caso de recarga y descarga por medio de la Ecuación 2.8 (Bentley, 2020b):

$$\varepsilon_v^e - \varepsilon_v^{e0} = -k^* \ln\left(\frac{p'}{p^0}\right) \quad \text{Ecuación 2.8}$$

Donde:

$\varepsilon_v^e - \varepsilon_v^{e0}$: Cambio en la deformación volumétrica por recompresión

κ^* : Índice de expansión modificado, el cual determina la compresibilidad del material en la descarga y recarga

$\frac{p'}{p^0}$: Cambio en el esfuerzo efectivo promedio



La función de falla “ $f=0$ ”; está descrita por una elipse en el plano p' - q , y es una función del estado de esfuerzos p' - q y el esfuerzo de preconsolidación, P_p , siendo el valor de P_p^0 el esfuerzo de preconsolidación inicial y ν_{ur} el valor del coeficiente de Poisson. Dicha función se define por medio de las Ecuación 2.9, Ecuación 2.10 y Ecuación 2.11 (Bentley, 2020b):

$$f = \bar{f} - P_p \quad \text{Ecuación 2.9}$$

$$\bar{f} = \frac{\tilde{q}^2}{M^2(p' + c \cot \phi)} + p' \quad \text{Ecuación 2.10}$$

$$P_p = P_p^0 \exp\left(\frac{-\varepsilon_v^p}{\lambda^* - \kappa^*}\right) \quad \text{Ecuación 2.11}$$

con:

- f : Función de falla SSM (Soft Soil Model)
- \bar{f} : Función del estado de esfuerzos (p' , \tilde{q})
- P_p : Esfuerzo de preconsolidación
- \tilde{q} : Esfuerzo desviador
- M : Altura de la elipse
- p' : Esfuerzo efectivo promedio
- c : Cohesión
- ϕ : Ángulo de fricción
- P_p^0 : Esfuerzo de preconsolidación inicial
- ε_v^p : Deformación volumétrica de preconsolidación

El parámetro M determina la altura de la elipse, la misma que está directamente conectada con la relación entre el esfuerzo horizontal y vertical durante el ensayo de consolidación en una sola dimensión. Como resultado, el parámetro M determina el coeficiente de presión de tierras K_0^{nc} . La cúspide de la elipse está localizada en una línea con inclinación M , en el plano p' - q . El valor del esfuerzo de preconsolidación determina la extensión de la elipse a lo largo del eje p' . Durante un proceso de cargas pueden existir varias elipses y a cada una le corresponderá un valor de P_p . En tensión ($p' < 0$) la elipse se extiende a $c \cot \phi$ (Bentley, 2020b).

En el modelo Soft Soil Model, la función de falla indica que existe una deformación permanente debido al proceso de consolidación. Para esto, el modelo se apoya en la superficie de falla perfectamente plástica del tipo Mohr-Coulomb. La función se representa por una línea en el plano p' - q como se muestra en la Fig. 2.7.

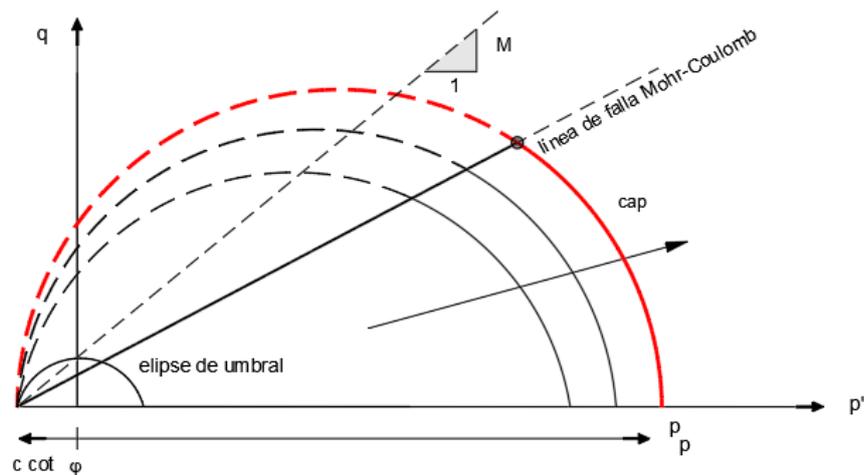


Fig. 2.7 Superficie de falla del modelo Soft Soil Model en el plano p' - q .
Fuente: (Bentley, 2020b)

El contorno total de falla se muestra la línea roja continúa en la Fig. 2.7. La línea de falla es fija, mientras que la curva o “cap” puede incrementar. La trayectoria de esfuerzos dentro de esta superficie provoca deformaciones elásticas, mientras que las que se tienden a cruzar esta área, producen tanto deformaciones elásticas como plásticas (Bentley, 2020b).

El comportamiento plástico de acuerdo al modelo Soft Soil Model está definido por seis funciones: tres de compresión y tres de acuerdo a la falla Mohr-Coulomb. El contorno de falla del modelo Soft Soil Model se presenta en la Fig. 2.8.

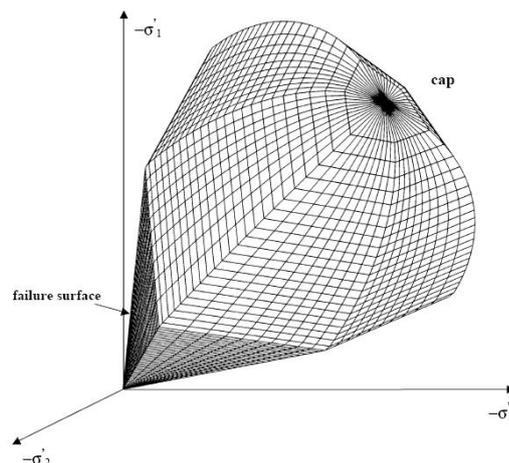


Fig. 2.8 Contorno de falla del modelo Soft Soil Model.
Fuente: (Bentley, 2020b)

De igual forma, el valor mínimo de p' es igual a una unidad de esfuerzo. Como se puede observar en la Fig. 2.6, los valores de lambda, λ^* , y kappa, k^* , representan los índices de compresión y expansión modificados obtenidos mediante las ecuaciones mencionadas



previamente, y que son deducidos de los valores (C_c y C_r) obtenidos de los ensayos de consolidación. Dichos índices pueden obtenerse con las Ecuación 2.12 y Ecuación 2.13 (Bentley, 2020b):

$$\lambda^* = \frac{C_c}{2.3(1+e)} = \frac{CR}{2.3} \quad \text{Ecuación 2.12}$$

$$k^* = \frac{2C_r}{2.3(1+e)} = \frac{2RR}{2.3} \quad \text{Ecuación 2.13}$$

Donde:

- λ^* : Índice de compresión modificado (SSM)
- κ^* : Índice de expansión modificado (SSM)
- C_c : Índice de compresión
- C_r : Índice de recompresión
- e : Relación de vacíos
- CR : Índice de compresión modificado
- RR : Índice de recompresión modificado

En la Tabla 2.2 se resume las propiedades del material requeridas en el modelo Soft Soil en el programa PLAXIS.

Tabla 2.2 Propiedades del modelo constitutivo Soft Soil.

Parámetro	Propiedad
λ^*	Índice de compresión modificado
κ^*	Índice de hinchamiento modificado
c' ref	Cohesión efectiva
ϕ'	Ángulo de fricción efectivo
ψ	Ángulo de dilatancia
ν_{ur}	Relación de Poisson para la curva de carga/descarga
K_0^{nc}	Coefficiente de esfuerzo en reposo para el suelo normalmente consolidado
OCR	Relación de preconsolidación

Fuente: (Bentley, 2020b)

Una vez elaborado el modelo mediante PLAXIS del terraplén en estudio, se implementa un análisis de sensibilidad en base a este modelo idealizado para identificar los parámetros dominantes en el proceso de asentamiento por consolidación.

En el software se ingresarán cada uno de los parámetros que son necesarios para el cálculo de asentamientos, se adoptará los modelos constitutivos que son más convenientes para el análisis como Mohr-Coulumb y Soft Soil, cada uno de ellos requiere de datos específicos para cada material. Una vez definido el modelo para el terraplén, mediante los



datos obtenidos en todo el proyecto Acceso Sur a Cuenca y métodos estadísticos se define un rango de los parámetros influyentes en los asentamientos como son CR y RR como se ha mencionado en el documento. Por lo que, es necesario el uso del entorno de PLAXIS, Sensitivity and Analysis and Parameter Variation, que obtiene porcentaje de variabilidad de estos parámetros con respecto al asentamiento, quedando definido el parámetro más importante de los desplazamientos.

2.1.7 Análisis de Sensibilidad

Para el análisis de sensibilidad de los parámetros que intervienen en el cálculo de los asentamientos, PLAXIS dispone de un módulo de análisis de sensibilidad y variación de parámetros en el cual el usuario puede seleccionar parámetros de interés y estudiar la sensibilidad con respecto a desplazamientos, tensiones o factores de seguridad, entre otras, en diferentes fases del proceso de construcción. La teoría es directa y podría ser realizada manualmente por el usuario, calculando repetidamente las fases de construcción utilizando diferentes entradas. Sin embargo, el uso del programa de análisis de sensibilidad es ventajoso ya que ahorra tiempo y reduce la posibilidad de error humano.

(Whitman, 2000) sugiere que, aunque los parámetros geotécnicos a menudo se eligen con base en el criterio de ingeniería, es importante seleccionar parámetros de manera sistemática, utilizando “métodos estadísticos y probabilísticos”. Esto es crucial ya que quizás el mayor desafío para los usuarios de PLAXIS es la elección de los parámetros de entrada. Estos deben seleccionarse con una cuidadosa consideración, si se desea que el modelo produzca resultados precisos. Se recomienda que la media y la desviación estándar deben determinarse para cada variable. Asimismo, el análisis de sensibilidad de PLAXIS requiere un valor de referencia, un valor máximo y mínimo de cada parámetro considerado. Estos valores pueden obtenerse de la literatura o experiencia de estudios previos, sin embargo, en el presente proyecto se pretende obtener estos datos.

La puntuación de sensibilidad ($\eta_{SS,i}$) es un método sólido para evaluar fuentes importantes de incertidumbre en comparación con otros métodos. La puntuación de sensibilidad puede manejar un valor nulo de las variables (niveles de agua, geometrías) y no es sensible al cambio porcentual de las variables a un valor de referencia. La puntuación global de un determinado parámetro x_i con respecto a un solo criterio, se calcula mediante la Ecuación 2.14 (Bentley, 2020c):

$$n_{SS,i} = |f(x_{i,max}) - f(x_{i,min})| \quad \text{Ecuación 2.14}$$



Donde:

$f(x_{i,max})$: resultado de $x_i = x_{i,max}$

$f(x_{i,min})$: resultado de $x_i = x_{i,min}$

Si los n parámetros varían, la puntuación de sensibilidad de x_i y está dado por la Ecuación 2.15:

$$x_{i,score} = \frac{100n_{SS,i}}{\sum_{j=1}^n n_{SS,i}} \quad \text{Ecuación 2.15}$$

La puntuación de sensibilidad de cada variable, $\eta_{SS,i}$, en los respectivos resultados A, B, ..., Z, (desplazamientos, fuerzas, factor de seguridad, etc.) en cada paso de la construcción se pueden cuantificar como se muestra en la Tabla 2.3. La puntuación de sensibilidad total de cada variable, $\Sigma \eta_{SS,i}$, resulta de la suma de todas las puntuaciones de sensibilidad para cada resultado respectivo en cada paso de construcción.

Tabla 2.3. Matriz de Sensibilidad.

Parámetros de Entrada	Resultados Respectivos					
	A	B	...	Z	Σ	α (%)
x_1	$\eta_{SS,A1}$	$\eta_{SS,B1}$	...	$\eta_{SS,Z1}$	$\Sigma \eta_{SS,1}$	$\alpha(x_1)$
x_2	$\eta_{SS,A2}$	$\eta_{SS,B2}$	...	$\eta_{SS,Z2}$	$\Sigma \eta_{SS,2}$	$\alpha(x_2)$
\vdots	\vdots	\vdots	...	\vdots	\vdots	\vdots
x_N	$\eta_{SS,A3}$	$\eta_{SS,BN}$	...	$\eta_{SS,ZN}$	$\Sigma \eta_{SS,N}$	$\alpha(x_N)$

Fuente: (Bentley, 2020c)

En el caso de m criterios múltiples, para cada parámetro x_i $\eta_{SS,i}$ se calcula con respecto a cada j -criterio $(\eta_{SS,i})_j$, con $j = 1, 2, \dots, m$. Finalmente, la sensibilidad relativa total $\alpha(x_1)$ para cada variable de entrada viene dada por la Ecuación 2.16:

$$a(x_i) = 100 \frac{\sum_{j=1}^n (n_{SS,i})_j}{\sum_{i=1}^n (n_{SS,i})} \quad \text{Ecuación 2.16}$$

La sensibilidad relativa total de cada parámetro $\alpha(x_1)$ se presenta en una gráfica (ejemplo, Fig. 2.9), para indicar las variables principales.

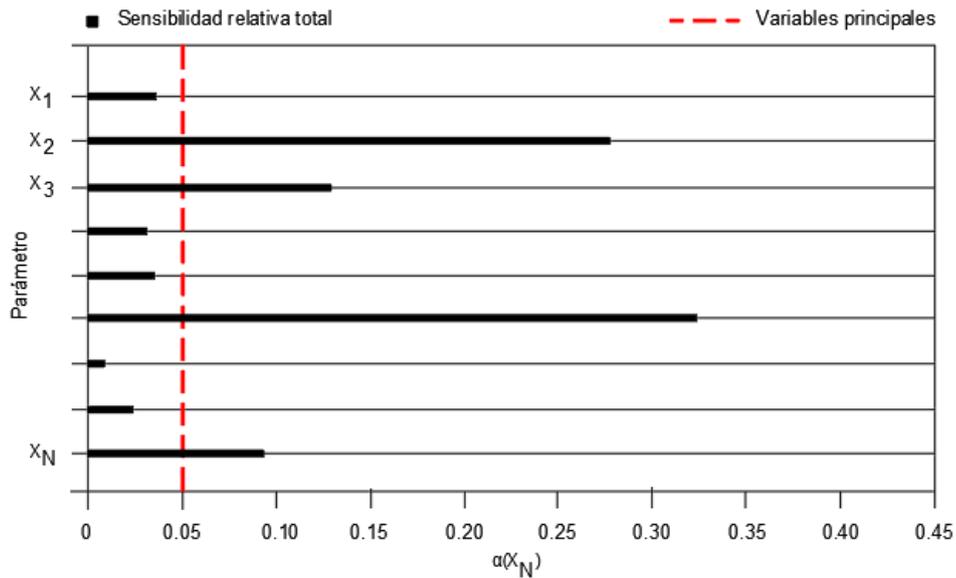


Fig. 2.9. Sensibilidad relativa total en forma de diagrama.

Fuente: (Bentley, 2020c)

2.1.7.1 Valor umbral

El beneficio de este tipo de análisis consiste en (Bentley, 2020c):

- Los resultados son la base para una toma de decisiones con el fin de reducir el esfuerzo computacional involucrado cuando se utiliza una variación de parámetro, es decir, en este extremo se debe tomar una decisión (valor umbral), en otras palabras, indica qué parámetros deben usarse en cálculos posteriores y cuáles pueden tratarse como valores deterministas, ya que su influencia en el resultado no es significativa.
- El análisis de sensibilidad se puede aplicar para recibir información adicional sobre parámetros con alta sensibilidad con el fin de reducir la incertidumbre de la respuesta del sistema, es decir, el resultado puede actuar como base para el diseño de un programa de investigación (pruebas de laboratorio y / o in situ)

El cálculo de la puntuación de sensibilidad, para el presente estudio, se basa en los desplazamientos. Los cálculos se pueden especificar si se deben realizar mediante desplazamientos totales $|U|$, desplazamientos en dirección x (U_x) o desplazamientos en dirección y (U_y).



2.1.8 Teoría de Variación de Parámetros

El módulo de variación de parámetros PLAXIS se refiere a la teoría de conjuntos clásica donde la incertidumbre se representa en términos de intervalos cerrados (límites) asumiendo que se captura el valor real de la cantidad desconocida relevante ($X \in x_{min}, x_{max}$). En general, un intervalo se define como un par de elementos de algunos conjuntos ordenados. Un intervalo se identifica con el conjunto de elementos que se encuentran entre los puntos finales del intervalo (incluidos los puntos finales) y utilizando el conjunto de números reales como el conjunto ordenado subyacente (intervalos reales). Por tanto, todos los intervalos son conjuntos cerrados. En consecuencia, un intervalo real (propio) X es un subconjunto del conjunto de números reales R como se indica en lo siguiente (Ecuación 2.17) (Bentley, 2020c):

$$X = [x_{min}, x_{max}] = \{x' \in R \mid x_{min} \leq x' \leq x_{max}\} \quad \text{Ecuación 2.17}$$

Donde:

$$\begin{aligned} x_{min}: & \quad \inf (X) \\ x_{max}: & \quad \sup (X) \end{aligned}$$

En general, x' denota cualquier elemento del intervalo X . Si los valores verdaderos de los parámetros de interés están delimitados por intervalos, esto siempre garantizará una estimación confiable basada en la información disponible.

Para la variación del parámetro, los parámetros de entrada x_i se tratan como números de intervalo ($x_{i,min}: x_{i,max}$) cuyos rangos contienen las incertidumbres en esos parámetros. Los cálculos resultantes, llevarían literalmente las incertidumbres asociadas con los datos a través del análisis. El resultado final en forma de intervalo contendría todas las posibles soluciones debido a las variaciones en la entrada (Bentley, 2020c).

Una vez descritas las teorías para el cálculo de asentamientos en los terraplenes de una obra vial y del análisis de sensibilidad de parámetros, los pasos siguientes son describir las metodologías utilizadas para alcanzar los objetivos propuestos.



3 METODOLOGÍA

La metodología definida a continuación, describe los procesos para la obtención de la información necesaria para el análisis de los asentamientos en los terraplenes, en donde fue preciso la recopilación de la información del Proyecto “ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA: PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA – ESTACIÓN CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY” desarrollado por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTO), dentro del cual se han extraído y procesado datos de ensayos de campo y laboratorio, prospecciones del terreno y resultados obtenidos, que serán de utilidad para el desarrollo del presente documento.

La preparación y recopilación de información de buena calidad son uno de los requisitos esperados del proyecto, es por ello que, la investigación del suelo de fundación debe analizarse eficazmente para determinar el tipo y cantidad de información que se obtendrá de la exploración geotécnica, con lo cual se gestiona de manera eficaz los factores geotécnicos que son necesarios en el estudio de los asentamientos. Durante esta fase fue necesario:

- Desarrollar los criterios de desempeño (asentamientos permisibles, tiempo de disponibilidad para la construcción, y requisitos de diseño).
- Identificar los peligros geológicos y la potencial variabilidad de la geología local en el área de estudio.
- Determinar las propiedades de los suelos necesarias para los análisis de asentamientos.

El objetivo de la adecuada caracterización del sitio de estudio es desarrollar el perfil y propiedades del suelo, que son necesarios para los análisis de estabilidad, asentamientos y análisis de sensibilidad que se desarrollarán sobre el terraplén. Dentro de estos parámetros, generalmente, se incluyen requisitos como: parámetros de resistencia, permeabilidad, índices de compresión y recompresión, coeficiente de consolidación, OCR, entre otros.

La metodología que se emplea para la obtención de los asentamientos en el terraplén característico de la autopista Acceso Sur a Cuenca, deberá satisfacer aspectos geotécnicos que se enmarcan dentro de algunos criterios:



- Definición del sitio representativo en la llanura del río Tarqui y posteriormente de la sección de análisis de acuerdo a la información disponible.
- Estabilidad global con un Factor de Seguridad (FS) mínimo para el caso estático y pseudoestático.
- Asentamiento residual máximo de 50 mm o 200 mm en áreas específicas, luego de 18 meses desde la colocación de los terraplenes y dentro de los 40 años posteriores a la terminación del proyecto como recomienda la normativa (Department of Transport and Main Roads, 2015).
- Verificación de la sensibilidad que presentan los parámetros que intervienen en el cálculo de asentamientos de los terraplenes.

3.1 Normativa Empleada

Para estimar los asentamientos permisibles, se tomó en cuenta lo remendado en los Mínimos Requerimientos por la Normativa Geotécnica del Departamento de Transporte y Carreteras Principales de Australia (Department of Transport and Main Roads, 2015). La normativa hace referencia a los asentamientos permisibles en base a la ubicación de la estructura, al tipo de terraplén y pavimento proyectado para el trazado vial como se muestra en la Tabla 3.1.

Tabla 3.1. Criterio de asentamientos.

Ubicación	Máximo asentamiento total permitido dentro de 40 años de construcción del pavimento (Diseño y construcción)		Asentamiento máximo diferencial en cualquier momento (Diseño y construcción)	Asentamiento máximo diferencial en cualquier momento (Requisito de intervención)
	Taludes de rieles	Taludes de vías		
Dentro de la zona de estructuras	40 mm	50 mm	El cambio de diseño de la rasante debido al asentamiento diferencial sobre cualquier longitud de pavimento de 5 m se limitará a 0.5% para asfalto granular rociado sobre base y asfaltos de profundidad completa y 0.3% para todos los otros tipos de pavimento, en cualquier dirección de las calzadas.	El cambio de diseño de la pendiente debido al asentamiento diferencial sobre cualquier longitud de pavimento de 5 m se mantendrá al 0.5%, en cualquier dirección de las calzadas durante el Período de Responsabilidad por Defectos. El asentamiento no creará ningún escalón abrupto mayor de 5 mm.
Lejos de la zona de la estructura	150 mm	Sello rociado granular, asfalto sobre base, asfalto de profundidad completa y pavimentos de hormigón armado continuo, 200 mm. Otros tipos de pavimento, 100 mm.		

Fuente: (Department of Transport and Main Roads, 2015)

Para el análisis de estabilidad de los terraplenes que, es el primer paso que se debe tomar en cuenta para garantizar el estado límite de falla del terraplén, se consideró lo recomendado en la normativa (NEC, 2015), $FS_{estático}$ mayores a 1.5 y FS_{sismo} en el rango de 1.0 a 1.05.

3.2 Geología

La definición de la geología existente se enfoca en la descripción, interpretación y evolución de la acción geológica actual, sirve para reconocer y explicar las formas, estructuras, inestabilidades, la presencia de las formaciones, entre otros. Identificando la zona que más problemas generó en la construcción de los terraplenes para brindar un adecuado tratamiento.

1.5.4 Geología General

La caracterización geológica general presenta a lo largo del trazado vial de la Autopista Acceso Sur a Cuenca zonas son materiales de las formaciones Mangán, Turi y Tarqui, por dichas zonas atraviesa el río Tarqui, rasgo geomorfológico más importante, es un área compuesta por grandes planicies producto de depósitos aluviales masivos en forma de terrazas como se puede observar en la serie de fotografía incluidas en la Fig. 3.1, en donde se localizará el terraplén del presente estudio.



Fig. 3.1. Depósitos Aluviales del río Tarqui.

1.5.5 Geología Local

De acuerdo al estudio geológico del Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020) la caracterización de las formaciones que afloran a lo largo del proyecto define el comportamiento o inestabilidades del terreno. El terraplén en estudio se encuentra ubicado entre las abscisas 8+400 y 12+300, atraviesa amplios depósitos aluviales del río Tarqui, debido a la presencia del río este tramo presenta continuas inundaciones en las épocas lluviosas del año. En este caso se puede evidenciar que estas áreas permanecen húmedas incluso presentan humedales con vegetación típica de estas zonas como se indica en la Fig. 3.2.



Fig. 3.2. Terraza aluvial de material fino arcilloso.
Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)

3.3 Geotecnia

La exploración geotécnica sirve para proyectar los rasgos geométricos y mecánicos de la zona de estudio. En lo cuales se incluyó exploración directa e indirecta, ensayos mecánicos y geofísicos, respectivamente. Los ensayos directos consisten en perforaciones (SPT). La geofísica consiste en ensayos de sísmica de refracción (SRS) y ensayos de resistividad eléctrica (TE).

Se obtuvo la información de las exploraciones geofísica y geotécnica correspondientes al Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020), los datos de la campaña de geofísica y perforaciones se indican en la Tabla 3.2 y Tabla 3.3, respectivamente. En la primera se incluye las coordenadas y longitud de la línea sísmica y en la segunda se indica la perforación

seleccionada (P-PE-17) ubicada en la abscisa 11+530 del proyecto vial, con sus respectivas coordenadas, profundidad y nivel de agua encontrado, esta perforación caracterizará la sección de análisis.

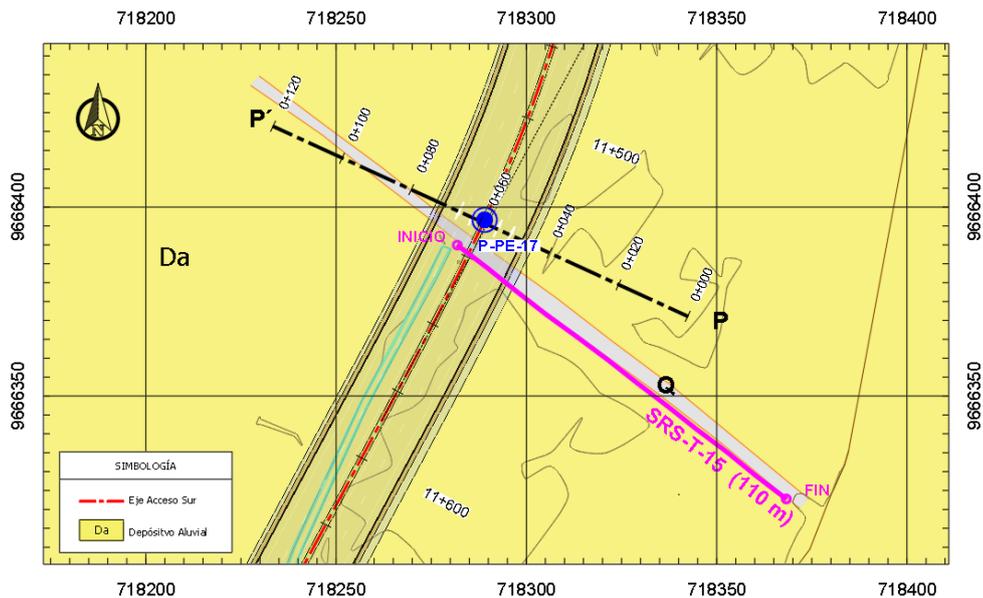
Tabla 3.2. Exploración Geofísica.

Terraplen	Perfil #	INICIO		FIN		Longitud (m)
		X	Y	X	Y	
P-PE-17	SRS-T-15	718281.79	9666389.93	718368.26	9666322.78	110

Tabla 3.3. Exploración Geotécnica.

Perforación / Calicata	Talud / Terraplén	Coordenadas		Prof. (m)	Nivel de Agua (m)
		X	Y		
P-PE-17	Terraplén	718288	9666395	20	2.30

En la Fig. 3.3, se incluye el mapa y los perfiles geológico de la zona de estudio, en el cual se ha adjuntado los datos de exploración geofísica y geotécnica, se puede observar que la zona de análisis seleccionada está constituida por depósitos aluviales y la formación Tarqui de acuerdo a las perforaciones. Mediante la exploración geofísica se ha podido recopilar información de la línea SRS-T-15, que complementa la información geológica, determinando la profundidad de los estratos de cada una de las formaciones como se indica en el perfil de la Fig. 3.3.



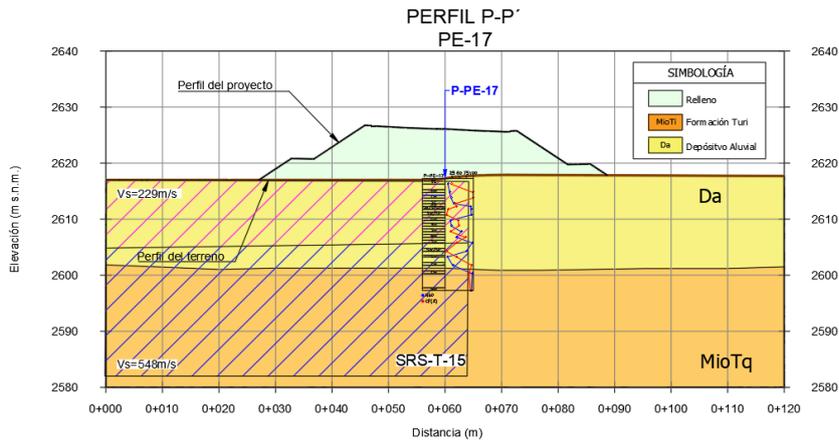
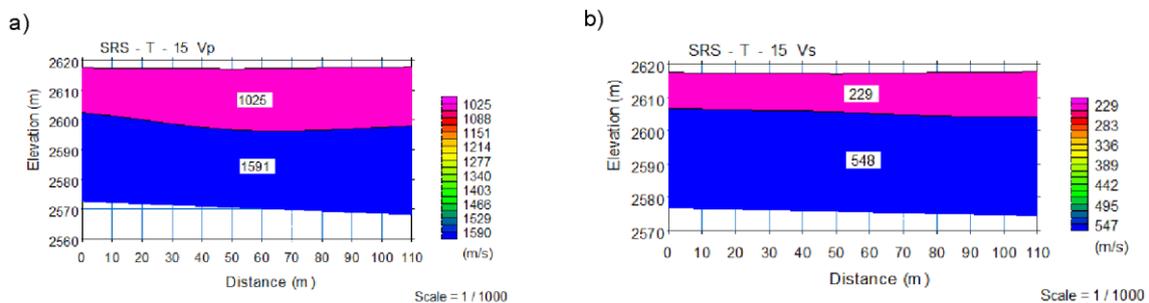


Fig. 3.3. Mapa y perfil geológico.
Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)

En el Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020) se realizaron ensayos MASW+REMI, en los cual se determina la velocidad secundaria o Vs y las características del tipo de suelo presente en el sitio de acuerdo a la Clasificación IBC (International Building Code). Para el caso de la zona de estudio se verificaron estos ensayos dando como resultado un perfil característico de suelos Clase D que correspondería a suelos rígidos a una profundidad de 30 m aproximadamente donde se ha localizado el material competente.

Los perfiles obtenidos de acuerdo a la investigación realizada para la refracción sísmica con líneas de longitud de 110 m, muestra que la primera capa está representada por una velocidad primaria o compresiva (Vp) de 1025 m/s con un espesor de 16 m aproximadamente. Y una segunda capa con una velocidad de 1591 m/s con una profundidad mayor a 20 m como se muestra en la Fig. 3.4 (a) y en la Fig. 3.4 (b) una velocidad secundaria o de corte (Vs) de 229 m/s a una profundidad de 10 m y una segunda capa de 548 m/s con un espesor mayor a 30 m, correspondiente a materiales arenosos limosos y arcillosos.



PARÁMETROS ELÁSTICOS DINÁMICOS PERFIL SRS-T-15

CAPA	Vp (m/s)	Vs (m/s)
1	1025	229
2	1591	548

Fig. 3.4. Sísmica de refracción.
Fuente: Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020)



Con la información geológica y geofísica descrita se podrá nutrir la caracterización de los parámetros del suelo. En el Anexo 2 se presenta los datos extraídos de las perforaciones LOG P-PE-17, que son el registro detallado de las formaciones geológicas encontradas por la perforación, la misma que está constituida de muestras de cada material a diferentes profundidades.

3.4 Ensayos de Laboratorio

Se utilizaron los ensayos de campo y de laboratorio para obtener las propiedades geotécnicas de cada una de las muestras extraídas de las perforaciones. Para el estudio de asentamientos del proyecto, en general, se ejecutaron los siguientes ensayos de laboratorio en muestras alteradas e inalteradas de las perforaciones, estos ensayos han sido seleccionados dependiendo de la necesidad de información de cada material:

- Granulometría y límites de Atterberg
- Clasificación SUCS
- Ensayo de compresión simple (CS)
- Ensayos triaxiales no consolidados – no drenados (TX-UU)
- Ensayos triaxiales consolidados – no drenados (TX-CU)
- Ensayos triaxiales consolidados – drenados (TX-CD)
- Ensayos de consolidación

Como el cálculo de los asentamientos se enfoca en los materiales de suelo fino, mediante diferentes metodologías se ejecutaron los ensayos en las muestras inalteradas de suelos arcillosos o limosos, de los cuales se ha determinado las propiedades de los materiales para la definición de los parámetros de resistencia y rigidez para los modelos geotécnicos que son utilizados en PLAXIS, y han sido obtenidos mediante el siguiente proceso:

1. Recopilación de la información de ensayos del Proyecto Acceso Sur a Cuenca
2. Obtención de los parámetros de los ensayos in situ.
3. Revisión de los parámetros obtenidos de ensayos de laboratorio que sean representativos.
4. Definición de las propiedades de los geomateriales.

En la Tabla 3.4, se indica los sondeos realizados en la perforación P-PE-17, se planteó ensayos de consolidación, compresión simple y triaxiales no consolidados – no drenados (TX-



UU) y con el resultado de los mismos se procedió a la caracterización y análisis geotécnico del terraplén característico de la presente investigación.

Tabla 3.4. Ensayos de laboratorio.

ID	Tramo de Análisis	Sección Análisis	Perforación cercana	Consolidación	CS	TX-UU
1	km 8+400 - km 12+300	11+530	P-PE-17	4	3	2

3.5 Nivel Freático

La determinación del nivel freático es de suma importancia para obtener valores confiables de asentamientos por consolidación. Los niveles freáticos del proyecto Acceso Sur se estimaron por medio de:

- Sondeos SPT, a través de observaciones de campo.
- Sondeos CPTu, que consiste en detener el cono temporalmente a cualquier profundidad, y monitorear continuamente la presión de poros.

Para el terraplén estudiado mediante los sondeos SPT se ha determinado un nivel freático de 2.30 m para la perforación P-PE-17, como se muestra en el Anexo 2.

3.6 Permeabilidad

El período de tiempo para que ocurra el asentamiento por consolidación en materiales arcillosos es una función de la compresibilidad y de la permeabilidad, bajo la carga de los terraplenes, así como las condiciones de flujo del subsuelo, cuando los terraplenes actúen como elementos de protección ante inundaciones. En el Proyecto Acceso Sur a Cuenca se definió este parámetro mediante ensayos in situ de permeabilidad Lefranc en las perforaciones y ensayos de disipación de presión de poros en los ensayos CPTu. Además, se estimó el valor del coeficiente de consolidación en los ensayos de consolidación unidimensional para cada estrato. Mediante estos datos se pueden determinar el orden de las permeabilidades en campo y asignar valores adecuados a los geomateriales. En la Tabla 3.5 se presentan los ensayos de permeabilidad realizados y los valores medidos, dando como resultado que el sitio presenta a profundidades de 1.50 a 4.00 m y 14.00 a 16.20 m materiales permeables.

**Tabla 3.5 Ensayos de permeabilidad para terraplenes del proyecto Acceso Sur.**

Perforación	Prof. (m)	Nivel de Agua (m)	Profundidad (m)	k (m/s)
PPE-17	20	3	1.50 - 4.00	2.10E-07
			14.00 - 16.20	8.57E-07

Se encontró que, para el caso del proyecto, se observan materiales con poca estratificación con capas de limos y lentes aleatorios, por lo que la relación $kh/kv=c_h/c_v$ adoptada es de 3 para cualquier tipo de suelo blando y la permeabilidad se estimó con la Ecuación 3.1 que están en función de coeficiente de consolidación vertical (C_v), parámetros de permeabilidad y compresibilidad (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) & Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR), 2015):

$$c_v = \frac{k\sigma'_v}{0.434 \times CR \times \gamma_w} \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde k es el coeficiente de conductividad hidráulica (permeabilidad), γ_w es el peso volumétrico del agua, σ'_v es el esfuerzo efectivo de consolidación y CR es la relación de compresión, por lo tanto, se determinará la permeabilidad de las capas de suelo mediante la metodología propuesta, para todos los casos que no se disponga información suficiente de los ensayos de consolidación.

3.7 Sobreconsolidación de los Materiales

Es la relación que existe entre el esfuerzo de preconsolidación (σ'_p) y la tensión efectiva vertical para cada estrato de suelo.

3.7.1 Esfuerzo de preconsolidación

El esfuerzo de preconsolidación (σ'_p) es la carga máxima o presión efectiva a la cual ha sido sometido un suelo particular a lo largo de su historia geológica y se preserva en su estructura (Casagrade, 1936).

Desde el punto de vista geotécnico, el esfuerzo de preconsolidación es de gran importancia ya que separa las deformaciones elásticas y reversibles de las deformaciones inelásticas y solo parcialmente reversibles. En la Fig. 3.5 se muestra la curva $e-\log \sigma'_v$ formada por la relación de vacíos y la presión vertical (e vs $\log \sigma'_v$) obtenida como resultado de un típico ensayo edométrico. El punto donde la pendiente de la curva de consolidación cambia se entiende como un evento importante en el proceso de consolidación, la tensión en este punto es denominado presión de preconsolidación (σ'_p) (Ural & Küçükler, 2021).

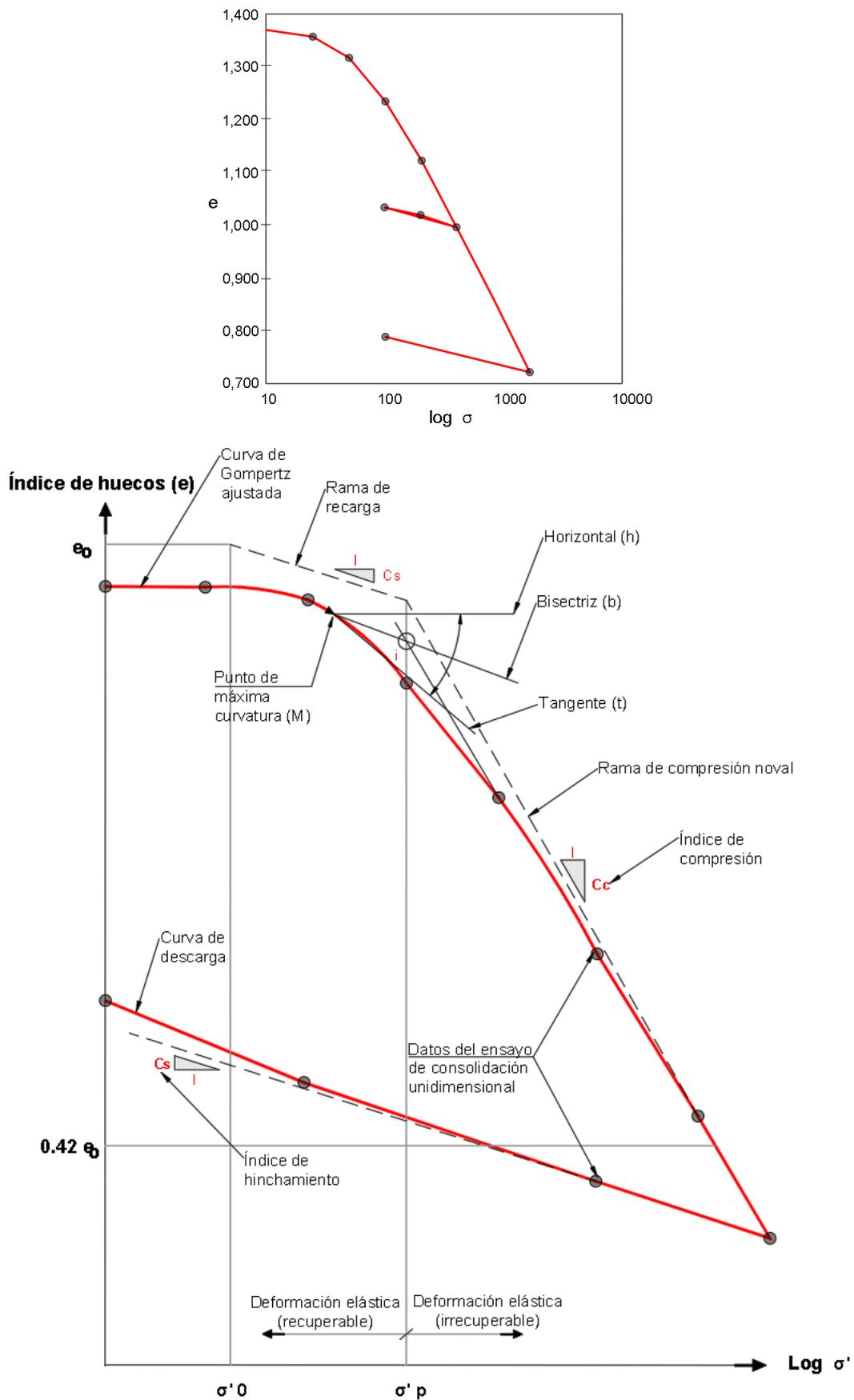


Fig. 3.5. Curva Edométrica de laboratorio.



El ensayo de consolidación consiste en comparar el esfuerzo de preconsolidación (σ_p) y el esfuerzo efectivo vertical (σ_v'), se calculan a partir de datos de ensayos de laboratorio y mediante la tensión total y la presión de agua de poro. Una vez determinado estos valores, se clasifica a los suelos en normalmente consolidados o sobreconsolidados.

Suelo normalmente consolidado y suelo sobreconsolidado

Se dice que un suelo está normalmente consolidado cuando nunca ha estado sometido a presiones efectivas superiores a las que tiene en el momento actual ($\sigma_v' = \sigma_p'$).

La sobreconsolidación se producirá cuando un suelo soporte en la actualidad una presión efectiva menor a la que haya soportado a lo largo de su historia ($\sigma_v' < \sigma_p'$).

Un suelo es inadecuado, cuando todavía se encuentra en proceso de consolidación bajo la precarga ($\sigma_v' > \sigma_p'$).

El otro parámetro que permite expresar el grado de sobreconsolidación del suelo es el OCR que expresa la razón de sobreconsolidación de un material y se define como la presión de sobreconsolidación dividida por la presión efectiva actual como se muestra en la Ecuación 3.2:

$$OCR = \frac{\sigma_p'}{\sigma_v'} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Existen diferentes autores que proponen métodos para el cálculo de la presión de preconsolidación de una muestra de suelo, de los cuales se pueden considerar los siguientes:

Procedimiento para la carga de preconsolidación según Casagrande (1936)

Se siguen los siguientes pasos:

1. Ubicar el punto A de manera visual de mayor curvatura.
2. Desde el punto A trazar una recta paralela al eje x denominada "h" y otra recta tangente a la curva a dicho punto, "t".
3. Trazar la bisectriz del ángulo formado por las rectas h y t que pasa por el punto A.
4. Trazar la recta de prolongación del tramo recto de la curva del ensayo de consolidación.
5. Determinar el punto B, como la intersección entre la recta b y la prolongación del tramo recto de la curva de ensayo. Desde el punto B dibujar la perpendicular hasta

el eje x (presión vertical), este punto de intersección corresponde al valor de la carga o presión efectiva de preconsolidación, σ'_p .

En la Fig. 3.6 se indica cada uno de los pasos para la obtención de σ'_p , mediante el método de Casagrande (1936)

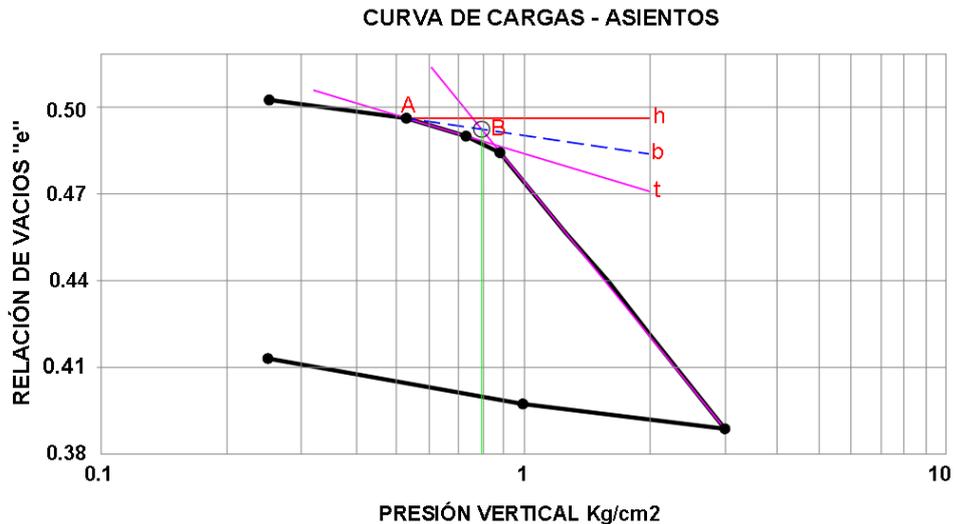


Fig. 3.6 Determinación de la carga de preconsolidación según Casagrande (1936).

Procedimiento carga de preconsolidación según Pacheco Silva (1970)

1. Se traza una recta C-A paralela al eje X (presión vertical) a partir de la relación de vacíos inicial (e_0), reportada del ensayo de consolidación.
2. Dibujar la recta A-B correspondiente a la extensión de la línea de consolidación primaria, hasta interceptar a la recta C-A.
3. Desde el punto de intersección de ambas rectas, se traza una recta perpendicular al eje X (presión vertical), la cual intercepta a la curva de consolidación en un punto E.
4. Desde el punto E se traza otra recta paralela al eje X (presión vertical), la cual intercepta a la recta A-B en el punto F.
5. Por el punto F, se traza una recta perpendicular al eje X (presión vertical), la cual intercepta a dicho eje, obteniendo así el valor de preconsolidación.

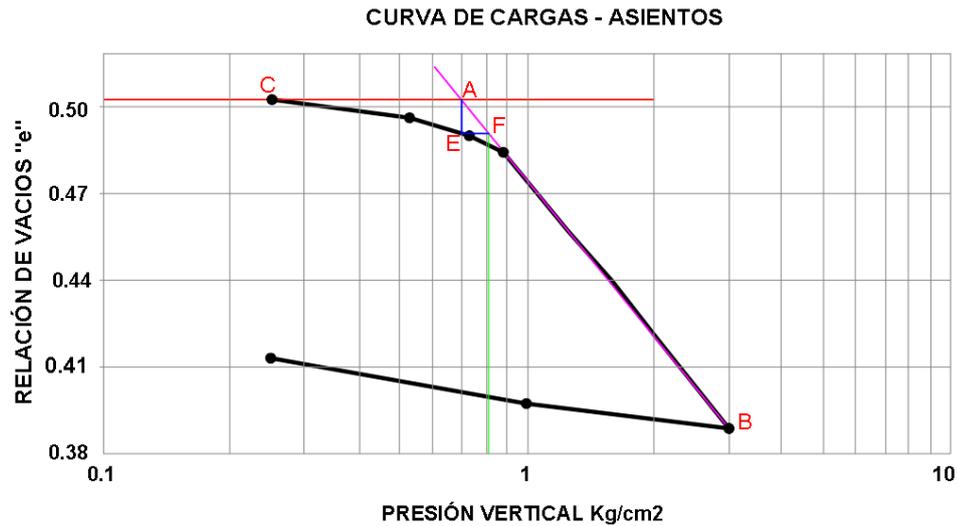


Fig. 3.7 Determinación de la carga de preconsolidación según Pacheco Silva (1970).

Dentro del Proyecto Acceso Sur a Cuenca se han elaborado varios ensayos de consolidación en las diferentes perforaciones ubicadas a lo largo del trazado vial y sus resultados se presentan en el Anexo 3, con las metodologías indicadas se obtiene el valor de la preconsolidación del suelo y con la relación indicada en la Ecuación 3.2. se determinó OCR.

Una vez definido el OCR, se ha tomado como criterio el promediar los valores de la preconsolidación obtenidos mediante las metodologías, ya que son valores similares. En la Fig. 3.8 se indica gráficamente los valores de OCR determinados mediante el promedio de los datos obtenidos tanto por la metodología de Casagrande como Pacheco Silva, mediante el esquema se puede deducir lo siguiente:

- Los valores de OCR mayores a 10, son datos que se obtiene de hacer muestreos en la superficie entre 1 a 1.5 m de profundidad por lo que el suelo presenta condiciones secas o es capa vegetal. Por lo que, el de OCR queda limitado a 10 para estas profundidades.
- El OCR mientras aumenta la profundidad entre 1.5 a 9 m, ha presentado un decremento uniforme en su valor. Mediante el trazado de una línea de tendencia Figura 3.8 (línea negra entrecortada) quedará definido entre un rango de OCR entre 3 a 10 para los materiales de grano finos a las profundidades antes mencionadas.

Los datos obtenidos son rangos que se pueden aplicar en el caso que no se dispongan de ensayos de consolidaciones en las muestras de materiales finos. O en el caso que no se disponga de los ensayos de campo ni de laboratorio para la zona en donde se desplanta la autopista Acceso Sur a Cuenca u otros proyectos con características similares de suelos.

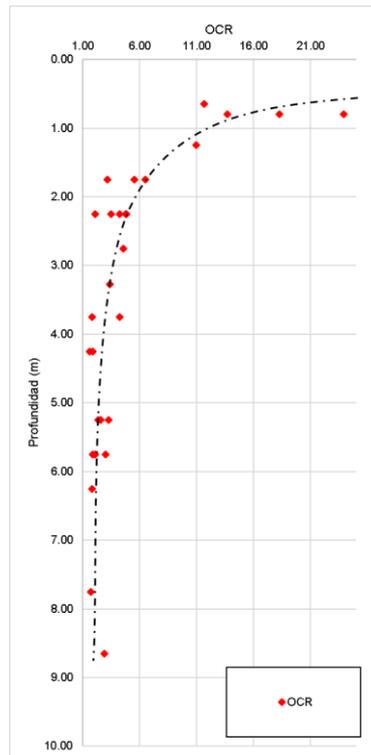


Fig. 3.8 OCR vs Profundidad.

El asentamiento por consolidación de un suelo normalmente consolidado, está en función del índice de compresión (C_c), altura del estrato, relación de vacíos, esfuerzo vertical efectivo, entre otros y si el esfuerzo efectivo final es menor que el esfuerzo de preconsolidación el suelo estará sobreconsolidado, por lo que será necesario el uso del índice de recompresión (C_r).

3.8 Índice de Compresibilidad, C_c

De la Fig. 3.9 que representa la curva de compresibilidad, la relación de vacíos vs esfuerzo efectivo para suelos normalmente consolidados es lineal y se denomina rama de compresión virgen, la pendiente de esta recta corresponde al índice de compresibilidad C_c , por lo que para para calcular el asentamiento de este tipo de suelos es necesario hallar la pendiente de la recta k indicada en la Fig. 3.10. Con la Ecuación 3.3 se determina el índice de compresibilidad.

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

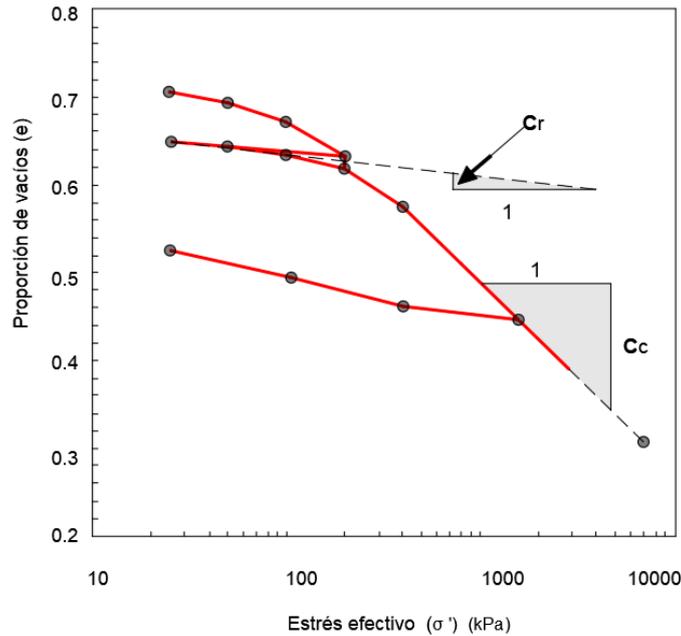


Fig. 3.9. Curva Edométrica.

Se puede también expresar la pendiente de la curva de compresión mediante el índice de compresión normalizado, CR, como se muestra en la Ecuación 3.4 y este será el término que se emplee para los análisis:

$$CR = \frac{C_c}{1 + e_0} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

3.9 Índice de Recompresibilidad, Cr

La pendiente de la curva de recompresión indicada en la Fig. 3.10, representada por la línea j, indica la disminución de la carga y por lo tanto la muestra de suelo ha recuperado parte de la deformación, esto es denominado el índice de recompresión y se calcula mediante la Ecuación 3.5.

$$C_r = \frac{\Delta e}{\Delta \log \sigma'} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Se puede también expresar la pendiente de la curva de compresión mediante el índice de recompresión normalizado, RR, como se muestra en la Ecuación 3.6 este será el término que se emplee para los análisis:

$$RR = \frac{C_r}{1 + e_0}$$

Ecuación 3.6

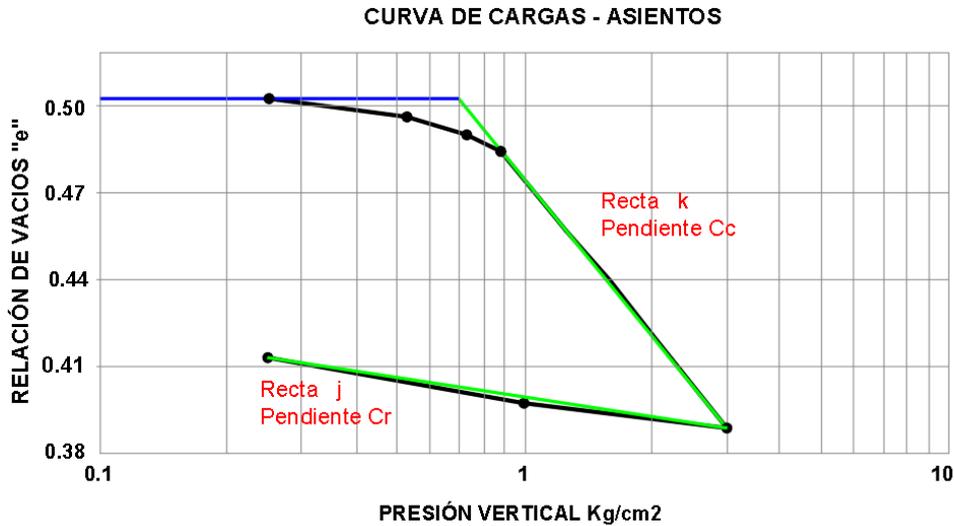


Fig. 3.10 Pendiente de la recta de compresibilidad C_c y de recomposición C_r .

3.10 Recolección de datos de CR y RR

De la información otorgada por el MTOP, se recolectó y resumió los valores de CR y RR (Tabla 3.6 y Tabla 3.7, respectivamente), los mismos que fueron determinados en base a los ensayos de consolidación realizados en las muestras obtenidas de las perforaciones, información que se presenta en el Anexo 3. Con estos datos se elaboró un análisis estadístico para determinar los valores más representativos que podrían ser utilizados en caso de no contar con información suficiente en cálculos futuros, así como para determinar la sensibilidad de los mismos mediante el uso de la herramienta de PLAXIS "Sensitivity and Parameter Variation".

Tabla 3.6. Datos de CR y RR para Arcillas.

Perforación	CR	RR
PT3-1	0.21	0.030
PT8-2	0.23	0.033
PT9-2	0.18	0.025
PT10-1	0.22	0.021
PT11-2	0.26	0.056
PT12-2	0.08	0.014
	0.19	0.04
PPE-17	0.16	0.03
	0.31	0.047
PC-T-11	0.06	0.009

**Tabla 3.7. Datos de CR y RR para Limos.**

Perforación	CR	RR
PT3-1	0.12	0.009
PT7-1	0.10	0.024
PT7-3	0.15	0.029
	0.15	0.030
PT8-1	0.07	0.024
	0.11	0.026
	0.25	0.029
PT11-1	0.07	0.007
	0.20	0.028
PT12-1	0.23	0.031
PT14-1	0.14	0.032
PPE-15	0.12	0.028
PC-P-2	0.03	0.011
PC-T-4	0.13	0.018
PC-T-8	0.15	0.019
	0.18	0.030
PC-T-9	0.13	0.015
PC-T-10	0.11	0.018
PC-T-11	0.08	0.010
	0.13	0.018
PC-T-12	0.07	0.010
PC-T-19	0.17	0.033

3.11 Análisis Estadístico CR y RR

Para el tratamiento de los suelos, la ingeniería geotécnica usa a menudo términos estadísticos como la aleatoriedad, incertidumbre, variabilidad y confiabilidad. Por lo tanto, es necesario mostrar los conceptos fundamentales de los términos anteriormente mencionados e indicar el adecuado tratamiento estadístico que se debe realizar con los datos disponibles.

En la caracterización de los suelos se nota la marcada variabilidad de las propiedades mecánicas de los materiales con respecto al tiempo y espacio, los conjuntos de situaciones se vuelven impredecibles por lo que son eventos o comportamientos aleatorios, por lo tanto, la incertidumbre entre la heterogeneidad en los parámetros y los procesos del suelo, es desconocida o falta de verificación (Baecher & Christian, 2003). En consecuencia, es indispensable recurrir a la estadística inferencial que permite analizar e interpretar los datos recolectados.

La presente investigación se enfocará en el análisis de los asentamientos en los estratos compresible de los suelos. En los capítulos anteriores se ha mencionado la metodología de evaluación de los asentamientos y los parámetros más influyentes en los mismos, por lo que, en el siguiente apartado se describirá el tratamiento estadístico que se realizará a los datos recolectados de los materiales finos, como son el índice de compresibilidad (CR) e índice de recompresión (RR) normalizados.

3.11.1 Diagrama de Caja

El diagrama de caja y bigote es un gráfico que representa varias de las principales características del conjunto de datos como: el centro, la dispersión, grado de asimetría y valores extremos, incluso si un valor extremo afecta drásticamente los valores de la media muestral (\bar{x}) y desviación estándar (s). El diagrama se basa en medidas resistentes a la presencia de unos cuantos valores apartados, la mediana y una medida de variabilidad llamada dispersión de los cuartos (Devore, 2008).

El diagrama de caja es la representación gráfica de los cuartiles de una muestra, en donde el rango intercuartil (IQR) formado por una caja, contiene a la mediana; mientras que como extremos se tiene al cuartil superior (percentil 75 o "Q3") y al cuartil inferior (percentil 25 o "Q1"); además se indican los valores máximos y mínimos de la distribución de datos prolongando líneas perpendiculares al IQR denominadas "bigotes" (Walpole et al., 2012), tal como se muestra en la Fig. 3.11.

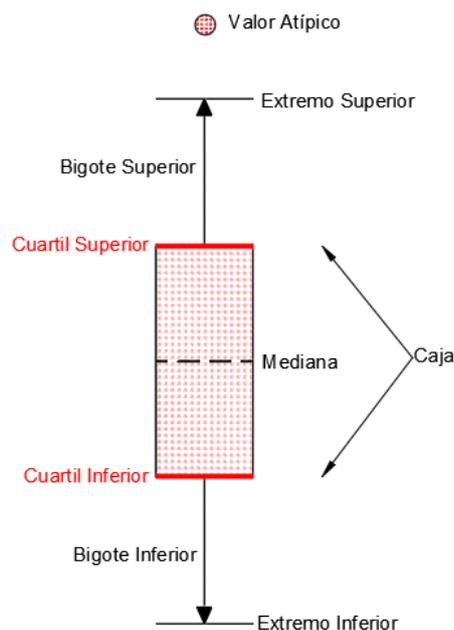


Fig. 3.11. Representación de un diagrama de caja.

El diagrama de caja es considerado una herramienta de diagnóstico de los valores extremos. El procedimiento más común para determinar estos valores extremos, es utilizar el valor de 1.5 veces de IQR, si este resultado se encuentra por encima del Q3 o por debajo del Q1, el dato se considera un valor apartado (atípico) y un dato atípico es extremo si se encuentra a más de 3 veces del IQR del cuartil más cercano y moderado en el caso contrario



(Devore, 2008). Los datos atípicos podrán ser eliminados si se desea encontrar una tendencia de la serie.

3.11.2 Test de Kolmogorov-Smirnov

Es una metodología que pertenece a los test Clásicos No-Paramétricos que se definen como la relación de los valores medios, la varianza de la muestra y la distribución de la misma. Por lo general, se busca demostrar que la media de la muestra proporciona evidencia que la media poblacional tiene un valor particular (De Smith, 2018).

El test de Kolmogorov-Smirnov (KS) es una prueba de bondad de ajuste que consisten en contrastar si el conjunto de datos muestrales pueden considerarse procedentes de una distribución determinada. Es un método aplicable para variables aleatorias continuas, muestras pequeñas o grandes y no requiere de agrupación de los datos en clases. En otras palabras, la prueba compara la distribución de probabilidad hipotética conocida (generalmente la distribución normal) con la distribución generada por los datos muestrales. Es usado comúnmente para verificar la normalidad del conjunto datos.

El test de KS mide la desviación de la frecuencia observada acumulada con relación a la frecuencia teórica acumulada, además, está basado en la hipótesis nula de que no hay diferencias significativas entre la distribución muestral y la teórica, H_0 es la distribución que se supone sigue la muestra aleatoria y la hipótesis alternativa siempre se menciona como los datos que no siguen la distribución supuesta. Cumpliendo el siguiente estadístico de contraste (Ecuación 3.7):

$$D_t = \text{Sup}|F_n(X)_i - F(X)_i| \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

$F_n(X)_i =$ función de distribución hipotética

$F(X)_i =$ función de distribución empírica de datos de la muestra

Por lo tanto, las hipótesis planteadas para la verificación del Test de Kolmogorov – Smirnov es la siguiente.

Si el valor $D < D_t$, entonces se acepta H_0 (Ajuste adecuado)

Si el valor $D > D_t$, entonces se rechaza H_0 (Ajuste no adecuado)

En la Fig. 3.12 se indica una representación de las curvas de distribución acumulada tanto de la función hipotética como de la distribución empírica además se indica la representación de D_t .

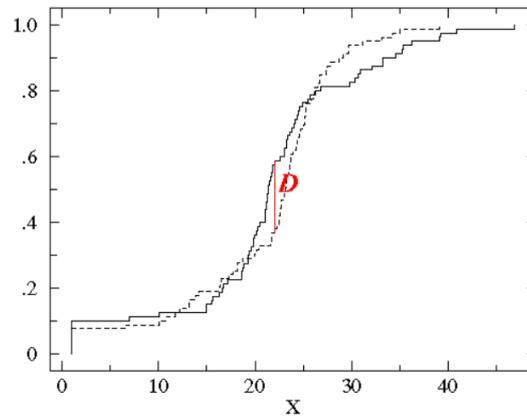


Fig. 3.12. Comparación de distribución acumulada con el Test K-S.
Fuente: (Crawley, 2013)

Para el cálculo estadístico de los datos muestrales, se utilizará la función de distribución empírica acumulada, media muestral, desviación estándar y demás estadísticos necesarios para la aplicación de KS.

3.11.2.1 Función de Distribución Acumulada

Toma en cuenta una muestra de tamaño n , x_1, x_2, \dots, x_n de la variable aleatoria X y queda definida por la Ecuación 3.8:

$$F(x)_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \begin{cases} 1, & \text{Si } x_i \leq x \\ 0, & \text{caso contrario} \end{cases} \quad \text{Ecuación 3.8}$$

con:

$F(X)_i$ = función de distribución empírica de datos de la muestra.

3.11.2.2 Media Muestral

Definido como un estadístico que se calcula a partir de la media aritmética de un conjunto de valores de la variable aleatoria, la función de la media muestral es inferir adecuadamente a la media de la poblacional y se determina con la Ecuación 3.9:



$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_n}{n} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

\bar{x} = media muestral

n = total de datos de la muestra

3.11.2.3 Desviación Estándar

La desviación estándar (s^2) es una medida de dispersión, su función es indicar que tan dispersos están los datos con respecto a la media (Ecuación 3.10).

$$s^2 = \frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1} \quad \text{Ecuación 3.10}$$

3.11.3 Intervalo de Confianza

Describe la variabilidad entre la medida obtenida de una muestra (estimada) y la medida verdadera de la población que es un valor real, es un rango de valores que disponen de una distribución, que dependerá de la cantidad de datos que se dispongan, y en el cual se debería encontrar el valor real de la variable que se esté estudiando, por lo que es necesario definir un nivel de confianza o grado de confianza ($1-\alpha$) conocido por representar el porcentaje de intervalos que incluirían al parámetro de la población (valor verdadero). Los niveles de confianza recomendados por diferentes autores son del 90%, 95% y 99% (Devore, 2008), los cuales dependerán del tipo de análisis que se desee realizar con los datos . El intervalo de confianza (IC) queda definido por la Ecuación 3.11:

$$IC = \bar{x} \pm Z_{(1-\frac{\alpha}{2})} * \frac{s}{\sqrt{n}} \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Donde:

IC= intervalo de confianza

Z= error máximo admisible

$\frac{\alpha}{2}$ = área por debajo de la curva normal.

Los parámetros para la definición del intervalo de confianza se representan en la Fig. 3.13.

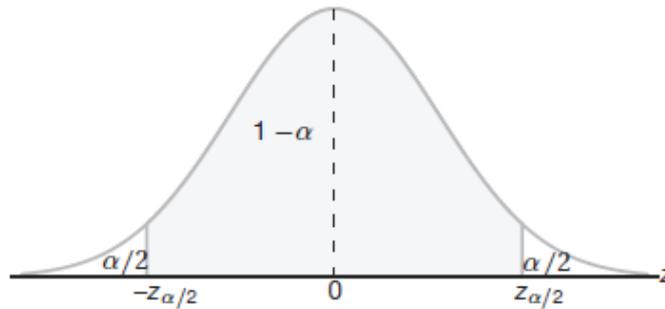


Fig. 3.13. Gráfica para intervalo de confianza.
Fuente: (Devore, 2008)

3.12 Modelación en Software de Elementos Finitos Plaxis 2D

Se realizará una breve descripción del entorno y uso de las herramientas del software de elementos finitos PLAXIS con el que se realiza el cálculo de asentamientos. El entorno de entrada general que presenta PLAXIS se indica en la Fig. 3.14 y dispone de barra de títulos, barra de menú, pestañas de modo, exploradores, barra de herramienta lateral, línea de comando, área de dibujo, entre otros (PLAXIS, 2020). Los cuales será utilizados de acuerdo a la necesidad que presente el modelo.

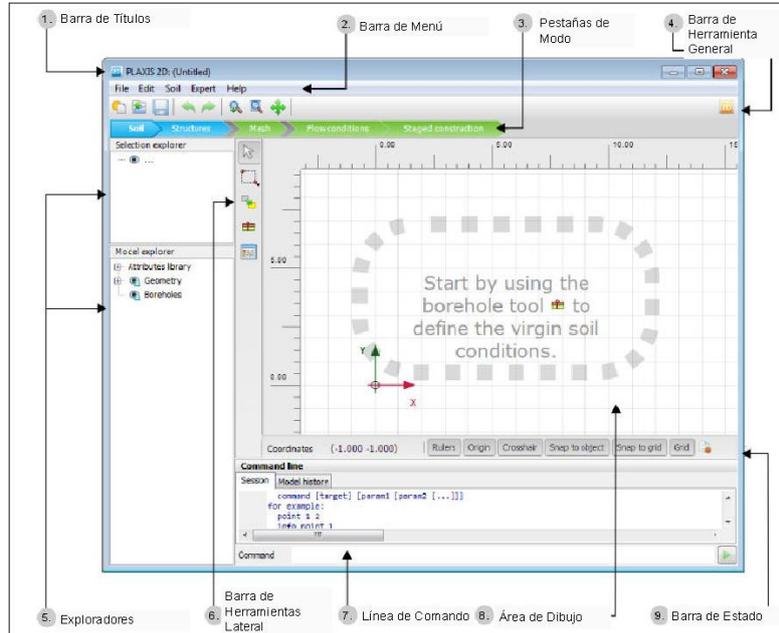


Fig. 3.14. Entorno de entrada PLAXIS.

Entre las herramientas disponibles, se realiza un enfoque en la descripción de las pestañas de modo, ya que sirve para separar los diferentes flujos de trabajo y es la herramienta más utilizada en la implementación del modelo. En la Fig. 3.15 se ha clasificado a los modos, entre modos de geometría y de cálculo. En el primer caso, se realizan todos los cambios de

geometría como creación, reubicación, modificación o eliminación de entidades, se refiere a modificaciones en las entidades de elementos estructurales como placas, vigas, interfaces o carga. Sobre las segundas no se podrán asignar entidades, servirá para elaborar los procesos de cálculo como generación de mallas (Mesh), definición de niveles freáticos y etapas de construcción el proyecto, en los modos de Flow conditions (condiciones de flujo) y Staged Constructions (etapas constructivas), respectivamente.

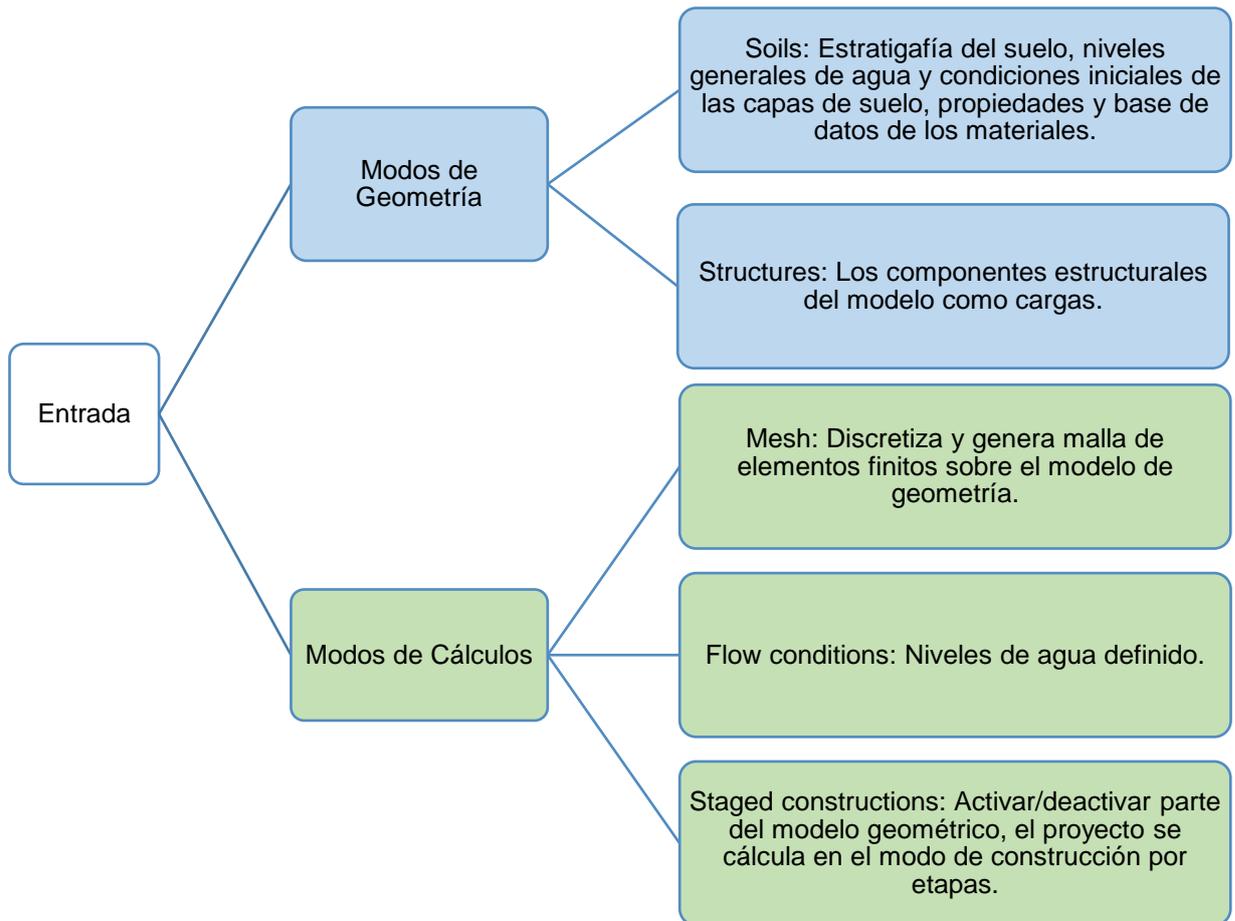


Fig. 3.15. Pestaña de modos, PLAXIS.

En la Fig. 3.16 se indica el entorno de PLAXIS donde se ha ingresado la información de geometría y estratigrafías del suelo de fundación del terraplén del proyecto vial Acceso Sur, conjunto de propiedades de los materiales, construcción de la malla, datos de condiciones de flujo, etc.

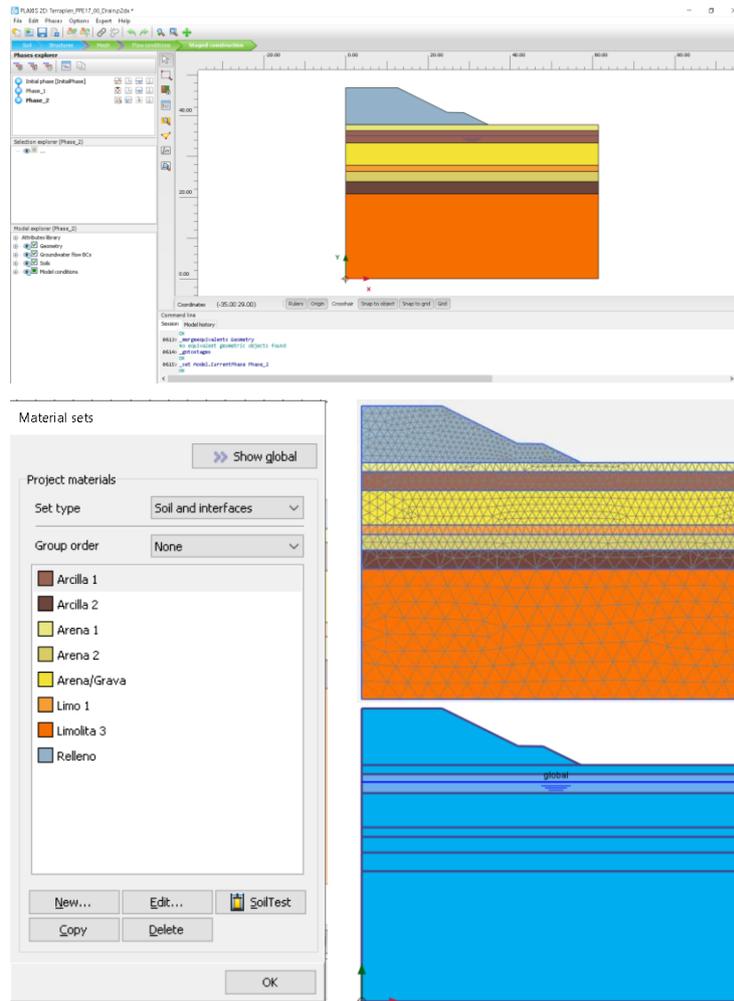


Fig. 3.16. Entorno PLAXIS para sección de terraplén de Acceso Sur.

3.12.1 Soil (Suelo)

Cada uno de los materiales que estén presentes en la estratigrafía del suelo de fundación tiene sus características y propiedades geomecánicas, que han sido obtenidas mediante los diferentes ensayos de laboratorio, de campo, correlaciones, o lo propuesto por los diferentes autores en la bibliografía.

Los modelos constitutivos con los que se va a trabajar en el presente proyecto se han descrito con en el acápite 2.1.6. PLAXIS emplea la representación de la respuesta del material entre la relación de las tensiones o deformaciones asociadas al esqueleto del suelo. Por otro lado, el agua presente en los poros demuestra la existencia de presiones intersticiales que influye de manera significativa en esta respuesta del suelo, característica importante en el fenómeno de consolidación, por lo que, el software permite la incorporación de condiciones de acuerdo al modelo constitutivo que se seleccione, en el caso de los materiales blandos

como arcillas y limos el modelo constitutivo usado en el proyecto es Soft Soil y de los materiales granulares el modelo usado es Mohr Coulomb.

3.12.1.1 Tipo de Drenaje de los materiales

La incorporación de la interacción agua-esqueleto de suelo en PLAXIS se divide en tres tipos de comportamiento (PLAXIS, 2020).

Drained (Drenado)

No genera excesos de presión de poro. Sirve para materiales granulares como arenas, la resistencia se define en esfuerzos efectivos y corresponde a suelos secos y en situaciones de drenaje completo debido a una alta permeabilidad y una velocidad lenta de carga, la Fig. 3.17 se representa la envolvente de falla para este tipo de materiales.

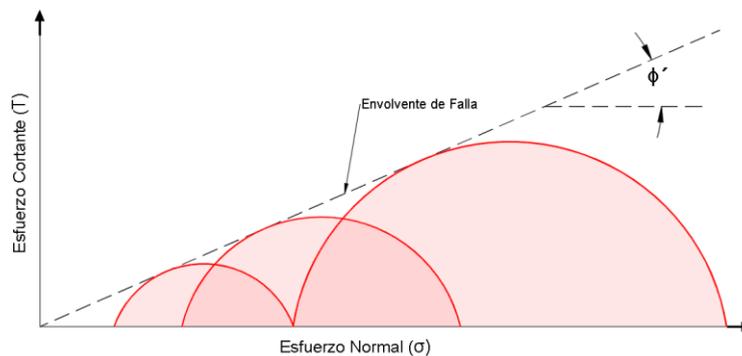


Fig. 3.17. Envolvente de falla para suelos granulares

Undrained (No Drenado)

Permite la generación de exceso de presión de poro, el flujo de agua intersticial puede despreciarse en situaciones de baja permeabilidad o alta velocidad de carga. PLAXIS distingue entre tensiones totales, efectiva y exceso de presión intersticial. Existen tres diferentes métodos de modelar el comportamiento no drenado del suelo.

Undrained A (No drenado A)

Es el comportamiento no drenado de materiales de grano fino como arcillas o limos, donde la rigidez y la resistencia está definida en términos de esfuerzos efectivos c' y ϕ' . En la Fig. 3.18 se indica la envolvente de falla de una arcilla saturada que presenta la misma resistencia

para diferentes esfuerzos. El comportamiento Undrained A simula de mejor manera la resistencia del suelo especialmente blandos normalmente consolidados, es aconsejable utilizar este comportamiento ya que se puede considerar de mejor manera la resistencia a diferentes profundidades.

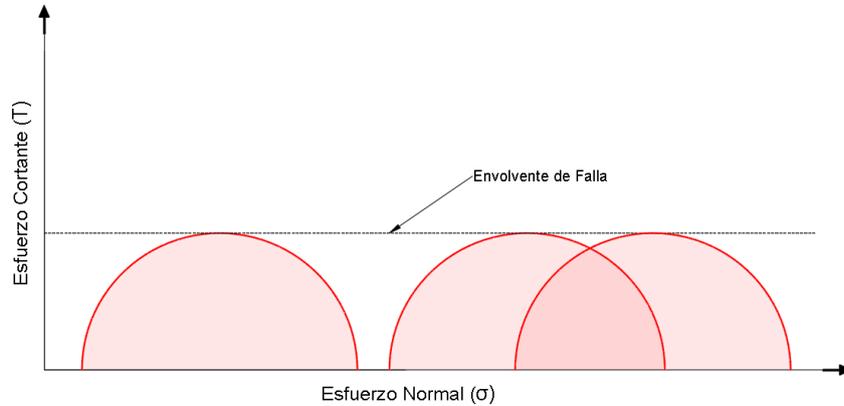


Fig. 3.18. Envolvente de falla de arcilla saturada.

Undrained B (No drenado B)

Representa al análisis de esfuerzo efectivo no drenado con parámetros de rigidez efectiva y parámetros de fuerza no drenada. Los esfuerzos de los materiales blandos tienen mayor resistencia a mayor profundidad como se indica en la Fig. 3.19, con este comportamiento solo se determinará con un valor determinado de “Su”, en consecuencia, en el caso de que disponga de estratos a mayor profundidad por ende mayor confinamiento, se estará subestimado la resistencia y en el caso que se encuentre en esfuerzos menores (menor profundidad) se estará sobreestimado la resistencia.

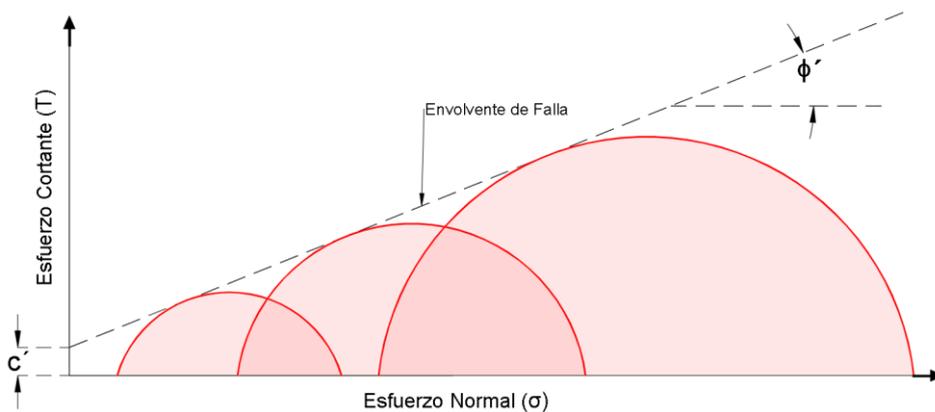


Fig. 3.19. Envolvente de falla de arcilla saturada a diferentes profundidades.



3.12.1.2 Parameters (Parámetros)

Contiene los parámetros de rigidez y resistencia del modelo de suelo. Dependerá del tipo de modelo seleccionado y de las condiciones de drenaje. Entre los más destacados está el módulo de Young y el coeficiente de Poisson para el caso que se utilice el modelo constitutivo Mohr-Coulomb. Y en el caso que se utilice el modelo Soft Soil se precisará de información de λ^* , κ^* , c' , ϕ' .

3.12.1.3 Groundwater (Agua subterránea)

Los parámetros de flujo son considerados debido a que se trabaja con problemas que implican flujos de agua intersticial en suelos saturados o no saturados, es decir, cuando se considera agua subterránea, consolidación o flujo-deformación total. En el caso de estudio se supone análisis por consolidaciones de las capas de suelo, por lo tanto, el parámetro más relevante es la permeabilidad del suelo para que ocurra este proceso.

En el caso de los materiales finos se realizaron ensayos de permeabilidades en donde se determinó su valor característico para cada estrato.

Mientras que para los materiales granulares los valores fueron asumidos de acuerdo a lo recomendado en el Manual de Referencias de (PLAXIS, 2020). El conjunto de datos utilizados para determinar los valores de permeabilidad de este tipo de materiales es USDA, un sistema internacional de clasificación de suelo, que utiliza el modelo Van Genuchten que proporciona resultados razonables para succiones bajas e intermedias, para datos muy altos de succión, la saturación se mantiene en saturación residual. Dentro de este sistema se incluye los datos de arenas como se indica en la Tabla 3.8.

Tabla 3.8. Valores de USDA para diferentes tipos de suelos.

Tipo de Suelo	K_{sat} (m/día)
Arena	7.13
Arena Arcillosa	3.5
Limo Arenosa	1.06
Lao	0.25
Limo	0.6
Lao Limoso	0.108
Lao arcilloso arenoso	0.314
Lao Arcilloso	0.624
Lao arcilloso limoso	0.168
Arcilla arenosa	0.288

Fuente: (PLAXIS, 2020)



3.12.1.4 Initial (Preliminar)

Usando modelos avanzados con es el modelo de Soft Soil, se debe determinar la tensión inicial de preconsolidación. En el caso de los materiales finos donde se ha optado por utilizar esta propiedad se debe colocar el valor de OCR.

El resto de parámetros dentro de la descripción de los materiales como peso saturado, no saturado, relación de vacíos, módulos de Young, parámetros de resistencia, parámetros de flujo, OCR, se presentarán posteriormente del procesamiento de información de la perforación.

3.12.2 Mesh (Malla)

Una vez finalizado el proceso de modelación de la geometría, la generación de una malla de elementos finitos es un paso de suma importancia entre las definiciones geométricas y las etapas de construcción del modelo. La geometría debe dividirse en elementos finitos para realizar los cálculos sobre estos elementos. En PLAXIS la generación de la malla es basado en un robusto procedimiento de triangulación, este proceso tiene en cuenta la estratigrafía del suelo y todos los objetos estructurales, cargas y condiciones de contorno que se ha ingresado. El número de elementos de la malla depende de la geometría del suelo, por lo que, para el proyecto en los suelos cercanos al terraplén se ha seleccionado un tamaño de malla fino como valores como los que se indica en la Tabla 3.9.

Tabla 3.9. Tamaño de Malla PLAXIS.

Distribución de Elementos	r_e
Muy gruesa	2.00 (30 - 70 elementos)
Gruesa	1.33 (50 - 200 elementos)
Mediana	1.00 (90 - 350 elementos)
Fina	0.67 (2500 - 700 elementos)
Muy Fina	0.50 (500 - 1200 elementos)

Fuente: (PLAXIS, 2020)

3.12.3 Staged Constructions (Etapas constructivas)

En la construcción de obras civiles, los proyectos viales son divididos en etapas, por lo que PLAXIS permite al usuario especificar un estado que debe alcanzar en cada fase de cálculo. Los cálculos de elementos finitos pueden dividirse en varias fases de automatización secuenciales, cada fase de procesamiento corresponde a una determinada carga o etapa de



construcción. El usuario debe seleccionar al menos el tipo de cálculo y el tipo de carga para cada nueva fase, PLAXIS proporciona valores por defecto convenientes para la mayoría de los parámetros de control de cálculo.

Los modos de construcción pueden definirse como condiciones de flujo o construcciones por etapas, la primera fase (Initial phase) es el cálculo que realiza en el campo de tensiones iniciales para la geometría inicial mediante el procedimiento de carga por gravedad. Alternativamente, se puede indicar que estos cálculos solo incluyan el nivel freático.

En el presente proyecto se propone la evaluación mediante 2 fases, la primera que considera la deformación plástica y en la segunda se calculará las deformaciones por consolidación siendo lo más recomendable escoger el tipo de carga la opción de mínimo de exceso presiones de poro para suelos saturados del tipo arcillosos, para ello (PLAXIS, 2020) recomienda que el valor mínimo al que debe llegar el exceso de presión de poro sea $IP-Stop1 = 1$ para garantizar que todos los estratos de suelo tengan este valor único.

3.13 Determinación de Parámetros Geomécánicos

En base a los criterios mostrados en las secciones anteriores, se han definido las propiedades de resistencia y rigidez de los diferentes horizontes estratigráficos de la sección de análisis, los parámetros de campo, de laboratorio y de las correlaciones propuestas por los siguientes autores: (Schnadi & Odebrecht, 2018), (Sorensen & Okkels, 2013), (Stroud & Butler, 1975), (Look, 2007) y (Briaud, 2013) mencionados en la Tabla 3.10.

Para las propiedades del material de relleno que conforman los terraplenes se ha adoptado un valor de ángulo de fricción de $\phi=33^\circ$, y una intercepción de la cohesión de $c'=5$ kPa definido a partir de ensayos de laboratorio del Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTOPE, 2020) y verificados con lo especificado en la Normativa (Department of Transport and Main Roads, 2020), confirmando que son valores característicos de este tipo de materiales.

Tabla 3.10 Parámetros obtenidos mediante la perforación PPE-17.

Prof. top (m)	Prof. (m)	N _{SPT} orig	SUCS	FC (%)	wc (%)	LL (%)	OCR (Lab-Ado)	CR (Lab)	RR (Lab)	γ (seco) (kN/m ³)	γ (saturado) (kN/m ³)	Material	Ángulo de Fricción	Cohesión / Su (kPa)	φ'	c'	Descripción c' y φ	Módulo Young (MPa)	Descripción módulo	OCR	CR	RR	λ*	κ*	Descripción CR y RR	k (m/s)	ky (m/day)	kx (m/day)					
0.00	0.50		SC							17.0	18.0	Arena 1	33	0.0			Obtenido de la correlación de Schnaid et al. (2009) a partir del valor de N1,60 para este tramo.	15.6	Obtenido mediante la correlación del número de golpes con el módulo de Young de acuerdo a Briaud (2013).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
0.50	1.00	13	SC	21	15	31				17.0	18.0																						
1.00	1.50									16.0	17.0																						
1.50	2.00									16.0	17.0																						
2.00	2.50	13	SM	38	33	55				16.0	17.0	Arcilla 1	0.00	29.1	25.7	5.8	Promedio de los ensayos de compresión simple realizados en este tramo y de la correlación Sorensen KK, Okkels N (2013)	8.0	Valor típico para materiales de grano fino de consistencia blanda a firme de acuerdo a Look (2007).	2.54	0.19	0.038	0.0825	0.0331	Valor determinado del ensayo de consolidación de la perforación PP-E-17 a esta profundidad	1.08E-09	0.00009315	0.00027945					
2.50	3.00						0.57	0.17	0.029	16.0	17.0																						
3.00	3.50	14	CH	38	44	62				16.0	17.0																						
3.50	4.00									16.0	17.0																						
4.00	4.50	34	SC	35	34	48				17.0	18.0																						
4.50	5.20	100	SM	39	39	41				17.0	18.0																						
5.20	5.30	100	SW/SP-SM	31	20	0				17.0	18.0																						
5.30	6.00									17.0	18.0																						
6.00	6.30	100	SW/SP	5	23	0				17.0	18.0																						
6.30	7.00									17.0	18.0	Arena /Grava 1	35	0.0			Obtenido de la correlación de Schnaid et al. (2009) a partir del valor de N1,60 para este tramo.	30.8	Obtenido mediante la correlación del número de golpes con el módulo de Young de acuerdo a Briaud (2013). Conservadoramente, se adoptó el menor valor reportado.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-				
7.00	7.50	19	GM	47	38	67				17.0	18.0																						
7.50	8.00									17.0	18.0																						
8.00	8.50	24	SM	48	35	49				17.0	18.0																						
8.50	9.00									17.0	18.0																						
9.00	9.50	60	SM	19	31	44				17.0	18.0																						
9.50	10.00									16.0	17.0																						
10.00	10.50	42	MH	72	40	64	1.50	0.13	0.025	16.0	17.0	Limo 1	0	160.3	20.3	32.1	Obtenido de la correlación de N60 a Su propuesta por Stroud y verificada para el proyecto (Su=4*N60) y de la correlación de Sorensen KK, Okkels N (2013)	30.0	Valor típico para materiales de grano fino de consistencia muy rígida de acuerdo a Look (2007).	1.50	0.13	0.025	0.0565	0.0213	Valor medio del conjunto de datos del análisis estadístico	7.30E-10	0.0000631	0.0001893					
10.50	11.00									16.0	17.0																						
11.00	11.20	100	SM	40	37	34				17.0	18.0																						
11.20	12.00									17.0	18.0																						
12.00	12.50									17.0	18.0																						
12.50	13.00	78	SW/SP	4	26	0				17.0	18.0	Arena 2	36.0	0.0			Obtenido de la correlación de Schnaid et al. (2009) a partir del valor de N1,60 para este tramo.	60.0	Valor típico para materiales de arenas a gravas de compacidad densa de acuerdo a Look (2007).	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
13.00	13.50						0.66	0.08	0.007	17.0	18.0																						
13.50	14.00	9	SM	40	46	48				17.0	18.0																						
14.00	14.50									17.0	18.0																						
14.50	15.00						1.00	0.16	0.029	16.0	17.0																						
15.00	15.50	28	CH	54	51	73		0.24	0.04	16.0	17.0	Arcilla 2	0	109.5	19.5	21.9	Obtenido de la correlación de N60 a Su propuesta por Stroud y verificada para el proyecto (Su=4*N60) y de la correlación de Sorensen KK, Okkels N (2013)	25.0	Valor típico para materiales de grano fino de consistencia rígida a muy rígida de acuerdo a Look (2007).	1.20	0.23	0.039	0.1016	0.0338	Valor promedio de los ensayos de consolidación de la PP-E-17 a esta profundidad	5.55E-10	0.00005	0.00014					
15.50	16.00									16.0	17.0																						
16.00	16.50						0.92	0.31	0.047	16.0	17.0																						
16.50	17.00	100	CH	54	46	73				16.0	17.0																						
17.00	17.50									16.0	17.0																						
17.50	18.00									16.0	17.0																						
18.00	18.50									16.0	17.0	Arcilla 3 - Limolita	0	378.4	21.1	37.8	Obtenido de la correlación de N60 a Su propuesta por Stroud y verificada para el proyecto (Su=4*N60) y de la correlación de Sorensen KK, Okkels N (2013)	50.0	Valor típico para materiales de grano fino de consistencia dura de acuerdo a Look (2007). Verificado con los módulos obtenidos en muestras de estos materiales en otros sitios.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18.50	19.00									16.0	17.0																						
19.00	19.50									16.0	17.0																						
19.50	20.00	96	MH	50	34	56				16.0	17.0																						



4 RESULTADOS

En el siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos de las diferentes metodologías descritas en capítulos anteriores dando respuesta a los objetivos planteados del proyecto. Los resultados serán descritos de acuerdo al orden de los métodos propuestos, a la necesidad de la implementación del modelo para el cálculo de los asentamientos y el análisis de sensibilidad.

4.1 Resultados del Análisis Estadístico

Como se indicó anteriormente, dentro del proyecto vial Acceso Sur de la ciudad de Cuenca existen varias perforaciones (22), de donde se obtuvieron los valores de CR y RR de los limos y arcillas encontrados (Tabla 3.6 y Tabla 3.7). Para los estratos conformados por materiales de este tipo de suelos, donde no se cuente con información de laboratorio, se utilizará como valores referenciales de CR y RR, a la media de los valores disponibles.

A partir de la media muestral, se establecerá el rango de confianza (95%) que defina a la media poblacional, rango que a su vez será empleado para realizar el análisis de sensibilidad que determinará la variabilidad en los resultados del cálculo de asentamiento. Esto otorgará elementos de juicio al ingeniero proyectista, para que puede tomar decisiones fundamentadas que le permitan definir las mejores soluciones para el problema de asentamientos de los terraplenes, permitiéndole asumir valores en estratos donde no se cuente con información.

De esta manera, el presente trabajo definirá los valores de variación de los parámetros CR y RR, para realizar cálculos adecuados en estratos donde no se cuente con información obtenida de manera directa mediante ensayos de laboratorio. Estos resultados serán aplicables para el tramo de estudio del proyecto vial Acceso Sur, dando la posibilidad de ampliarse con mayor información estadística, que conlleve a establecer recomendaciones a nivel local y regional.

Mediante la aplicación de las metodologías descritas en el acápite 3.11 “Análisis Estadístico de CR y RR” los resultados determinados por el diagrama de cajas, intervalo de confianza y test de Kolmogorov – Smirnov, establecen los rangos de valores con los que se realizará el análisis de sensibilidad.

4.1.1 Diagrama de Cajas

En la Fig. 4.1 se indican los diagramas de caja de los índices de compresibilidad y recompresión, tanto de las arcillas como de los limos, donde se puede observar que los datos para las arcillas no presentan valores atípicos; en el caso de los limos se presenta un valor dudoso (0.25), por lo cual, se puede considerar de dos tipos, valor atípico o valor sospechoso, aplicando el criterio de (Devore, 2008), el dato presenta un valor menor a 3 veces el IQR y es clasificado como sospechosos, por lo tanto se opta por no eliminar el valor. Finalmente, los datos de cada muestra se aceptan en su totalidad.

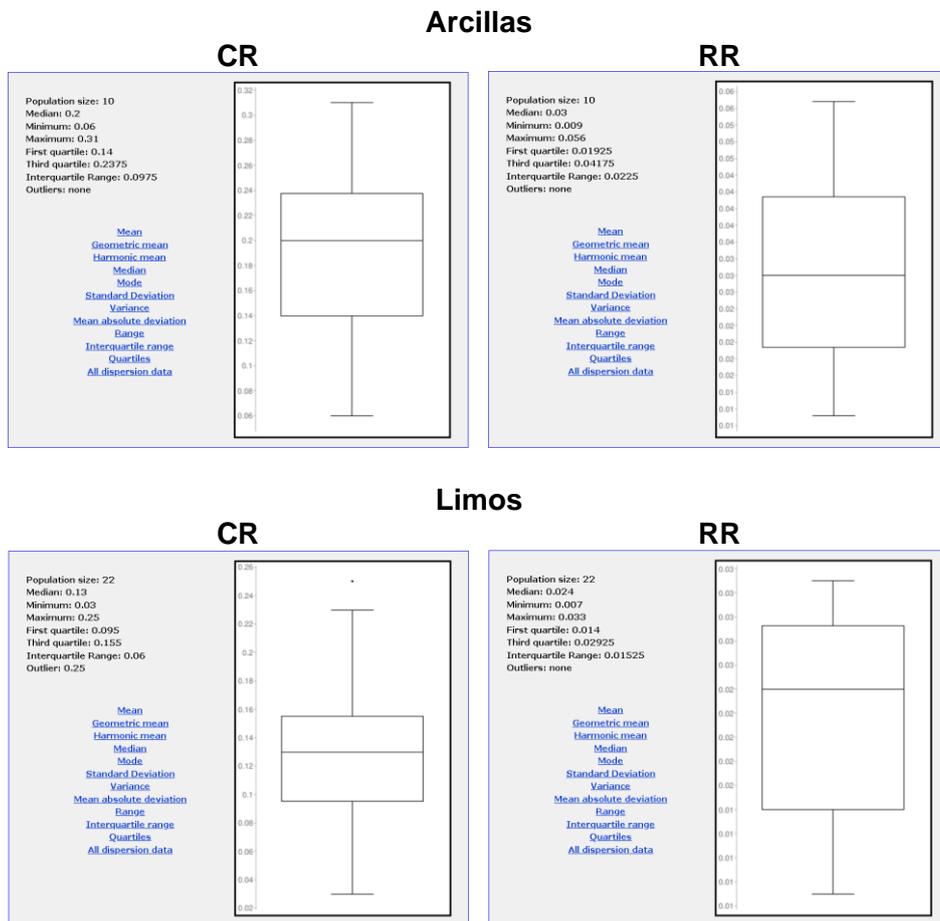


Fig. 4.1. Diagrama de Caja para Arcillas y Limos.

4.1.2 Test K-S

Mediante la prueba de bondad de ajuste K-S se ha demostrado que se acepta la normalidad de los datos analizados para las arcillas y limos como se muestra en la Tabla 4.1 donde se presenta un resumen de los valores del estadístico de contraste D_t tanto para la distribución hipotética como para la distribución empírica. Además, un valor del R^2 de los datos analizados, este valor se encuentra muy cercano a 1 en el caso de arcillas y limos, por lo tanto, es mejor



el ajuste del modelo a sus datos, lo que evidencia y concluye que el ajuste del modelo a sus datos es adecuado y tienen un comportamiento normal.

Tabla 4.1. Resumen de Test K-S.

Arcillas					
	n	D ($\alpha =95\%$)	Dt	Dt<D	R ²
CR	10	0.40925	0.1298	Acepta	0.941
RR	10	0.40925	0.1273	Acepta	0.947
Limos					
CR	22	0.28087	0.1408	Acepta	0.962
RR	22	0.28087	0.1160	Acepta	0.942

4.1.3 Intervalo de Confianza Media Poblacional

Una vez verificado que los datos de CR y RR para arcillas y limos no tengan valores atípicos, se obtiene los intervalos de confianza, con límites de confianza inferior y superior que definen a la media poblacional. A partir de la media muestral, se definirá el rango en donde se encontrará la media poblacional con un 95% de nivel de confianza. La distribución utilizada para la determinación del IC es T-student para un intervalo de datos pequeño (menor a 30) (Lind et al., 2014). En la Tabla 4.2 se indica los intervalos de confianza para los índices de compresibilidad y recompresión para arcillas y limos.

Tabla 4.2. Intervalos de Confianza.

	CR	RR
Arcillas	(0.14, 0.24)	(0.02, 0.04)
Limos	(0.11, 0.15)	(0.02, 0.03)

Estos rangos determinados por medio del análisis estadístico, han sido verificados con lo recomendado por (Ameratunga et al., 2016). La Tabla 4.3 muestra los valores de CR o RR clasificándoles como materiales muy poco compresibles hasta muy compresibles. Con lo que se valida que los rangos determinados mediante el intervalo de confianza son valores coherentes para este tipo de materiales. Para el rango de RR tanto para arcillas y limos los valores son menores a 0.05, por lo que se encuentra en la clasificación “muy poco compresible”, que significa que son valores poco deterministas en el asentamiento, y el intervalo CR de la Tabla 4.2 se encuentra entre una clasificación moderadamente a altamente compresible.

Tabla 4.3. Clasificación basada en la compresibilidad del suelo CR y RR

Descripción	CR o RR
Muy poco compresible	<0.05
Ligeramente compresible	0.05–0.10
Moderadamente compresible	0.10–0.20
Altamente compresible	0.20–0.35
Muy altamente compresible	>0.35

Fuente: (Ameratunga et al., 2016)

4.2 Estabilidad Global del Terraplén

En el terraplén en estudio del proyecto vial Acceso Sur a Cuenca se realizó el análisis por el estado límite de falla mediante modelos de equilibrio límite. Con las propiedades presentadas en la Tabla 3.10, considerando una configuración de terraplén con pendiente 2H:1V, berma a 6 m de altura y en el caso del análisis pseudoestático, el coeficiente horizontal de sismo k_h ($T_r=475$ años), para la condición temporal y permanente para un suelo Tipo B es de 0.15 y 0.075 respectivamente establecido para el Proyecto Acceso Sur a Cuenca (MTO, 2020). Se ejecutó el análisis de equilibrio límite, encontrado como resultado lo presentado en la Fig. 4.2 y Fig. 4.3. Se puede observar que las secciones de análisis no cumplen con lo recomendado en la NEC-15 para los factores de seguridad estáticas ($FS > 1.50$), ni pseudoestáticos ($FS > 1.05$).

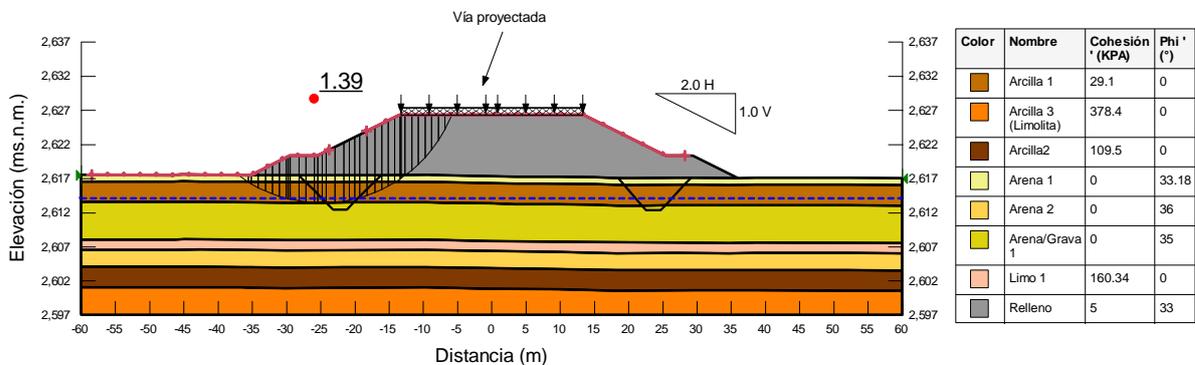


Fig. 4.2. Condiciones Estáticas.

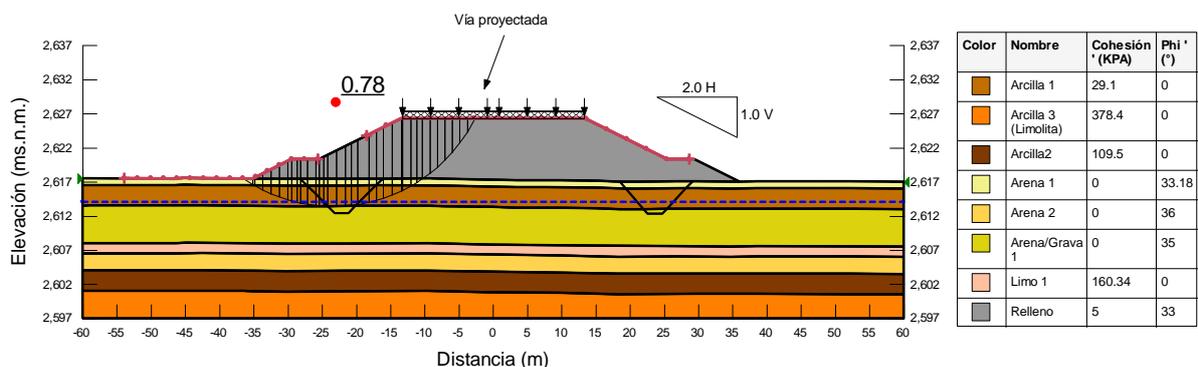


Fig. 4.3. Condiciones Pseudoestáticas

Por lo que, se considera medidas de estabilización que brinden a los terraplenes las condiciones adecuadas. Entre las medidas adoptadas se propone que para la sección 11+530 se prevea la construcción de pedraplenes por debajo de la punta del terraplén con pendientes de 1H:1V y una profundidad de 5 m, ya que la falla se produce en el estrato de arcillas, esta medida garantizará que el terraplén se mantenga estable y cumpla con el equilibrio como se indica en la Fig. 4.4 y Fig. 4.5. En la Tabla 4.4 se muestra de manera resumida lo obtenido mediante el análisis de equilibrio al límite tanto para las condiciones actuales como las proyectadas con la medida de mejora.

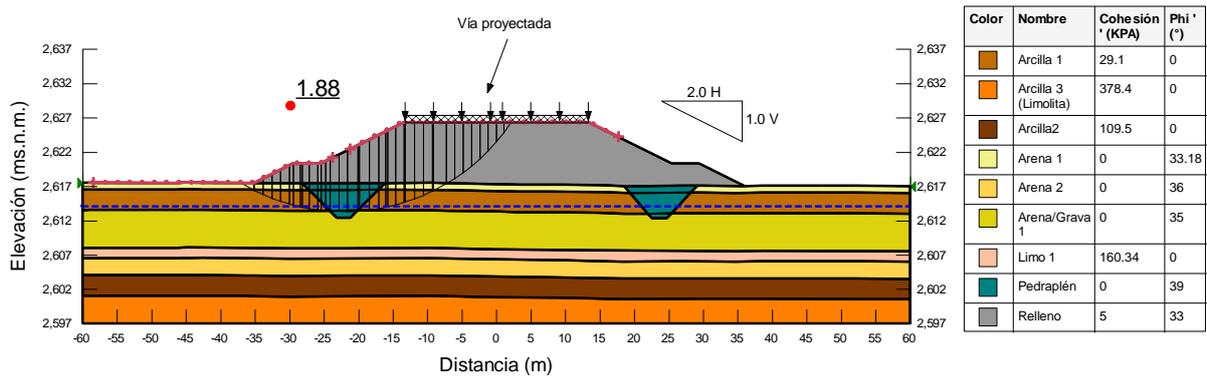


Fig. 4.4. Condiciones Estáticas. Pedraplén

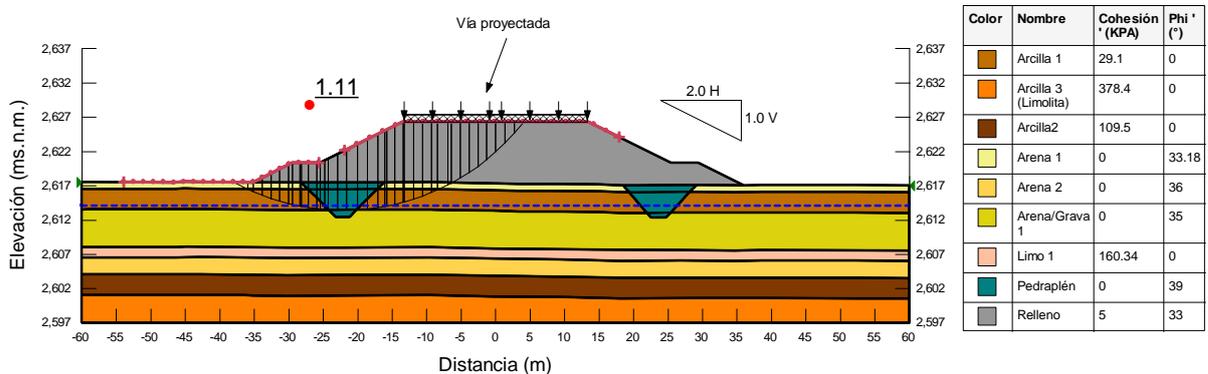


Fig. 4.5. Condiciones Pseudoestáticas. Pedraplén

Tabla 4.4. Análisis de Estabilidad.

Sección de Análisis	Hterraplén (m)	Factor de Seguridad			
		Condición Actual		Condición Medidas de Mejora	
		Estático	Pseudoestático	Estático	Pseudoestático
11+530	9	1.39	0.78	1.88	1.11

4.3 Implementación del Modelo de Elemento Finitos

En la Fig. 4.6 se presenta la geometría del terraplén de la sección de análisis 11+530 (PPE-17) y el suelo de fundación que se utilizará en PLAXIS. El problema es simétrico por lo que en el modelo se implementó la mitad de terraplén (en este caso la mitad derecha), el mismo

comportamiento presenta la otra parte del terraplén con condiciones simétricas tanto en la estratigrafía, como espesores y propiedades, además se indica tres puntos de análisis en donde se evaluaron los resultados de asentamientos.

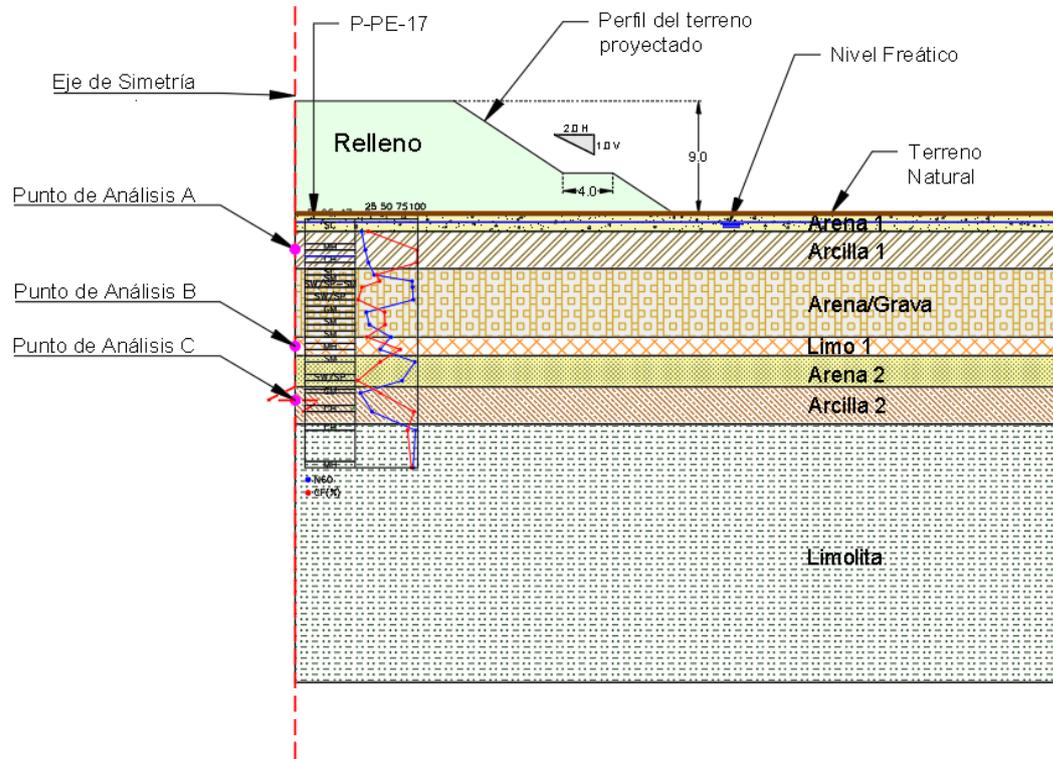


Fig. 4.6. Geometría para cálculo de Asentamientos.

La perforación realizada en la zona de estudio se indicó en el Anexo 2 y en la Fig. 4.7 se presenta esquemáticamente la estratigráfica con la que se obtuvo el perfil del suelo de fundación, además, las muestra en donde se elaboraron los ensayos respectivos para obtener las características geomecánicas de cada material, elaborar el modelo de elementos finitos del suelo y obtener los resultados de asentamientos, análisis de sensibilidad y variación de los parámetros.

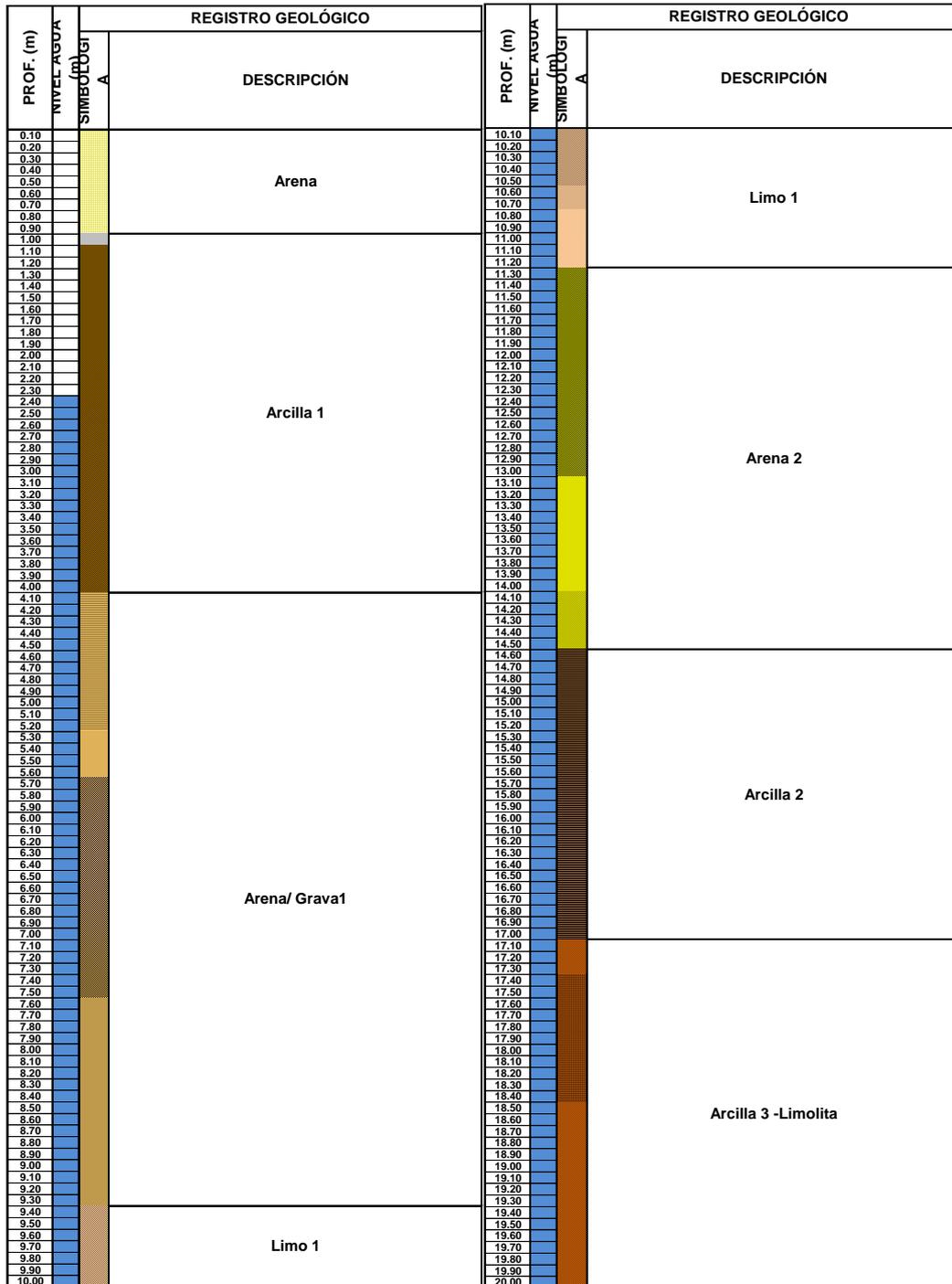


Fig. 4.7. Grafica de las estratigrafías.

En la Tabla 4.5. se presenta un resumen de los datos que se ingresaron al modelo de PLAXIS entre los que se puede mencionar, el tipo de modelo utilizado, los parámetros del suelo como peso específico, módulo de Young, relación de vacíos, cohesión, ángulo de fricción, entre otros, obtenido de las perforaciones por diferentes metodologías.

Tabla 4.5. Parámetros de suelo adoptado. P-PE-17

P-PE-17			ESTRATO						
			Arena 1	Arcilla 1	Arena 2	Limo 1	Arena 3	Arcilla 2	Limolita - Limo 3
ESPESOR			1	3	3	2	3	4.5	2
MODELO			Mohr-Coulomb	Soft Soil	Mohr-Coulomb	Soft Soil	Mohr-Coulomb	Soft Soil	Mohr-Coulomb
Tipo de Drenaje			Drained	Undrained (A)	Drained	Undrained A	Drained	Undrained A	Undrained (B)
Parámetros	Nomenci.	Unidad	Parámetros						
Peso Específico Seco	γ_{sec}	kN/m ³	17	16	17	16	17	16	16
Peso Específico Saturado	γ_{sat}	kN/m ³	18	17	18	17	18	17	17
Relación de Vacíos Inicial	e_0		0.85	1.2	0.85	1.2	0.85	1.2	0.85
Módulo de Young	E_{ref}	kN/m ²	15600	8000	30800	30000	60000	25000	50000
Coefficiente Poisson	ν	-	0.3	-	0.3	-	0.3	-	0.3
Lambda	λ^*	-	-	0.0825	-	0.0565	-	0.1016	-
Kappa	κ^*	-	-	0.0331	-	0.0213	-	0.0338	-
Resis. Corte No Drenado	S_u	kPa	-	29.1	-	160.3	-	109.5	378.4
Cohesión	c^*	kN/m ²	-	5.8	-	32.1	-	21.9	378.4
Ángulo de fricción	ϕ^*	°	33	25.7	35	20.3	36	19.5	-
Permeabilidad Vertical	k_y	m/s	por defecto	1.0E-05	por defecto	1.0E-5	por defecto	1.0E-5	por defecto
Permeabilidad Horizontal	k_x	m/s	por defecto	3.0E-05	por defecto	3.0E-05	por defecto	3E-05	por defecto
Condiciones Iniciales									
k_0	-	-	por defecto	por defecto	por defecto	por defecto	por defecto	por defecto	por defecto
Razón de Sobreconsolidación	OCR	-	-	2.5	-	1.5	-	1.2	-

Algunos de los parámetros restantes utilizados en el modelo han sido determinados del Proyecto Acceso Sur a Cuenca, (2020) como la permeabilidad k_y fue estima en el proyecto mediante ensayos de laboratorio y se determinó que guarda una relación de 3 veces k_x .

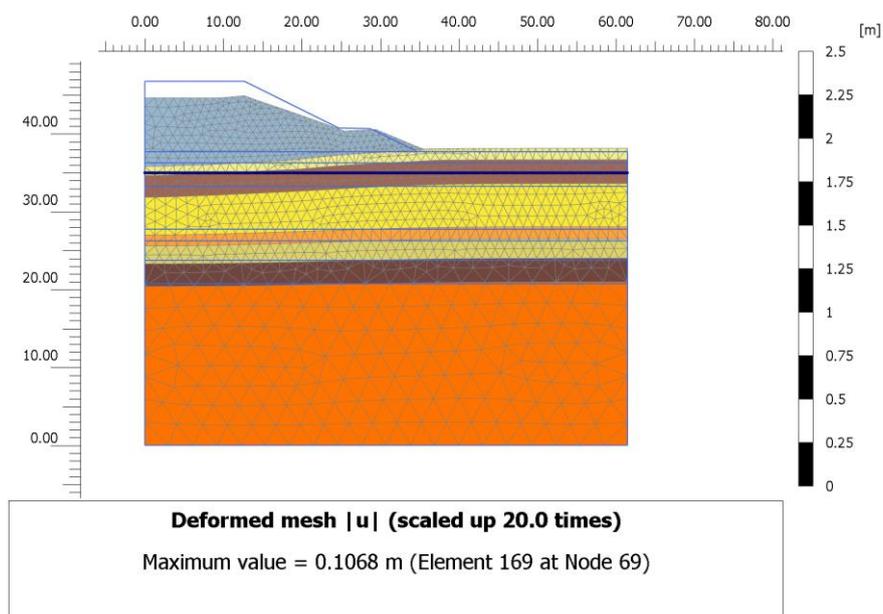
Para identificar y mostrar los diferentes resultados de cómo se produce el asentamiento y que tipo de comportamiento tiene cada de estos estratos de suelo por la presencia del terraplén, como se indicó en la Fig. 4.6, se definió puntos de análisis en los estratos del suelo blando, el punto A en un material de arcillas en la parte superficial, el segundo denominado punto B, en un material de limos y finalmente un punto C en el material de arcillas a mayor profundidad. Con los datos presentados en la Tabla 4.5 se obtienen los siguientes resultados de los asentamientos producidos en el terraplén de la zona de estudio.

4.4 Resultado de Asentamientos por medio de Modelos de Elementos Finitos

Los criterios de asentamientos en los terraplenes se definen en términos de asentamiento total admisible y asentamiento diferencial en un plazo determinado. Para la sección del terraplén en análisis, se considera que se construirá en tramos sucesivos de 500 m de longitud y con la configuración indicada en la Fig. 4.6. Para el terraplén en estudio, por lo tanto, se proyecta un tiempo de construcción de 18 meses, tiempo en el cual, los resultados siguientes mostrarán si el terraplén cumple con lo indicado según la normativa.

Como existen suelos blandos en el suelo de fundación del terraplén, lo más recomendable es que se utilicen etapas para la construcción, esto con el fin de permitir que la resistencia del suelo aumente gradualmente y asegurar una adecuada disipación de presión de agua de poro.

Para simular el asentamiento que sufrirá el terraplén es necesario un primer cálculo, que consiste en un tipo de cálculo plástico en el que no fue necesario tener en cuenta el cambio de la presión de poros con el tiempo. El asentamiento calculado en la primera fase propuesta, da como resultado un desplazamiento máximo de 0.11 m en la parte superior del terraplén como se muestra en la Fig. 4.8, indicando la deformación de la malla y la deformación total (Δy) que representa el desplazamiento vertical para el terraplén. Estos desplazamientos se activan para simular la hendidura de la cimentación, en una primera aproximación.



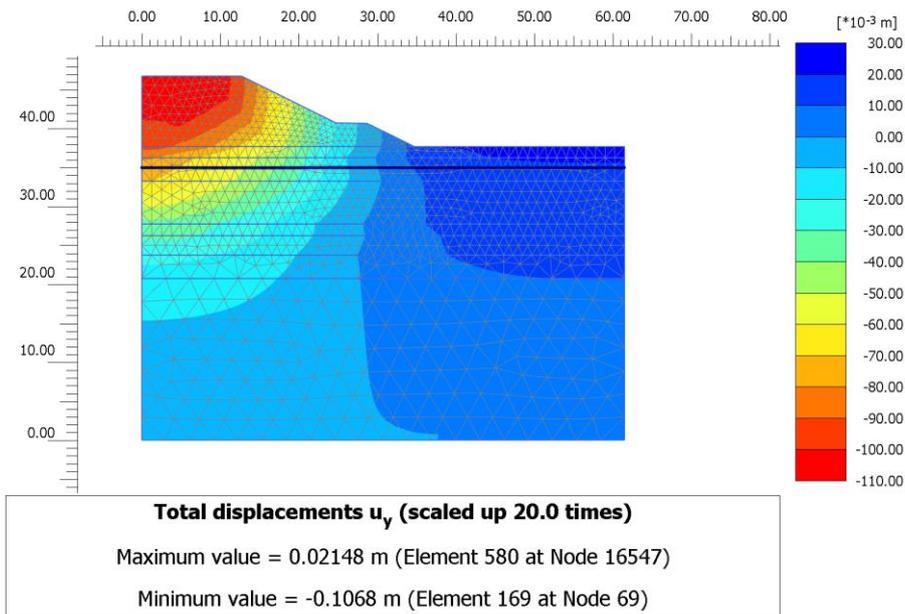


Fig. 4.8. Asentamiento en fase inicial (Phase 1).

Como el objeto del trabajo es el análisis de los asentamientos a largo plazo, se simula el tipo de cálculo por consolidación para la segunda fase teniendo como resultado un desplazamiento de 0.42 m en Δy en la parte superior del terraplén como se muestra en la Fig. 4.9. Este proceso ha sido realizado después del cálculo plástico no drenado, se evidencia que las capas de suelo se asientan progresivamente, ya que los esfuerzos verticales aumentan y la presión de agua de poro se disipa lentamente.

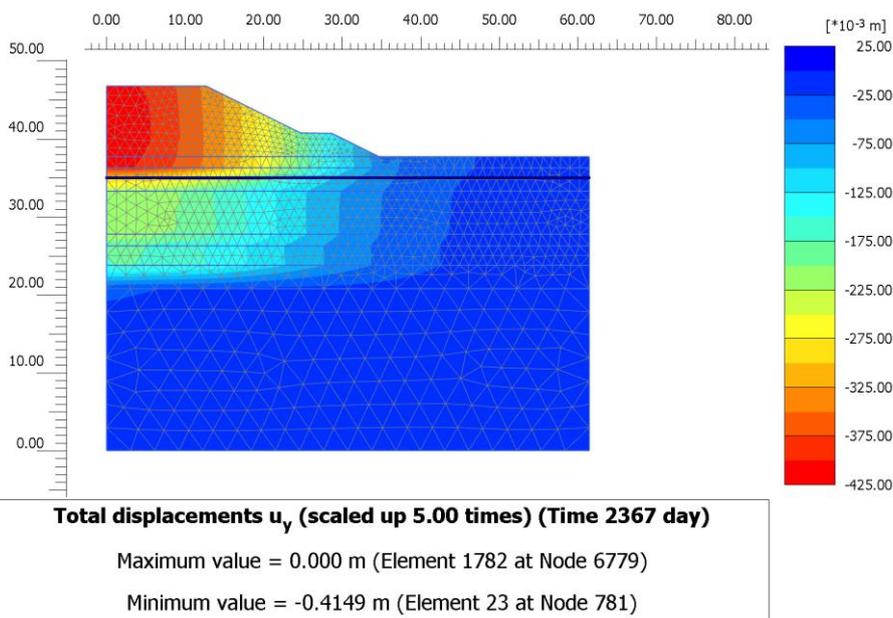
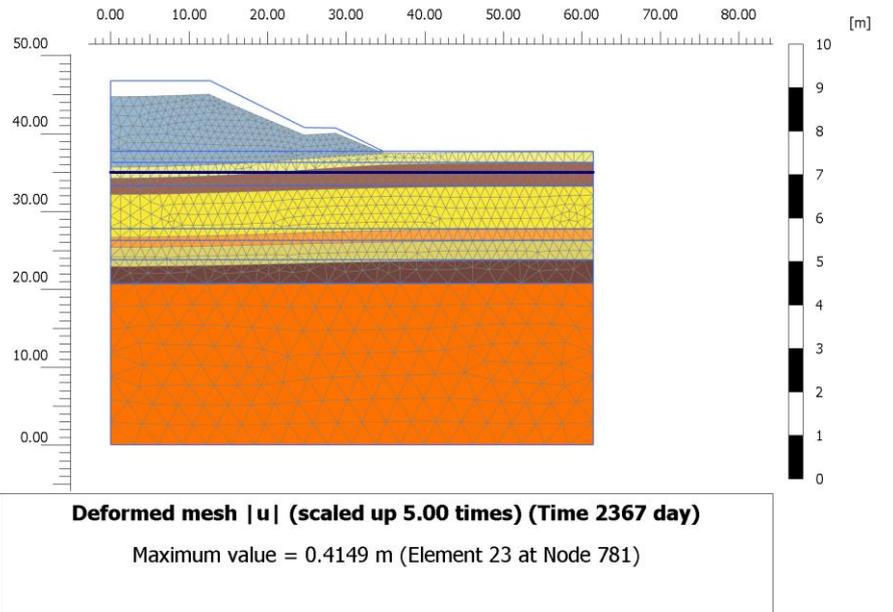


Fig. 4.9. Asentamiento en fase 2 (Phase 2).

4.4.1 Exceso de Presión de Poro

En la Fig. 4.10 se presenta el exceso de presión de poro para la fase 1 en la que se puede observar que existe un mayor exceso de agua intersticial presente en las capas de los materiales finos a diferencia de los suelos permeables que conserva valores mínimos. Esta fase es un proceso inmediato por lo que, la presión de poro en los materiales de arcilla y limos es superior a 120 kN/m^2 y se ubica en la zona central del terraplén debido a que la tensión

vertical es mayor en el eje de simetría y es producto de la carga del terraplén, la presión de poro disminuye la magnitud hacia la derecha a medida que la carga generada por el terraplén es menor.

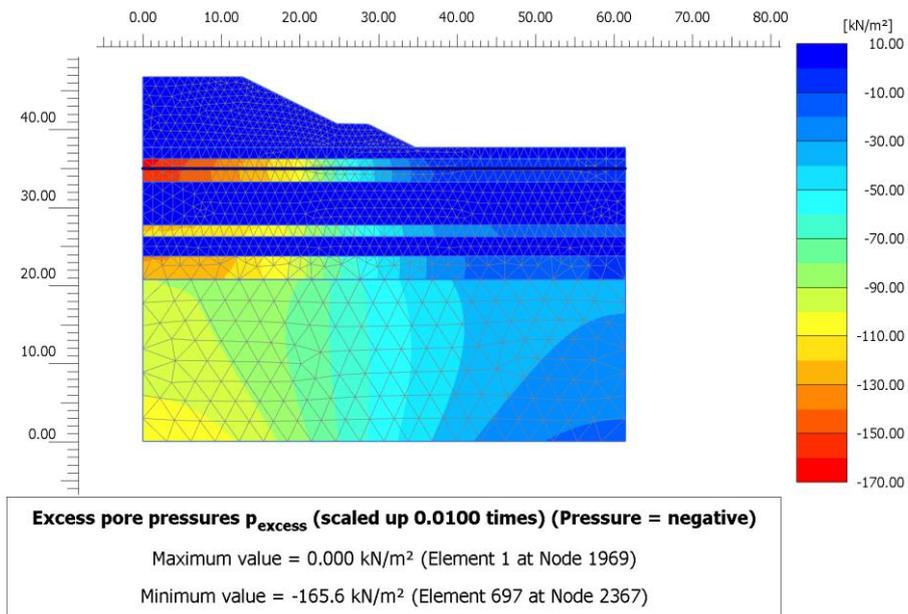


Fig. 4.10. Exceso de presión de poro Phase 1, Punto A.

Para la fase 2, en la Fig. 4.11 se muestra como el exceso de presión de poros disminuye por debajo del valor mínimo (1 kN/m²) recomendado por PLAXIS. En los estratos de material fino que ha drenado todo el exceso de agua intersticial, se asume que el suelo está en condiciones drenadas.

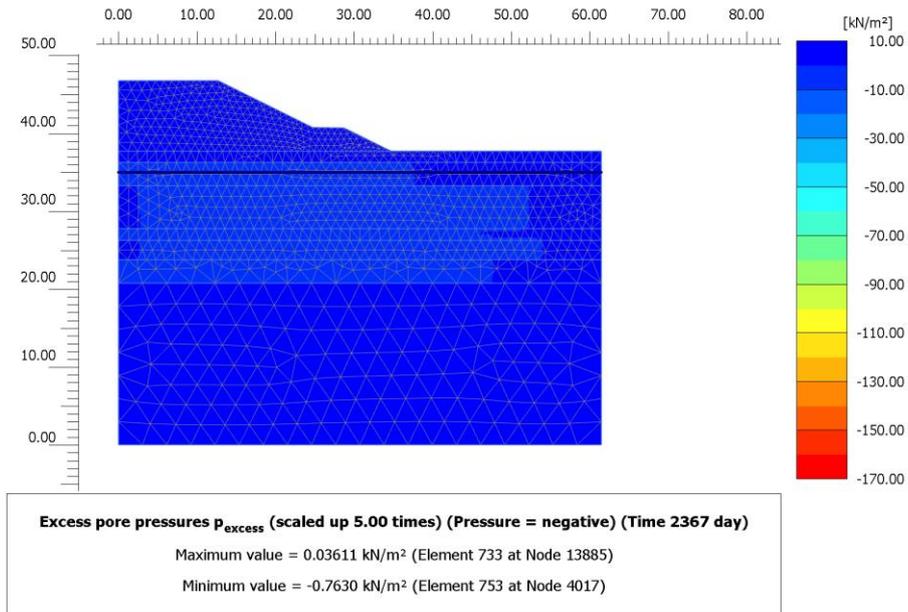


Fig. 4.11. Exceso de presión de poro Phase 2.

La Fig. 4.12 representa a la curva de exceso de presión de poro en el punto A de las arcillas, se puede observar que cuando se produce los asentamientos inmediatos debido a la construcción del terraplén se tiene un P_{excess} de 162.89 kN/m² y en cuanto se empieza a producir la consolidación, la presión de agua de poro disminuye hasta el valor mínimo en un tiempo de 1475 días, aproximadamente.

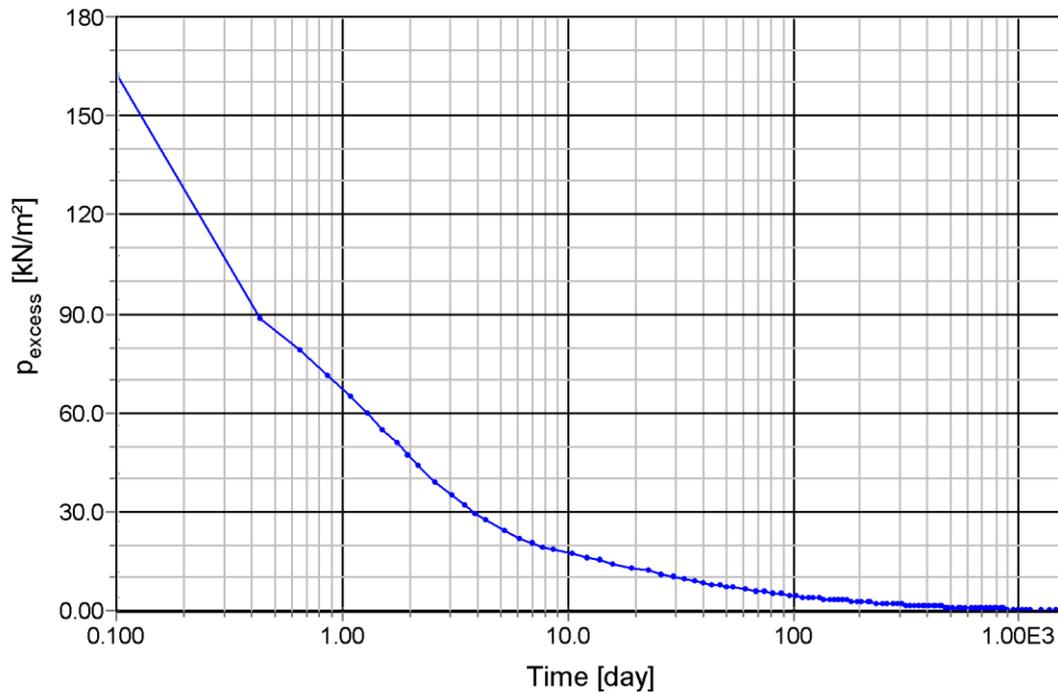


Fig. 4.12. Curva de P_{excess} Arcilla.

4.4.2 Curva de Consolidación

En la Fig. 4.13 se muestra la curva de deformación vertical (Δy) de los puntos de análisis (A, B y C), el tiempo en el que tarda en consolidarse completamente el suelo de fundación cuando el exceso de presión de agua de poro se disipa por efecto del terraplén es 3 años aproximadamente, con un desplazamiento de 0.37 m en el punto A. En el punto B del estrato de limo, el asentamiento producido es de 0.21 m, menor que en el punto A, debido a que no se considera el desplazamiento producido en las capas superiores de arenas y arcillas, de igual manera el desplazamiento producido en la Arcilla 2 no considera las capas superiores con un valor de asentamiento de 0.13 m.

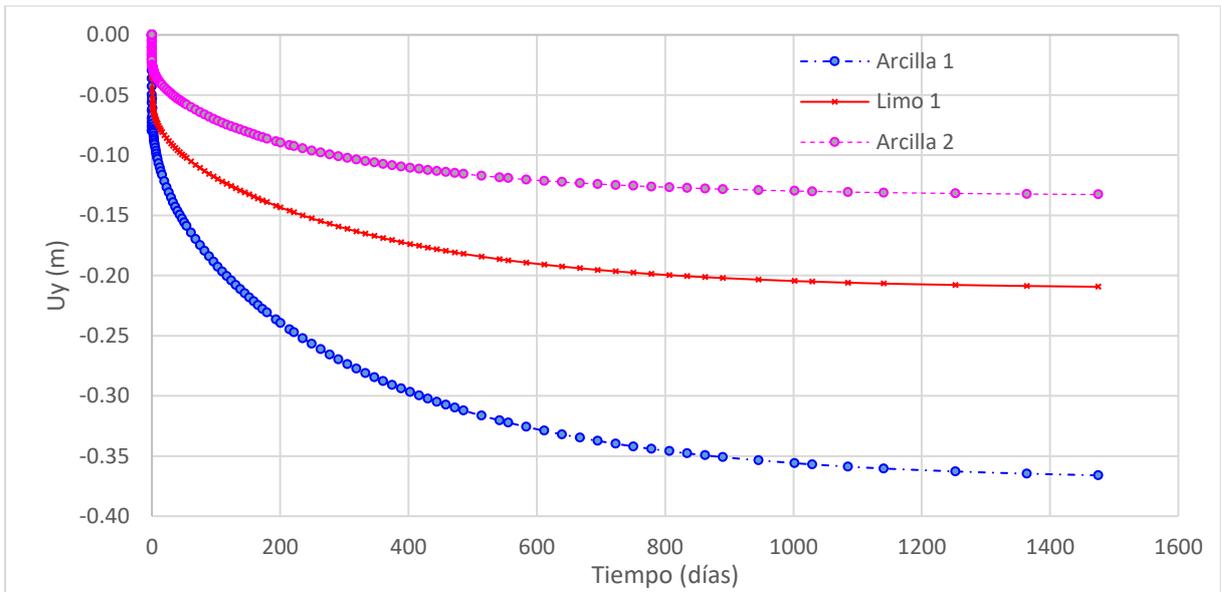


Fig. 4.13. Curvas de Consolidación.

4.4.3 Asentamiento Permitido

En la Fig. 4.14 se indica que el asentamiento producido a los 547 días (18 meses), cuando acaba la construcción, es cercano a 0.32 m y el desplazamiento total que se genera cuando el valor de la presión de agua de poro es el mínimo es de 0.366 m en un tiempo de 1475 días.

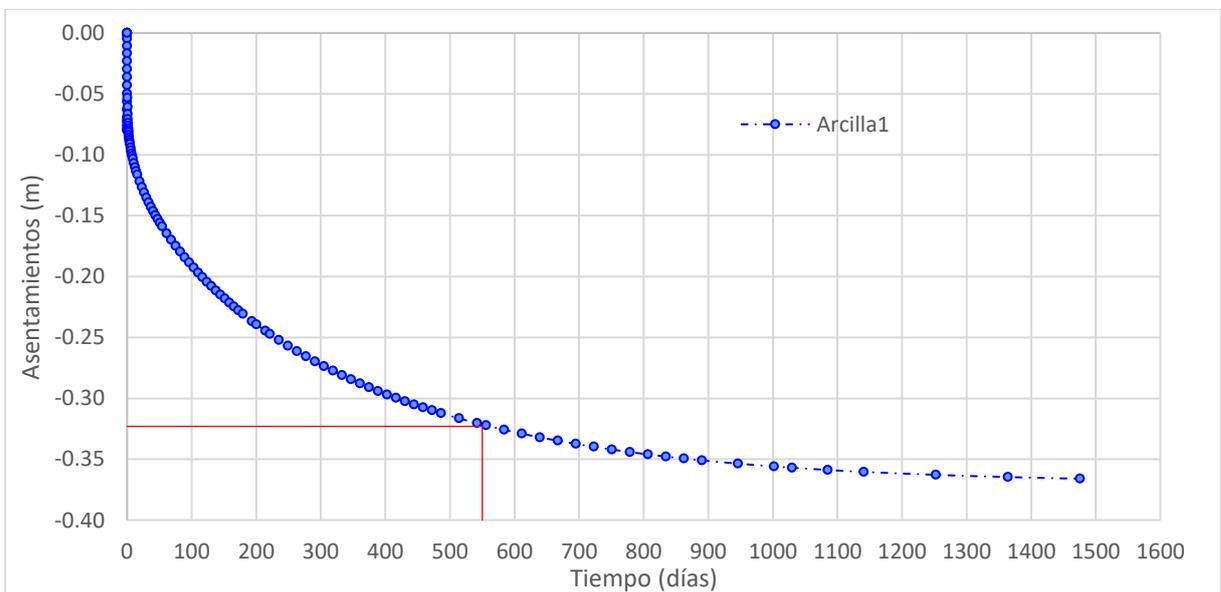


Fig. 4.14. Curva de Consolidación, asentamiento a los 18 meses.

Como se propuso que la construcción sea de 18 meses para la obra, en la Tabla 4.6, según la normativa, el asentamiento residual debe ser menor que 5 cm, en el caso del terraplén en estudio cumple el estado límite de servicio.

Tabla 4.6. Asentamientos

Sección de Análisis	Hterraplén (m)	Perforación	Asentamiento (cm)				Verificación
			Consol.	Consol. 18 meses	Asent. Residual	Asent. Residual	
11+530	9	PPE-17	36.66	32.30	4.36	< 5 cm	OK

La medida de mejora de suelo mediante la construcción del pedraplén, ha sido solo realizada para cumplir la estabilidad del terraplén principalmente en el caso pseudo-estático, al realizar el análisis de estabilidad estático sin la estructura de pedraplén no se presenta la falla, por lo tanto no fue necesario incorporar esta estructura en el análisis para el estado límite de servicio, además que las deformaciones son evaluadas en el centro del terraplén y los pedraplenes son ubicados debajo del pie del mismo y no presentan influencia.

Una vez determinado el valor del asentamiento en el terraplén y verificado que cumple con lo estipulado en la normativa, se verifica la sensibilidad que tienes los parámetros de CR y RR en el cálculo de los desplazamientos, con el rango establecido de acuerdo al tratamiento estadístico a los datos. El análisis consideró solamente el punto A ubicado en la capa de Arcilla 1 ya que esta se supone la suma de los asentamientos de cada capa.

4.5 Resultados de Análisis de Sensibilidad

El análisis planteado representa la sensibilidad de la variación de los parámetros manejados por el modelo constitutivo Soft Soil de PLAXIS, λ^* y κ^* (índices de compresión y recompresion modificados), que están en función de los índices de compresión CR y RR. Por lo cual, mediante el intervalo de confianza determinado de estos índices y las Ecuación 2.12 y Ecuación 2.13, se obtiene los valores con los que se trabaja en el software como se indica en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Valores Mínimos y Máximos de λ^* y κ^*

Material	Rango	CR	RR	λ^*	κ^*
Arcillas	Mínimo	0.14	0.02	0.061	0.014
	Máximo	0.24	0.04	0.104	0.037
Limos	Mínimo	0.11	0.02	0.048	0.016
	Máximo	0.15	0.03	0.065	0.022

En la Fig. 4.15, se muestra la salida gráfica que presenta PLAXIS para el análisis de sensibilidad. Se visualiza los criterios adoptados para la fase 2 (asentamiento por consolidación) en el punto A, donde se obtienen los desplazamientos de todas las capas de suelo, además, se presenta los rangos de máximos y mínimos de λ^* y κ^* con lo que se ha

realizado el análisis y finalmente, se presentan los valores de asentamientos determinados por cada uno de las combinaciones.

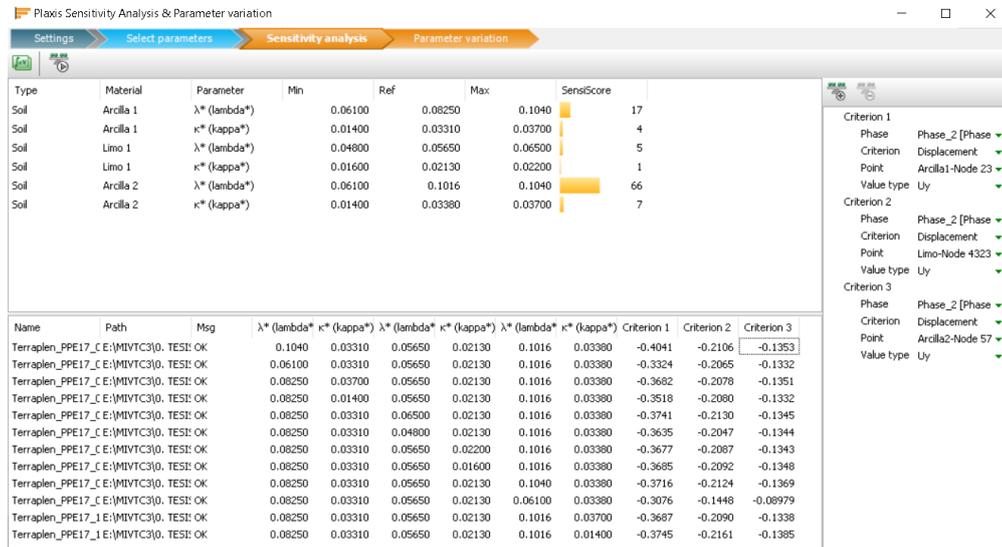


Fig. 4.15. Análisis de Sensibilidad.

El parámetro más influyente en el asentamiento es λ^* de la Arcilla 2 que se encuentra a 14 m de profundidad como se muestra en la Fig. 4.16, esto es debido a que este material presentará la mayor cantidad de esfuerzo debido a la carga de terraplén a la profundidad que se encuentra la Arcilla 2 y el índice de compresión CR está presentando mayor pendiente de compresión virgen lo que con lleva a que influya más en los asentamientos, con un porcentaje de influencia en los asentamientos de 66%, que traducido a los términos con los que se han venido utilizando para describir a los índices de compresibilidad, el parámetro más importante es el índice de compresión CR de estrato de (Arcilla 2), seguido de CR de la Arcilla 1 con un porcentaje de predominio de 16% y finalmente, la influencia de la compresibilidad de Limo es de un 6%.

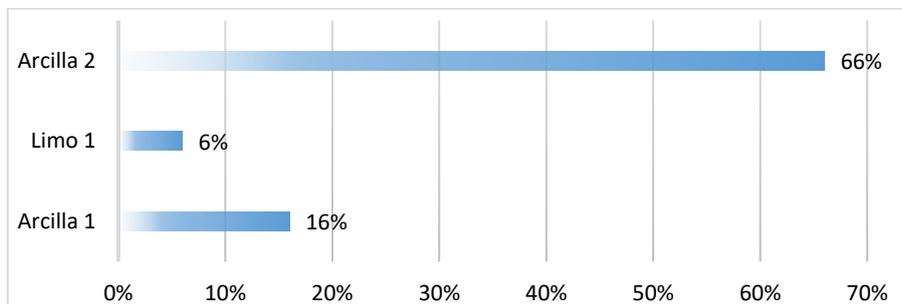


Fig. 4.16. Sensibilidad del parámetro λ^* en los estratos blandos.

El parámetro de κ^* que representa a RR (índice de recompresión) ha sido evaluado en cada estrato, pero no representan porcentualmente significancia en los asentamientos, esto es debido que el suelo se encuentra en la rama normalmente consolidada, para el caso de la

Arcilla 2 y Arcilla 1, su porcentaje de influencia es de 6% y 5%, respectivamente. El limo tiene un peso del 1% en los desplazamientos. Esto valores comparados con los determinados para el índice de compresibilidad, no son determinantes al momento del cálculo del asentamiento por consolidación en el terraplén en estudio.

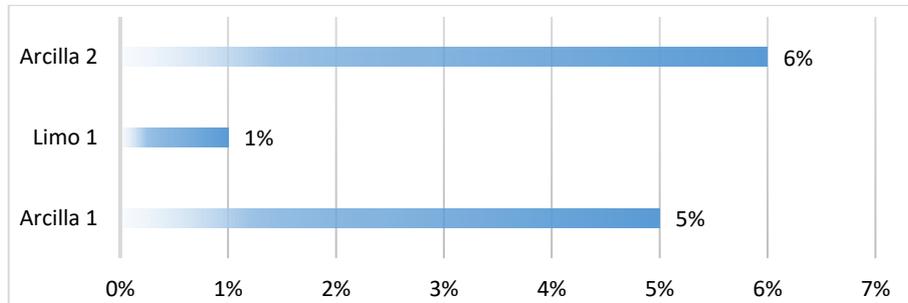


Fig. 4.17. Sensibilidad del parámetro κ^* en los estratos blandos

Para el análisis de sensibilidad, PLAXIS varía los parámetros según lo descrito en la parte teórica de este proyecto, haciendo combinaciones de un valor fijo con respecto a la variación de otro. Existiendo una gran cantidad de posibles permutaciones, sin embargo, el modelo ha determinado las variaciones en los que se encuentre resultados de asentamientos. En la Tabla 4.8 se indica cada uno de las variaciones con las que se elaboró el modelo numérico, dando un total de 12 combinaciones entre los valores de λ^* y κ^* y han sido denominadas análisis A0 a A11.

Tabla 4.8. Permutaciones λ^* y κ^*

Análisis	Arcilla 1		Limo 1		Arcilla 2	
	λ^*	κ^*	λ^*	κ^*	λ^*	κ^*
A0	0.1040	0.0331	0.0565	0.0213	0.1016	0.0338
A1	0.0610	0.0331	0.0565	0.0213	0.1016	0.0338
A2	0.0825	0.0370	0.0565	0.0213	0.1016	0.0338
A3	0.0825	0.0140	0.0565	0.0213	0.1016	0.0338
A4	0.0825	0.0331	0.0650	0.0213	0.1016	0.0338
A5	0.0825	0.0331	0.0480	0.0213	0.1016	0.0338
A6	0.0825	0.0331	0.0565	0.0220	0.1016	0.0338
A7	0.0825	0.0331	0.0565	0.0160	0.1016	0.0338
A8	0.0825	0.0331	0.0565	0.0213	0.1040	0.0338
A9	0.0825	0.0331	0.0565	0.0213	0.0610	0.0338
A10	0.0825	0.0331	0.0565	0.0213	0.1016	0.0370
A11	0.0825	0.0331	0.0565	0.0213	0.1016	0.0140

En la Fig. 4.18, se muestra los asentamientos producidos en la Arcilla 1, con cada una de las combinaciones indicadas anteriormente. Las composiciones han dado como resultado diferentes valores de asentamiento y tiempo en el que el suelo se consolida y la presión de agua de poro llega al mínimo. Se evidencia que, la permutación A0

considera el valor máximo λ^* de la Arcilla 1 (Tabla 4.7) en combinación con los valores propios de cada estrato tanto de λ^* y κ^* para los otros suelos generando 0.40 m de desplazamiento en 1524 días, siendo el mayor asentamiento producido por las combinaciones. En el análisis A10, el asentamiento es de 0.37 m y se desarrolla en 1785 días, este análisis considera el valor mínimo de κ^* para la Arcilla 2 manteniendo los demás valores fijos. Otro aspecto que cabe recalcar es el asentamiento producido por la combinación del análisis A9 donde su combinación ha considerado el valor mínimo de λ^* para la Arcilla 2, el asentamiento disminuye a 0.30 m y su tiempo de consolidación también se reduce a 1266 días, siendo congruente con los mostrado en la Fig. 4.16, que es el análisis que mayor sensibilidad presenta en los desplazamientos. Las demás combinaciones, no generan cambios tan evidentes como los descritos.

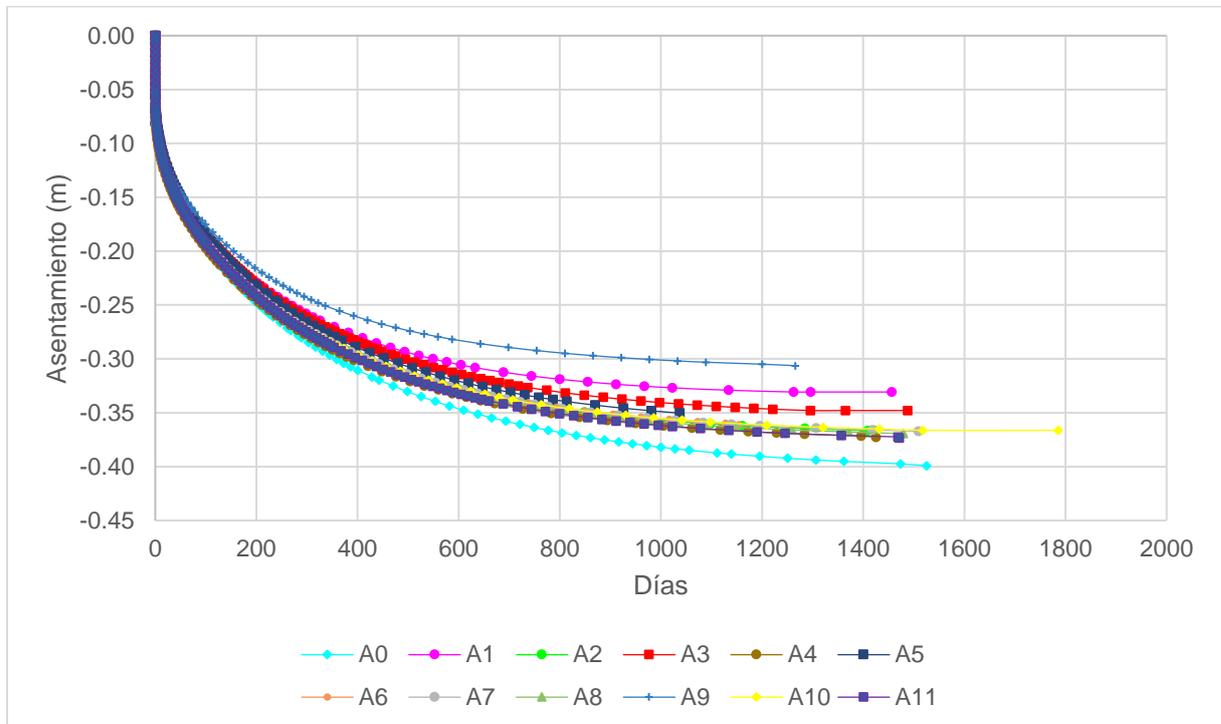


Fig. 4.18. Curva de Consolidación de los Análisis A0 – A11. Arcilla 1.

Tabla 4.9. Asentamientos Análisis A0 – A11.

Análisis	Asentamiento (m)	Tiempo (días)
A0	0.399	1525
A1	0.331	1456
A2	0.367	1422
A3	0.348	1488
A4	0.373	1426
A5	0.359	1411
A6	0.361	1154
A7	0.367	1509
A8	0.369	1479
A9	0.306	1266



A10	0.366	1785
A11	0.374	1471

En cuanto a la disipación del exceso de agua de poro se puede observar en la Fig. 4.19 y Tabla 4.10, que cuando se coloca el terraplén, se genera excesos de presión inmediatos promedio de 162 kN/m², aproximadamente, a excepción de la combinación A3, que se presenta un valor de 152 kN/m², considerando el valor mínimo de κ^* de la Arcilla 1 en combinación con los valores propios de los otros suelos.

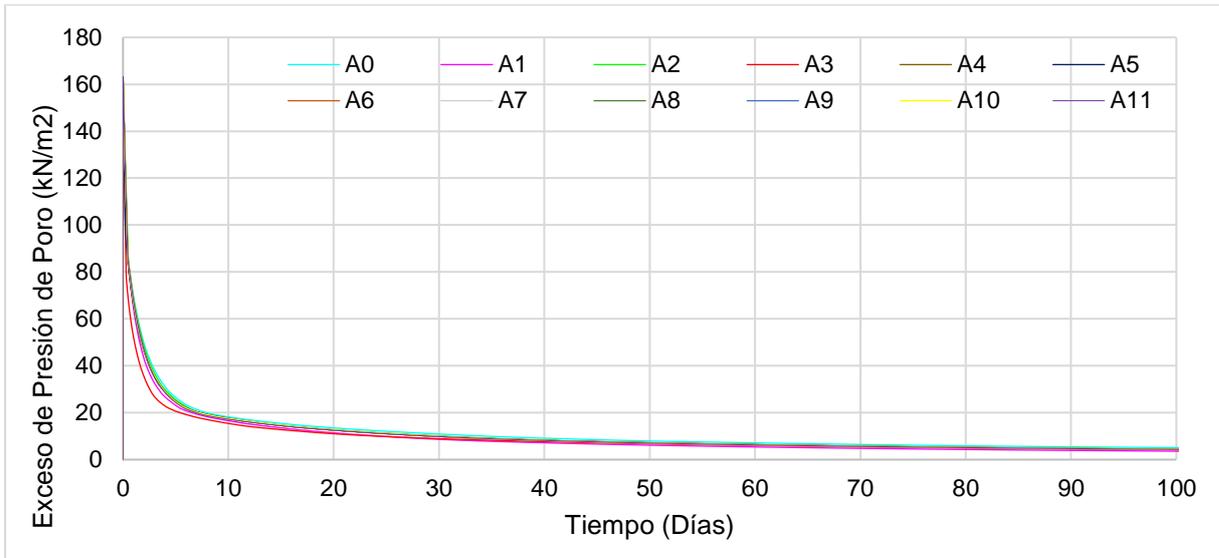


Fig. 4.19. Exceso de presión de agua de poro Punto A.

Tabla 4.10. Máximo exceso de presión de poro

Análisis	Exceso de Presión de Poro (kN/m ²)
A0	162.89
A1	162.89
A2	161.50
A3	152.41
A4	162.98
A5	162.79
A6	162.95
A7	162.45
A8	162.90
A9	162.45
A10	162.79
A11	163.19

Se realizó la verificación mediante lo recomendado en la normativa de los resultados de asentamiento obtenidos por medio del análisis de sensibilidad y sus respectivas combinaciones y se puede observar en la Tabla 4.11 que, únicamente, la permutación A0 no



cumple con la verificación de acuerdo a la suposición que el tiempo de construcción de los terraplenes es de 18 meses. Por lo que, al seleccionar el valor máximo de λ^* para la Arcilla 1, se generará mayores desplazamientos.

Tabla 4.11. Asentamientos en Análisis A0 - A11

Análisis	Asentamiento (cm)				Verificación
	Consol.	Consol. 18 meses	Asent. Residual	Asent. Residual	
A0	39.93	33.95	5.98	< 5 cm	NO
A1	33.07	30.00	3.07	< 5 cm	OK
A2	36.66	32.45	4.22	< 5 cm	OK
A3	34.79	30.78	4.01	< 5 cm	OK
A4	37.29	32.88	4.41	< 5 cm	OK
A5	35.95	31.62	4.33	< 5 cm	OK
A6	36.10	32.35	3.76	< 5 cm	OK
A7	36.72	32.23	4.49	< 5 cm	OK
A8	36.93	32.51	4.42	< 5 cm	OK
A9	30.63	27.94	2.69	< 5 cm	OK
A10	36.63	32.35	4.28	< 5 cm	OK
A11	37.35	32.73	4.62	< 5 cm	OK

La Tabla 4.12 muestra la combinación en términos de los índices de compresión y recompresión CR y RR del análisis A0 presentando la consideración más desfavorable, en el cálculo de los asentamientos.

Tabla 4.12. Combinaciones en términos de CR y RR

Análisis	Arcilla 1		Limo 1		Arcilla 2	
	CR	RR	CR	RR	CR	RR
A0	0.239	0.038	0.130	0.024	0.234	0.039



5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El presente trabajo de titulación desarrolla el análisis de asentamientos generados en la sección de terraplén (11+530) proyectado para la Autopista Acceso Sur a Cuenca. Esta estructura se asentará sobre una zona que presenta materiales de arcillas y limos con malas características geotécnicas por lo que sería un posible motivo de afección al estado de servicio de la plataforma vial, que se evalúa a través de los asentamientos. Se realiza, así también, un análisis de sensibilidad con la finalidad de definir los rangos de los parámetros más influyentes en el cálculo.

A continuación, se presenta las conclusiones y recomendaciones de todos los procedimientos elaborados para el cálculo, análisis de asentamientos en el terraplén y la sensibilidad e influencia que presentan los parámetros en la deformación del suelo.

5.1 Conclusiones

Se ha realizado la recopilación de la información del proyecto propuesto por el MTOP, "ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA: PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY", información de partida con la cual se realizó el presente análisis del trabajo de titulación.

De la exploración geológica, geofísica y geotécnica se determinó la presencia de materiales finos como arcillas y limos, de alta compresibilidad, baja permeabilidad y además propiedades que influyen en los asentamientos por consolidación.

La normativa utilizada para evaluar los asentamientos permisibles en los terraplenes es "Mínimos Requerimientos por la Normativa Geotécnica del Departamento de Transporte y Carreteras Principales de Australia".

Los parámetros considerados como influyentes en el asentamiento para este documento son los índices de compresión (CC) y recompresión (CR), por lo que, se realizó mayor descripción y análisis de los mismos.



Mediante el análisis estadístico, se determinó el rango de valores de CR y RR para arcillas y limos. Este intervalo quedó definido de acuerdo a toda la exploración realizada para el Proyecto Acceso Sur a Cuenca, con estos resultados se provee una idea general de los valores mínimos y máximos que puede tener las arcillas y limos dentro de esta área de intervención (llanura del río Tarqui), con valores desde (0.14, 0.24) para CR y (0.02, 0.04) para RR de las Arcillas y con rangos para CR de (0.11, 0.15) y RR (0.02, 0.03) para los Limos, intervalos que concuerdan con la literatura.

De un primer análisis de estabilidad global del terraplén se determinó que los factores de seguridad para las condiciones estáticas y pseudoestáticas son 1.39 y 0.78, mostrando que la sección no cumplió con estado de límite de falla según lo que especifica la normativa ($FS_{estático} > 1.5$ y $FS_{pseudoestático} = 1.05$), por lo que, que la sección de terraplén seleccionado necesita medidas de estabilidad para cumplir con el estado de límite de falla. Para solventar esto, se considera la implementación de pedraplenes, mediante la incorporación de estas estructuras se obtuvo el $FS_{estático} = 1.88$ y $FS_{pseudoestático} = 1.11$, superiores a los recomendados por la normativa, siendo una medida principalmente que ayuda en el análisis pseudo-estático.

Considerando los asentamientos esperados, se obtuvo un asentamiento de 0.37 m en el suelo de fundación cuando se produce la disipación del exceso de poro hasta el valor mínimo ($IP-Stopl = 1$) en el terraplén en estudio, en un tiempo de 1475 días. El desplazamiento encontrado para los 18 meses proyectados de construcción es de 0.3 m, dando como resultado que el asentamiento residual (diferencia entre deformación por consolidación total y la consolidación obtenida a los 18 meses) de 4.3 cm, es un valor menor a lo recomendado por la normativa (5 cm), concluyendo que el terraplén cumple con el estado de servicio.

Del análisis de sensibilidad, se determinaron un total de 12 combinaciones de los parámetros de λ^* y κ^* (índices de compresión y recompresión modificados) que mediante el cálculo porcentual se encontró que el parámetro que mayor incidencia tiene en el desplazamiento vertical es valor de λ^* de la Arcilla 2 con un 66%, valor que es importante en el cálculo de asentamientos. La Arcilla 1 influye con un 16% y el Limo con 6%. En cuanto a las variaciones de k^* los porcentajes no muestra una influencia tan marcada con valores del 6% para la Acilla 2, 5% para la Arcilla 1 y 1% para el Limo 1.

Para el estrato de arcilla, que se encuentra a 5 m de profundidad (Arcilla 1), se encontró que la combinación A0 para la Arcilla 1 con CR = 0.24 y RR= 0.038, Limo 1 CR= 0.13 y RR= 0.024 y Arcilla 2, CR= 0.23 y RR= 0.039, presenta un asentamiento de 0.40 m (mayor valor que se presenta de las combinaciones encontradas por el análisis de sensibilidad). El análisis



A9, Arcilla 1 con $CR= 0.19$ y $RR= 0.038$, Limo 1, $CR= 0.13$ y $RR= 0.024$ y Arcilla 2, $CR= 0.14$ y $RR= 0.039$ mostró una deformación de 0.3 m siendo la combinación que menor asentamiento produce. Para el resto de combinaciones (A1 a A8, A10 y A11) en promedio presentan un desplazamiento de 0.36 m. El tiempo promedio para las variaciones en el que se genera la consolidación total es de 1460 días, a excepción de la permutación A9 que estimó un tiempo de 1266 días.

Mediante la verificación de los asentamientos residuales con la normativa de cada una de las combinaciones propuesta en el análisis de sensibilidad, se determinó que la permutación A0 es la que no cumple con lo especificado, demostrando que la zona es propensa a tener problemas de asentamientos y dependen de los índices de compresibilidad.

5.2 Recomendaciones

Para estimar con mayor precisión los asentamientos y sobre todo evaluar la consolidación primaria se recomienda que se disponga de la mayor cantidad de información de ensayos de laboratorio e in situ cuyas muestras no presente perturbaciones, ya que esto brindará un mayor conjunto de valores con los que se pueden disponer de una mejor caracterización de los suelos, en donde será indispensable conocer las condiciones naturales de los estratos, propiedades del suelo como presiones a la cuales ha sido sometidos a lo largo de su historia geológica, permeabilidad, compresibilidad del suelo, tasas de consolidaciones, etc.

Se recomienda el uso de softwares basados en métodos de elementos finitos, ya que su precisión, flexibilidad y eficiencia refleja la capacidad del programa computacional para mostrar una visión más amplia y clara de cada problema que presente las diferentes soluciones geotécnicas. Se recomienda realizar un monitoreo de los asentamientos al momento de la construcción, para validar y calibrar de mejor manera los modelos propuestos.

En el caso de que los trabajos proyectados a futuro no dispongan de la información suficiente, y una vez comprobados que los rangos de los valores de los índices de compresión y recompresión de los materiales finos se encuentran dentro de valores recomendados por la literatura se sugiere tomar estos rangos como datos referenciales para diseños de futuros ya que son representativos de una zona del proyecto, hasta disponer de sus propios ensayos; Arcillas con intervalo de $CR= (0.14, 0.24)$, $RR= (0.02, 0.04)$ y Limos con $CR= (0.11, 0.15)$ y $RR= (0.02, 0.03)$.



En el caso que los diseños de las diferentes estructuras necesiten mayor detalle, de acuerdo al análisis de sensibilidad, se recomienda que se tome la consideración más desfavorable (combinación A0 que consiste en una Arcilla 1 con $CR = 0.24$ y $RR = 0.038$, Limo 1, $CR = 0.13$ y $RR = 0.024$, y Arcilla 2, $CR = 0.23$ y $RR = 0.039$) que no cumple con la verificación del asentamiento en donde se obtendrá soluciones más conservadoras.

Para futuras investigaciones se recomienda dar soluciones a los problemas de asentamientos tomando en cuenta las consideraciones más desfavorables encontradas con el rango de los valores CR y RR , entre estas se puede incluir medidas de mejoramiento masivo de suelo, que ayuden a disminuir las deformaciones como aplicación de precarga que mejora la propiedades mecánicas y acelera la consolidación de los suelo donde se desplanten los terraplenes o la implementación de drenes verticales que ayudan a incrementar a rigidez del material, ya que proporcionan un camino de drenaje más corto para el agua en los suelos con bajas permeabilidades reduciendo el exceso de presión de poro. Estas medidas deberán ser evaluadas desde el punto de vista técnico y económico para su aplicación.



6 BIBLIOGRAFÍA

- Ameratunga, J., Sivakugan, N., & Das, B. M. (2016). *Correlations of Soil and Rock Properties in Geotechnical Engineering*. <http://www.springer.com/series/13410>
- Baecher, G. B., & Christian, J. T. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering* (Wiley (ed.)).
- Balasubramaniam, A. S., & Brenner, R. P. (1981). Consolidation and settlement of soft clay. *Developments in Geotechnical Engineering*, 20(C), 479–566. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-41784-8.50010-1>
- Balasubramaniam, A. S., Cai, H., Zhu, D., Surarak, C., & Oh, E. Y. N. (2010). Settlements of embankments in soft soils. *Geotechnical Engineering*, 41(2), 1–19.
- Bentley. (2020a). *PLAXIS General Information Manual* (pp. 1–26). Bentley.
- Bentley. (2020b). *PLAXIS Material Model Manuals* (Bentley (ed.)).
- Bentley. (2020c). PLAXIS Scientific Manual. In *Plaxis Bulletin* (pp. 1–63).
- Bonaparte, R., & Christopher, B. R. (1987). Design and construction of reinforced embankments over weak foundations. *Transportation Research Record*, 1153, 26–39.
- Briaud, J.-L. (2013). *Geotechnical Engineering: Unsaturated and Saturated Soils* (Wiley (ed.)).
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations* (JOHN WILEY & SONS (ed.); 3er ed.).
- Crawley, M. J. (2013). The R Book. In Wiley (Ed.), *Auction Theory* (Second Edi). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-374507-1.00050-9>
- De Smith, M. (2018). *Statistical Analysis Handbook A Comprehensive Handbook of Statistical Concepts, Techniques and Software Tools 2018 Edition*. <https://www.statsref.com/StatsRefSample.pdf>
- Department of Transport and Main Roads. (2015). *Geotechnical Design Standard – Minimum Requirements*. February, 23.
- Department of Transport and Main Roads. (2020). *Transport and Main Roads Specifications MRTS04 General Earthworks*. November, 95.
- Devore, J. L. (2008). Probabilidad y Estadística para Ingeniería y Ciencias. In Cengage Learning Editores (Ed.), *Cengage Learning Editores* (Séptima). <https://doi.org/10.1016/B978-0-7020-2797-0.00001-1>
- Durán G, J. E. (2013). Sensibilidad del Comportamiento de Cimentaciones en el Depósito Lacustre de Bogotá con Variaciones en Factores Relacionados con la Edificación, el Subsuelo y los Métodos de Análisis. *V Encuentro de Ingenieros de Suelos y Estructuras Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito SENSIBILIDAD*, 53(9), 1689–1699. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Fellenius, B. H. (2017). *Basics of Foundation Design*. February, 451.



- Garnica Anguas, P., & Ramírez Culebro, J. A. (2014). *Gestión de terraplenes y riesgos ante la inestabilidad*. 423.
- Holtz, R., & Kovacs, W. (1989). *An Introduction to Geotechnical Engineering* (p. 555). Prentice - Hall.
- HSAI-VANG FANG. (2002). *Foundation Engineering Handbook* (2nd ed.). SPRINGER SCIENCE+BUSINESS MED LLC.
- Juárez Badillo, E., & Rico Rodríguez, A. (1973). *Mecánica de suelos, Tomo II-Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos* (Limusa (ed.)).
https://www.academia.edu/38530678/Mecánica_de_suelos_Tomo_II_Eulalio_Juárez_Badillo_y_Alfonso_Rico_Rodríguez
- Lind, D. A., Marchal, W. G., & Wathen, S. A. (2014). Estadística aplicada a los negocios y la economía. In *Ciencia y Sociedad: Vol. XVI* (Issue 4). McGraw-Hill Interamericana.
- Look, B. G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables* (T. & Francis (ed.); 1st ed.).
- Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), & Secretaría de Gestión de Riesgos (SGR). (2015). Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación. *Norma Ecuatoriana de La Construcción*, 200. MIDUVI.GOB.EC
- NEC. (2014). *Geotécnia y Cimentaciones* (MIDUVI & CAMICON (eds.)).
http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CM.pdf%0Ahttp://www.cicp-ec.com/documentos/NEC_2015/NEC_SE_CG_Cargas_Sismicas.pdf
- NEC. (2015). *Guía práctica para la ejecución de estudios geotécnicos y trabajos de cimentación*. 6, 200. MIDUVI.GOB.EC
- Olson, R. E., & Lai, J. (2003). Advanced Soil Mechanics: Stress Distribution. In Department of Construction Engineering Chaoyang University of Technology (Ed.), *Methods of Soil Analysis, Part 1: Physical and Mineralogical Properties, Including Statistics of Measurement and Sampling* (pp. 413–430). <https://doi.org/10.2134/agronmonogr9.1.c33>
- PLAXIS. (2020). *2D-Reference Manual*. 1–570.
- Rico Rodriguez, A., Del Castillo, H., & Sowers, G. F. (1988). *Soil Mechanics in Highway Engineering* (Trans Tech Pubn (ed.); 2nd ed.).
- Schnadi, F., & Odebrecht, E. (2018). Ensaio de Campo e suas aplicações à Engenharia de Fundações. In Oficina de textos (Ed.), *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952. (2 edição).
- Shuku, T., & Nishimura, S. I. (2015). Sensitivity analysis in stability evaluation of earthen embankments. *15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, ARC 2015: New Innovations and Sustainability, February*, 1723–1726. <https://doi.org/10.3208/jgssp.JPN-034>



- Sorensen, K., & Okkels, N. (2013). Correlation between drained shear strength and plasticity index of undisturbed overconsolidated clays. *Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, 423–428. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73568-9_174
- Steinbrenner, W. (1934). *Tafeln zur Setzungsberechnung*. 1(Die Straße), 121–124.
- Stroud, M., & Butler, F. . (1975). The standard penetration test and the engineering properties of glacial materials. *Proceedings of the Symposium on Engineering Properties of Glacial Materials*,.
- Terzaghi, K. (1925). *Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer grundlage* (F. D. Leipzig u. Wien (ed.)).
- Ural, N., & Küçüker, U. (2021). Determination of Pre-Consolidation Pressure by Different Method. *Journal of Civil Engineering and Construction*, 10(1), 36–43. <https://doi.org/10.32732/jcec.2021.10.1.36>
- Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias*.
- Wang, Z. liang, Li, Y. chi, & Shen, R. F. (2007). Correction of soil parameters in calculation of embankment settlement using a BP network back-analysis model. *Engineering Geology*, 91(2–4), 168–177. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2007.01.007>
- Whitman, R. V. (2000). Organizing and Evaluating Uncertainty in Geotechnical Engineering. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 126(July), 583–593.



7 ANEXOS

7.1 Anexo1. Oficio Nro. MTOP-SUBZ6-20-204-OF

MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS



Oficio Nro. MTOP-SUBZ6-20-204-OF

Cuenca, 14 de agosto de 2020

Asunto: RESPUESTA A SOLICITUD ACCESO A INFORMACION PARA MAESTRIA ACADEMICA, SUSCRIPCIÓN DE ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD

Ing. Civil
Andrea Elizabeth naula Salazar
En su Despacho

De mi consideración:

En respuesta a la solicitud ingresada mediante Oficio Nro. MTOP-02, con número de ingreso en Quipux Nro. MTOP-UADF-2020-1252-E, que se refiere a los resultados de exploración geofísica o geotécnica del proyecto "ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY", y en virtud de existir el compromiso de aportar al MTOP, con los resultados, investigaciones e innovaciones académicas resultantes del tema propuesto y aprobado por la comisión Académica de la Maestría de Ingeniería en Vialidad y Transporte III Cohorte del Centro de Postgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca y considerando que la norma constitucional establece en su Art. 227. - "La administración pública constituye un servicio a la colectividad que se rige por los principios de eficacia, eficiencia, calidad, jerarquía, desconcentración, descentralización, coordinación, participación, planificación, transparencia y evaluación", al respecto pongo en su conocimiento que dicha información será entregada a su persona, no sin antes se proceda a la suscripción de un Acuerdo de Confidencialidad, el mismo que adjunto para su legalización.

Particular que pongo en su conocimiento para los fines pertinentes.

Atentamente,

Documento firmado electrónicamente
Ing. José Francisco Jaramillo Vintimilla
SUBSECRETARIO ZONAL 6



Referencias:
- MTOP-AJSUB6-2020-108-ME

Anexos:
- solicitud_acceso_a_informacion.para_realizar5_maestria_academica.pdf
- acuerdo_de_confidencialidad-convertido0775915001596739955.pdf

Copia:
Señor Magíster
Diego Mauricio Vintimilla Palacios
Coordinador Infraestructura Zonal

tm

17/08/2020



Firmado electrónicamente por:
JOSE FRANCISCO
JARAMILLO
VINTIMILLA

Dirección: Av Huaynacápac 1-184 y Pisarcápac Código Postal: 010107 Cuenca - Ecuador
Teléfono: 593-7 - 4084537
www.obraspublicas.gob.ec

* Documento firmado electrónicamente por Quipux



ACUERDO DE CONFIDENCIALIDAD Y NO DIVULGACIÓN DE INFORMACIÓN

Primera.- Comparecientes:

Por una parte comparece el MINISTERIO DE TRANSPORTE Y OBRAS PÚBLICAS, a través de la Subsecretaría Zonal, con sede, en la ciudad de Cuenca, representada en este acto por Ing. José Francisco Jaramillo Vintimilla, en su calidad de Subsecretario Zonal 6, en adelante EL MTOP, y por la otra parte, la Ing. Civil Andrea Elizabeth Naula Salazar, en adelante PETICIONARIA; en lo sucesivo se denominaran en forma conjunta e indistinta LAS PARTES.

Que durante la mencionada relación las partes intercambiarán o crearán información que están interesadas en regular su confidencialidad y secreto mediante las siguientes condiciones que se detallan a continuación:

Segunda.- Antecedentes:

El Ministerio de Transporte y Obras Públicas en cumplimiento de los objetivos del Gobierno Nacional y en busca de la ejecución del Plan Vial del Azuay, con fecha 29 de junio de 2018 suscribió el contrato para la ejecución de los «ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY», por un monto de \$2.586.696,00 y un plazo de 180 días.

Con fecha 09 de diciembre de 2019, se suscribió el Contrato Complementario No.- 01 al contrato para la ejecución de los «ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY», sin incremento del monto contractual inicial y ampliando el plazo original en 90 días.

Mediante documento MTOP-UADF-2020-1252-E, adjunto al cual se remite el Oficio No.- MTOP-02 de fecha 20 de julio de 2020, suscrito por la Ing. Andrea Elizabeth Naula Salazar, quien indica ser estudiante de Maestría en Ingeniería en Vialidad y Transporte de la Universidad de Cuenca, quien con el fin de realizar un proyecto de Tesis, solicita se autorice el uso de la información a los resultados de exploración geofísica o geotécnica del proyecto "ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY", misma que se usará con fines académicos.

Tercera.- Plazo:

- Este acuerdo tendrá un plazo indefinido desde la firma del presente instrumento hasta la terminación de la Tesis, titulada "ANÁLISIS DE LOS ASENTAMIENTOS EN SUELOS ALUVIALES DE LA LLANURA DEL RÍO TARQUI, DEBIDO A LOS TERRAPLENES QUE SE CONSTRUIRAN PARA LA AUTOPISTA, ACCESO SUR A CUENCA".
- En caso de que no se concrete el proyecto de Tesis y su correspondiente desarrollo, toda la información generada o transmitida, en el periodo de duración presente instrumento, pertenecerá exclusivamente a EL MTOP. Quedando totalmente prohibido hacer cualquier uso y/o almacenamiento de la misma por terceros sin autorización de EL MTOP.
- LA PETICIONARIA se compromete a mantener el compromiso de confidencialidad respecto a la información y material entregado, en virtud del presente instrumento, de forma indefinida tras la finalización del presente acuerdo.

Cuarta.- Convenio de Confidencialidad:



- LA PETICIONARIA se obliga en forma irrevocable ante EL MTOP a no revelar, divulgar o facilitar bajo cualquier forma- a persona alguna sea natural o jurídica, pública o privada, o de cualquier otra naturaleza, y a no utilizar para su propio beneficio o para beneficio de un tercero, toda la información a ser transmitida, referente a los resultados de exploración geofísica o geotécnica del proyecto "ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY", misma que se usará con fines académicos.
- LA PETICIONARIA no podrá reproducir, modificar, hacer pública, divulgar o utilizar de cualquier forma conocida o por conocerse a terceros o para su propio beneficio o para beneficio de cualquier otra persona natural o jurídica, la información objeto del presente Acuerdo sin previa autorización escrita y expresa por la Autoridad competente.

Quinta.- Propiedad Intelectual

- Toda la información, productos y servicios generados dentro del proyecto "ESTUDIOS DE FACTIBILIDAD, IMPACTOS AMBIENTALES E INGENIERÍA PRE-PRELIMINAR, PRELIMINAR Y DEFINITIVOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA CARRETERA CUENCA-ESTACIÓN DE CUMBE (ACCESO SUR A CUENCA) DE 14 KM DE LONGITUD APROXIMADA, UBICADA EN LA PROVINCIA DEL AZUAY", serán de propiedad del MTOP.
- Los derechos de propiedad intelectual de la información que pertenecen al Ministerio de Transporte y Obras Públicas no podrán ser revelados por LA PETICIONARIA para su reproducción parcial o total; así como su comunicación pública y distribución.
- En caso de que la información resulte revelada, divulgada o utilizada por LA PETICIONARIA de cualquier forma distinta al objeto de este Acuerdo, ya sea de forma dolosa o por mera negligencia, será sancionado de acuerdo a las leyes vigentes para el efecto.

Sexta.- Cláusula de Responsabilidad

- De igual forma, queda expresamente convenido que todo incumplimiento total y/o parcial imputable a LA PETICIONARIA con relación a las obligaciones de confidencialidad asumidas por el presente, facultará a EL MTOP para disponer la terminación del presente acuerdo de confidencialidad, con justa causa. Asimismo, EL MTOP queda facultado para accionar por los daños y perjuicios efectivamente ocasionados, así como para constituirse en parte demandante de una denuncia penal o acciones civiles y administrativas contra LA PETICIONARIA.
- LA PETICIONARIA, se obliga a entregar cualquier documentación, antecedente facilitado en cualquier tipo de soporte y, en su caso, las copias obtenidas de los mismos, que constituyan información amparada por el deber de confidencialidad objeto del presente Acuerdo en el supuesto de que cese la relación entre las partes por cualquier motivo.
- LA PETICIONARIA se compromete a cumplir con todos los términos fijados en el presente documento, y muy especialmente aquellos relativos a las cláusulas sobre propiedad intelectual y confidencialidad; de no hacerlo se aplicará la normativa vigente.
- LA PETICIONARIA, además se compromete a aportar al MTOP, con los resultados, investigaciones e innovaciones académicas resultantes del tema propuesto y aprobado por la comisión Académica de la Maestría de Ingeniería en Vialidad y Transporte III Cohorte del Centro de Postgrados de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca.

Séptima. Divergencias y controversias.



- En caso de cualquier conflicto o discrepancia que pueda surgir en relación con la interpretación y/o cumplimiento del presente Acuerdo, LAS PARTES se someten expresamente a las instancias Administrativas, a los Juzgados y Tribunales del País, con renuncia a su fuero propio, aplicándose la legislación ecuatoriana vigente.

Y en señal de expresa conformidad y aceptación de los términos recogidos en el presente Acuerdo, lo firman las partes por duplicado ejemplar y a un solo efecto.

En la ciudad de Cuenca a los 07 días del mes de agosto de 2020

POR LA PETICIONARIA,

Ing. Andrea Naula Salazar
C.I. 0105247936
PETICIONARIA

POR EL MTOP,

Ing. José Jaramillo Vintimilla
SUBSECRETARIO ZONAL 6



PROYECTO: ACCESO SUR				UBICACIÓN: ACCESO SUR				TERRA HIDRO servicios y construcciones S. A. S.											
REGISTRO DE SONDEO PPE-17				LUGAR:				HOJA: 2 DE 2											
COORDENADAS N: 9666394.6 (WGS 84/17S) E: 718288.2		COTA (msnm): 2,617.27 PROFUNDIDAD (m): 20.00		INCLINACIÓN R.H.: 90° AZIMUT: ----															
MARTILLO SAFETY		DIÁMETRO SONDEO (mm): 96.00		HQ DE 0.00 A 13.55		DIÁMETRO REVES (mm): 114.30		HW DE 0.00 A 6.00											
FECHA INICIO: 09-08-19		DIÁMETRO SONDEO (mm): 75.70		NQ DE 13.55 A 20.00		DIÁMETRO REVES (mm): 88.9		NW DE 0.00 A 14.00											
FECHA FINAL: 12-08-19		DIÁMETRO SONDEO (mm):		DE DE		DIÁMETRO REVES (mm):		DE DE											
JEFE DE CAMPO: MM		DIÁMETRO NÚCLEO (mm): 63.50		HQ DE 0.00 A 13.55		REVISADO POR: mm		APROBADO POR: wo											
FISCALIZADOR: W.O.		DIÁMETRO NÚCLEO (mm): 47.60		NQ DE 13.55 A 20.00															
OPERADOR: D.G		NIVEL DE AGUA: 2.30 m		DE DE															
PROF. (m)	COTA (msnm)	NIVEL AGUA (m)	SIMBOLOGÍA	DESCRIPCIÓN	SPT	SUCS	RECUPERACIÓN	R.Q.D.	ESPACIAMIENTO	METEORIZACIÓN	FLUJO DE RETORNO	REVESTIMIENTO	CAJA N°	PIEZÓMETRO	PRUEBA				
																19	20	22	15	R	27	45	33	17	4	5	9	11	17	14	27	R	37	40	48
10.10	2.607.17			10.00 - 10.45m Limo, color gris verdoso, poco húmedo, presenta materia orgánica, dilatancia lenta. El tramo de 10.00-10.45 m según SUCS es tipo MH, con W de 40.38%, LL de 64.0%, LP de 36.1%, IP de 28.0%, finos en un 72%, arenas en un 28% y gravas en un 0%.		MH							CAJA N° 3						
10.20	2.607.07			10.45- 10.70m. Arenas limosas, color gris, semi-sueltas.															
10.30	2.606.97			10.70 - 11.20m. Arena, color café oscuro, muy húmeda, presenta materia orgánica, 5% de grava sub-angulosa. El tramo de 11.00-11.20m según SUCS es tipo SM, con W de 36.65%, LL de 34.4%, LP de 27.1%, IP de 7.3%, finos en un 40%, arenas en un 60% y gravas en un 0%.	15	SM													
10.40	2.606.87																		
10.50	2.606.77																		
10.60	2.606.67																		
10.70	2.606.57																		
10.80	2.606.47			11.20 - 13.00m. Aluvial, matriz areno limosa, color gris, muy húmedo, clastos sub-redondeados y sub-angulosos, el material se encuentra suelto. El tramo de 12.55-13.00 m según SUCS es tipo SW/SP, con W de 26.22%, finos en un 4%, arenas en un 86% y gravas en un 10%.															
10.90	2.606.37																		
11.00	2.606.27																		
11.10	2.606.17																		
11.20	2.606.07																		
11.30	2.605.97																		
11.40	2.605.87																		
11.50	2.605.77																		
11.60	2.605.67																		
11.70	2.605.57																		
11.80	2.605.47																		
11.90	2.605.37																		
12.00	2.605.27																		
12.10	2.605.17																		
12.20	2.605.07																		
12.30	2.604.97																		
12.40	2.604.87																		
12.50	2.604.77																		
12.60	2.604.67																		
12.70	2.604.57																		
12.80	2.604.47																		
12.90	2.604.37																		
13.00	2.604.27																		
13.10	2.604.17																		
13.20	2.604.07																		
13.30	2.603.97																		
13.40	2.603.87																		
13.50	2.603.77																		
13.60	2.603.67																		
13.70	2.603.57																		
13.80	2.603.47																		
13.90	2.603.37																		
14.00	2.603.27																		
14.10	2.603.17																		
14.20	2.603.07																		
14.30	2.602.97																		
14.40	2.602.87																		
14.50	2.602.77																		
14.60	2.602.67																		
14.70	2.602.57																		
14.80	2.602.47																		
14.90	2.602.37																		
15.00	2.602.27																		
15.10	2.602.17																		
15.20	2.602.07																		
15.30	2.601.97																		
15.40	2.601.87																		
15.50	2.601.77																		
15.60	2.601.67																		
15.70	2.601.57																		
15.80	2.601.47																		
15.90	2.601.37																		
16.00	2.601.27																		
16.10	2.601.17																		
16.20	2.601.07																		
16.30	2.600.97																		
16.40	2.600.87																		
16.50	2.600.77																		
16.60	2.600.67																		
16.70	2.600.57																		
16.80	2.600.47																		
16.90	2.600.37																		
17.00	2.600.27																		
17.10	2.600.17																		
17.20	2.600.07																		
17.30	2.599.97																		
17.40	2.599.87																		
17.50	2.599.77																		
17.60	2.599.67																		
17.70	2.599.57																		
17.80	2.599.47																		
17.90	2.599.37																		
18.00	2.599.27																		
18.10	2.599.17																		
18.20	2.599.07																		
18.30	2.598.97																		
18.40	2.598.87																		
18.50	2.598.77																		
18.60	2.598.67																		
18.70	2.598.57																		
18.80	2.598.47																		
18.90	2.598.37																		
19.00	2.598.27																		
19.10	2.598.17																		
19.20	2.598.07																		
19.30	2.597.97																		
19.40	2.597.87																		
19.50	2.597.77																		
19.60	2.597.67																		
19.70	2.597.57																		
19.80	2.597.47																		
19.90	2.597.37																		
20.00	2.597.27																		



7.3 Anexo 3. Ensayos de Consolidación (Arcillas y Limos)

ARCILLAS



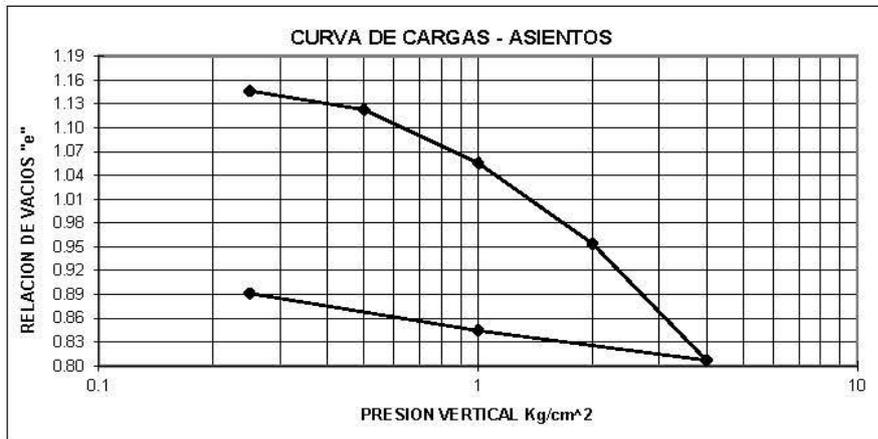
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT3-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 0.60 - 1.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	123.98	121.53
ANILLO + P. SUELO SECO	106.08	106.08
PESO DEL ANILLO	61.71	61.71
PESO DEL SUELO SECO (WS)	44.37	44.37
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	40.34	34.82

ANILLO No XIX DIAMETRO (cm) 4.97 AREA (cm²) 19.4001

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 18.9 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S_s) 2.634 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 8.68 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 2.30 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 16.61 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 9.23 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 7.96 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e₀) 1.18
 RELACION DE VACIOS FINAL (e_r) 0.91
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 90.2 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.465
 Índice de recuperación (Cr) 0.066

ka



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT3-1
 UBIACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 0.60 - 1.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.38 mm

TIEMPO MIN.	CARGA					
	0.25 kg/cm ² lect. x0.01	0.50 kg/cm ² lect. x0.01	1.0 kg/cm ² lect. x0.01	2.0 kg/cm ² lect. x0.01	4.0 kg/cm ² lect. x0.01	
0.1	8	30	58	121	229	
0.2	9	30	58	124	232	
0.3	9	30	59	125	236	
0.4	10	31	60	127	237	
0.5	10	31	60	128	239	
0.6	10	31	60	129	239	
0.7	10	31	61	129	240	
0.8	11	31	61	130	241	
0.9	11	31	62	130	241	
1	11	31	62	131	242	
2	12	32	65	135	246	
3	13	32	67	137	249	
4	13	33	68	139	251	
5	14	33	69	140	253	
10	15	34	72	145	259	
15	16	35	75	149	263	
30	18	36	80	156	274	
60	20	39	86	167	285	
100	23	41	94	180	301	
200	25	44	99	189	312	
300	26	45	101	192	317	
400	27	46	102	193	318	
500	27	46	103	193	319	
1440	27	48	106	194	322	

TIEMPO MIN.	DESCARGA		OBSERVACIONES
	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01	
0	4.00	322	
180	1.00	289.6	
180	0.25	248.8	
180	0.00	230.1	

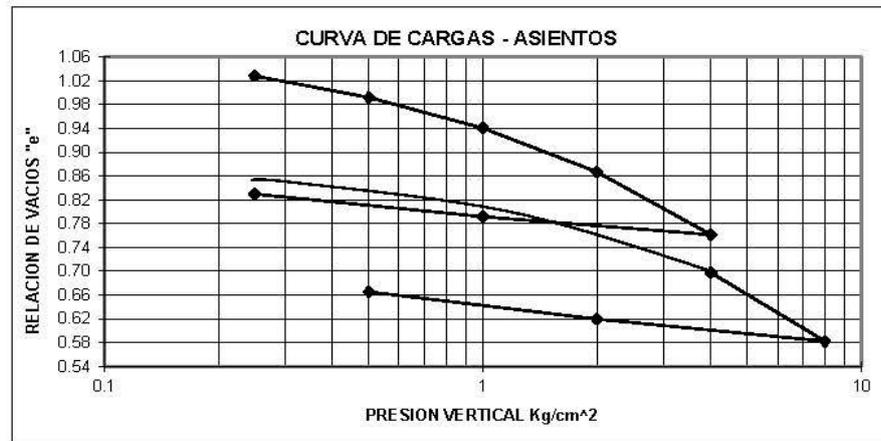
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3,00-3,55 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	145.69	139.76
ANILLO + P. SUELO SECO	126.78	126.78
PESO DEL ANILLO	81.21	81.21
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	45.57	45.57
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	41.50	28.48

ANILLO No	XXVI	DIAMETRO (cm)	5.02	AREA (cm ²)	19.8003
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.2	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.507	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		9.18	mm	
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		3.47	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		15.74	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		9.55	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		6.56	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.09		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.71		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		95.2	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.5 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.473
 Índice de recuperación (Cr) 0.069

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3,00-3,55 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019 EXPANSION : 0,15 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.5 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	32	65	101	151	224	268	404
0.2	34	66	102	153	227	270	404
0.3	34	66	103	154	229	271	405
0.4	35	66	103	154	229	273	406
0.5	35	66	104	155	230	273	406
0.6	36	67	104	155	231	274	406
0.7	36	67	105	156	232	275	407
0.8	37	67	105	156	233	275	407
0.9	37	67	105	157	233	275	407
1	37	67	106	157	234	276	408
2	39	69	107	159	238	281	410
3	40	69	109	161	241	284	412
4	41	70	110	163	243	287	413
5	41	71	110	164	245	289	415
10	43	73	113	169	253	298	420
15	45	74	115	172	258	305	424
30	47	78	119	178	269	318	435
60	50	81	123	185	280	336	443
100	52	84	126	192	288	346	450
200	55	87	130	198	296	356	458
300	56	89	133	202	300	359	462
400	57	90	135	204	302	361	464
500	58	91	137	205	303	361	466
1440	59	92	139	207	304	362	468
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	304
180	1.00	276.0
180	0.25	240.8
180	0.00	179.0

DESCARGA 2

0	8	468
180	2	434.0
180	0.5	392.0
180	0	347.0

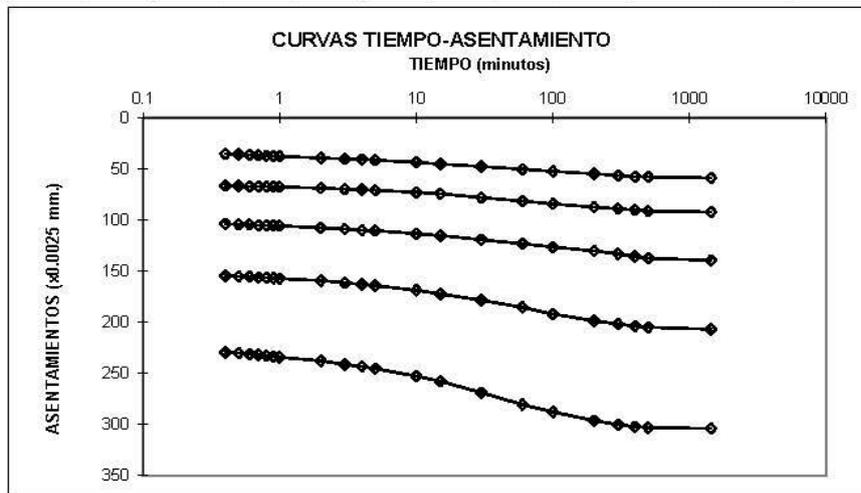
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : JUNIO DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT8-2
 PROFUNDIDAD : 3,00-3,55 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.21	1.09	18.9	600	1.06	0.2548	0.0294	3.6E-08
1440	0.25	0.59	3.05	18.63	1.03	18.5	1800	1.01	0.1451	0.0093	6.7E-09
1440	0.50	0.92	4.78	18.29	0.99	18.1	1320	0.966	0.1032	0.0122	6.4E-09
1440	1.00	1.39	7.25	17.82	0.94	17.5	1500	0.904	0.0734	0.0100	3.9E-09
1440	2.00	2.07	10.75	17.14	0.87	16.7	1200	0.814	0.0529	0.0114	3.3E-09
1440	4.00	3.04	15.81	16.17	0.76	16.5	1320	0.798	0.0498	0.0102	2.8E-09
1440	4.00	3.62	18.84	15.59	0.70	15.1	1680	0.64	0.0289	0.0066	1.2E-09
1440	8.00	4.68	24.36	14.53	0.58						
DESCARGA 1											
000	4.00	3.04	15.81	16.17	0.76						
180	1.00	2.76	14.37	16.45	0.79						
180	0.25	2.41	12.54	16.8	0.83						
180	0.00	1.79	9.32	17.42	0.90						
DESCARGA 2											
000	8.00	4.68	24.36	14.53	0.58						
180	2.00	4.34	22.59	14.87	0.62						
180	0.50	3.92	20.41	15.29	0.67						
180	0.00	3.47	18.06	15.74	0.71						



ba



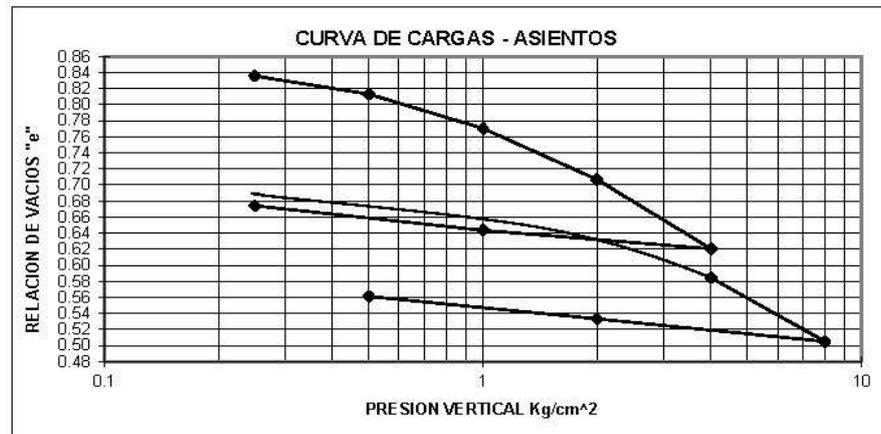
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT9-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	152.82	149.05
ANILLO + P. SUELO SECO	135.72	135.72
PESO DEL ANILLO	81.69	81.69
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	54.03	54.03
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	31.65	24.67

ANILLO No XXII DIAMETRO (cm) 5.06 AREA (cm²) 20.1250

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H₁) 19.3 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S_s) 2.590 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (H_S) 10.36 mm
 VARIACION EN L 87.9
 AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 2.33 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H₂) 16.99 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (H_{w1}) 8.50 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (H_{w2}) 6.62 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e₀) 0.86
 RELACION DE VACIOS FINAL (e_f) 0.64
 GRADO DE SATURACION INICIAL (G_{w1}) 94.9 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (G_{w2}) 100 %



Presión de preconsolidación (σ_p) 1.25 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.335
 Índice de recuperación (Cr) 0.047

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT9-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019 EXPANSION : 0.235 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	12	35	62	110	175	203	300
0.2	13	35	62	111	177	207	301
0.3	13	35	63	112	179	209	301
0.4	13	35	63	112	180	210	302
0.5	14	36	64	113	181	211	303
0.6	14	36	64	113	182	212	303
0.7	14	36	64	114	183	213	304
0.8	14	36	65	114	183	214	304
0.9	14	36	65	115	184	214	305
1	14	36	66	115	184	215	305
2	15	37	68	118	188	220	309
3	16	38	69	120	191	224	311
4	17	38	70	121	193	227	313
5	17	39	71	122	195	230	315
10	19	40	73	126	204	240	322
15	20	41	75	130	210	247	327
30	22	43	79	136	221	261	338
60	24	45	84	144	231	273	350
100	25	47	87	149	237	280	357
200	27	49	91	155	244	285	364
300	28	51	93	158	248	287	367
400	29	51	95	160	250	289	369
500	29	52	95	161	250	289	371
1440	30	53	97	163	253	290	372
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	253
180	1.00	228.5
180	0.25	196.8
180	0.00	166.0

DESCARGA 2

0	8	372
180	2	342.8
180	0.5	314.0
180	0	233.0

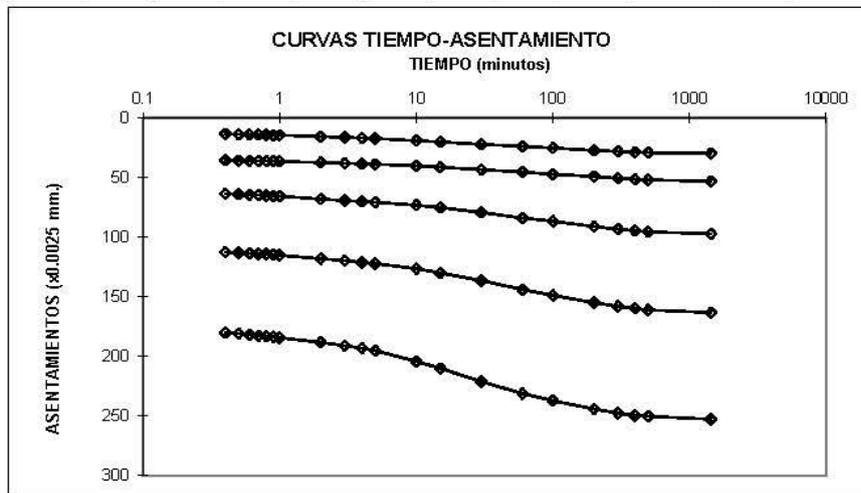
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : JUNIO DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT9-2
 PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.32	0.86	19.2	900	0.85	0.1139	0.0201	1.2E-08
1440	0.25	0.30	1.53	19.03	0.84	18.9	1680	0.824	0.0907	0.0105	5.2E-09
1440	0.50	0.53	2.74	18.79	0.81	18.6	1380	0.792	0.0849	0.0123	5.8E-09
1440	1.00	0.97	5.02	18.35	0.77	18	1320	0.739	0.0638	0.0121	4.4E-09
1440	2.00	1.63	8.44	17.69	0.71	17.2	900	0.664	0.0432	0.0163	4.2E-09
1440	4.00	2.53	13.07	16.79	0.62	17	720	0.644	0.0299	0.0199	3.6E-09
1440	4.00	2.90	15.01	16.42	0.58	16	1380	0.545	0.0198	0.0091	1.2E-09
1440	8.00	3.72	19.26	15.6	0.51						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.53	13.07	16.79	0.62						
180	1.00	2.29	11.83	17.04	0.64						
180	0.25	1.97	10.19	17.35	0.67						
180	0.00	1.66	8.59	17.66	0.70						
DESCARGA 2											
000	8.00	3.72	19.26	15.6	0.51						
180	2.00	3.43	17.74	15.89	0.53						
180	0.50	3.14	16.25	16.18	0.56						
180	0.00	2.33	12.06	16.99	0.64						



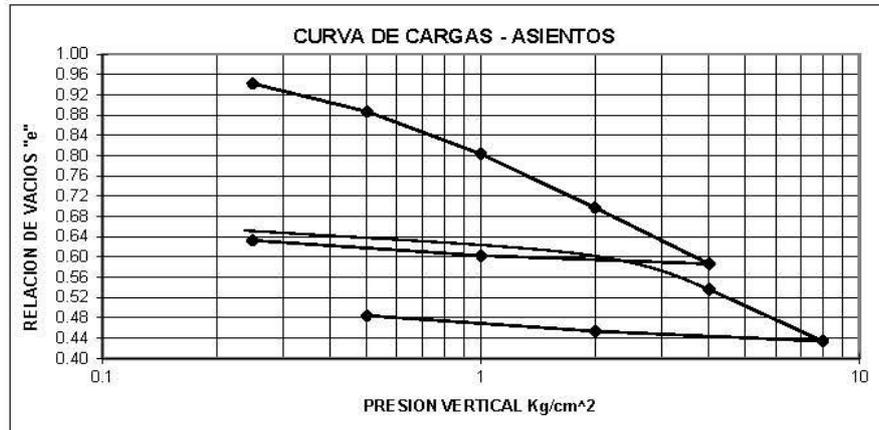
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT10-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	128.19	125.08
ANILLO + P. SUELO SECO	110.15	110.15
PESO DEL ANILLO	61.80	61.80
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	48.35	48.35
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	37.31	30.88

ANILLO No	XXVI	DIAMETRO (cm)	4.99	AREA (cm ²)	19.5330
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H ₁)			19.4 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S _s)			2.552 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS (H _S)			9.70 mm		
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH)			4.67 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H ₂)			14.71 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA (H _{w1})			9.24 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA (H _{w2})			7.64 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL (e ₀)			1.00		
RELACION DE VACIOS FINAL (e _f)			0.52		
GRADO DE SATURACION INICIAL (G _{w1})			95.5 %		
GRADO DE SATURACION FINAL (G _{w2})			153 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 0.9 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.438
 Índice de recuperación (Cr) 0.042

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT10-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019 EXPANSION : 0,13 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	22	62	123	203	304	365	483
0.2	23	64	126	206	307	368	483
0.3	24	65	127	207	309	369	484
0.4	25	66	128	209	310	370	484
0.5	25	66	129	209	311	371	485
0.6	26	67	130	210	313	372	485
0.7	26	67	131	210	313	372	485
0.8	26	67	132	211	314	373	486
0.9	27	68	132	212	315	373	486
1	27	68	133	212	316	374	486
2	29	70	136	215	321	376	488
3	30	72	138	218	324	378	489
4	31	73	139	219	326	380	491
5	32	74	141	221	328	382	492
10	34	76	146	227	336	388	497
15	35	78	148	231	341	393	501
30	38	82	153	240	352	405	509
60	41	87	160	250	366	419	519
100	44	91	167	262	376	429	527
200	47	97	176	275	388	441	537
300	49	100	181	282	394	444	541
400	50	102	184	285	396	446	543
500	51	104	185	288	398	446	545
1440	53	106	188	291	398	447	546
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	398
180	1.00	382.0
180	0.25	353.1
180	0.00	292.5

DESCARGA 2

0	8	546
180	2	527.0
180	0.5	497.0
180	0	466.5

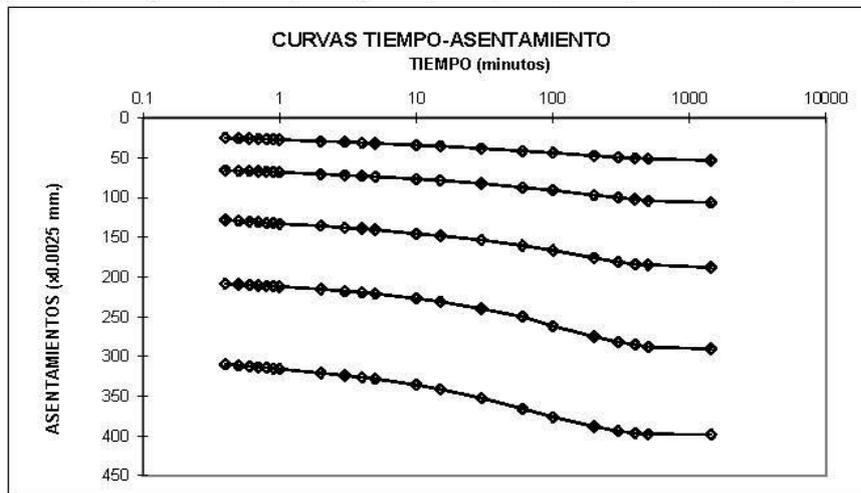
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : JUNIO DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT10-1
 PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.37	1.00	19.1	960	0.969	0.2185	0.0187	2.1E-08
1440	0.25	0.53	2.74	18.84	0.94	18.6	1680	0.915	0.2198	0.0101	1.2E-08
1440	0.50	1.06	5.49	18.31	0.89	17.9	1500	0.845	0.1684	0.0105	9.6E-09
1440	1.00	1.88	9.71	17.49	0.80	17	2400	0.75	0.1057	0.0059	3.6E-09
1440	2.00	2.91	15.00	16.47	0.70	15.9	1800	0.642	0.0555	0.0069	2.3E-09
1440	4.00	3.98	20.56	15.39	0.59	15.7	1800	0.616	0.0398	0.0067	1.7E-09
1440	4.00	4.47	23.08	14.9	0.54	14.4	2400	0.485	0.0255	0.0043	7.3E-10
1440	8.00	5.46	28.19	13.91	0.43						
DESCARGA 1											
000	4.00	3.98	20.56	15.39	0.59						
180	1.00	3.82	19.72	15.55	0.60						
180	0.25	3.53	18.23	15.84	0.63						
180	0.00	2.93	15.10	16.45	0.70						
DESCARGA 2											
000	8.00	5.46	28.19	13.91	0.43						
180	2.00	5.27	27.21	14.1	0.45						
180	0.50	4.97	25.66	14.4	0.48						
180	0.00	4.67	24.08	14.71	0.52						



ba



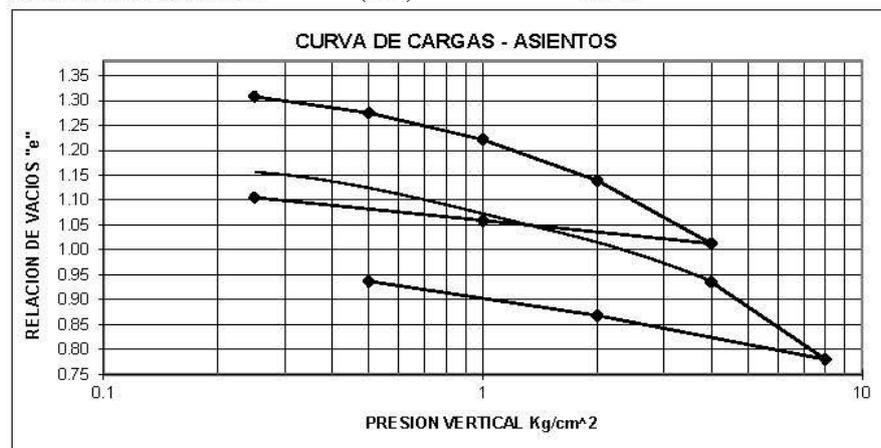
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 5.00 - 5.50m
 FECHA : MAYO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	146.01	142.62
ANILLO + P. SUELO SECO	124.70	124.70
PESO DEL ANILLO	81.69	81.69
PESO DEL SUELO SECO (WS)	43.01	43.01
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	49.55	41.66

ANILLO No XXII DIAMETRO (cm) 5.06 AREA (cm²) 20.1250

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.3 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.574 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 8.30 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 2.11 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 17.21 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 10.59 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 8.90 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 1.33
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 1.07
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 96.1 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.6 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.597
 Índice de recuperación (Cr) 0.130
 0.256 0.11150094
 0.056 0.048704567

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 5.00 - 5.50m
 FECHA : MAYO DEL 2019 EXPANSION : 0.162 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	3	22	54	101	170	254	389
0.2	3	23	55	102	173	256	390
0.3	4	23	56	103	175	258	391
0.4	4	24	57	104	177	259	392
0.5	4	24	57	105	178	259	393
0.6	4	24	58	106	179	260	393
0.7	4	25	58	106	179	261	393
0.8	4	25	58	107	180	262	393
0.9	4	25	58	107	181	262	394
1	4	25	59	107	181	263	394
2	4	26	60	110	186	267	397
3	5	27	62	112	190	269	399
4	5	28	63	114	192	273	401
5	5	28	63	115	196	275	403
10	7	30	66	121	206	284	410
15	8	31	69	124	213	290	415
30	9	33	73	131	227	300	425
60	11	36	78	138	236	310	435
100	12	38	81	143	243	317	441
200	14	40	84	149	250	322	448
300	14	42	86	152	253	323	451
400	15	42	87	153	255	324	452
500	15	42	87	154	256	324	453
1440	16	43	88	156	258	325	454
2880					260.9		

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	261
180	1.00	222.5
180	0.25	184.3
180	0.00	133.0

DESCARGA 2

0	8	454
180	2	381.0
180	0.5	324.0
180	0	210.9

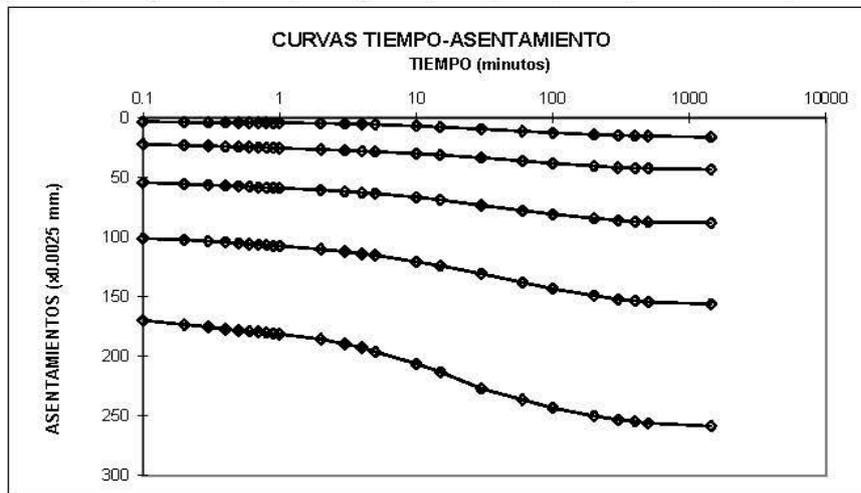
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : MAYO DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT11-2
 PROFUNDIDAD : 5.00 - 5.50m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /Kg	m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.32	1.33	19.2	1260	1.317	0.0766	0.014	4.8E-09
1440	0.25	0.16	0.82	19.16	1.31	19	1080	1.292	0.1306	0.017	9.4E-09
1440	0.50	0.43	2.23	18.89	1.28	18.7	1080	1.248	0.1079	0.016	7.6E-09
1440	1.00	0.88	4.54	18.44	1.22	18.1	1200	1.18	0.0821	0.013	5.1E-09
1440	2.00	1.56	8.07	17.76	1.14	17.2	720	1.076	0.0632	0.020	6.2E-09
2880	4.00	2.61	13.5	16.71	1.01	17.0	780	1.051	0.0578	0.018	5.2E-09
1440	4.00	3.25	16.82	16.07	0.94	15.4	1200	0.858	0.0389	0.010	2E-09
1440	8.00	4.54	23.51	14.78	0.78						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.61	13.50	16.71	1.01						
180	1.00	2.23	11.52	17.1	1.06						
180	0.25	1.84	9.54	17.48	1.11						
180	0.00	1.33	6.88	17.99	1.17						
DESCARGA 2											
000	8.00	4.54	23.51	14.78	0.78						
180	2.00	3.81	19.72	15.51	0.87						
180	0.50	3.24	16.77	16.08	0.94						
180	0.00	2.11	10.92	17.21	1.07						



ba



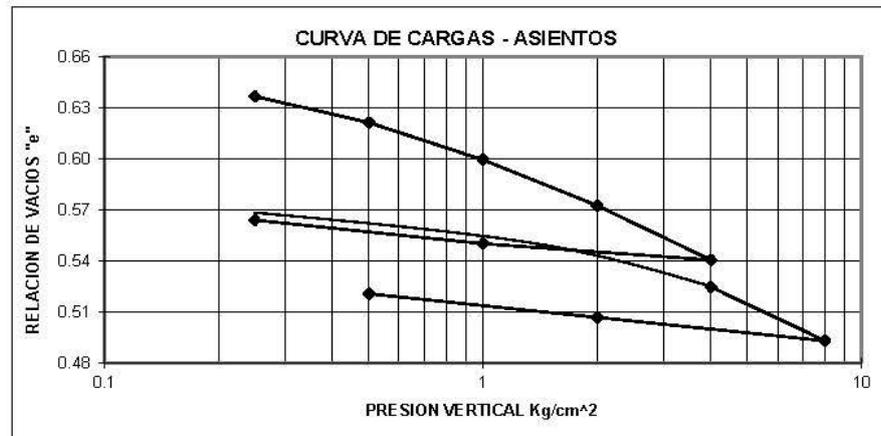
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m
 FECHA : MAYO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	135.60	133.94
ANILLO + P. SUELO SECO	121.50	121.50
PESO DEL ANILLO	62.89	62.89
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	58.61	58.61
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	24.06	21.23

ANILLO No XXI DIAMETRO (cm) 4.98 AREA (cm²) 19.4626

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.1 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S_s) 2.598 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (H_S) 11.59 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 1.11 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 17.99 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (H_{w1}) 7.24 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (H_{w2}) 6.39 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e₀) 0.65
 RELACION DE VACIOS FINAL (e_f) 0.55
 GRADO DE SATURACION INICIAL (G_{w1}) 96.5 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (G_{w2}) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (C_c) 0.132
 Índice de recuperación (C_r) 0.023

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m
 FECHA : MAYO DEL 2019 EXPANSION : 0.108 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	5	18	40	67	97	104	150
0.2	5	19	41	68	98	106	150
0.3	5	19	41	68	98	107	151
0.4	6	20	42	68	99	108	151
0.5	6	20	42	69	99	108	151
0.6	6	20	42	69	100	109	152
0.7	6	20	42	69	100	110	152
0.8	6	21	43	70	100	110	153
0.9	6	21	43	70	100	111	153
1	6	21	43	70	101	112	153
2	7	22	44	72	103	116	155
3	7	22	45	73	105	118	157
4	8	23	46	74	106	121	158
5	8	23	46	74	107	123	160
10	9	24	48	77	110	130	164
15	9	25	49	78	112	135	166
30	10	26	50	80	115	138	170
60	10	27	52	82	117	139	172
100	11	28	52	83	118	140	174
200	12	29	54	84	120	141	176
300	12	29	54	85	121	141	178
400	12	30	55	86	122	142	179
500	12	30	55	86	122	142	179
1440	13	31	56	87	123	143	179
2880					124.1		

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	124
180	1.00	113.0
180	0.25	97.0
180	0.00	73.0

DESCARGA 2

0	8	179
180	2	163.2
180	0.5	147.2
180	0	111.2

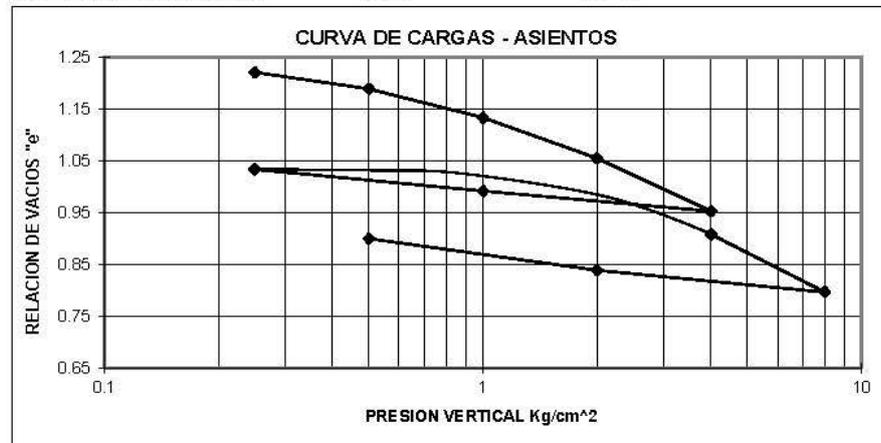
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,45-3,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	152.46	149.51
ANILLO + P. SUELO SECO	132.45	132.45
PESO DEL ANILLO	86.39	86.39
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	46.06	46.06
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	43.44	37.04

ANILLO No	X	DIAMETRO (cm)	4.97	AREA (cm ²)	19.40
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		20.5	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.620	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		9.06	mm	
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.66	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		17.84	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		10.31	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		8.79	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.26		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.97		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		90.2	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.429
 Índice de recuperación (Cr) 0.086

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,45-3,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019 EXPANSION : 0.321 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	14	43	74	126	195	180	325
0.2	15	43	75	127	196	183	327
0.3	16	44	76	128	197	185	327
0.4	16	44	76	128	198	186	328
0.5	17	44	77	129	199	188	329
0.6	17	45	77	129	199	189	329
0.7	17	45	78	130	199	190	330
0.8	18	45	78	130	200	191	331
0.9	18	45	79	130	200	192	331
1	18	45	79	131	201	193	331
2	20	46	80	133	204	201	335
3	20	47	82	135	207	206	338
4	21	47	83	137	209	212	340
5	21	48	84	139	211	217	344
10	24	50	88	144	218	232	352
15	26	51	90	147	223	243	358
30	28	54	96	154	233	267	371
60	31	57	101	162	246	289	385
100	33	59	105	166	254	304	396
200	35	62	110	173	264	311	406
300	36	64	112	176	269	315	412
400	37	65	114	179	273	317	416
500	37	66	115	183	276	319	419
1440	38	67	117	187	281	321	422
2880				188			
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	281
180	1.00	245.5
180	0.25	207.5
180	0.00	129.1

DESCARGA 2

0	8	422
180	2	384.0
180	0.5	328.5
180	0	266.0

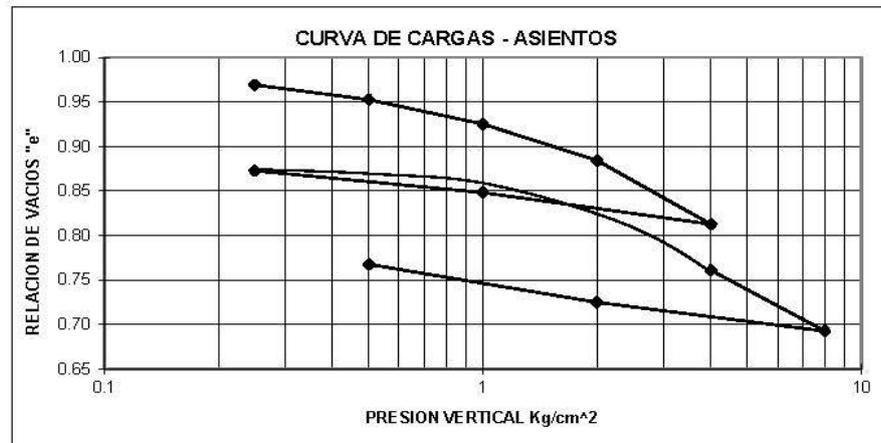
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 14,50- 15,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	151.46	149.88
ANILLO + P. SUELO SECO	133.86	133.86
PESO DEL ANILLO	81.70	81.70
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	52.16	52.16
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	33.74	30.71

ANILLO No	XXII	DIAMETRO (cm)	5.06	AREA (cm ²)	20.11
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.3 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.682 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		9.67 mm		
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		1.72 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		17.61 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		8.75 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		7.97 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.00		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.82		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		90.7 %		
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.5 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.319
 Índice de recuperación (Cr) 0.062

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 14,50-15,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0,184 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.5 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	17	32	53	84	135	167	215
0.2	18	33	55	85	137	169	217
0.3	18	34	56	86	138	171	219
0.4	18	34	56	87	139	172	220
0.5	19	35	57	88	140	173	221
0.6	19	35	57	89	140	175	221
0.7	19	35	58	90	141	176	222
0.8	19	35	58	90	142	176	223
0.9	20	35	58	90	142	177	224
1	20	36	58	90	142	178	224
2	21	36	60	92	146	185	228
3	21	37	61	93	149	189	233
4	22	37	61	94	150	192	236
5	22	38	62	95	152	197	238
10	23	39	63	98	157	203	248
15	24	39	64	99	160	208	254
30	25	40	65	100	164	213	265
60	25	41	66	102	167	216	274
100	25	41	67	103	169	218	279
200	26	42	68	104	172	219	285
300	27	43	69	105	174	221	288
400	27	43	69	106	176	223	291
500	27	43	70	107	177	226	292
1440	28	44	70	109	179	229	295
2880				110			
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	179
180	1.00	144.8
180	0.25	120.9
180	0.00	90.1

DESCARGA 2

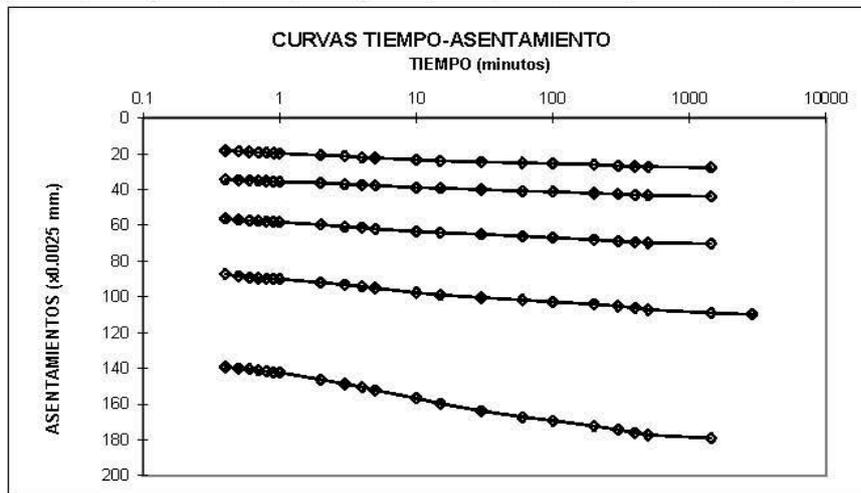
0	8	295
180	2	264.0
180	0.5	222.8
180	0	171.5

ba

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PPE-17
 PROFUNDIDAD : 14,50-15,00 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm		mm	seg		cm ² /Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.32	1.00	19.2	210	0.983	0.1142	0.0863	5E-08
1440	0.25	0.28	1.43	19.04	0.97	19	168	0.961	0.0666	0.1054	3.6E-08
1440	0.50	0.44	2.26	18.88	0.95	18.8	132	0.939	0.0548	0.1312	3.7E-08
1440	1.00	0.70	3.63	18.62	0.93	18.4	240	0.905	0.0409	0.0696	1.5E-08
2880	2.00	1.10	5.68	18.22	0.88	17.9	360	0.848	0.0358	0.0437	8.5E-09
1440	4.00	1.79	9.265	17.53	0.81	17.7	228	0.833	0.0359	0.0679	1.3E-08
1440	4.00	2.29	11.85	17.03	0.76	16.7	720	0.727	0.0172	0.0191	1.9E-09
1440	8.00	2.95	15.28	16.37	0.69						
DESCARGA 1											
000	4.00	1.79	9.27	17.53	0.81						
180	1.00	1.45	7.49	17.87	0.85						
180	0.25	1.21	6.26	18.11	0.87						
180	0.00	0.90	4.66	18.42	0.90						
DESCARGA 2											
000	8.00	2.95	15.28	16.37	0.69						
180	2.00	2.64	13.66	16.68	0.72						
180	0.50	2.23	11.53	17.09	0.77						
180	0.00	1.72	8.88	17.61	0.82						



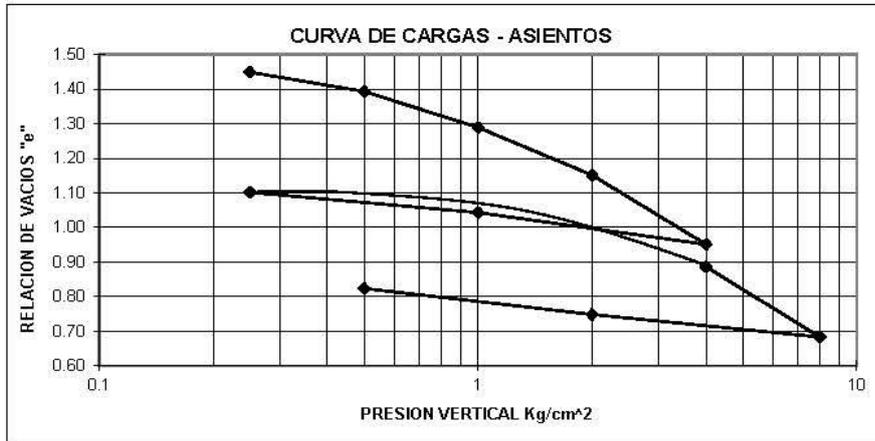
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 16,10- 16,70 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	142.86	133.82
ANILLO + P. SUELO SECO	122.30	122.30
PESO DEL ANILLO	81.22	81.22
PESO DEL SUELO SECO (WS)	41.08	41.08
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	50.05	28.04

ANILLO No	XI	DIAMETRO (cm)	5.02	AREA (cm ²)	19.79
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.2	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(Ss)		2.698	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(HS)		7.69	mm	
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		5.69	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		13.52	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(Hw1)		10.39	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(Hw2)		5.82	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e0)		1.50		
RELACION DE VACIOS FINAL	(ef)		0.76		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(GW1)		90.2	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(GW2)		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.25 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.777
 Índice de recuperación (Cr) 0.117

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 16,10-16,70 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0,15 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.5 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	8	43	91	173	301	317	511
0.2	9	44	92	174	303	326	513
0.3	9	44	92	175	305	328	513
0.4	9	44	93	176	307	330	513
0.5	10	45	94	176	308	332	513
0.6	10	45	94	177	308	332	514
0.7	10	45	95	178	309	333	514
0.8	10	45	95	178	309	334	514
0.9	11	46	96	178	309	335	515
1	11	46	96	179	310	336	515
2	12	47	99	182	313	342	521
3	13	48	100	185	317	348	524
4	14	49	102	188	320	353	526
5	14	50	103	189	322	355	528
10	17	53	110	197	332	372	537
15	19	55	113	203	340	384	544
30	23	59	122	215	356	406	559
60	27	64	133	229	375	432	576
100	30	69	141	239	389	449	591
200	33	73	149	250	403	461	606
300	34	76	153	255	410	465	614
400	35	77	155	258	414	468	619
500	36	79	158	261	417	469	621
1440	37	80	160	265	420	470	626
2880				266			
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	420
180	1.00	349.0
180	0.25	304.1
180	0.00	225.9

DESCARGA 2

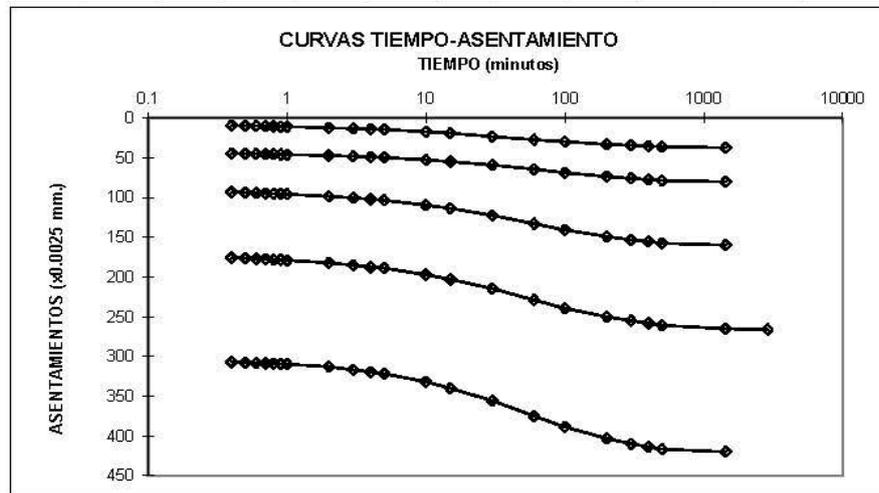
0	8	626
180	2	576.0
180	0.5	517.8
180	0	469.0

ba

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-17
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 16,10-16,70 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	H _m	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /Kg	mm ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.21	1.50	19	1080	1.473	0.1929	0.0165	1.3E-08
1440	0.25	0.37	1.93	18.84	1.45	18.6	2100	1.421	0.2231	0.0081	7.5E-09
1440	0.50	0.80	4.16	18.41	1.39	18	1800	1.341	0.2072	0.0089	7.9E-09
1440	1.00	1.60	8.31	17.61	1.29	17.1	1830	1.22	0.1382	0.0079	4.9E-09
2880	2.00	2.66	13.85	16.55	1.15	15.8	1800	1.051	0.1001	0.0068	3.3E-09
1440	4.00	4.20	21.86	15.01	0.95	15.7	1080	1.045	0.0793	0.0113	4.4E-09
1440	4.00	4.70	24.47	14.51	0.89	13.7	1854	0.785	0.0507	0.0050	1.4E-09
1440	8.00	6.26	32.59	12.95	0.68						
DESCARGA 1											
000	4.00	4.20	21.86	15.01	0.95						
180	1.00	3.49	18.17	15.72	1.04						
180	0.25	3.04	15.83	16.17	1.10						
180	0.00	2.26	11.76	16.95	1.20						
DESCARGA 2											
000	8.00	6.26	32.59	12.95	0.68						
180	2.00	5.76	29.98	13.45	0.75						
180	0.50	5.18	26.95	14.03	0.82						
180	0.00	5.69	29.62	13.52	0.76						



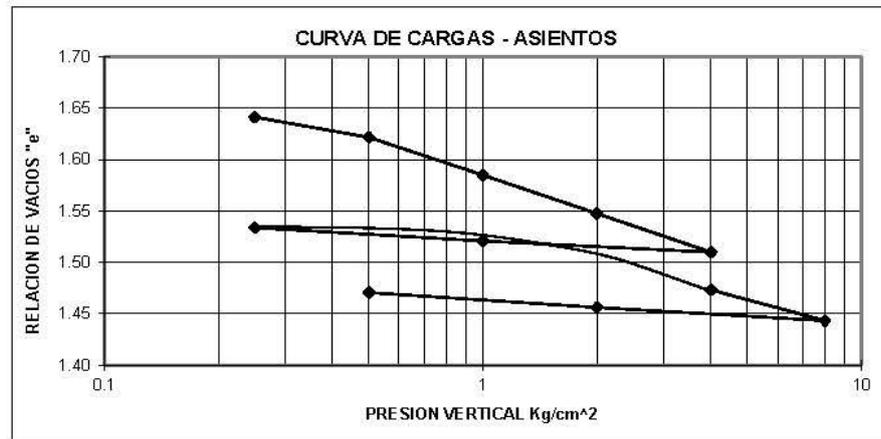
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-11
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.45-4.00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	119.84	118.17
ANILLO + P. SUELO SECO	97.86	97.86
PESO DEL ANILLO	61.72	61.72
PESO DEL SUELO SECO (WS)	36.14	36.14
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	60.82	56.20

ANILLO No	XIX	DIAMETRO (cm)	4.97	AREA (cm ²)	19.3689
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		18.91	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(Ss)		2.630	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(HS)		7.09	mm	
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		1.29	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		17.62	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(Hw1)		11.35	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(Hw2)		10.49	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e0)		1.67		
RELACION DE VACIOS FINAL	(ef)		1.48		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(GW1)		96.0	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(GW2)		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.1 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.173
 Índice de recuperación (Cr) 0.023

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-11
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.45-4.00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.273 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	28	77	145	252	350	408	553
0.2	29	78	147	256	353	415	553
0.3	31	79	148	258	354	418	554
0.4	32	79	148	259	355	420	555
0.5	32	80	150	261	356	422	555
0.6	33	80	151	262	356	423	555
0.7	33	81	152	262	357	424	556
0.8	34	81	154	263	358	425	556
0.9	34	82	154	264	358	425	556
1	34	82	154	264	359	426	557
2	36	84	158	269	362	431	559
3	37	85	161	271	364	435	561
4	39	87	166	273	366	438	563
5	40	89	169	274	368	444	564
10	42	93	175	280	375	456	569
15	45	96	179	283	379	465	572
30	48	101	188	292	389	479	580
60	53	107	196	302	401	496	592
100	56	111	202	311	411	516	603
200	61	118	215	323	423	530	618
300	63	120	221	328	430	540	624
400	65	122	224	330	433	542	626
500	66	122	225	331	435	544	628
1440	68	124	228	334	440	545	630
2880					441		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	441
180	1.00	410.2
180	0.25	373.5
180	0.00	327.2

DESCARGA 2

0	8	630
180	2	593.8
180	0.5	552.5
180	0	514.5

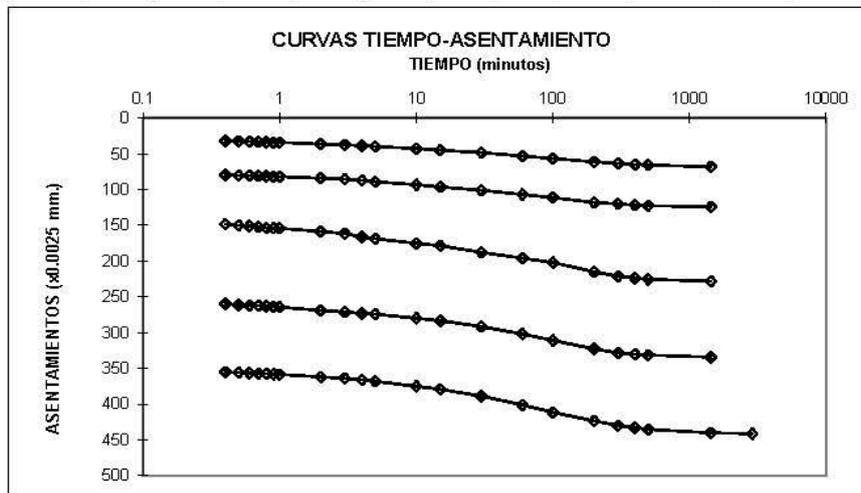
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PC-T-11
 PROFUNDIDAD : 3.45-4.00 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	18.91	1.67	18.8	900	1.653	0.0958	0.0194	7E-09
1440	0.25	0.17	0.90	18.74	1.64	18.7	1200	1.632	0.0791	0.0143	4.3E-09
1440	0.50	0.31	1.64	18.6	1.62	18.5	1200	1.603	0.0732	0.0140	3.9E-09
1440	1.00	0.57	3.01	18.34	1.59	18.2	1260	1.566	0.0374	0.0130	1.9E-09
1440	2.00	0.84	4.42	18.07	1.55	17.9	1920	1.529	0.0189	0.0083	6.2E-10
2880	4.00	1.10	5.834	17.81	1.51	17.8	1260	1.512	0.0192	0.0124	9.5E-10
1440	4.00	1.36	7.208	17.55	1.47	17.4	3000	1.458	0.0075	0.0050	1.5E-10
1440	8.00	1.58	8.329	17.34	1.44						
DESCARGA 1											
000	4.00	1.10	5.83	17.81	1.51						
180	1.00	1.03	5.42	17.88	1.52						
180	0.25	0.93	4.94	17.98	1.53						
180	0.00	0.82	4.33	18.09	1.55						
DESCARGA 2											
000	8.00	1.58	8.33	17.34	1.44						
180	2.00	1.48	7.85	17.43	1.46						
180	0.50	1.38	7.30	17.53	1.47						
180	0.00	1.29	6.80	17.62	1.48						



ba



LIMOS



ENSAYO DE CONSOLIDACION

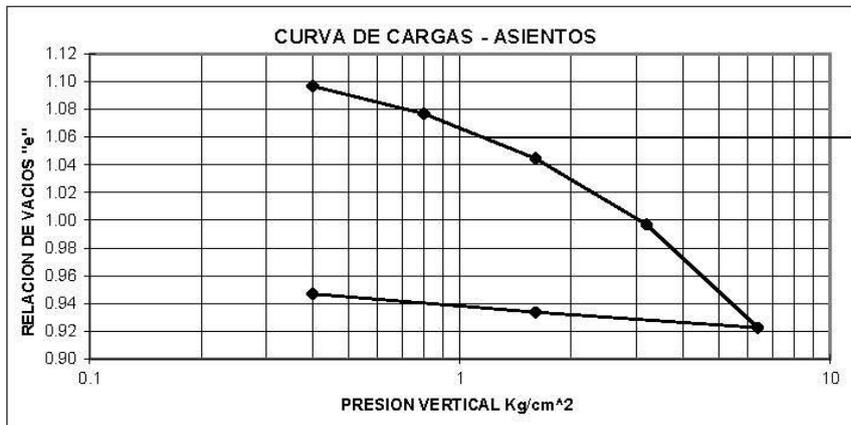
(NORMA ASTM D2435)

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT-3-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 8.50-8.80 m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	266.90	264.74
ANILLO + P. SUELO SECO	246.47	246.47
PESO DEL ANILLO	198.62	198.62
PESO DEL SUELO SECO (WS)	47.85	47.85
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	42.70	38.18

ANILLO No III DIAMETRO (cm) 5.06 AREA (cm²) 20.11

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 20.1 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.524 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 9.43 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (H) 1.57 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 18.53 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 10.16 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 9.09 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 1.13
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 0.96
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 95.19 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ_p) 1.9 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.246
 Índice de recuperación (Cr) 0.020

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT-3-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 8.50-8.80 m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.00 mm.

TIEMPO MIN.	CARGA					
	0.2 kg/cm ² lect.x0.0025	0.4 kg/cm ² lect.x0.0025	0.8 kg/cm ² lect.x0.0025	1.6 kg/cm ² lect.x0.0025	3.2kg/cm ² lect.x0.0025	6.4 kg/cm ² lect.x0.0025
0.1		81	150	240	374	572
0.2		82	151	243	380	579
0.3		83	153	245	383	585
0.4		84	154	246	385	590
0.5		85	155	247	388	593
0.6		86	156	248	390	595
0.7		87	157	249	392	598
0.8		88	158	250	394	601
0.9		89	159	251	395	604
1		90	160	252	397	607
2		94	166	260	407	625
3		96	169	265	412	637
4		98	171	268	418	645
5		99	173	271	422	650
10		103	178	278	432	668
15		106	181	282	438	680
30		110	186	290	450	698
60		115	190	297	461	713
100		119	194	303	469	728
200		124	198	311	481	748
300		127	201	316	488	759
400		128	202	320	492	766
500		129	203	322	496	771
1440		131	204	324	502	778

DESCARGA			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025	
0	6.40	777.6	
180	1.60	736.0	
180	0.40	687.0	
180	0.00	620.0	

ba



ENSAYO DE CONSOLIDACION

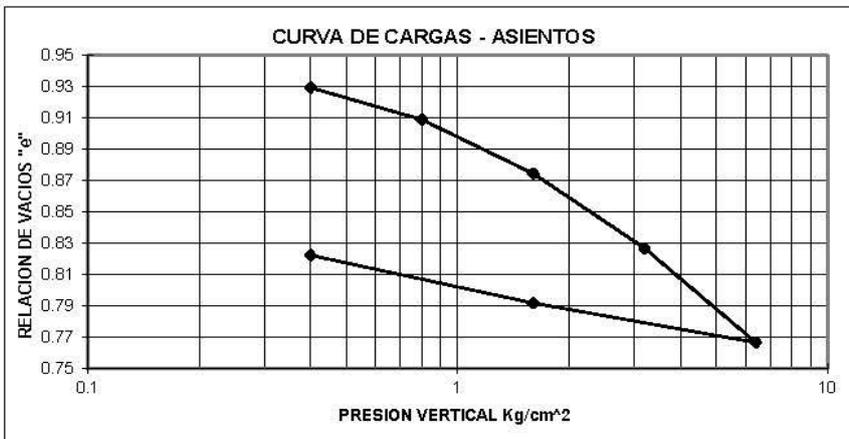
(NORMA ASTM D2435)

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT-7-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 0.60-1.00 m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	710.12	709.98
ANILLO + P. SUELO SECO	692.00	692.00
PESO DEL ANILLO	640.70	640.70
PESO DEL SUELO SECO (WS)	51.30	51.30
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	35.32	35.05

ANILLO No 4 DIAMETRO (cm) 5.05 AREA (cm²) 20.03

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.9 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.510 kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 10.20 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 0.75 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 19.15 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 9.05 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 8.98 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 0.95
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 0.88
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 93.30 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'p) 1.65 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.199
 Índice de recuperación (Cr) 0.047

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT-7-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 0.60-1.00 m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.160 mm.

TIEMPO MIN.	CARGA					
	0.2 kg/cm ² lect.x0.0025	0.4 kg/cm ² lect.x0.0025	0.8 kg/cm ² lect.x0.0025	1.6 kg/cm ² lect.x0.0025	3.2kg/cm ² lect.x0.0025	6.4 kg/cm ² lect.x0.0025
0.1		24	100	160	339	528
0.2		26	103	165	343	533
0.3		27	104	168	346	537
0.4		28	105	172	350	540
0.5		29	106	175	351	542
0.6		30	107	178	353	544
0.7		31	108	180	354	546
0.8		32	108	183	355	547
0.9		33	109	185	357	548
1		33	110	187	358	550
2		39	114	200	372	563
3		42	118	207	380	572
4		44	121	212	387	580
5		46	123	216	392	585
10		52	129	228	412	606
15		55	133	235	422	622
30		60	139	248	440	648
60		66	146	260	457	673
100		70	151	270	466	690
200		75	157	283	480	710
300		78	160	290	486	719
400		80	162	295	490	725
500		81	163	297	493	728
1440		83	165	304	495	737

DESCARGA			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025	
0	6.40	737.0	
180	1.60	636.0	
180	0.40	513.0	
180	0.00	296.0	

ba



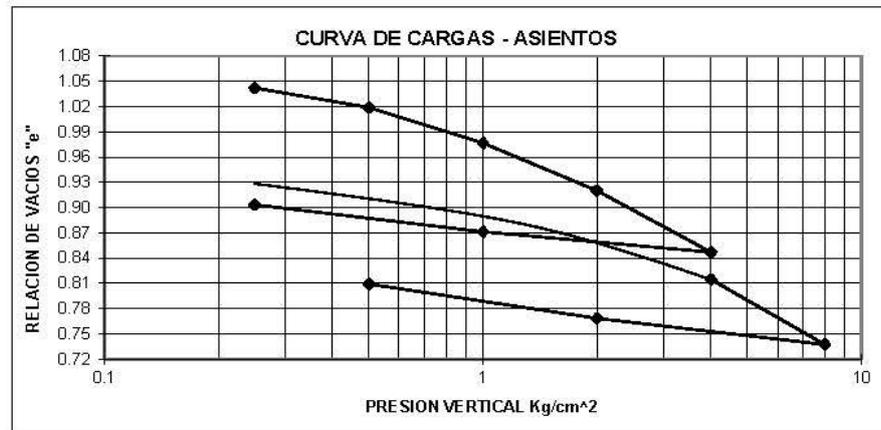
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT7-3
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m
 FECHA : MAYO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	154.98	152.35
ANILLO + P. SUELO SECO	135.37	135.37
PESO DEL ANILLO	86.36	86.36
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	49.01	49.01
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	40.01	34.65

ANILLO No X DIAMETRO (cm) 4.97 AREA (cm²) 19.3806

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H₁) 20.5 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S_s) 2.538 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (H_S) 9.97 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 1.78 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H₂) 18.73 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (H_{w1}) 10.12 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (H_{w2}) 8.76 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e₀) 1.06
 RELACION DE VACIOS FINAL (e_f) 0.88
 GRADO DE SATURACION INICIAL (G_{w1}) 96.0 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (G_{w2}) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.25 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.304
 Índice de recuperación (Cr) 0.060

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT7-3
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m
 FECHA : MAYO DEL 2019 EXPANSION : 0.204 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	2	20	47	90	145	148	248
0.2	3	20	48	91	147	149	249
0.3	3	21	48	92	147	152	250
0.4	3	21	49	93	148	154	250
0.5	3	22	49	94	149	155	251
0.6	4	22	50	95	150	156	252
0.7	4	22	50	95	150	157	252
0.8	4	22	50	95	151	158	253
0.9	4	22	51	95	151	159	253
1	4	22	51	96	152	160	253
2	5	23	53	98	154	167	256
3	5	24	54	100	156	169	259
4	6	24	55	101	159	172	261
5	6	25	56	102	160	175	262
10	7	26	59	106	166	188	269
15	8	28	61	109	170	196	275
30	10	30	65	114	178	212	284
60	11	32	69	121	186	226	295
100	12	33	72	125	192	232	303
200	13	35	75	129	199	237	310
300	14	36	77	132	202	239	315
400	14	37	78	133	204	240	316
500	14	37	79	135	205	240	318
1440	15	38	80	137	208	242	319
2880					209.5		

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	210
180	1.00	185.3
180	0.25	153.2
180	0.00	122.2

DESCARGA 2

0	8	319
180	2	287.8
180	0.5	247.1
180	0	177.5

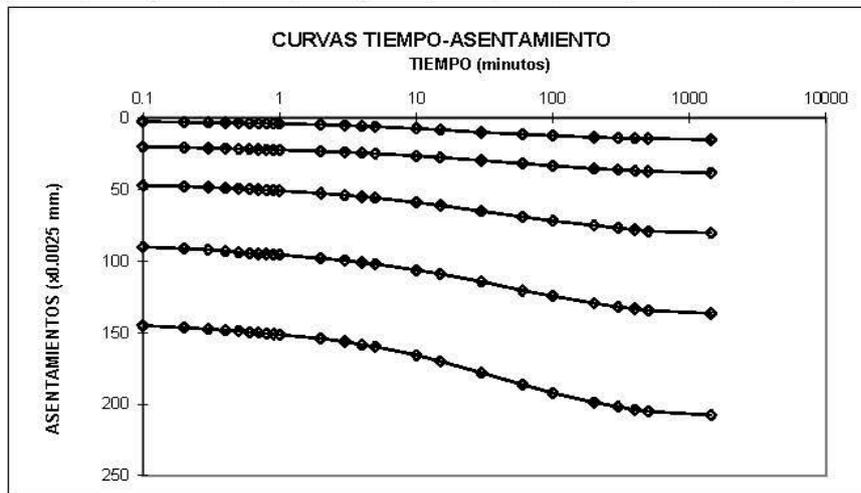
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : MAYO DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT7-3
 PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	20.50	1.06	20.4	840	1.05	0.0602	0.024	7.2E-09
1440	0.25	0.15	0.73	20.35	1.04	20.2	1080	1.03	0.0931	0.019	8.6E-09
1440	0.50	0.38	1.86	20.12	1.02	19.9	1080	0.998	0.0843	0.018	7.6E-09
1440	1.00	0.80	3.91	19.70	0.98	19.4	1200	0.948	0.0565	0.015	4.5E-09
1440	2.00	1.37	6.66	19.14	0.92	18.8	1200	0.884	0.0366	0.014	2.8E-09
2880	4.00	2.10	10.22	18.41	0.85	18.7	720	0.875	0.0300	0.024	3.8E-09
1440	4.00	2.42	11.79	18.08	0.81	17.7	1500	0.776	0.0193	0.010	1.1E-09
1440	8.00	3.19	15.55	17.31	0.74						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.10	10.22	18.41	0.85						
180	1.00	1.85	9.04	18.65	0.87						
180	0.25	1.53	7.47	18.97	0.90						
180	0.00	1.22	5.96	19.28	0.93						
DESCARGA 2											
000	8.00	3.19	15.55	17.31	0.74						
180	2.00	2.88	14.04	17.62	0.77						
180	0.50	2.47	12.05	18.03	0.81						
180	0.00	1.78	8.66	18.73	0.88						



ba



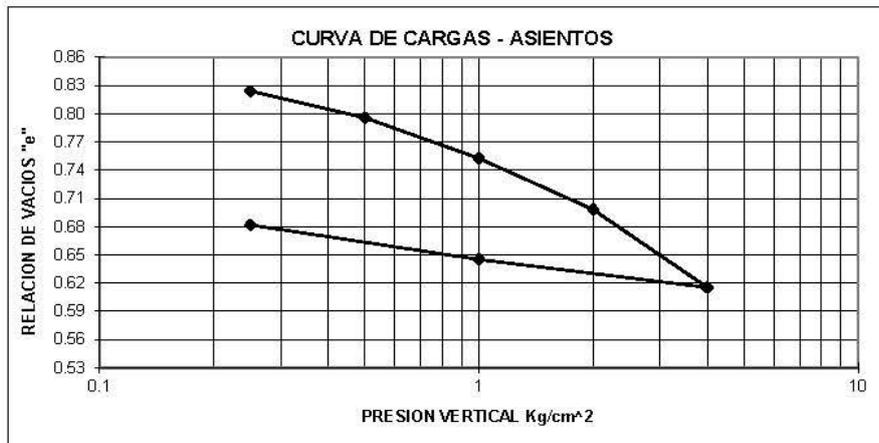
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1.00 - 1.50m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	131.12	129.15
ANILLO + P. SUELO SECO	114.65	114.65
PESO DEL ANILLO	62.89	62.89
PESO DEL SUELO SECO (WS)	51.76	51.76
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	31.82	28.01

ANILLO No XXI DIAMETRO (cm) 4.98 AREA (cm²) 19.4782

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.1 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.589 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 10.26 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 1.39 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 17.72 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 8.46 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 7.44 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 0.86
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 0.73
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 95.7 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.276
 Índice de recuperación (Cr) 0.056

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-1
 UBIACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1.00 - 1.50m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.37 mm

TIEMPO MIN.	CARGA					
	0.25 kg/cm ² lect. x0.01	0.50 kg/cm ² lect. x0.01	1.0 kg/cm ² lect. x0.01	2.0 kg/cm ² lect. x0.01	4.0 kg/cm ² lect. x0.01	
0.1	8	41	72	119	178	
0.2	8	41	73	120	179	
0.3	9	41	73	121	180	
0.4	9	42	74	121	181	
0.5	10	42	74	122	182	
0.6	10	42	75	122	183	
0.7	10	42	75	123	183	
0.8	10	42	75	123	184	
0.9	11	42	75	123	184	
1	11	42	76	124	185	
2	12	43	77	125	188	
3	13	44	78	127	190	
4	14	44	79	128	191	
5	15	45	80	129	193	
10	17	46	83	133	198	
15	18	47	85	135	202	
30	21	50	89	140	211	
60	25	53	94	147	221	
100	30	59	102	159	238	
200	34	63	107	163	246	
300	35	64	109	164	249	
400	36	65	109	165	250	
500	36	65	110	166	250	
1440	38	67	111	167	252	

DESCARGA			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01	
0	4.00	252	
180	1.00	221.5	
180	0.25	184.0	
180	0.00	138.5	

ba



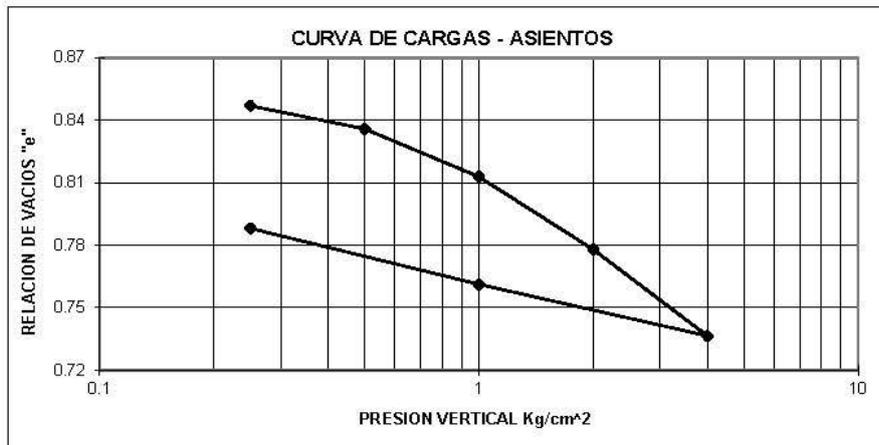
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	149.39	148.85
ANILLO + P. SUELO SECO	132.76	132.76
PESO DEL ANILLO	81.21	81.21
PESO DEL SUELO SECO (WS)	51.55	51.55
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	32.26	31.21

ANILLO No XA DIAMETRO (cm) 4.96 AREA (cm²) 19.3221

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.5 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.564 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 10.41 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 0.72 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 18.76 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 8.61 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 8.33 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 0.87
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 0.80
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 94.8 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 0.98 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.140
 Índice de recuperación (Cr) 0.045

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-1
 UBIACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.14 mm

TIEMPO MIN.	CARGA					
	0.25 kg/cm ² lect. x0.01	0.50 kg/cm ² lect. x0.01	1.0 kg/cm ² lect. x0.01	2.0 kg/cm ² lect. x0.01	4.0 kg/cm ² lect. x0.01	
0.1	18	28	43	69	107	
0.2	18	28	43	70	108	
0.3	18	28	44	70	109	
0.4	19	28	44	71	109	
0.5	19	29	44	71	110	
0.6	19	29	44	71	110	
0.7	19	29	44	71	110	
0.8	19	29	45	72	110	
0.9	19	29	45	72	111	
1	19	29	45	72	111	
2	19	29	46	73	113	
3	19	30	46	74	114	
4	20	30	47	75	116	
5	20	30	47	75	116	
10	20	31	49	78	120	
15	20	31	50	80	123	
30	22	32	53	84	128	
60	23	34	56	88	133	
100	24	35	59	92	137	
200	25	36	60	95	139	
300	26	37	61	96	140	
400	26	37	61	97	141	
500	26	37	61	98	141	
1440	26	38	62	98	141	

DESCARGA			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01	
0	4.00	141	
180	1.00	115.5	
180	0.25	87.5	
180	0.00	71.6	

ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : ABRIL DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT8-1
 PROFUNDIDAD : 2.00 - 2.50m

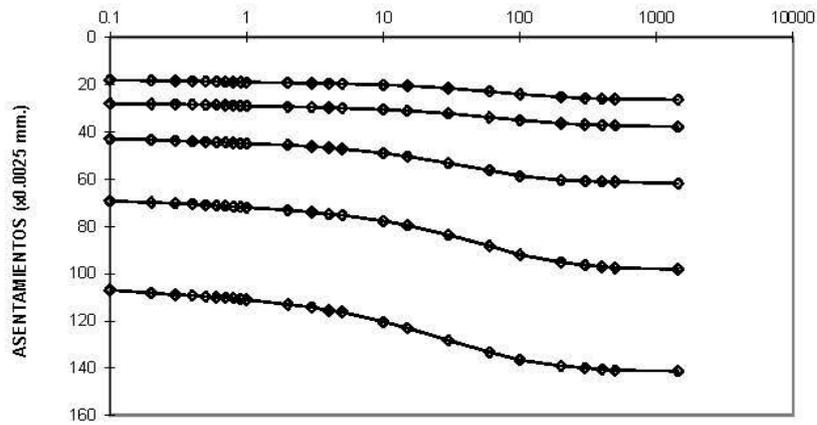
DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	H _m	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm		mm	seg		cm ² /Kg	m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.48	0.87	19.3	1200	0.859	0.1011	0.0154	8.4E-09
1440	0.25	0.26	1.35	19.22	0.85	19.2	2760	0.841	0.0442	0.0066	1.6E-09
1440	0.50	0.38	1.94	19.1	0.84	19	1320	0.824	0.0461	0.0134	3.4E-09
1440	1.00	0.62	3.17	18.86	0.81	18.7	1560	0.795	0.0349	0.0110	2.1E-09
1440	2.00	0.98	5.04	18.5	0.78	18.3	1320	0.757	0.0207	0.0125	1.5E-09
1440	4.00	1.41	7.248	18.07	0.74						

DESCARGA

000	4.00	1.41	7.25	18.07	0.74						
180	1.00	1.16	5.93	18.33	0.76						
180	0.25	0.88	4.49	18.61	0.79						
180	0.00	0.72	3.68	18.76	0.80						

CURVAS TIEMPO-ASENTAMIENTO
TIEMPO (minutos)



ba

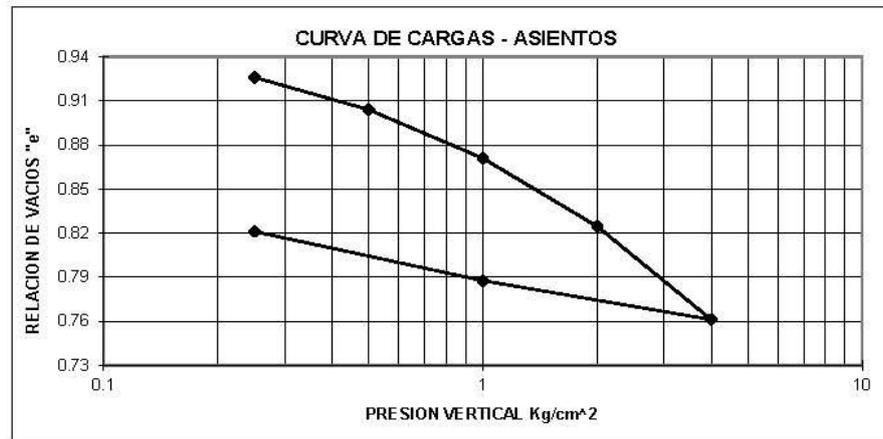
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 7.50 - 8.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	156.65	155.53
ANILLO + P. SUELO SECO	139.06	139.06
PESO DEL ANILLO	86.93	86.93
PESO DEL SUELO SECO (WS)	52.13	52.13
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	33.74	31.59

ANILLO No XII DIAMETRO (cm) 4.97 AREA (cm²) 19.4157

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.5 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.705 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 9.93 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 1.07 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 18.42 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 9.06 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 8.48 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 0.96
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 0.86
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 94.8 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.15 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.213
 Índice de recuperación (Cr) 0.050

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT8-1
 UBIACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 7.50 - 8.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.35 mm

TIEMPO MIN.	CARGA					
	0.25 kg/cm ² lect. x0.01	0.50 kg/cm ² lect. x0.01	1.0 kg/cm ² lect. x0.01	2.0 kg/cm ² lect. x0.01	4.0 kg/cm ² lect. x0.01	
0.1	25	41	67	100	147	
0.2	25	42	67	101	148	
0.3	26	42	68	102	149	
0.4	26	42	69	103	150	
0.5	26	43	69	103	151	
0.6	26	43	69	104	151	
0.7	27	43	70	104	152	
0.8	27	43	70	105	153	
0.9	27	44	70	105	153	
1	27	44	70	106	153	
2	28	45	73	108	157	
3	28	45	74	110	159	
4	29	46	75	112	161	
5	29	47	76	113	162	
10	30	49	79	117	169	
15	31	50	81	120	173	
30	32	52	84	125	181	
60	34	54	87	129	187	
100	35	55	89	132	192	
200	36	56	90	134	195	
300	36	57	90	135	197	
400	36	57	91	136	198	
500	36	57	91	136	199	
1440	36	58	91	137	200	

DESCARGA			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01	
0	4.00	200	
180	1.00	173.7	
180	0.25	140.5	
180	0.00	106.5	

ba

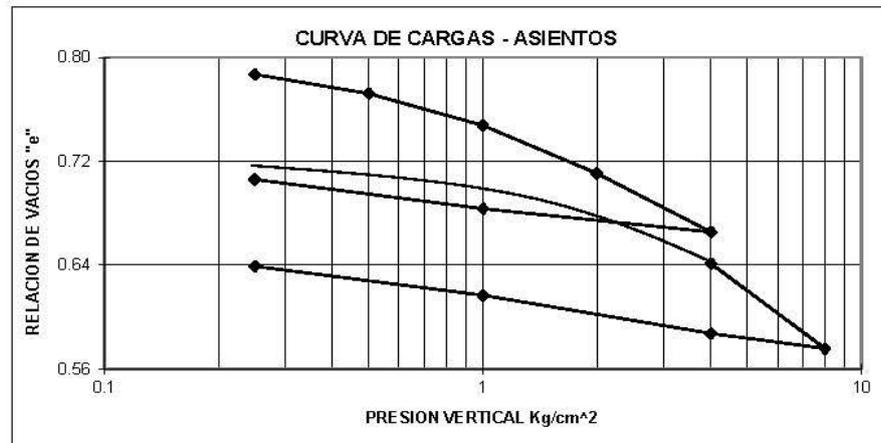
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.50 - 4.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	659.29	654.78
ANILLO + P. SUELO SECO	625.44	625.44
PESO DEL ANILLO	512.44	512.44
PESO DEL SUELO SECO (WS)	113.00	113.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	29.96	25.96

ANILLO No XIX DIAMETRO (cm) 6.33 AREA (cm²) 31.4701

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 25.5 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.556 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 14.05 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 2.09 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 23.37 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 10.76 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 9.32 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 0.81
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 0.66
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 94.3 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.4 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.448
 Índice de recuperación (Cr) 0.052

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.50 - 4.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.265 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	55	156	250	398	612	580	1010
0.2	58	158	254	404	619	590	1016
0.3	61	159	256	406	622	598	1021
0.4	63	160	258	408	624	603	1022
0.5	64	161	259	411	626	607	1024
0.6	65	161	260	413	628	610	1026
0.7	67	162	262	414	631	614	1028
0.8	68	162	263	415	632	618	1030
0.9	69	163	264	417	634	620	1031
1	70	163	265	418	635	624	1033
2	77	167	270	426	644	645	1045
3	81	169	275	432	652	660	1055
4	84	171	278	436	657	675	1062
5	87	172	281	440	662	684	1069
10	97	178	293	455	679	725	1096
15	104	182	298	465	695	754	1113
30	113	192	312	487	717	813	1150
60	122	200	327	512	744	874	1201
100	131	207	339	530	766	914	1248
200	140	217	353	552	802	949	1293
300	142	221	361	562	814	956	1314
400	143	223	364	569	820	960	1319
500	143	226	365	570	821	961	1324
1440	143	226	365	572	826	963	1330

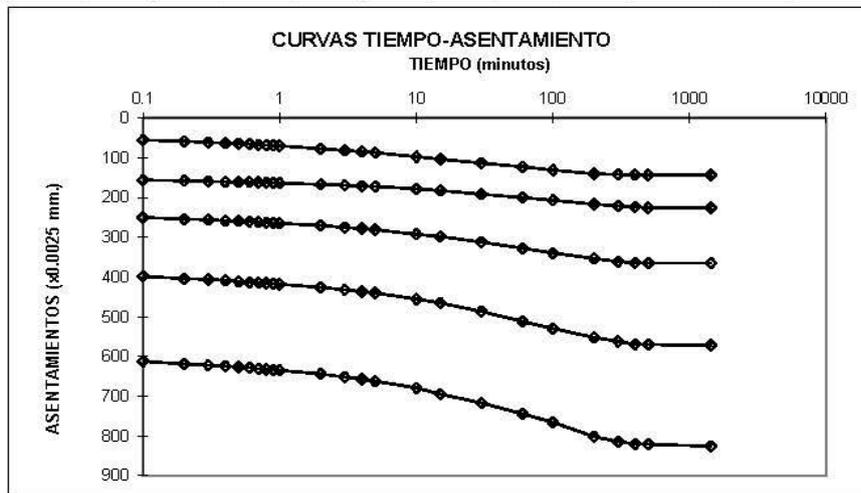
DESCARGA 1			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025	
0	4.00	826	
180	1.00	724.4	
180	0.25	598.8	
180	0.00	458.2	
DESCARGA 2			OBSERVACIONES
0	8	1330	
180	4	1265.5	
180	1	1099.5	
180	0.25	974.5	
180	0	837.9	

ba

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : ABRIL DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT11-1
 PROFUNDIDAD : 3.50 - 4.00m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	25.46	0.81	25.3	540	0.8	0.1018	0.0583	3.3E-08
1440	0.25	0.36	1.40	25.1	0.79	25	1500	0.78	0.0591	0.0205	6.8E-09
1440	0.50	0.57	2.22	24.9	0.77	24.7	1200	0.76	0.0494	0.0251	7E-09
1440	1.00	0.91	3.58	24.55	0.75	24.3	1440	0.729	0.0368	0.0202	4.3E-09
1440	2.00	1.43	5.61	24.03	0.71	23.7	1500	0.688	0.0226	0.0185	2.5E-09
1440	4.00	2.06	8.109	23.4	0.67	23.7	1020	0.686	0.0225	0.0271	3.6E-09
1440	4.00	2.41	9.456	23.05	0.64	22.6	1980	0.608	0.0163	0.0127	1.3E-09
1440	8.00	3.33	13.06	22.14	0.58						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.06	8.11	23.4	0.665						
180	1.00	1.81	7.11	23.65	0.683						
180	0.25	1.50	5.88	23.96	0.706						
180	0.00	1.15	4.50	24.31	0.731						
DESCARGA 2											
000	8.00	3.33	13.06	22.14	0.576						
180	4.00	3.16	12.43	22.3	0.587						
180	1.00	2.75	10.80	22.71	0.617						
180	0.25	2.44	9.57	23.02	0.639						
180	0.00	2.09	8.23	23.37	0.663						



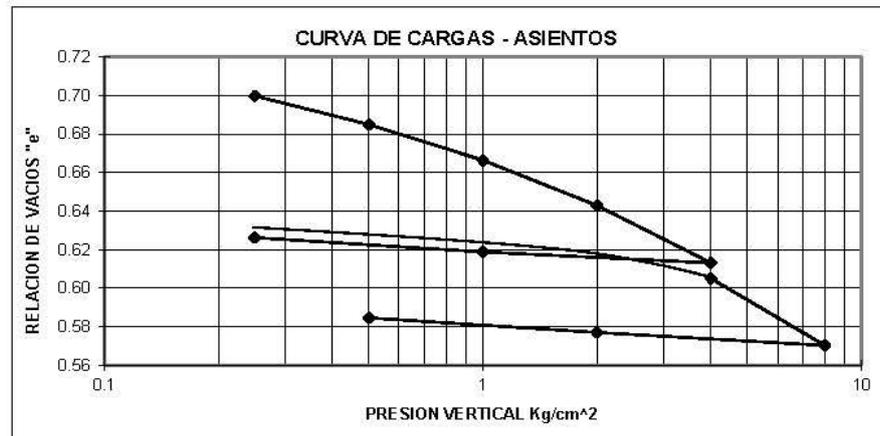
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 5.00 - 5.50m
 FECHA : MARZO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	666.22	661.41
ANILLO + P. SUELO SECO	634.15	634.15
PESO DEL ANILLO	517.02	517.02
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	117.13	117.13
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	27.38	23.27

ANILLO No	1	DIAMETRO (cm)	6.31	AREA (cm ²)	31.2418
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		25.4 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.565 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		14.62 mm		
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.06 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		23.34 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		10.27 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		8.73 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		0.74		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.60		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		95.2 %		
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.121
 Índice de recuperación (Cr) 0.012

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 5.50 - 6.00m
 FECHA : MARZO DEL 2019 EXPANSION : 0.000 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	139	248	344	463	633	723	839
0.2	146	252	349	472	642	727	848
0.3	151	255	352	477	647	729	854
0.4	154	256	355	480	651	731	859
0.5	155	258	357	483	654	732	861
0.6	157	259	359	485	655	733	864
0.7	159	260	360	487	657	734	866
0.8	161	262	361	489	658	735	868
0.9	162	263	363	490	659	736	870
1	163	263	364	491	661	736	872
2	171	269	371	499	669	739	880
3	175	271	375	503	674	741	885
4	178	273	377	506	677	742	888
5	180	274	379	508	679	743	891
10	187	279	384	514	685	746	898
15	190	281	387	518	689	748	903
30	195	286	391	525	695	751	911
60	201	289	397	530	702	754	919
100	205	292	401	535	708	756	925
200	211	297	406	541	715	759	934
300	214	300	409	545	719	761	940
400	216	302	411	547	721	762	944
500	218	304	413	549	723	763	946
1440	221	308	417	554	728	769	958
2880						773	968
4320						775	974
5760						775	977
7200							979

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	728
180	1.00	694.9
180	0.25	651.6
180	0.00	599.4

DESCARGA 2

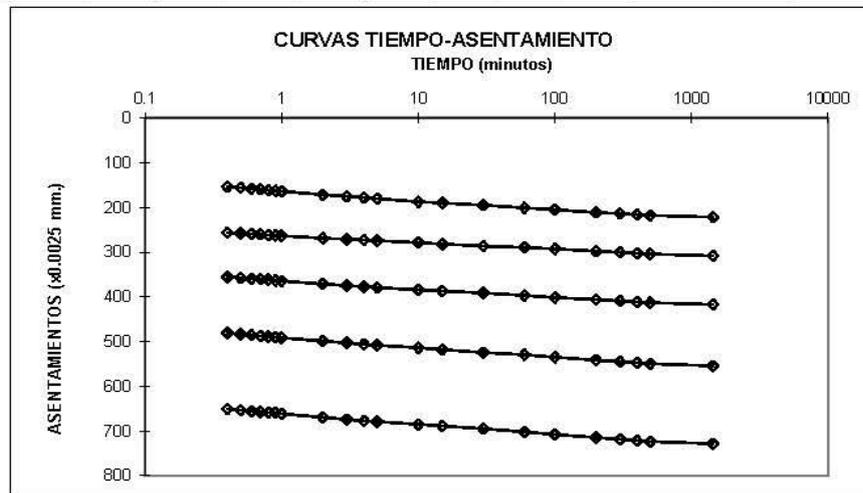
0	8	979
180	2	939.4
180	0.5	894.7
180	0	822.4

ba

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUETRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT11-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 5.50 - 6.00m
 FECHA : MARZO DEL 2019

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	25.40	0.74	25.1	132	0.719	0.1515	0.2355	2.1E-07
1440	0.25	0.55	2.18	24.85	0.70	24.7	252	0.692	0.0593	0.1196	4.2E-08
1440	0.50	0.77	3.03	24.63	0.68	24.5	168	0.676	0.0372	0.1759	3.9E-08
1440	1.00	1.04	4.10	24.36	0.67	24.2	126	0.655	0.0235	0.2286	3.2E-08
1440	2.00	1.39	5.45	24.01	0.64	23.8	132	0.628	0.0149	0.2113	1.9E-08
1440	4.00	1.82	7.168	23.58	0.61	23.7	594	0.62	0.0075	0.0465	2.2E-09
1440	4.00	1.94	7.63	23.46	0.61	23.2	780	0.588	0.0087	0.0340	1.9E-09
1440	8.00	2.45	9.631	22.95	0.57						
DESCARGA 1											
000	4.00	1.82	7.17	23.58	0.61						
180	1.00	1.74	6.84	23.66	0.62						
180	0.25	1.63	6.41	23.77	0.63						
180	0.00	1.50	5.90	23.9	0.64						
DESCARGA 2											
000	8.00	2.45	9.63	22.95	0.57						
180	2.00	2.35	9.25	23.05	0.58						
180	0.50	2.24	8.81	23.16	0.58						
180	0.00	2.06	8.09	23.34	0.60						



ba

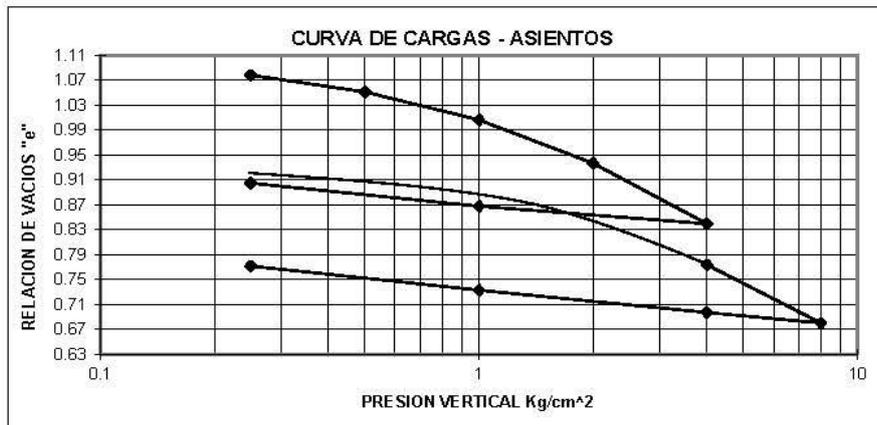
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1.50 - 2.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	146.26	142.62
ANILLO + P. SUELO SECO	127.34	127.34
PESO DEL ANILLO	81.21	81.21
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	46.13	46.13
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	41.01	33.12

ANILLO No X1 DIAMETRO (cm) 5.02 AREA (cm²) 19.8003

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H₁) 19.2 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S_s) 2.557 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (H_S) 9.11 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 2.41 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H₂) 16.80 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (H_{w1}) 9.56 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (H_{w2}) 7.72 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e₀) 1.11
 RELACION DE VACIOS FINAL (e_f) 0.84
 GRADO DE SATURACION INICIAL (G_{w1}) 94.6 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (G_{w2}) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.4 (kg/cm²)
 Índice de compresión (C_c) 0.427
 Índice de recuperación (C_r) 0.060

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1.50 - 2.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.0 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	7	31	59	102	167	195	310
0.2	8	32	60	105	169	200	313
0.3	8	32	61	106	170	203	314
0.4	9	33	61	107	171	205	315
0.5	9	33	62	107	172	207	316
0.6	9	33	62	108	173	208	317
0.7	10	33	62	108	174	209	318
0.8	10	33	63	109	174	211	318
0.9	10	34	63	109	174	213	319
1	10	34	63	110	175	214	319
2	12	35	65	113	180	222	324
3	12	35	66	115	184	228	328
4	13	36	67	116	187	234	331
5	14	37	68	118	190	239	334
10	16	38	72	124	200	255	346
15	18	40	75	129	207	267	352
30	20	42	79	135	218	283	364
60	23	45	83	141	227	293	372
100	24	46	85	145	232	296	377
200	26	49	88	149	237	300	382
300	27	50	90	152	239	301	385
400	27	50	91	154	241	303	387
500	27	51	92	155	242	303	388
1440	28	52	93	156	245	305	390

DESCARGA 1			OBSERVACIONES	
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.01		
0	4.00	245		
180	1.00	219.2		
180	0.25	185.5		
180	0.00	144.3		
DESCARGA 2			OBSERVACIONES	
0	8	390		
180	4	374.8		
180	1	342.0		
180	0.25	307.0		
180	0	240.8		

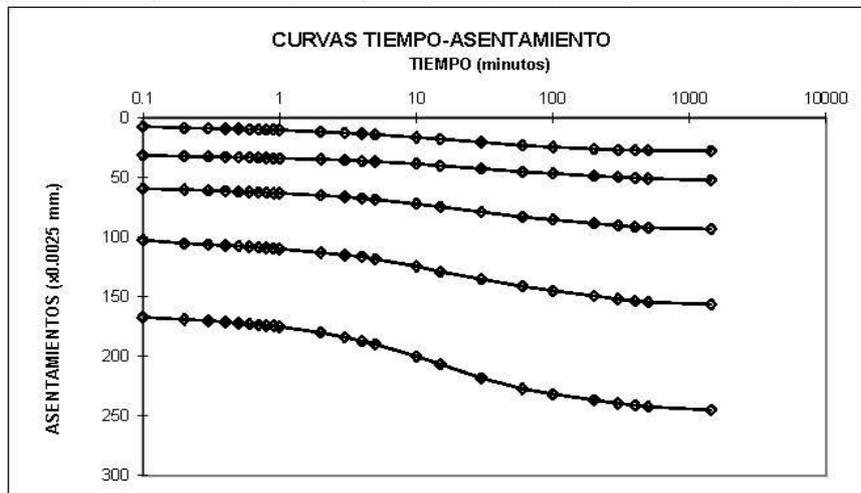
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUETRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1.50 - 2.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.21	1.11	19.1	600	1.093	0.1207	0.0299	1.7E-08
1440	0.25	0.28	1.43	18.94	1.08	18.8	960	1.065	0.1076	0.0182	9.5E-09
1440	0.50	0.52	2.71	18.69	1.05	18.5	960	1.029	0.0900	0.0175	7.8E-09
1440	1.00	0.93	4.84	18.28	1.01	18	720	0.972	0.0694	0.0221	7.8E-09
1440	2.00	1.56	8.13	17.65	0.94	17.2	660	0.888	0.0487	0.0221	5.7E-09
1440	4.00	2.45	12.75	16.76	0.84	17	360	0.862	0.0441	0.0394	9.3E-09
1440	4.00	3.05	15.88	16.16	0.77	15.7	570	0.727	0.0234	0.0214	2.9E-09
1440	8.00	3.90	20.31	15.31	0.68						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.45	12.75	16.76	0.84						
180	1.00	2.19	11.41	17.02	0.87						
180	0.25	1.86	9.66	17.36	0.90						
180	0.00	1.44	7.51	17.77	0.95						
DESCARGA 2											
000	8.00	3.90	20.31	15.31	0.68						
180	4.00	3.75	19.51	15.46	0.70						
180	1.00	3.42	17.80	15.79	0.73						
180	0.25	3.07	15.98	16.14	0.77						
180	0.00	2.41	12.54	16.8	0.84						



ba



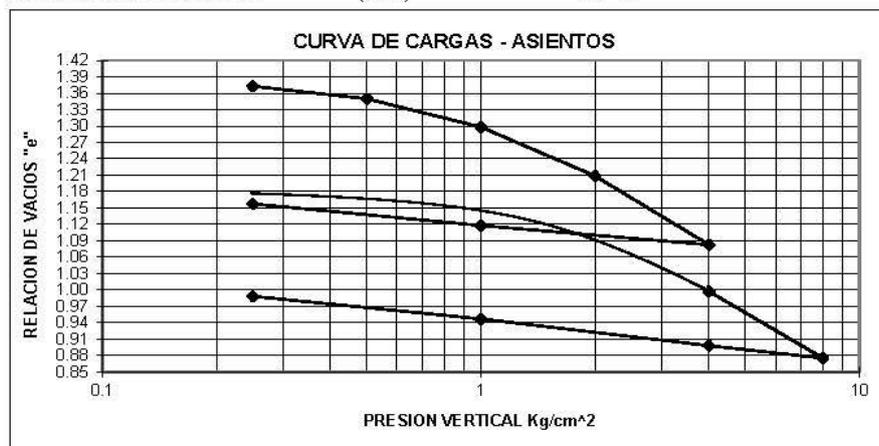
ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.50 - 3.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	148.26	143.97
ANILLO + P. SUELO SECO	127.39	127.39
PESO DEL ANILLO	86.93	86.93
PESO DEL SUELO SECO (WS)	40.46	40.46
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	51.58	40.98

ANILLO No XII DIAMETRO (cm) 4.97 AREA (cm²) 19.4157

ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H1) 19.5 mm
 PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (Ss) 2.564 Kg/cm³
 ALTURA DE SOLIDOS (HS) 8.13 mm
 VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH) 2.85 mm
 ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H2) 16.64 mm
 ALTURA INICIAL DEL AGUA (Hw1) 10.75 mm
 ALTURA FINAL DEL AGUA (Hw2) 8.54 mm
 RELACION DE VACIOS INICIAL (e0) 1.40
 RELACION DE VACIOS FINAL (ef) 1.05
 GRADO DE SATURACION INICIAL (GW1) 94.7 %
 GRADO DE SATURACION FINAL (GW2) 100 %



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.4 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.555
 Índice de recuperación (Cr) 0.075

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT12-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2.50 - 3.00m
 FECHA : ABRIL DEL 2019 EXPANSION : 0.22 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	9	23	46	93	167	218	333
0.2	9	23	47	95	168	222	334
0.3	9	23	47	95	169	224	335
0.4	10	24	48	96	170	226	336
0.5	10	24	48	96	170	226	336
0.6	10	24	48	97	171	227	337
0.7	10	24	49	98	172	228	337
0.8	10	24	49	98	173	230	338
0.9	10	24	49	98	173	231	338
1	11	25	49	99	174	232	338
2	11	25	51	102	178	238	342
3	12	26	53	105	182	243	345
4	12	26	54	106	185	247	348
5	13	27	55	108	187	251	350
10	14	28	58	115	197	264	360
15	15	29	61	119	203	274	367
30	16	31	65	127	217	292	379
60	17	33	69	135	230	307	393
100	18	34	72	140	237	313	402
200	19	36	75	145	245	319	412
300	19	36	77	148	248	321	416
400	19	37	78	150	251	322	419
500	19	38	79	151	252	323	420
1440	20	39	81	153	256	325	424

DESCARGA 1			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01	
0	4.00	256	
180	1.00	227.0	
180	0.25	194.9	
180	0.00	159.5	
DESCARGA 2			OBSERVACIONES
TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01	
0	8	424	
180	4	405.7	
180	1	366.0	
180	0.25	332.2	
180	0	284.5	

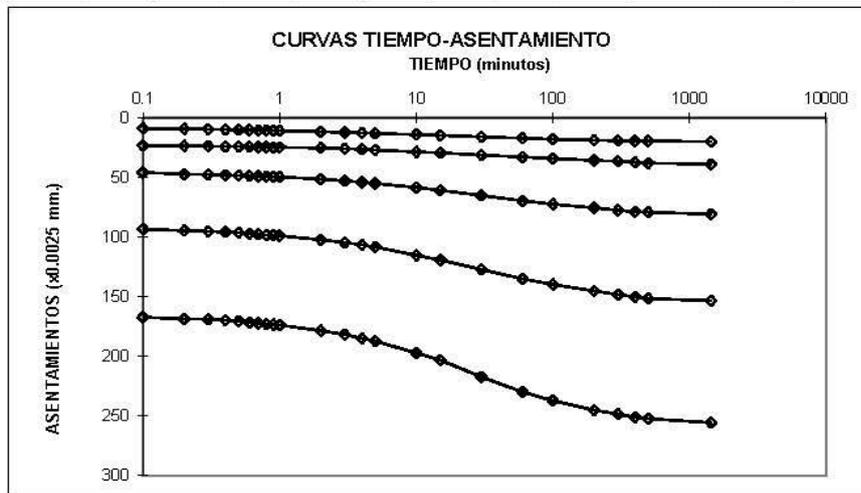
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : ABRIL DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT12-1
 PROFUNDIDAD : 2.50 - 3.00m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /2Kg	mm ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.48	1.40	19.4	420	1.385	0.0970	0.0440	1.8E-08
1440	0.25	0.20	1.01	19.28	1.37	19.2	1080	1.361	0.0930	0.0168	6.6E-09
1440	0.50	0.39	1.98	19.09	1.35	18.9	960	1.324	0.1031	0.0183	8.1E-09
1440	1.00	0.81	4.13	18.68	1.30	18.3	960	1.253	0.0895	0.0172	6.8E-09
1440	2.00	1.53	7.86	17.95	1.21	17.4	900	1.146	0.0629	0.0166	4.9E-09
1440	4.00	2.56	13.12	16.93	1.08	17.1	720	1.099	0.0509	0.0199	4.8E-09
1440	4.00	3.25	16.68	16.23	1.00	15.7	1260	0.936	0.0305	0.0097	1.5E-09
1440	8.00	4.24	21.78	15.24	0.88						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.56	13.12	16.93	1.08						
180	1.00	2.27	11.65	17.21	1.12						
180	0.25	1.95	10.01	17.53	1.16						
180	0.00	1.60	8.19	17.89	1.20						
DESCARGA 2											
000	8.00	4.24	21.78	15.24	0.88						
180	4.00	4.06	20.83	15.42	0.90						
180	1.00	3.66	18.79	15.82	0.95						
180	0.25	3.32	17.05	16.16	0.99						
180	0.00	2.85	14.60	16.64	1.05						



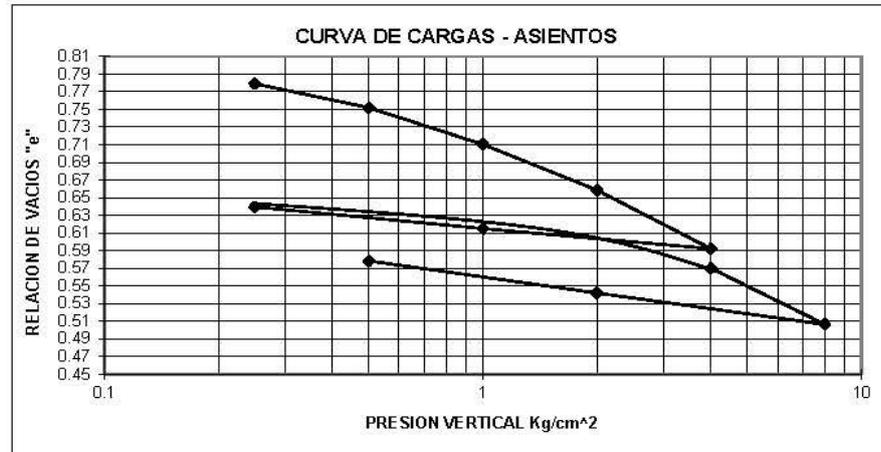
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT14-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1,50-2,00 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	130.55	127.01
ANILLO + P. SUELO SECO	114.56	114.56
PESO DEL ANILLO	61.71	61.71
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	52.85	52.85
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	30.26	23.56

ANILLO No	XIX	DIAMETRO (cm)	4.97	AREA (cm ²)	19.3689
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		18.9 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.669 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		10.22 mm		
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.26 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		16.65 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		8.26 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		6.43 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		0.85		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.63		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		95.0 %		
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.253
 Índice de recuperación (Cr) 0.060

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PT14-1
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 1,50-2,00 m
 FECHA : JUNIO DEL 2019 EXPANSION : 0,129 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0,25 kg/cm ²	0,5 kg/cm ²	1,0 kg/cm ²	2,0 kg/cm ²	4,0 kg/cm ²	4,0 kg/cm ²	8,0 kg/cm ²
	lect. x0,01	lect. x0,01	lect. x0,01	lect. x0,01	lect. x0,01	lect. x0,01	lect. x0,01
0.1	55	81	111	155	208	204	319
0.2	56	82	112	157	210	205	320
0.3	56	82	113	157	210	207	320
0.4	57	83	114	158	211	209	320
0.5	57	83	114	158	212	211	320
0.6	58	83	115	159	213	212	321
0.7	58	84	115	159	213	213	321
0.8	59	84	115	159	214	214	321
0.9	59	84	116	159	215	215	321
1	59	84	116	160	215	216	322
2	61	86	119	162	218	223	323
3	62	87	120	164	220	228	324
4	63	88	121	165	222	232	325
5	63	89	122	166	223	236	326
10	65	91	125	171	230	250	330
15	66	92	127	174	235	259	332
30	67	93	130	180	243	272	336
60	68	95	133	184	250	279	340
100	69	96	136	187	254	281	342
200	70	97	138	190	257	283	346
300	71	98	140	192	259	284	348
400	72	99	141	193	260	285	349
500	72	99	141	194	261	285	350
1440	72	100	142	196	264	286	351
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0,01
0	4,00	264
180	1,00	240,0
180	0,25	215,0
180	0,00	182,0
DESCARGA 2		
0	8	351
180	2	314,8
180	0,5	277,5
180	0	226,0

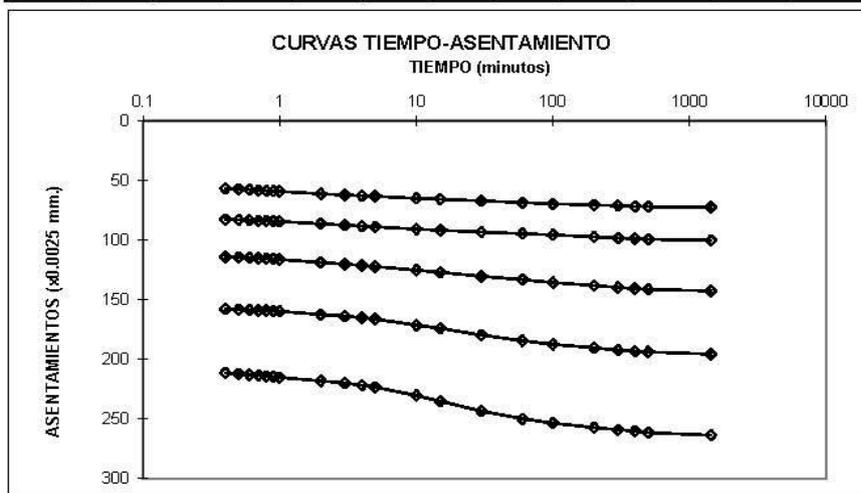
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : JUNIO DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PT14-1
 PROFUNDIDAD : 1,50-2,00 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	18.91	0.85	18.5	252	0.814	0.2825	0.0672	1E-07
1440	0.25	0.72	3.82	18.19	0.78	18	372	0.765	0.1088	0.0431	2.7E-08
1440	0.50	1.00	5.29	17.91	0.75	17.7	420	0.731	0.0829	0.0367	1.8E-08
1440	1.00	1.42	7.53	17.49	0.71	17.2	780	0.684	0.0519	0.0187	5.8E-09
1440	2.00	1.96	10.34	16.96	0.66	16.6	720	0.625	0.0333	0.0189	3.9E-09
1440	4.00	2.64	13.93	16.28	0.59	16.6	360	0.621	0.0254	0.0376	5.9E-09
1440	4.00	2.86	15.12	16.05	0.57	15.7	672	0.538	0.0159	0.0181	1.9E-09
1440	8.00	3.51	18.57	15.4	0.51						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.64	13.93	16.28	0.59						
180	1.00	2.40	12.69	16.51	0.61						
180	0.25	2.15	11.37	16.76	0.64						
180	0.00	1.82	9.62	17.09	0.67						
DESCARGA 2											
000	8.00	3.51	18.57	15.4	0.51						
180	2.00	3.15	16.65	15.76	0.54						
180	0.50	2.78	14.67	16.14	0.58						
180	0.00	2.26	11.95	16.65	0.63						



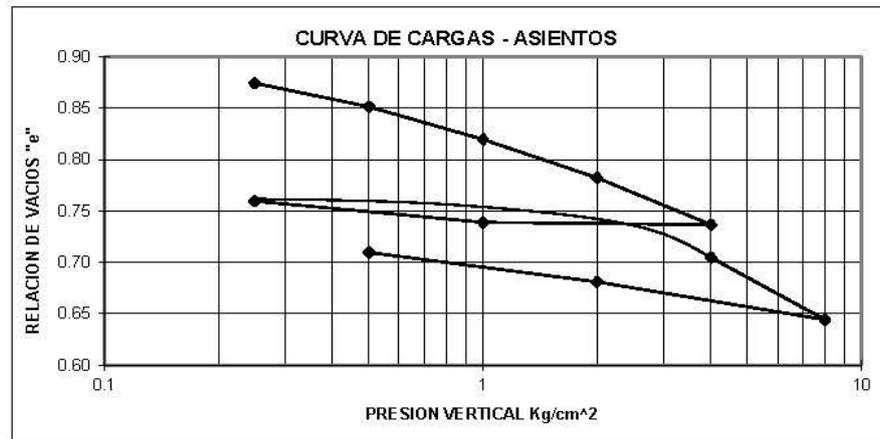
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-15
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.00-3.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	274.33	270.40
ANILLO + P. SUELO SECO	255.05	255.05
PESO DEL ANILLO	198.62	198.62
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	56.43	56.43
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	34.17	27.20

ANILLO No	III	DIAMETRO (cm)	5.06	AREA (cm ²)	20.1091
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO (H ₁)				20.1 mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS (S _s)				2.734 Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS (H _S)				10.26 mm	
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA (ΔH)				2.18 mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA (H ₂)				17.93 mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA (H _{w1})				9.59 mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA (H _{w2})				7.63 mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL (e ₀)				0.96	
RELACION DE VACIOS FINAL (e _f)				0.75	
GRADO DE SATURACION INICIAL (G _{w1})				97.5 %	
GRADO DE SATURACION FINAL (G _{w2})				100 %	



Presión de preconsolidación (σ_p) 1.25 (kg/cm²)
 Índice de compresión (C_c) 0.229
 Índice de recuperación (C_r) 0.054

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-15
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.00-3.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.030 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	202	371	475	620	778	831	1082
0.2	209	373	479	623	782	840	1088
0.3	214	376	481	628	788	847	1094
0.4	220	378	484	634	792	857	1099
0.5	224	380	487	638	798	864	1103
0.6	229	382	489	641	803	868	1107
0.7	233	383	490	643	807	874	1110
0.8	236	384	492	645	810	878	1115
0.9	239	385	493	647	813	882	1118
1	242	386	495	649	815	885	1120
2	257	392	503	659	828	910	1141
3	266	395	509	665	837	923	1157
4	272	398	512	670	843	932	1167
5	277	400	515	673	848	939	1172
10	294	405	524	685	864	964	1198
15	302	409	528	691	872	976	1212
30	317	415	537	702	888	998	1233
60	329	421	546	712	902	1015	1250
100	336	425	551	717	906	1025	1258
200	340	431	556	720	909	1033	1268
300	342	434	559	721	910	1037	1274
400	343	436	561	721	910	1039	1279
500	344	437	563	722	910	1040	1280
1440	344	438	569	722	910	1041	1289
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	910
180	1.00	900.0
180	0.25	815.0
180	0.00	671.0
DESCARGA 2		
0	8	1289
180	2	1138.0
180	0.5	1020.0
180	0	870.0

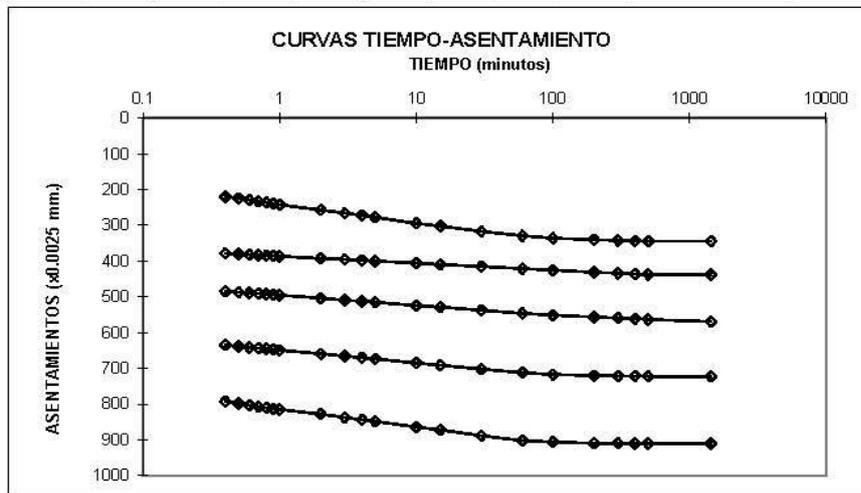
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUETRA No :
 OBRA : PERFORACION : PPE-15
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.00-3.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm		mm	seg		cm ² /Kg	mm ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	20.10	0.96	19.7	180	0.916	0.3351	0.1059	1.9E-07
1440	0.25	0.86	4.28	19.24	0.87	19.1	300	0.863	0.0916	0.0600	3E-08
1440	0.50	1.10	5.45	19.01	0.85	18.8	240	0.836	0.0638	0.0728	2.5E-08
1440	1.00	1.42	7.08	18.68	0.82	18.5	180	0.801	0.0373	0.0935	1.9E-08
1440	2.00	1.81	8.98	18.3	0.78	18.1	180	0.760	0.0229	0.0892	1.2E-08
1440	4.00	2.28	11.32	17.83	0.74	18	240	0.75	0.0225	0.0662	8.5E-09
1440	4.00	2.60	12.95	17.5	0.70	17.2	540	0.675	0.0151	0.0269	2.4E-09
1440	8.00	3.22	16.03	16.88	0.64						
DESCARGA 1											
000	4.00	2.28	11.32	17.83	0.74						
180	1.00	2.25	11.19	17.85	0.74						
180	0.25	2.04	10.14	18.06	0.76						
180	0.00	1.68	8.35	18.42	0.79						
DESCARGA 2											
000	8.00	3.22	16.03	16.88	0.64						
180	2.00	2.85	14.15	17.26	0.68						
180	0.50	2.55	12.69	17.55	0.71						
180	0.00	2.18	10.82	17.93	0.75						



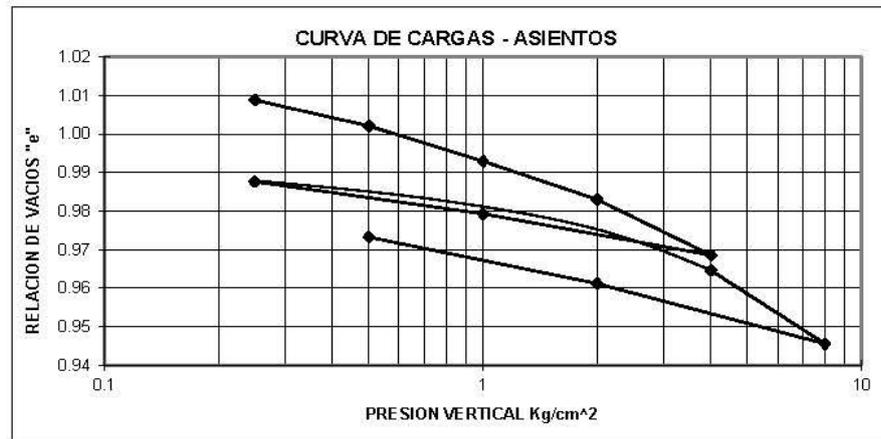
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-P-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 7.65-7.85 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	275.41	275.99
ANILLO + P. SUELO SECO	256.23	256.23
PESO DEL ANILLO	200.63	200.63
PESO DEL SUELO SECO (WS)	55.60	55.60
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	34.50	35.54

ANILLO No	II	DIAMETRO (cm)	5.06	AREA (cm ²)	20.1091
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		20.1	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(Ss)		2.784	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(HS)		9.93	mm	
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		0.38	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		19.73	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(Hw1)		9.54	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(Hw2)		9.83	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e0)		1.02		
RELACION DE VACIOS FINAL	(ef)		0.99		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(GW1)		93.8	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(GW2)		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.15 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.062
 Índice de recuperación (Cr) 0.023

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-P-2
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 7.65-7.85 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.000 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	6	71	106	142	198	216	272
0.2	8	72	106	143	199	217	273
0.3	11	72	107	144	200	218	275
0.4	14	73	107	145	201	219	276
0.5	16	73	108	146	202	219	277
0.6	18	73	108	146	202	220	278
0.7	19	74	109	146	202	220	279
0.8	20	74	109	147	203	220	280
0.9	21	74	109	147	203	221	280
1	22	74	109	147	204	221	281
2	29	76	111	149	205	222	284
3	33	76	112	150	206	223	285
4	35	77	112	150	207	224	287
5	37	77	113	151	207	225	288
10	43	79	114	153	209	226	291
15	47	79	115	154	209	227	292
30	52	81	117	155	212	228	296
60	55	82	118	156	213	229	299
100	56	83	119	158	215	231	301
200	57	84	121	160	217	233	305
300	57	85	121	160	218	234	306
400	58	85	122	161	218	234	308
500	59	86	122	161	219	235	309
1440	60	87	123	162	220	235	311
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	220
180	1.00	177.0
180	0.25	144.0
180	0.00	112.0

DESCARGA 2

0	8	311
180	2	249.0
180	0.5	201.0
180	0	150.0

ba

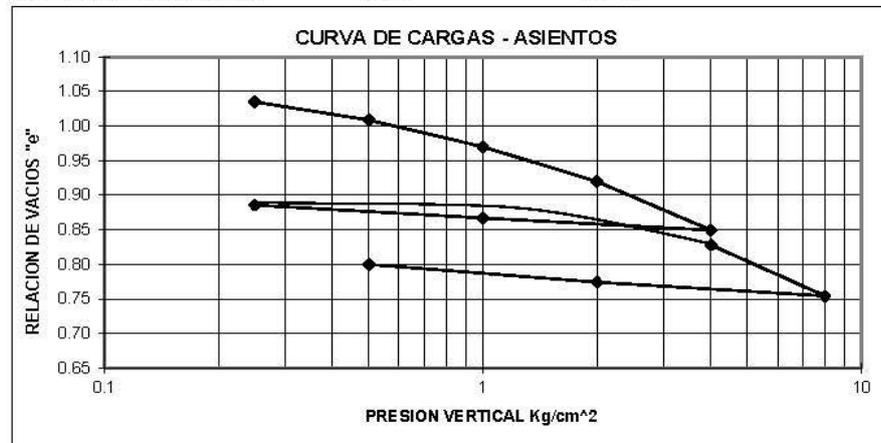


ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-4
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3,50-4,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	127.12	124.45
ANILLO + P. SUELO SECO	109.68	109.68
PESO DEL ANILLO	61.73	61.73
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	47.95	47.95
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	36.37	30.80

ANILLO No	XIX	DIAMETRO (cm)	4.97	AREA (cm ²)	19.37
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		18.9	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.723	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		9.09	mm	
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.21	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		16.70	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		9.00	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		7.63	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.08		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.84		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		91.7	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.15 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.275
 Índice de recuperación (Cr) 0.038

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-4
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3,50-4,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019 EXPANSION : 0.075 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	27	49	77	115	165	193	242
0.2	28	50	78	118	168	197	244
0.3	28	50	79	119	169	198	245
0.4	29	51	80	120	170	200	246
0.5	29	51	80	120	171	201	247
0.6	29	51	81	121	172	202	249
0.7	30	51	81	122	173	203	249
0.8	30	51	81	122	173	204	250
0.9	30	52	82	123	174	205	251
1	30	52	82	123	174	205	251
2	31	53	84	125	178	210	256
3	32	53	85	127	180	213	259
4	33	54	86	128	182	215	261
5	33	54	86	129	183	216	263
10	34	56	88	132	187	219	270
15	35	57	89	133	189	221	272
30	35	58	91	136	192	222	276
60	37	59	93	138	195	224	281
100	38	60	95	140	198	225	284
200	39	62	97	142	201	227	288
300	40	63	98	143	203	228	291
400	41	64	99	144	204	228	293
500	41	64	99	145	205	229	294
1440	41	65	100	146	209	229	296
2880					210		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	210
180	1.00	193.5
180	0.25	176.8
180	0.00	152.0

DESCARGA 2

0	8	296
180	2	278.1
180	0.5	254.7
180	0	220.8

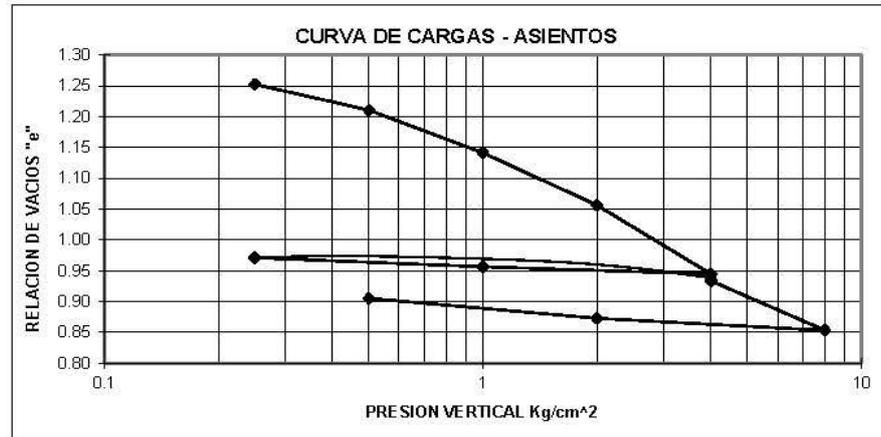
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-8
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.50-4.00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	651.21	641.22
ANILLO + P. SUELO SECO	608.15	608.15
PESO DEL ANILLO	517.04	517.04
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	91.11	91.11
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	47.26	36.30

ANILLO No	I	DIAMETRO (cm)	6.33	AREA (cm ²)	31.4204
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		25.6	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.620	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		11.07	mm	
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		3.99	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		21.56	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		13.70	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		10.53	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.31		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.95		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		94.6	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 0.8 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.337
 Índice de recuperación (Cr) 0.043

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-8
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 3.50-4.00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.37 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	100	267	465	772	1228	1407	1682
0.2	108	269	469	778	1233	1411	1685
0.3	110	271	472	781	1235	1413	1688
0.4	112	272	474	783	1237	1415	1690
0.5	114	274	476	785	1239	1418	1692
0.6	116	274	478	788	1240	1421	1694
0.7	116	275	479	789	1242	1422	1695
0.8	117	276	481	790	1244	1424	1697
0.9	119	277	482	792	1245	1425	1698
1	119	278	483	794	1244	1426	1700
2	129	284	490	800	1254	1435	1706
3	134	288	497	811	1261	1450	1716
4	140	292	503	820	1267	1455	1723
5	144	295	506	825	1272	1461	1730
10	160	308	523	841	1294	1488	1753
15	170	317	534	854	1310	1508	1772
30	189	335	559	871	1344	1548	1814
60	205	355	596	897	1393	1589	1867
100	217	373	627	920	1438	1611	1914
200	239	396	672	954	1502	1637	1982
300	243	415	700	978	1538	1647	2002
400	247	426	719	998	1561	1654	2012
500	248	432	730	1004	1576	1658	2012
1440	249	435	742	1072	1611	1660	2015
2880				1117			
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	1611
180	1.00	1558.0
180	0.25	1494.8
180	0.00	1361.0

DESCARGA 2

0	8	2015
180	2	1928.0
180	0.5	1786.0
180	0	1595.0

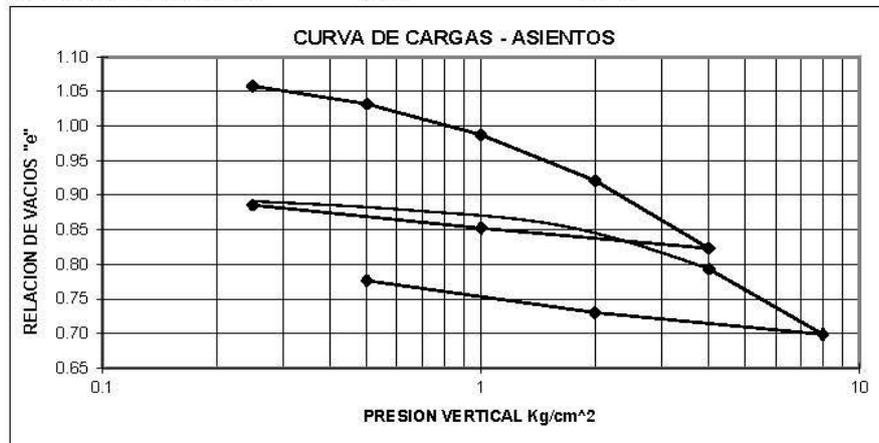
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-9
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,50-3,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	153.95	150.72
ANILLO + P. SUELO SECO	135.74	135.74
PESO DEL ANILLO	86.96	86.96
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	48.78	48.78
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	37.33	30.71

ANILLO No	XII	DIAMETRO (cm)	4.97	AREA (cm ²)	19.42
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.5	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.721	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		9.23	mm	
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.54	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		16.94	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		9.38	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		7.72	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.11		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.83		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		91.5	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.1 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.370
 Índice de recuperación (Cr) 0.064

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-9
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,50-3,00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019 EXPANSION : 0,1 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	24	53	81	126	190	210	303
0.2	25	54	83	128	192	212	304
0.3	26	54	83	129	193	215	305
0.4	27	54	84	130	194	218	306
0.5	27	55	84	130	195	219	307
0.6	28	55	86	131	196	221	307
0.7	28	55	86	131	196	222	308
0.8	28	55	86	132	197	223	309
0.9	29	55	86	132	198	225	309
1	29	56	87	133	198	225	310
2	31	56	88	135	203	230	314
3	32	57	89	137	206	234	318
4	33	58	90	140	208	239	320
5	34	58	91	141	211	244	325
10	37	60	95	147	219	251	332
15	38	61	97	150	225	261	338
30	40	63	100	156	234	268	348
60	43	65	103	161	242	277	357
100	44	67	106	164	247	286	363
200	45	69	108	167	252	288	370
300	46	70	110	170	255	290	373
400	47	71	111	171	257	291	375
500	48	72	112	172	258	291	378
1440	48	72	113	174	264	292	380
2880					265		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	265
180	1.00	237.7
180	0.25	207.0
180	0.00	165.0

DESCARGA 2

0	8	380
180	2	350.2
180	0.5	307.8
180	0	253.7

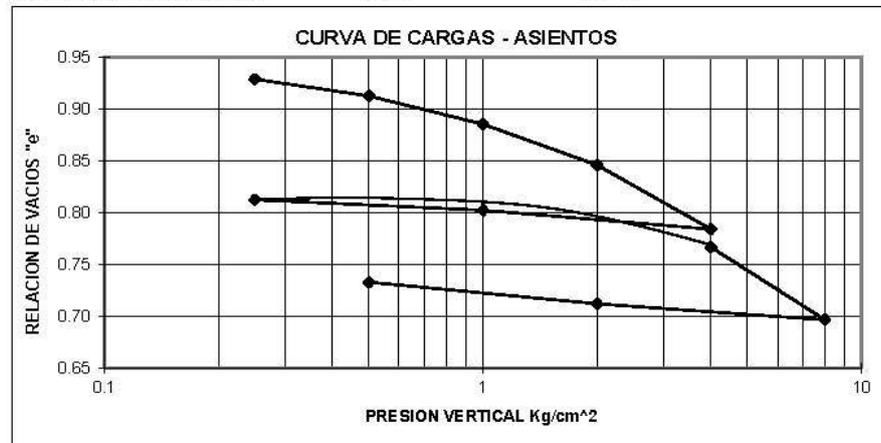
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-9
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 9,00-9,50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	150.84	149.35
ANILLO + P. SUELO SECO	134.38	134.38
PESO DEL ANILLO	82.25	82.25
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	52.13	52.13
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	31.57	28.72

ANILLO No	XXVIII	DIAMETRO (cm)	5.00	AREA (cm ²)	19.60
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.2	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.695	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		9.87	mm	
VARIACION EN L	87.9				
AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		1.70	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		17.48	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		8.40	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		7.64	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		0.94		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.77		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		90.2	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.25 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.248
 Índice de recuperación (Cr) 0.030

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-9
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 9,00-9,50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE 2019 EXPANSION : 0.05 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.5 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01	lect. x0.01
0.1	6	19	37	69	112	142	189
0.2	7	19	40	71	116	149	193
0.3	7	20	41	73	118	153	196
0.4	8	20	42	74	120	156	198
0.5	8	21	43	75	122	158	200
0.6	9	21	43	76	123	159	202
0.7	9	21	44	76	124	160	203
0.8	10	21	44	77	125	161	204
0.9	10	22	45	78	126	162	205
1	11	22	45	78	126	163	206
2	12	23	47	81	131	165	213
3	12	24	48	82	133	166	215
4	12	24	49	84	134	167	217
5	12	25	49	84	135	167	219
10	13	25	50	85	138	168	222
15	13	26	51	87	139	168	224
30	13	27	52	88	141	169	227
60	13	27	53	90	144	170	230
100	13	28	54	91	146	171	233
200	14	29	55	93	148	172	236
300	14	29	56	94	150	173	238
400	15	30	57	95	151	174	240
500	15	30	57	95	152	174	242
1440	15	31	58	97	157	175	244
2880					158		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.01
0	4.00	158
180	1.00	139.8
180	0.25	129.8
180	0.00	104.0

DESCARGA 2

0	8	244
180	2	228.8
180	0.5	208.2
180	0	169.8

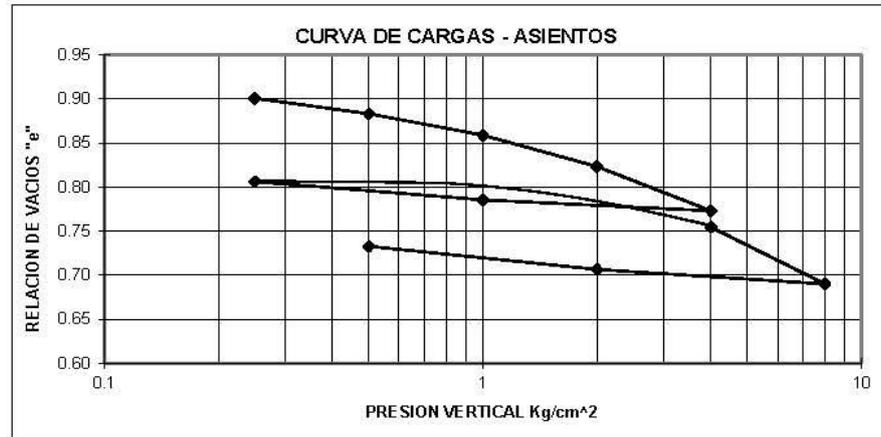
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-10
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	675.71	672.30
ANILLO + P. SUELO SECO	640.72	640.72
PESO DEL ANILLO	532.80	532.80
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	107.92	107.92
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	32.42	29.26

ANILLO No	II	DIAMETRO (cm)	6.34	AREA (cm ²)	31.5696
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		25.3	mm	
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.615	Kg/cm ³	
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		13.07	mm	
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.19	mm	
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		23.11	mm	
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		11.08	mm	
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		10.00	mm	
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		0.94		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		0.77		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		90.6	%	
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100	%	



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.25 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.221
 Índice de recuperación (Cr) 0.035

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-10
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 2,00-2,50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.36 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm²	0.50 kg/cm²	1.0 kg/cm²	2.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	4.0 kg/cm²	8.0 kg/cm²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	106	207	302	439	639	625	975
0.2	110	210	306	444	644	635	982
0.3	113	212	309	447	649	643	986
0.4	114	213	310	449	653	649	990
0.5	115	214	312	452	656	655	994
0.6	117	215	313	454	659	660	996
0.7	118	216	314	456	661	665	999
0.8	120	217	315	457	663	670	1002
0.9	121	217	316	458	664	674	1004
1	122	218	317	459	666	679	1006
2	128	221	323	468	680	711	1025
3	132	224	327	476	691	736	1039
4	134	226	331	480	700	756	1052
5	136	228	334	484	707	775	1063
10	142	233	343	499	730	837	1105
15	148	236	349	509	744	865	1126
30	153	243	358	524	762	896	1168
60	158	249	368	539	781	910	1204
100	164	255	375	551	795	921	1224
200	173	261	384	566	815	934	1249
300	178	267	391	575	824	941	1265
400	179	271	394	582	830	945	1276
500	180	272	396	586	835	945	1282
1440	181	273	399	587	847	946	1283
2880					849		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	849
180	1.00	784.3
180	0.25	676.0
180	0.00	553.5

DESCARGA 2

0	8	1283
180	2	1196.2
180	0.5	1060.0
180	0	876.0

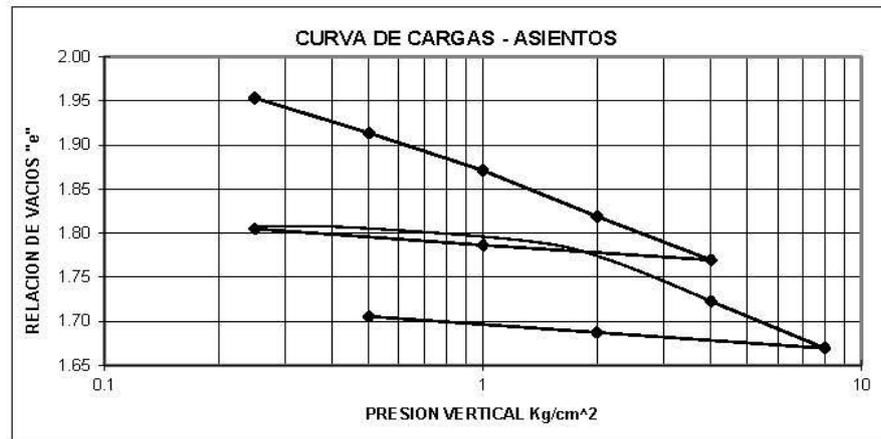
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-11
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 8.00-8.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	140.12	137.40
ANILLO + P. SUELO SECO	115.30	115.30
PESO DEL ANILLO	81.18	81.18
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	34.12	34.12
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	72.74	64.77

ANILLO No	XI	DIAMETRO (cm)	5.02	AREA (cm ²)	19.8003
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.21 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.680 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		6.43 mm		
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		1.63 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		17.58 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		12.54 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		11.16 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.99		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		1.73		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		98.1 %		
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.1 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.249
 Índice de recuperación (Cr) 0.030

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-11
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 8.00-8.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.16 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	61	75	219	334	450	507	733
0.2	62	80	221	339	454	513	736
0.3	63	83	222	342	457	518	736
0.4	64	87	223	344	458	522	737
0.5	64	89	223	345	460	524	737
0.6	64	91	224	346	461	526	738
0.7	65	93	224	346	462	528	738
0.8	65	94	225	348	463	529	739
0.9	65	95	225	348	464	529	739
1	65	96	226	349	465	531	740
2	66	101	230	354	470	537	742
3	67	106	232	358	474	542	745
4	68	108	234	360	476	547	747
5	68	111	235	363	478	550	749
10	70	118	241	371	486	568	756
15	72	124	248	377	493	580	761
30	75	136	257	386	507	605	771
60	78	152	269	401	523	638	783
100	81	164	277	411	535	654	795
200	84	179	289	422	547	671	807
300	86	184	294	426	550	675	811
400	86	187	296	428	552	677	815
500	87	188	298	430	554	679	816
1440	88	190	300	434	560	682	819
2880					561		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	561
180	1.00	517.6
180	0.25	470.0
180	0.00	416.8

DESCARGA 2

0	8	819
180	2	773.0
180	0.5	725.5
180	0	653.8

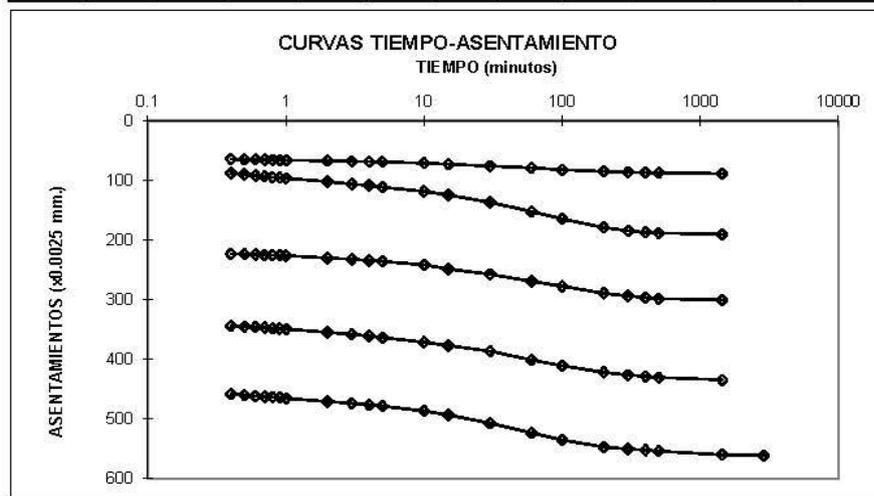
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUETRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-11
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 8.00-8.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm	mm	mm	seg	mm	cm ² /Kg	mm ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.21	1.99	19.1	1020	1.971	0.1369	0.0176	8.1E-09
1440	0.25	0.22	1.15	18.99	1.95	18.9	1050	1.934	0.1586	0.0167	9E-09
1440	0.50	0.48	2.47	18.74	1.91	18.6	1680	1.892	0.0855	0.0101	3E-09
1440	1.00	0.75	3.90	18.46	1.87	18.3	960	1.845	0.0521	0.0172	3.1E-09
1440	2.00	1.09	5.65	18.13	1.82	18	1320	1.794	0.0247	0.0120	1.1E-09
2880	4.00	1.40	7.301	17.81	1.77	17.8	1080	1.774	0.0258	0.0145	1.3E-09
1440	4.00	1.71	8.876	17.51	1.72	17.3	1800	1.696	0.0133	0.0082	4.1E-10
1440	8.00	2.05	10.66	17.16	1.67						
DESCARGA 1											
000	4.00	1.40	7.30	17.81	1.77						
180	1.00	1.29	6.74	17.92	1.79						
180	0.25	1.18	6.12	18.04	1.80						
180	0.00	1.04	5.42	18.17	1.83						
DESCARGA 2											
000	8.00	2.05	10.66	17.16	1.67						
180	2.00	1.93	10.06	17.28	1.69						
180	0.50	1.81	9.44	17.4	1.71						
180	0.00	1.63	8.51	17.58	1.73						



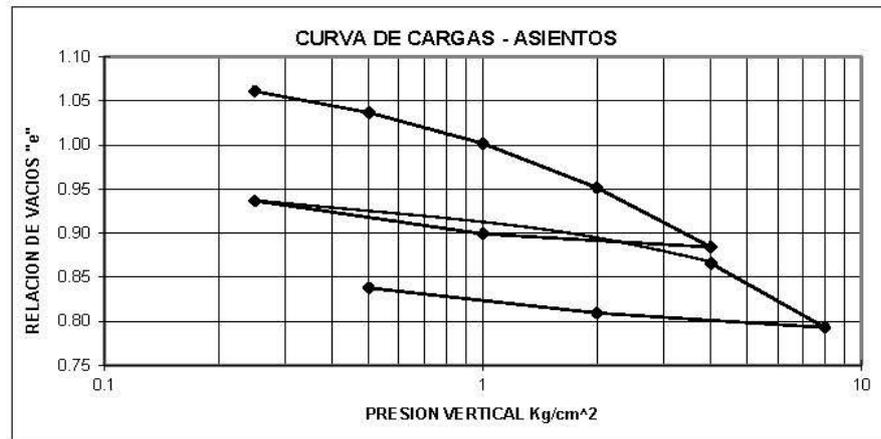
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-12
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 4.50-5.00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	709.29	705.42
ANILLO + P. SUELO SECO	689.52	689.52
PESO DEL ANILLO	637.52	637.52
PESO DEL SUELO SECO (WS)	52.00	52.00
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	38.02	30.58

ANILLO No	II	DIAMETRO (cm)	5.03	AREA (cm ²)	19.8713
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.7 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(Ss)		2.782 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS	(HS)		9.41 mm		
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		2.29 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		17.41 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(Hw1)		9.95 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA	(Hw2)		8.00 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e0)		1.09		
RELACION DE VACIOS FINAL	(ef)		0.85		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(GW1)		96.7 %		
GRADO DE SATURACION FINAL	(GW2)		100 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.09 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.264
 Índice de recuperación (Cr) 0.037

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-12
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 4.50-5.00 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.030 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	6.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	65	143	245	394	566	591	892
0.2	67	145	249	396	574	598	896
0.3	69	146	252	398	579	606	900
0.4	71	148	254	402	583	614	904
0.5	73	149	256	405	585	622	908
0.6	74	150	258	407	589	633	911
0.7	76	152	259	408	591	638	913
0.8	77	153	261	409	593	642	915
0.9	78	154	262	411	596	646	918
1	80	154	263	413	598	653	920
2	86	161	275	424	617	691	945
3	90	165	281	432	632	712	962
4	93	168	285	439	642	729	973
5	95	170	289	444	652	748	984
10	103	178	300	458	675	782	1015
15	107	181	306	465	685	805	1036
30	112	189	317	480	710	827	1063
60	116	196	328	491	732	838	1089
100	118	201	334	502	749	846	1100
200	120	207	339	517	770	849	1110
300	122	210	342	523	778	852	1115
400	123	212	344	528	784	853	1119
500	124	213	345	533	787	855	1123
1440	125	217	349	537	791	860	1135
2880							
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	791
180	1.00	735.0
180	0.25	594.0
180	0.00	489.0

DESCARGA 2

0	8	1135
180	2	1073.0
180	0.5	965.0
180	0	915.0

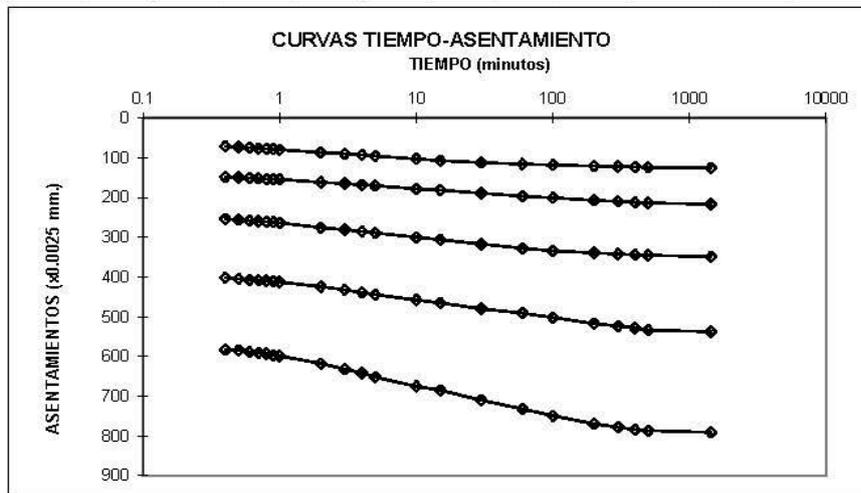
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA
 OBRA :
 UBICACION : CUENCA
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019
 MUESTRA No :
 PERFORACION : PC-T-12
 PROFUNDIDAD : 4.50-5.00 m

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm		mm	seg		cm ² /Kg	m m ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.70	1.09	19.5	180	1.078	0.1331	0.1045	6.7E-08
1440	0.25	0.31	1.59	19.39	1.06	19.3	480	1.049	0.0971	0.0381	1.8E-08
1440	0.50	0.54	2.75	19.16	1.04	19	300	1.019	0.0703	0.0592	2.1E-08
1440	1.00	0.87	4.43	18.83	1.00	18.6	780	0.977	0.0501	0.0218	5.5E-09
1440	2.00	1.34	6.82	18.36	0.95	18	480	0.918	0.0337	0.0334	5.9E-09
1440	4.00	1.98	10.04	17.72	0.88	18	180	0.915	0.0247	0.0888	1.1E-08
1440	4.00	2.15	10.92	17.55	0.87	17.2	360	0.829	0.0182	0.0405	4E-09
1440	8.00	2.84	14.4	16.86	0.79						
DESCARGA 1											
000	4.00	1.98	10.04	17.72	0.88						
180	1.00	1.84	9.33	17.86	0.90						
180	0.25	1.49	7.54	18.22	0.94						
180	0.00	1.22	6.21	18.48	0.96						
DESCARGA 2											
000	8.00	2.84	14.40	16.86	0.79						
180	2.00	2.68	13.62	17.02	0.81						
180	0.50	2.41	12.25	17.29	0.84						
180	0.00	2.29	11.61	17.41	0.85						



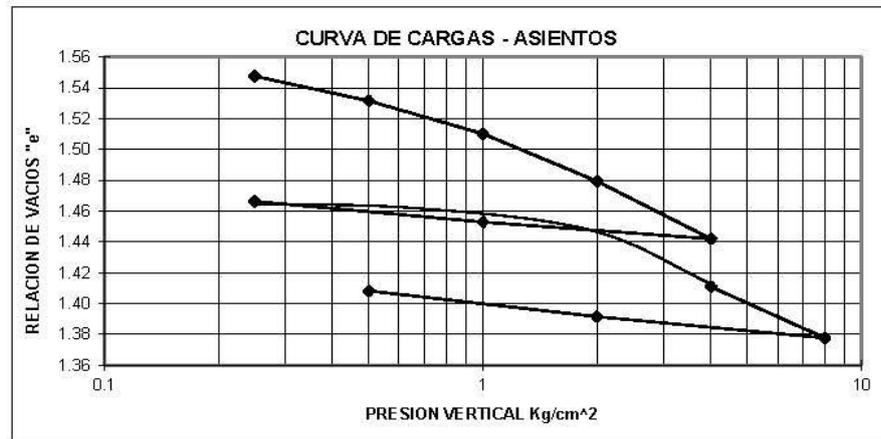
ba

ENSAYO DE CONSOLIDACION

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-12
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 12.00-12.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DETERMINACION DE HUMEDAD	AL PRINCIPIO DE LA PRUEBA	AL FINAL DE LA PRUEBA
ANILLO + P. SUELO HUMEDO	149.22	147.89
ANILLO + P. SUELO SECO	127.32	127.32
PESO DEL ANILLO	86.96	86.96
PESO DEL SUELO SECO (W _S)	40.36	40.36
CONTENIDO DE HUMEDAD (W%)	54.26	50.97

ANILLO No	XII	DIAMETRO (cm)	4.97	AREA (cm ²)	19.4157
ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO	(H1)		19.48 mm		
PESO ESPECIFICO RELATIVO DE SOLIDOS	(S _s)		2.740 Kg/cm ³		
ALTURA DE SOLIDOS	(H _S)		7.59 mm		
VARIACION EN LA ALTURA DE LA MUESTRA AL PRINCIPIO Y FINAL DE LA PRUEBA	(ΔH)		1.29 mm		
ALTURA FINAL DE LA MUESTRA	(H2)		18.19 mm		
ALTURA INICIAL DEL AGUA	(H _{w1})		11.28 mm		
ALTURA FINAL DEL AGUA	(H _{w2})		10.59 mm		
RELACION DE VACIOS INICIAL	(e ₀)		1.57		
RELACION DE VACIOS FINAL	(e _f)		1.40		
GRADO DE SATURACION INICIAL	(G _{w1})		94.8 %		
GRADO DE SATURACION FINAL	(G _{w2})		100 %		



Presión de preconsolidación (σ'_p) 1.2 (kg/cm²)
 Índice de compresión (Cc) 0.169
 Índice de recuperación (Cr) 0.025

ba



HISTORIAL DE CARGAS

PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-12
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 12.00-12.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019 EXPANSION : 0.334 mm

TIEMPO MIN.	CARGA						
	0.25 kg/cm ²	0.50 kg/cm ²	1.0 kg/cm ²	2.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	4.0 kg/cm ²	8.0 kg/cm ²
	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025	lect. x0.0025
0.1	35	72	128	199	284	324	482
0.2	37	74	129	202	286	328	482
0.3	38	74	130	203	288	331	483
0.4	39	75	131	204	289	333	484
0.5	39	75	132	205	290	334	484
0.6	39	76	133	206	290	335	485
0.7	40	76	133	207	291	335	485
0.8	40	76	134	207	291	336	485
0.9	40	77	134	208	292	337	486
1	40	77	134	209	292	338	486
2	42	79	137	211	295	344	489
3	43	79	138	213	297	349	491
4	43	81	140	215	299	352	493
5	44	82	141	216	302	356	495
10	46	85	144	221	307	369	501
15	47	87	146	225	311	379	505
30	50	91	149	232	321	396	516
60	53	95	154	242	334	419	530
100	55	99	159	249	345	437	542
200	59	105	166	258	359	460	562
300	60	107	169	262	366	469	566
400	60	108	171	264	370	472	570
500	61	109	172	265	374	474	572
1440	61	110	175	268	379	476	577
2880					381		
4320							
5760							
7200							

DESCARGA 1

OBSERVACIONES

TIEMPO MIN.	CARGA Kg/cm ²	LEC. DIAL X 0.0025
0	4.00	381
180	1.00	348.2
180	0.25	307.8
180	0.00	255.1
DESCARGA 2		
0	8	577
180	2	534.8
180	0.5	483.7
180	0	515.2

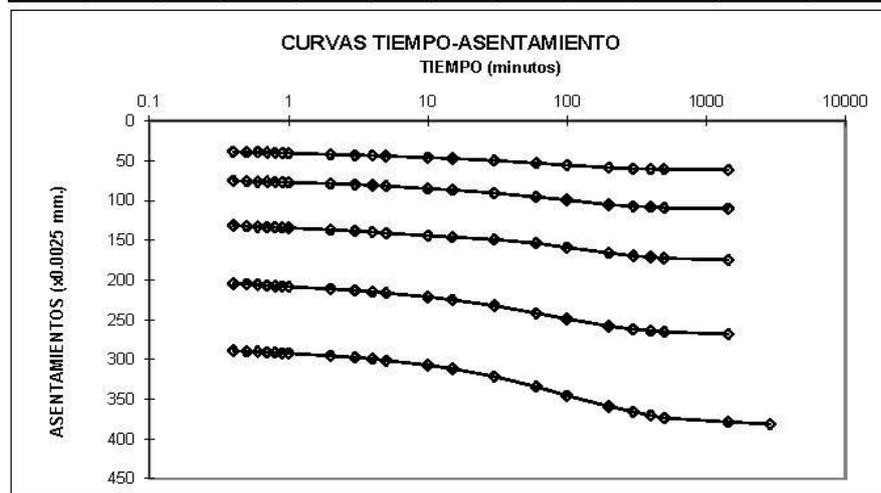
ba



PROYECTO : ACCESO SUR DE CUENCA MUESTRA No :
 OBRA : PERFORACION : PC-T-12
 UBICACION : CUENCA PROFUNDIDAD : 12.00-12.50 m
 FECHA : SEPTIEMBRE DEL 2019

DATOS Y RESULTADOS

ΔT	P	ΔH	ϵ	H	e	Hm	t ₅₀	e _m	a _v	c _v	k _m
min	Kg/cm ²	mm	%	mm		mm	seg		cm ² /Kg	mm ² /seg	cm/seg
0000	0.00	0.00	0.00	19.48	1.57	19.4	360	1.558	0.0808	0.0515	1.6E-08
1440	0.25	0.15	0.79	19.33	1.55	19.3	1800	1.539	0.0642	0.0102	2.6E-09
1440	0.50	0.28	1.41	19.21	1.53	19.1	1800	1.521	0.0426	0.0100	1.7E-09
1440	1.00	0.44	2.24	19.04	1.51	18.9	1380	1.495	0.0308	0.0128	1.6E-09
1440	2.00	0.67	3.44	18.81	1.48	18.7	2400	1.461	0.0187	0.0072	5.4E-10
2880	4.00	0.95	4.892	18.53	1.44	18.6	1800	1.447	0.0182	0.0094	7E-10
1440	4.00	1.19	6.106	18.29	1.41	18.2	2700	1.394	0.0083	0.0060	2.1E-10
1440	8.00	1.44	7.4	18.04	1.38						
DESCARGA 1											
000	4.00	0.95	4.89	18.53	1.44						
180	1.00	0.87	4.47	18.61	1.45						
180	0.25	0.77	3.95	18.71	1.47						
180	0.00	0.64	3.27	18.84	1.48						
DESCARGA 2											
000	8.00	1.44	7.40	18.04	1.38						
180	2.00	1.34	6.86	18.14	1.39						
180	0.50	1.21	6.21	18.27	1.41						
180	0.00	1.29	6.61	18.19	1.40						



ba



Pontificia Universidad Católica del Ecuador
 Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica
 Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia



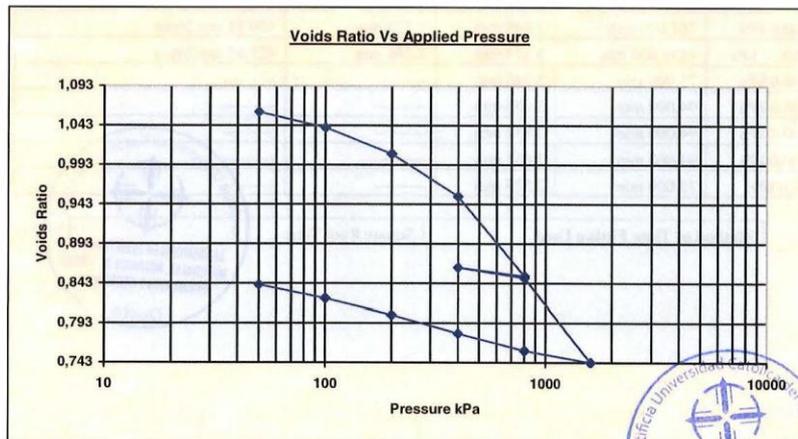
One Dimensional Consolidation Properties (Oedometer)

Client	Terrahidro	Lab Ref	
Project	Acceso Sur de Cuenca	Job	3938 S
Borehole	PCT 19 - Prof. 7.00-7.50m	Sample	2
Location	Cuenca	Depth	7.00
Fecha de Ingreso	2020-01-07	Fecha de Entrega	2020-01-31

Test Details			
Standard	ASTM D2435-96 / AASHTO T216-94	Particle Specific Gravity	2.65
Sample Type	Core sample	Lab. Temperature	20.0 deg.C
Method of Testing (A/B)	A		
Sample Description	PCT 19 - Prof. 7.00-7.50m		
Variations from Procedure	None		

Specimen Details			
Specimen Reference	A	Description	
Depth within Sample	0.00 mm	Orientation within Sample	
Specimen Mass	102.15 g	Condition	Inundated
Specimen Height	18.52 mm	Preparation	
Comments			

Apparatus			
Ring Number	2	Ring Diameter	63.45 mm
Ring Height	18.52 mm	Ring Weight	67.49 g
Lever Ratio	10.00 : 1	Drainage	Double-Sided



ELE International





Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica
 Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia



One Dimensional Consolidation Properties (Oedometer)

Client	Terrahidro	Lab Ref	
Project	Acceso Sur de Cuenca	Job	3938 S
Borehole	PCT 19 - Prof. 7.00-7.50m	Sample	2
Location	Cuenca	Depth	7.00
Fecha de Ingreso	2020-01-07	Fecha de Entrega	2020-01-31

Initial Moisture Content*	40.30 %	Final Moisture Content	31.64 %
Initial Bulk Density	1.74 Mg/m3	Final Bulk Density	1.90 Mg/m3
Initial Dry Density	1.24 Mg/m3	Final Dry Density	1.44 Mg/m3
Initial Void Ratio	1.1313	Final Void Ratio	0.8407
Initial Degree of Saturation	94.39%	Final Degree of Saturation	99.74%
Pre-consolidation Pressure	329.0 kPa	Cc	0.355

* Calculated from initial and dry weights of whole specimen

Pressure (Loading)	Load Increment Duration	Deformation (Corrected)	d ₁₀₀ (Corrected)	Coefficient of Consolidation (c _v)
0.00				
50.0 kPa	1259.000 min	0.617 mm	0.500 mm	728.71 mm ² /min
100.0 kPa	1439.000 min	0.792 mm	0.674 mm	585.27 mm ² /min
200.0 kPa	1439.000 min	1.082 mm	0.855 mm	473.27 mm ² /min
400.0 kPa	1439.000 min	1.551 mm	1.173 mm	516.25 mm ² /min
800.0 kPa	3599.000 min	2.424 mm	1.667 mm	481.06 mm ² /min
400.0 kPa	479.000 min	2.335 mm	-----	-----
800.0 kPa	761.000 min	2.448 mm	2.373 mm	439.81 mm ² /min
1600.0 kPa	1439.000 min	3.374 mm	2.546 mm	427.65 mm ² /min
800.0 kPa	75.000 min	3.246 mm	-----	-----
400.0 kPa	94.000 min	3.055 mm	-----	-----
200.0 kPa	94.000 min	2.852 mm	-----	-----
100.0 kPa	94.000 min	2.667 mm	-----	-----
50.0 kPa	75.000 min	2.525 mm	-----	-----

Method of Time Fitting Used Square Root Time





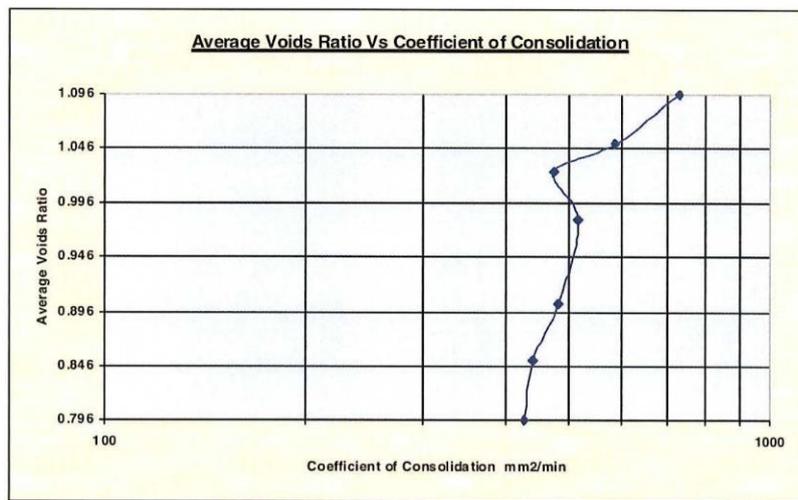
Pontificia Universidad Católica del Ecuador

Laboratorio de Resistencia de Materiales, Mecánica de Suelos, Pavimentos y Geotécnica
Área de Mecánica de Suelos y Geotecnia



One Dimensional Consolidation Properties (Oedometer)

Client	Terrahidro	Lab Ref	
Project	Acceso Sur de Cuenca	Job	3938 S
Borehole	PCT 19 - Prof. 7.00-7.50m	Sample	2
Location	Cuenca	Depth	7.00
Fecha de Ingreso	2020-01-07	Fecha de Entrega	2020-01-31



Ing. Luis Tapia
Checked By

Eng. Sebastián Morales
Checked By

Eng. Jorge Albuja
Approved By