



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

ESCUELA UNIVERSITARIA DE POSGRADO

“EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL
COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL
AÑO 2016”

TESIS PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:
DOCTORA EN INGENIERÍA CIVIL

AUTORA:

CONDORI QUISPE BETTY MARÍA

ASESOR:

DR. RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ CIRO

JURADO:

DR. CHAVARRY VALLEJOS, CARLOS MAGNO

DR. GUEVARA BENDEZÚ, JOSÉ CLAUDIO

DR. KASENG SOLIS, FREDDY LIZARDO

LIMA-PERÚ

2019

ÍNDICE

| | |
|---|----|
| Resumen | iv |
| Abstrac..... | x |
| I. Introducción | xi |
| 1.1 Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2. Descripción del problema..... | 2 |
| 1.3 Formulación del problema..... | 2 |
| - Problema general | 2 |
| - Problemas específicos | 3 |
| 1.4 Antecedentes | 3 |
| 1.5 Justificación de la investigación | 6 |
| 1.6 Limitaciones de la investigación | 8 |
| 1.7 Objetivos..... | 8 |
| - Objetivo general | 8 |
| - Objetivo específicos | 8 |
| 1.8 Hipótesis | 9 |
| II. Marco teórico | 10 |
| 2.1 Marco conceptual | 10 |
| III. Método | 35 |
| 3.1 Tipo de investigación | 35 |
| 3.2 Población y muestra | 36 |

| | |
|---|-----|
| 3.3 Operacionalización de variables | 46 |
| 3.4 Instrumentos | 47 |
| 3.5 Procedimientos | 49 |
| 3.6 Análisis de datos..... | 54 |
| IV. Resultados..... | 56 |
| V. Discusión de resultados..... | 98 |
| VI. Conclusiones | 101 |
| VII. Recomendaciones | 103 |
| VIII. Referencia | 104 |
| IX. Anexos | 109 |

Índice de Tablas

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Parámetro de Modelo Mohr-Coulomb..... | 26 |
| Tabla 2. Parámetros del Modelo Hardening Soil | 26 |
| Tabla 3. Tamaño de la muestra | 42 |
| Tabla 4. Ensayos Realizados, Grupo Control..... | 43 |
| Tabla 5. Grupo Experimental, Ensayos Realizados | 44 |
| Tabla 6. Operacionalización de variables..... | 46 |
| Tabla 7. Técnicas, Instrumentos de investigación | 47 |
| Tabla 8. Grupo control, post prueba, datos para la simulación..... | 57 |
| Tabla 9. Grupo experimental, post prueba | 60 |
| Tabla 10. Asentamientos, Teoría Mohr-Coulomb | 62 |
| Tabla 11. Parámetros elastoplásticos, mecánicos para la simulación. | 63 |
| Tabla 12. Asentamientos con y sin columnas de gravas, arena gruesa | 65 |
| Tabla 13. Centro de la cimentación, grupo experimental, post prueba. | 66 |
| Tabla 14. Promedio para una cimentación, grupo experimental, post prueba. | 67 |
| Tabla 15. Centro de la cimentación, grupo control, post prueba..... | 68 |
| Tabla 16. Promedio para una cimentación, grupo control, post prueba..... | 69 |
| Tabla 17. Propiedades físicas, grupo control, pre prueba. | 70 |
| Tabla 18. Propiedades físicas, grupo control, post prueba..... | 71 |
| Tabla 19. Propiedades físicas, grupo experimental, pre prueba..... | 72 |
| Tabla 20. Propiedades físicas, grupo experimental, post prueba | 73 |
| Tabla 21. Propiedades mecánicas, grupo control, pre prueba..... | 77 |
| Tabla 22. Propiedades mecánicas, grupo control, post prueba | 78 |
| Tabla 23. Propiedades mecánicas, grupo experimental, Pre prueba..... | 79 |
| Tabla 24. Propiedades mecánicas, grupo experimental, Post prueba | 80 |

| | |
|---|----|
| Tabla 25. Propiedades elastoplásticas, grupo control, pre prueba | 82 |
| Tabla 26. Propiedades elastoplásticas, grupo control, post prueba | 83 |
| Tabla 27. Propiedades elastoplásticas, grupo experimental, Pre prueba | 84 |
| Tabla 28. Propiedades elastoplásticas, grupo experimental, Post prueba | 85 |
| Tabla 29. Contenido de humedad vs módulo de elasticidad, grupo control | 86 |
| Tabla 30. Contenido de humedad vs módulo de elasticidad, pre prueba y post prueba, grupo experimental..... | 88 |
| Tabla 31. Prueba de muestras independientes | 90 |
| Tabla 32. Prueba de muestras independientes, propiedades mecánicas | 93 |
| Tabla 33. Prueba de muestras independiente, propiedades elastoplásticas | 96 |

Índice de figuras

| | |
|--|----|
| Figura 1. Círculo de Mohr, trayectoria de la envolvente | 19 |
| Figura 2. (a) Ensayo Triaxial drenado, respuesta experimental (b) modelo elastoplástico perfecto (M-C)..... | 21 |
| Figura 3. a) Superficie de fluencia M-C | 24 |
| Figura 4. Relación hiperbólica esfuerzo-deformación..... | 25 |
| Figura 5. Superficie de fluencia del modelo Cam –Clay Modificado | 28 |
| Figura 6. Discretización, proceso de un elemento | 30 |
| Figura 7. Condiciones de contorno, dominio | 31 |
| Figura 8. Elementos, tipos de dominio | 31 |
| Figura 9. Malla cuadrada de $1.13S$ | 33 |
| Figura 10. Celda unidad sección cuadrada | 34 |
| Figura 11. Cuadrángulo de Huancayo..... | 36 |
| Figura 12. Relaciones estratigráficas, límites superiores..... | 37 |
| Figura 13. Región en estudio | 40 |
| Figura 14. Localidad de Huancayo..... | 40 |
| Figura 15. Distrito Tres de diciembre | 41 |
| Figura 16. Vista panorámica de la zona de estudio..... | 42 |
| Figura 17. Lugar de extracción de muestras | 43 |
| Figura 18. Punto de exploración, extracción, grupo experimental | 44 |
| Figura 19. Muestra fina de suelo fragmentada tipo piel de cocodrilo | 45 |
| Figura 20. Perfil de suelo, altura superior a los 20m, grupo control | 45 |
| Figura 21. Esquema Triaxial | 47 |
| Figura 22. (a)Espátulas, (b) probeta, (c) pipeta, (d) pocillo de losa | 48 |
| Figura 23. Tamiz No 200 utilizado para el lavado de la muestra | 50 |
| Figura 24. Copa de Casagrande | 51 |
| Figura 25. Muestras de suelo parafinadas | 51 |
| Figura 26. Medición de la muestra, diámetro. | 52 |
| Figura 27. Accesorios (anillos, piedras porosas) | 52 |
| Figura 28. Colocación de la Muestra en la cámara de Lucita | 52 |
| Figura 29. Panel del equipo triaxial | 53 |
| Figura 30. Muestras de suelos | 53 |
| Figura 31. Construcción de la fundación, uso de coordenadas | 57 |

| | |
|---|----|
| Figura 32. Condiciones de contorno al modelo del proyecto. | 58 |
| Figura 33. Distribución de presiones de poros | 58 |
| Figura 34. Malla deformada, desplazamiento de la cimentación | 59 |
| Figura 35. Desplazamientos totales de las presiones | 59 |
| Figura 36. Condiciones de contorno, grupo experimental | 60 |
| Figura 37. Presiones de poros, grupo experimental | 61 |
| Figura 38. Malla deformada, grupo experimental | 61 |
| Figura 39. Desplazamientos totales, grupo experimental | 62 |
| Figura 40. Condiciones de contorno, uso de columnas de gravas con arena gruesa | 63 |
| Figura 41. Condiciones de contorno con columnas de gravas y arena gruesa | 64 |
| Figura 42. Malla deformada con la columna de gravas y arena gruesa | 64 |
| Figura 43. Desplazamientos totales con la columna de gravas | 65 |
| Figura 44. Asentamiento vs contenido de humedad, centro de la cimentación, grupo experimental, post prueba. | 67 |
| Figura 45. Asentamiento vs contenido de humedad, centro de la cimentación, grupo control, post prueba. | 68 |
| Figura 46. Grupo control, asentamiento vs carga aplicada. | 69 |
| Figura 47. Grupo experimental, resultado de asentamiento vs carga | 70 |
| Figura 48. Grupo control, pre prueba, incremento de contenido de humedad vs índice de plasticidad | 71 |
| Figura 49. Humedad vs Índice de plasticidad, grupo control, post prueba | 72 |
| Figura 50. Grupo experimental, pre prueba, IP vs humedad | 73 |
| Figura 51. Grupo experimental, post prueba | 74 |
| Figura 52. Grupo control, pre prueba, M-7 | 74 |
| Figura 53. Post prueba M-8, grupo control | 75 |
| Figura 54. Curva esfuerzo deformación, grupo experimental, post prueba, M-3 | 75 |
| Figura 55. Grupo experimental, pre prueba, M-1, trayectoria de deformaciones | 76 |
| Figura 56. Grupo control, pre prueba | 77 |
| Figura 57. Grupo control, post prueba, trayectorias | 78 |
| Figura 58. Cohesión vs contenido de humedad, grupo experimental, pre prueba | 79 |
| Figura 59. Resultados, grupo experimental, post prueba | 80 |
| Figura 60. Envolvente de falla, grupo experimental, pos prueba, M-3. | 81 |

| | |
|---|----|
| Figura 61. Círculo de Mohr, grupo control, pre prueba, M-7..... | 81 |
| Figura 62. Grupo experimental, pre prueba, M-1..... | 82 |
| Figura 63. Grupo control, pre prueba resultados experimentales | 83 |
| Figura 64. Deformación vs relación de Poisson, grupo control, post prueba | 84 |
| Figura 65. Grupo experimental, relación de Poisson vs deformación, pre prueba | 85 |
| Figura 66. Grupo experimental, post prueba, deformación vs relación de Poisson | 86 |
| Figura 67. Desarrollo del contenido de humedad vs Módulo de elasticidad, grupo control, pre prueba. | 87 |
| Figura 68. Grupo control, post prueba, módulo de elasticidad vs contenido de humedad | 87 |
| Figura 69. Contenido de humedad vs Módulo de elasticidad, grupo experimental, pre prueba..... | 88 |
| Figura 70. Relaciones de humedad y módulo de elasticidad, grupo experimental, post prueba. | 89 |
| Figura 71. Región de rechazo y aceptación | 91 |
| Figura 72. Región de rechazo y aceptación propiedades mecánicas | 94 |
| Figura 73. Región de aceptación y rechazo, propiedades elasticidad y plasticidad | 97 |

Resumen

En la investigación se determinó los efectos del contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, surge como una respuesta a la problemática encontrada en el lugar de estudio como son fallas, agrietamiento, asentamientos en las diversas obras civiles asimismo el nivel freático imperante. La investigación obedece al método deductivo, tipo aplicada, nivel explicativo, diseño experimental, se desarrollaron ensayos para conocer las propiedades de los grupos control y experimental, fueron 20 muestras con 320 observaciones. La humedad encontrada fue de 13 % a 31.43% con elasticidades de 3.30 MPa a 9.20 MPa, a mayores contenidos de agua menores módulos de elasticidad se reduce el tramo elástico, esta propiedad es una de las más influyentes en los desplazamientos, respecto a los asentamiento se conoció para diferentes condiciones, se tiene 6.2cm. como valor máximo el cuál se reduce hasta en un 32% con el uso de columnas de material grueso, se realizó la simulación con el programa computacional Plaxis en él se predice diferentes comportamientos del suelo, para el procesamiento estadístico se usó el SPSS, T-Student, llegándose a la conclusión que el contenido de humedad produce efectos significativos en las tres propiedades para la caracterización del suelo y de manera especial en el comportamiento elastoplástico. El p valor para los tres casos fueron menores a 0.005 ($p < 0.005$), para la disminución de desplazamiento en suelos con presencia de NF se propone el uso de celdas con geometría variable e integrada por varias columnas de arena gruesa con gravas para el estudio se consideró columnas con 1m. de diámetro y 3m. de profundidad.

Palabras claves: Comportamiento elastoplástico, contenido de humedad, suelos.

Abstrac

In the present investigation, the effects of the moisture content in the simulation of the elastoplastic behavior of the soils arose as a response to the problems encountered, such as faults, cracking, settlements in the various civil Works of the place, as well as the wáter table present. The research is based on the deductive method, applied type, explanatory level, experimental design, several tests were carried out to perform the simulation of the mass, applying to the control and experimental groups with 20 samples and 320 observation, the highest humidity obtained was 13.43% to 31.43% with elasticities of 3.30 Mpa to 9.20 MPa, reducing the elastic stretch is one of the most influential in the displacements, settlement was obtained for different conditions so it has 6.2cm as a máximum value which is reduced by up to 32% with the use of columns of thick material, has been. Performed the simulation with the Plaxis computer program, it predicts different soil behaviors and for statistical processing the SPSS, T-Student was used, concluding that the moisture content produces significant effects on the three properties of the soil and special way in elastoplastic behavior. The p value for the three cases were less than 0.005($p < 0.005$), the use of columns of coarse sand with gravels, variable section, is proposed for the study of 1m in diameter and 3m deep is proposed for the decrease of displacements.

Keywords: Elastoplastic behavior, moisture content, soils.

I. Introducción

El tema desarrollado es el contenido de humedad en el comportamiento elastoplástico de los suelos, investigándose la importancia en la simulación, dicho procedimiento se realiza teniendo como base las experiencias realizadas en el laboratorio, conociendo las propiedades físicas, mecánicas y elastoplásticas, para la predicción se aplicaron los métodos constitutivos en base a un análisis de elementos finitos.

Conformación de la tesis:

Se ha realizado teniendo en consideración el planteamiento del problema, en ello se describe la realidad nacional teniendo en consideración un hecho real, como es las fallas encontradas en el paraje de Chicche, antecedentes, asimismo se plantean objetivos, justificación, limitaciones encontradas e hipótesis.

El marco teórico sustentado por diversos planteamientos, investigaciones para el sustento del procedimiento de ensayos en el laboratorio se utilizó las normas del MTC se presentó un marco conceptual con las definiciones actualizadas.

Método, se describe el tipo de investigación pura que se ha realizado en los laboratorios, el nivel es explicativo se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante la causa y el efecto, el diseño de la investigación es experimental, se usó el experimento como método.

Los resultados de los experimentos fueron antes y después, durante los meses de abril hasta octubre del presente, se tiene un promedio de diez muestras por cada observación, utilizándose técnicas computacionales para el

procesamiento estadístico, software especializados en geotécnica para las simulaciones y hojas Excel, presento soluciones al problema de las deformaciones excesivas.

La discusión, fue realizada teniendo presente los objetivos, resultado, antecedentes referidos a la investigación

Finalmente se llegó a las conclusiones que el contenido si influye en el comportamiento de la masa, para la disminución de las deformaciones se propone el uso de columnas de arena gruesa y gravas ($p < 0.01$).

1.1 Planteamiento del problema

El mundo moderno está distinguido por los cambios que se presenta en todas las especialidades, especialmente en las áreas de ingeniería civil. La existencia de suelos conformado por partículas finas constituyen suelos especiales y varias investigaciones consideran que su comportamiento es elástico y lineal fue necesario la caracterización del suelo para aplicarlo a modelos numéricos y de esta manera se ha simulado mediante programas computacionales diversos estados del suelo, con la simulación basado en la teoría de elementos finitos se puede predecir de manera muy aproximada la falla del suelo a diferencia de los modelos clásicos.

En américa se tiene casos de colapso de estructuras que se cimentaron en suelos finos con presencia de nivel de agua, también se observan construcciones en servicio a pesar de producirse asentamientos excesivos en el suelo de fundación se tiene por ejemplo la biblioteca nacional, museo de bellas artes, ubicadas en la ciudad de México.

En el Perú, se realizaron sondeos acerca de parámetros elásticos, estáticos, Carrillo (2009) sugiere que “la importancia de variación de los parámetros, recuperable estas establecido por los tipos de suelo de partículas gruesas y finas el trabajo fue realizado en la ciudad de Lima” (p.23).

En el cuadrángulo de Huancayo, distrito Tres de diciembre, paraje Chicche se observó grandes deformaciones en los suelos los que han provocado asentamiento, fallas en la pavimentación (figura 10) y un comportamiento de la masa no adecuado el cual puede observarse a través de la curva esfuerzo-deformación.

1.2. Descripción del problema

Tamayo y Tamayo (1994), refiere “El problema es la relación existente en medio de la circunstancia y dificultad”, (p.120).

Los trabajos desarrollados fueron en el cuadrángulo de Huancayo, región Junín, provincia de Chupaca, anexo de Talquío, paraje Chicche, la población se dedica a la agricultura en mayor escala.

La presencia de agua en los suelos finos viene ocasionando problemas en las diversas construcciones, como son en las viviendas, pavimentación. Fue necesario realizar la caracterización del suelo conociendo sus propiedades dentro de ella la relación de Poisson que fue determinada en función del ángulo de fricción, debido a que no se contaba con datos de la deformación lateral de la probeta ensayada, en cuanto al ángulo de dilatación diversos investigadores opinan que es cero cuando el suelo está compuesto por arena.

Por tanto la presencia de agua en el suelo produce efectos significativos y es mediante las simulaciones que se puede predecir diferentes comportamientos.

1.3 Formulación del problema

- Problema general

¿Qué efectos produce el contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo en el año 2016?.

- Problemas específicos

- PE1 ¿Qué efectos produce el contenido de humedad en las propiedades físicas del suelo del comportamiento elastoplástico, Huancayo en el año 2016?
- PE2 ¿Qué efectos produce el contenido de humedad en las propiedades mecánicas del suelo del comportamiento elastoplástico, Huancayo en el año 2016?
- PE3 ¿Qué efecto produce el contenido de humedad en las propiedades elastoplásticas del suelo del comportamiento elastoplástico, Huancayo en el año 2016?.

1.4 Antecedentes

1.4.1 Antecedentes Internacionales

Schiava & Guillermo (2008), en su investigación “*Formulación constitutiva y validación numérica del comportamiento de suelos parcialmente saturados*” llegó a la conclusión que en el desarrollo de la teoría para medios porosos parcialmente saturados, inserta la succión como cuarto invariante de tensiones. La formulación constitutiva describe la evolución de la superficie de fluencia en pre y pos pico presentando la fuerte dependencia con el grado de succión. Para la validación del modelo se ejecutó la simulación numérica de pruebas experimentales isométricas como el de compresión triaxial con succión controlada (p.63).

Mendoza (2014), "*Validación de modelos constitutivos avanzados de comportamiento mecánico para la arcilla estructurada de Brasilia*", manifiesta que para representar la conducta de las arcillas fue necesario aplicar modelos constitutivos con simulaciones de compresiones anisótropas, relacionando esfuerzos,(p.70).

Herrera, Iglesias, Gonzales, Lopez, & Sánchez (2008), "Simulación mediante el método de elementos finitos de la respuesta mecánica de un Oxisol" menciona :

Para la predicción del esfuerzo- deformación se basa en los criterios de fluencia de Drucker-Prager y de Mohr-Coulomb, se apoya en el modelo de elementos finitos, considera el comportamiento elastoplástico, endurecimiento o ablandamientos por deformación, mantiene una probabilidad de que el suelo fluya de manera agregada o no a la superficie que señala el límite.

El modelo de Drucker-Prager sirve para simular el comportamiento de los suelos ferralíticos rojos compactados, predice deformación por ablandamiento o endurecimiento, considera dos niveles de humedad los máximos y mínimos mostrando una forma de falla frágil cuando el contenido de humedad es pequeño y falla plástica si el contenido de humedad es grande, (p.60).

Hossne (2014), "*Elastoplasticidad de un suelo franco arenoso de Sabana*", indica que:

El valor promedio de la relación de Poisson de 0.50 (etapa plástica valores superiores), tanto la humedad y aumento de presión de cámara

afectan los módulos Young y Poisson en el primero su variación fue exponencial. El módulo de corte produjo comportamiento similar, es aproximadamente tres veces menor que el módulo de Young, (p.163).

Vintimilla & Avila (2016), *“Análisis de modelos constitutivos para representar el comportamiento de los suelos del sector las orquídeas de la ciudad de Cuenca”*, concluye:

Los análisis y diseños geotécnicos han cogido modelos elásticos para aprender el comportamiento de los suelos, genera soluciones que se alejan de la tenso-deformación a la que están expuestos los geo materiales o probablemente estarían frente a la acción de cargas externas (sísmicas, estructuras, climatológicas,etc), indican que el modelo Mohr -Coulomb muestra apropiado ajuste entre los productos(S, C) experimentales y predicciones por simulación numérica, (p.82).

1.4.2 Antecedentes nacionales

Villanueva (2015), *“Simulación de la construcción de un depósito de relaves filtrado y validación de los parámetros de modelo constitutivo”* manifiesta:

Ampara el modelo elastoplástico mediante exámenes físicos seguidamente calibro con métodos de geo mecánica computacional, para terminar simulo el comportamiento del depósito con una programación de diferencia finita. La investigación presento las deformaciones plásticas. Los estudios indican que existió un reacomodo de las partículas, (p.vii).

1.5 Justificación de la investigación

Varias ciudades se han desarrollado en conformaciones blandas, gruesas o en ambas y en algunas oportunidades con presencia de agua. El estudio de los desplazamientos o asentamientos y la predicción a través de la simulación usando el método de elementos finitos (MEF) fue necesario para predecir la falla a fin de evitar pérdidas humanas y económicas.

1.5.1 Teórica

El contenido de humedad en diversos porcentajes ocasiona variación en la deformación, asentamientos. La simulación fue necesaria debido a la presencia de nivel freático en la zona de estudio, los modelos matemáticos propuesto por Can Clay, Hardennig Soil, Mohr-Coulomb o a través de los elementos finitos son necesarios para la representación de la deformación .

El modelo analizado fue el de Mohr Coulomb, necesito de cinco parámetros para su demostración. Con la experimentación se evaluó el efecto cuando interviene el agua en diferentes cantidades en el suelo.

1.5.2 Práctica

Aplicación de reglamentaciones actualizadas como fueron el reglamento nacional de edificaciones RNE, capitulo E-050 suelos y cimentaciones, Normas AASHTO, Asociación Americana de Tecnología de los materiales ASTM, Normas Técnicas Peruanas NTP.

1.5.3 Metodológica

Se inicia con la caracterización del suelo determinando sus propiedades, uso de modernos equipos como el triaxial entre otros misceláneos complementarios, todos los procedimientos de ensayos fueron de acuerdo a las normas indicadas líneas arriba, luego la simulación proponiendo una solución.

1.5.4 Social

La zona de estudio es una comunidad de escasos recursos y muchas de las familias son consideradas de extrema pobreza y es preocupante que existan deformaciones excesivas, diferenciales, los mismos que ocasionan fallas en sus construcciones como son viviendas, pavimentos, canales entre otras estructuras civiles.

1.6 Limitaciones de la investigación

a) Limitación temporal

La investigación empezó desde el mes de julio 2016 hasta octubre de 2018.

b) Limitación espacial o de territorio

La investigación se realizó en el paraje de Chicche, anexo de Talquío, distrito Tres de diciembre, cuadrángulo de Huancayo, Región Junín.

c) Limitación de recursos

La extracción de muestras, pasajes, viáticos fueron autofinanciados, algunos ensayos fueron realizados en la UNCP, otras entidades

1.7 Objetivos

- **Objetivo general**

Determinar los efectos del contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo en el año 2016.

- **Objetivo específicos**

OE1 Determinar los efectos del contenido de humedad en las propiedades físicas del comportamiento elastoplástico del suelo, Huancayo en el año 2016.

OE2 Determinar los efectos del contenido de humedad en las propiedades mecánicas del comportamiento elastoplástico del suelo, Huancayo en el año 2016.

OE3 Determinar los efectos del contenido de humedad en las propiedades elastoplásticas del comportamiento elastoplástico del suelo, Huancayo en el año 2016.

1.8. Hipótesis

Hipótesis general

El contenido de humedad produce efectos significativos en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo en el año 2016.

Hipótesis específicos

HE1 El contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades físicas del comportamiento elastoplástico de los suelos, Huancayo en el año 2016.

HE2 El contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades mecánicas del comportamiento elastoplástico del suelo, Huancayo en el año 2016.

HE3 El contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades elastoplásticas del comportamiento elastoplástico del suelo, Huancayo en el año 2016.

II. Marco teórico

2.1 Marco conceptual

2.1.1. Conceptos relacionados al problema

- **Plasticidad**

Propiedad de los suelos, con escasos contenidos de humedad mantiene las formas obtenidas al aplicarle fuerzas externas, se puede encontrar dos límites de plasticidad el mínimo y máximo.

- **Contenido de humedad**

Cantidad de agua que se encuentra en el suelo y en todo aquello que puede retenerse y retirarse, se expresa en %.

- **Elastoplásticidad**

Propiedad que tiene un cuerpo sometido a tensión mayor a su límite de elasticidad no llega a romperse, recupera su estado original luego de la deformación, estudia el caso lineal (deformación elástica) y no lineal (no presenta resultados genéricos).

- **Simulación**

Simulacro, representación de un modelo, se consigue beneficios en casos críticos o difíciles, es manipulado.

- **Módulo de Young**

Caracteriza la conducta de un material elástico, el valor es obtenido a través de pruebas de tracción. Un material elástico lineal tiene igual valor en situaciones de tracción y compresión.

- **Métodos de elementos finitos**

Método numérico universal para la proximidad de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas, utilizado en simulaciones de sistemas físicos y biológicos. Básicos para la ecuaciones constitutivas y de evolución momentánea.

- **Cohesión**

Unión de partículas de suelo por fuerzas internas, se necesita de sus puntos de contacto, mayor cohesión cuando son finas las partículas.

- **Angulo de fricción**

Pendiente de un grupo de partículas coincide con el ángulo de rozamiento interno, depende de la forma de partículas, propio de materiales granulares, vinculado al ángulo de reposo.

- **Dilatancia**

Utilizado para detallar el incremento de volumen de un material granular. La razón de dilatación se presenta a través de la deformación volumétrica y corte.

- **Relación de Poisson**

Constante elástica, otorga una medida de estrechamiento cuando se estira un cuerpo elástico, lineal e isótropo.

- **Suelo**

Parte superficial de la corteza terrestre, resulta de la descomposición física, química de las rocas, meteorización, deposición de material orgánico y sedimentación.

- **Densidad**

Cantidad de masa en un determinado volumen, magnitud escalar.

- **Límite elástico**

Define el paso del tramo elástico a la zona de fluencia. Tensión superior que un material elastoplástico resiste sin sufrir deformaciones constantes.

- **Peso específico**

Relación entre el peso de una sustancia, material y su volumen.

2.1.2 Marco Legal

Comunicaciones M. d. (2016). "Con resolución directoral No 18-2016-MTC/14, Lima, 03 de junio de 2016, se resuelve aprobar la actualización del Manual de Ensayo de Materiales, la cual obra en

Anexo que consta de mil doscientos sesenta y ocho (1268) folios”,(p.1).

2.2 Fundamento de la VI: Contenido de humedad

Generalmente es expresado en porcentajes, es la cantidad de agua contenida en el suelo en forma variada. Se determina conociendo los pesos húmedos y secos.

2.2.1 Agua

En varias partes el agua está disponible en cantidades pequeñas, en algunas se presenta en puquios.

Berghuber & Vogl (2005) "Puquio, palabra quechua, significa manantial natural, es un sistema abierto, trabaja como pozos horizontales, se presenta en cochas semejante a un pequeño lago, su NF frecuentemente está a n.t.n." (p.35).

Agua dulce

Campbell & Reece (2007) :

Comenzó en el agua la vida en nuestro planeta, evoluciono durante tres mil millones de años antes de propagarse a la tierra. Está unida al agua la vida actual, los organismos vivos la(o) necesitan más que otro componente, participan en reacciones químicas, en sus tres forma líquido, hielo y vapor, las células están rodeadas por agua y son alrededor de un 70-95%. (p.47).

Campbell & Reece (2007), las propiedades son:

Cohesión. – Debido al enlace de hidrógeno las moléculas de agua se mantienen unidas una con otras, son muy frágiles cuando el agua se presenta en forma líquida, 20 veces más débiles que los enlaces covalentes, se crean, rompen y se vuelven a formar frecuentemente, es en pocas billonésimas de segundos la duración del enlace H.

Regulación de la Temperatura. - El agua absorbe o libera gran cantidad de calor con pequeñas cambios de su propia temperatura, regula la temperatura.

Calor y temperatura. - Las partículas y los átomos tiene energía cinética están en movimiento constante. Mide la intensidad del calor la temperatura.

Elevado calor específico del agua.- Se utiliza para romper los enlaces de H, debe absorberse y soltarse al calor cuando se forman enlaces H, (pp.49-50).

2.3 Fundamento de la VD: Comportamiento elastoplástico

2.3.1 Propiedades físicas

Comunicaciones (2014), “El desarrollo de calicatas es para conocer las propiedades físico-mecánicas, se podrán obtener muestras con y sin perturbar” (pp.20-23).

a) Peso específico sirve para precisar cual suelto o compacto es el suelo.

b) Granulometría

Duncan & Wright (2005). "En suelos adecuados, las partículas más finas llenan los espacios vacíos esto permite una mayor resistencia al cortante", (p.86).

En la naturaleza se encuentran partículas finas y otras gruesas, los primeros colectivamente con agua explican el carácter dilatativo o contractivo del suelo.

Las partículas angulares producen resistencias mayores que las redondeadas, básicamente a presiones bajas de confinamiento, los suelos angulosos tienen poca densidad.

Los esfuerzos que actúan en una masa implican la existencia de fuerzas de contacto entre los granos la magnitud depende: 1) dimensiones y forma de las partículas. 2) propiedades mecánicas de los granos de roca. 3) arreglo de las partículas en la masa de cada contacto.

c) Límites de consistencia (LL, LP, LC, IP.) Gonzales de Vallejo

(2010), Al respecto, Atterberg definió:

El límite plástico, W_p ; límite Líquido, W_L ; límite de contracción, pegajosidad y cohesividad.

Índice de Plasticidad $I_p = W_L - W_p$. Casagrande considera a $W_L > 50$ «alta plasticidad» acogen bastante agua, deformaciones plásticas considerables, inferiores a este valor es de baja plasticidad (p.23).

2.3.2 Propiedades mecánicas

a) Cohesión (C)

Suarez (1998), "Es la medición de la cementación o adherencia entre las partículas de suelo" (p.82).

Nieto Leal, Camacho, & Edwin (2009) "Puede ser determinada a partir del trazado de la envolvente de falla de los círculos Mohr ó como el intercepto de la línea de falla con el plano vertical en los ensayos de corte" (pp.71-95).

Herrera, Iglesias, Gonzalez, Lopez, & Sanchez (2015) "Un aumento de la densidad aparente produce mayor valor de la cohesión asimismo disminuye al aumentar el contenido de humedad" (pp.31-38).

b) Angulo de fricción (Φ)

Nieto Leal, Camacho, & Edwin(2009), indica al respecto:

"El valor hace alusión a la de resistencia del suelo debido a la fricción entre partículas, es característico para cada tipo de suelo", (pp.75-91).

Herrera, Iglesias, Gonzalez, Lopez, & Sanchez (2015), " disminuye con el aumento de $W(\%)$ y es mayor cuando el suelo esta duro, compacto" (pp.31-38).

c) Ángulo de dilatancia (Ψ)

Fuenzalida (2012), "es la medición del aumento de la deformación por volúmenes" (p.50).

Fuenzalida (2012), el Ψ es menor si mayor es el esfuerzo normal aplicado y si el material presenta mayor compactación y confinamiento su comportamiento depende directamente del nivel de esfuerzos.

La arcilla presenta baja dilatación (sobre consolidadas) $\Psi = 0$. En las arenas Ψ depende de Φ . En cuanto a gravas y arenas con $\Phi > 30^\circ$, el valor de Ψ se conoce como $\Psi = \Psi - 30$. Un valor negativo del Ψ es admisible solo para arenas sueltas, (pp.67-68).

La razón de dilatación se supe a través de Ψ :

$$\Psi = \tan^{-1} (d\varepsilon_v / d\gamma) \quad (1)$$

Donde:

ε_v = deformación volumétrica

$d\gamma$ = deformación por corte

Brinkgreve (2005) "La dilatancia es característico en suelos granulares como las arenas densas y arcillas ASC, influye en la modelado del comportamiento " (pp.70-91).

2.3.3 Propiedades elastoplásticas

Considerados el módulo de elasticidad (E), relación de Poisson (μ), módulo de corte (G).

μ : Es uno de los parámetros más difíciles de evaluar, relevante en el análisis numérico, evaluado a través de un ensayo triaxial drenado.

Durante los ensayos CU no se presenta cambio volumétrico en el suelo, ν_u (generalmente es 0.5).

Rodriguez (2001), en un modelo elastoplástico se debe considerar fundamentalmente tres aspectos:

- Una norma que describa la correspondencia entre la tensión-deformación mientras se comporta elásticamente.
- Criterio de fluencia que constituye el nivel de tensión (flujo plástico).
- Unión tensión-deformación, cuando la deformación considere componentes elástica y plástica.

Mohr-Coulomb y de Drucker-Prager son modelos no lineales.

Coulomb (1773) propuso el 1er criterio de fluencia se comporta como criterio de rotura, según ecuación 2.

$$\tau = c - \sigma_n \tan \Phi \quad (2)$$

Dónde:

τ : Tensión cortante

c : Cohesión

σ_n : Tensión normal

Φ : Ángulo de fricción

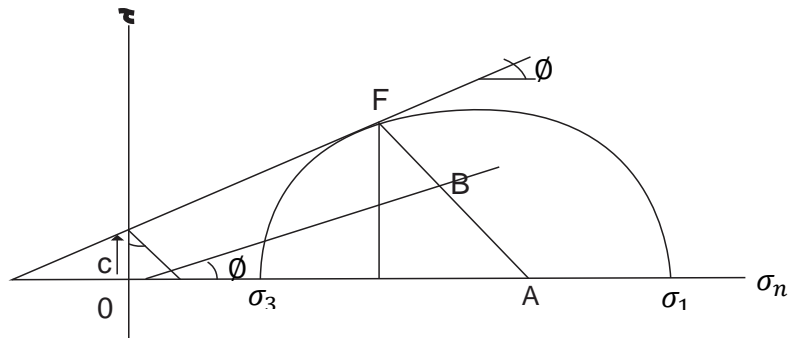


Figura 1. Círculo de Mohr, trayectoria de la envolvente

Fuente: Elaboración propia

Mohr (1882) demostró que la ecuación 2 correspondía a los esfuerzos principales y ecuación tangente, figura 1, $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ y σ_n, τ .

Las tensiones principales son:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{AB}{\Phi} + BF \quad (3)$$

ó

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = OA \operatorname{sen} \Phi + c \operatorname{cose} \Phi \quad (4)$$

ó

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} \operatorname{sen} \Phi + c \cos \Phi \quad (5)$$

Donde σ_1 y σ_3 son las presiones, no contempla los efectos de la presión principal intermedia σ_2 (pp.48-50).

Rodriguez (2001), manifiesta que el material antes de alcanzar el nivel de fluencia está determinado por la ley de Hook generalizada, que vincula el tensor de tensiones y deformaciones (ε_{kl})

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \varepsilon_{kl} \quad (6)$$

Donde

C_{ijkl} : Tensor de coeficiente elástico.

Si el material es homogéneo es isotrópico

C_{ijkl} : constantes en todo el material.

$$\sigma_{ijkl} = \lambda \delta_{ij} \delta_{kl} + \mu (\delta_{ik} \delta_{jl} + \delta_{il} \delta_{jk}) \quad (7)$$

Donde

λ y μ : constantes de Lamé

δ_{ij} : delta de Kronecker

G: cortante elástico

Las constantes de Lamé están relacionados con (E) y (ν).

$$\mu = G = \frac{E}{2(1+\nu)} ; \quad \lambda = \frac{\nu E}{(1+\nu)(1-2\nu)} \quad (8)$$

Criterio de Fluencia

Indica el nivel de tensión al que tiene lugar la fluencia, aparecen las 1ras. deformaciones plásticas.

$$f(\sigma_{ij}) = K(K) \quad (9)$$

Donde

f : determinada función

K : parámetro experimental del material

k : endurecimiento

luego en los estados de tensión

$f = K \Rightarrow$ deformaciones plásticas

$f < K \Rightarrow$ deformaciones elásticas (pp.51-52).

a) Modelo Mohr-Coulomb

Nieto Leal, Camacho, & Edwin (2009):

Es un modelo elastoplástico perfecto (isotrópico), avanzado a partir de la ley de Hooke y el criterio de falla M-C, aproximación de 1er orden al comportamiento no lineal. Simula el comportamiento de suelos granulares y finos NC, no representa el comportamiento elastoplástico progresivo (fig 2a), es un modelo (fig 2b) primero elástico y luego plástico perfecto.

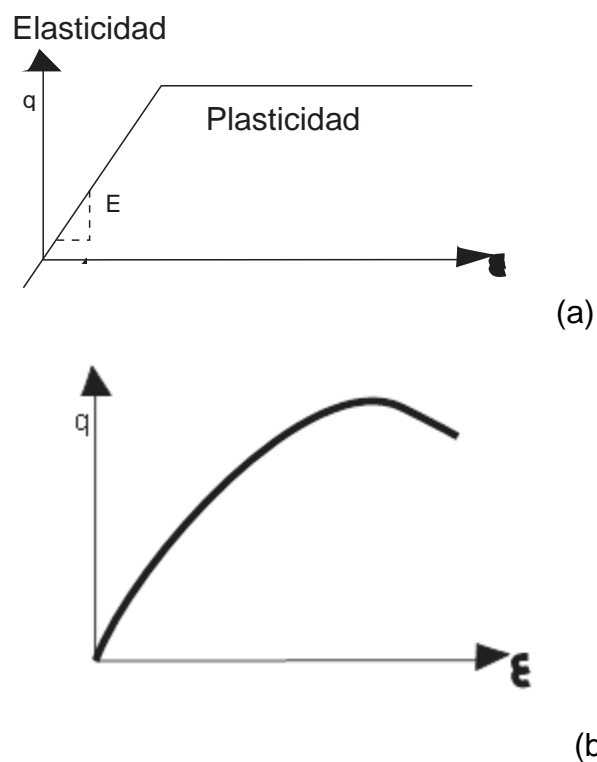


Figura 2. (a) *Ensayo Triaxial drenado, respuesta experimental*
(b) *modelo elastoplástico perfecto (M-C)*

Fuente: Fuente: Nieto Andrés, Camacho Tauta, Ruíz Edwin

El criterio de fluencia es una extensión de la ley de fricción de Coulomb, sustentado por seis (6) funciones.

$$f_{ia} = \frac{1}{2}(\sigma'_j - \sigma'_k) + \frac{1}{2}(\sigma'_j - \sigma'_k) \sin \varphi - C \cos \varphi \leq 0 \quad (10)$$

$$f_{ib} = \frac{1}{2}(\sigma'_k - \sigma'_j) + \frac{1}{2}(\sigma'_k - \sigma'_j) \sin \varphi - C \cos \varphi \leq 0 \quad (11)$$

Para: $i=1,2,3$; $j=2,3,1$ y $k=3,2,1$

$$\varepsilon^{\cdot} = \varepsilon^{\cdot e} + \varepsilon^{\cdot p} \quad (12)$$

$$\sigma^{\cdot \prime} = D^e \varepsilon^{\cdot e} = D^e(\varepsilon^{\cdot} - \varepsilon^{\cdot p}) \quad (13)$$

Donde

D^e : Matriz de rigidez (elástica) del material

f : función de fluencia

g : función de potencial plástico.

$g \neq f$: plasticidad no asociada.

Funciones de potencial plástico g , definido por:

$$g_{ia} = \frac{1}{2}(\sigma'_j - \sigma'_k) + \frac{1}{2}(\sigma'_j - \sigma'_k) \sin \psi \quad (14)$$

$$g_{ib} = \frac{1}{2}(\sigma'_k - \sigma'_j) + \frac{1}{2}(\sigma'_k - \sigma'_j) \sin \psi \quad (15)$$

Para $i= 1,2,3$; $j=2,3,1$ y $k=3,2,1$

Las deformaciones plásticas son:

$$\varepsilon^{\cdot p} = \lambda \frac{\partial g}{\partial \sigma^{\cdot \prime}} \quad (16)$$

Donde

λ : Multiplicador plástico ($\lambda = 0$, para comportamiento netamente elástico; y $\lambda > 0$ en el caso plástico).

Expresiones para la elastoplasticidad y esfuerzos efectivos.

$$\sigma' = D^e - \frac{\alpha}{d} D^e \begin{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial \sigma'} & \frac{\partial f^T}{\partial \sigma'} \end{bmatrix} \varepsilon \quad (17)$$

$$\text{donde } d = \begin{bmatrix} \frac{\partial f^T}{\partial \sigma'} & D^e \end{bmatrix} \frac{\partial g}{\partial \sigma'} \quad (18)$$

El modelo exige cinco (5) parámetros (tabla 1). (pp.77-79).

b) Modelo Hardening soil

Nieto Leal, Camacho, & Edwin (2009).

Considerado con endurecimiento isotrópico, avanzado, simula el comportamiento de varios tipos de suelo. Es una aproximación de 2do orden, variación elastoplástica del tipo hiperbólico.

El área de fluencia del modelo no es fija en el espacio de los

$\sigma_{principales}$, logra esparcirse debido a las deformaciones plásticas y en función del $\sigma_{preconsolidación}$.

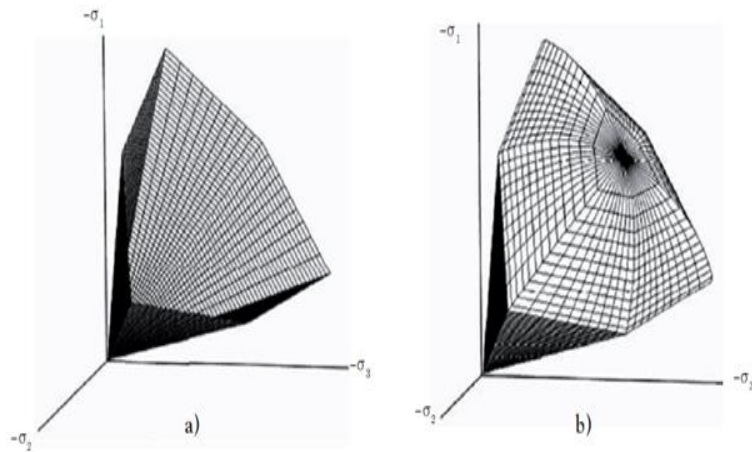


Figura 3. a) Superficie de fluencia M-C
 b) Fluencia del modelo Hardening soil (suelo sin cohesión)

Fuente: Nieto Andrés, Camacho Tauta, Ruíz Edwin

Función de fluencia:

$$f = f^- - \gamma^p \quad (19)$$

Donde:

f^- : Función dependiente de los esfuerzos y de los parámetros de rigidez

γ^p : Función de las deformaciones plásticas.

En la figura 3b se tiene el contorno total de fluencia.

Inicia la representación de la relación hiperbólica típica de deformación axial vertical ε_a y el esfuerzo desviador q .

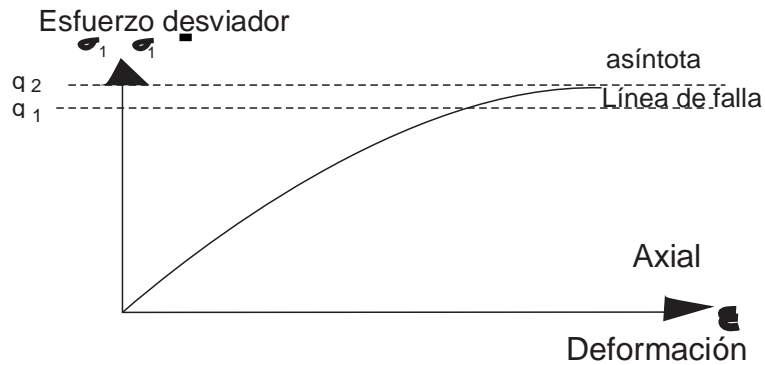


Figura 4. Relación hiperbólica esfuerzo-deformación

Fuente: Nieto Andrés, Camacho Tauta, Ruíz Edwin

son expresadas:

$$\varepsilon_a = \frac{1}{2E50} \cdot \frac{q}{1 - \frac{q}{q_a}} \quad (20)$$

Para $q < q_f$

Dónde:

q_a : Valor asintótico de la resistencia al corte del suelo

$E50$: Módulo de rigidez al 50% del esfuerzo desviador de falla.

q_f : Esfuerzo desviador de falla

$$q_f = (C' \cot \varphi' - D'^3) \frac{2 \sin \varphi'}{1 - \sin \varphi'} \quad (21)$$

$$q_a = \frac{q_f}{R_f} \quad (22)$$

Cuando $q = q_f$ el criterio de falla satisface, y ocurre la plasticidad perfecta como en el modelo M-C.

Se cuenta con once (11) parámetros para el modelo, tabla 2, (pp.79-81).

Tabla 1. *Parámetro de Modelo Mohr-Coulomb*

| Descripción | Parámetro |
|----------------------|-------------|
| Módulo elasticidad | E |
| Pelación de Poisson | μ |
| Ángulo de fricción | \emptyset |
| Cohesión | C |
| Ángulo de dilatancia | ψ |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. *Parámetros del Modelo Hardening Soil*

| Descripción | Parámetro |
|--|-------------|
| Cohesión | C |
| Angulo de fricción | \emptyset |
| Ángulo de dilatancia | ψ |
| Rigidez secante en ensayos triaxiales | Eref 50 |
| rigidez tangente para carga primaria edométrica | Erefoed |
| Dependencia de la rigidez al estado de esfuerzos | m |
| Rigidez en descarga-recarga | Erefur |
| Relación de Poisson en descarga-recarga | uur |
| Esfuerzo de referencia | p ref |
| Coefficiente de presión lateral de tierras | k0nc |
| Relación de falla | Rf |

Fuente: Modelo Hardening Soil

c) Modelo Cam Clay modificado

Camacho J. Reyes O (2004).

Desarrollado por Roscoe y Burland (1968) denominado Cam –Clay

Modificado (CCM), basado en cuatro (4) principios: (p.6).

- Propiedades elásticas. Es la correlación entre el incremento de los esfuerzos efectivos (δp^l y δq) y deformaciones elásticas ($\delta \varepsilon_p^e$ y $\delta \varepsilon_q^e$). Ver la ecuación 23.

$$\begin{bmatrix} \delta \varepsilon_p^e \\ \delta \varepsilon_q^e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \kappa/v.p' & 0 \\ 0 & 1/3G' \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{bmatrix} \quad (23)$$

- Superficie de fluencia. Es el punto en el espacio P'-q que limita la combinación de esfuerzos (q-p') que crea o no deformaciones plásticas (Wood, 1990), presenta la forma de una elipse, ecuación 24, figura 5.

$$\frac{p'}{p'_o} = \frac{M^2}{M^2 + \eta^2} \quad (24)$$

si

$$\eta = \frac{q}{p'} \quad (25)$$

Dónde:

h : Cociente entre los esfuerzos q y p'

p'_o : Esfuerzo que controla el tamaño de la superficie de fluencia.

M: Pendiente, línea de estado crítico (CSL)

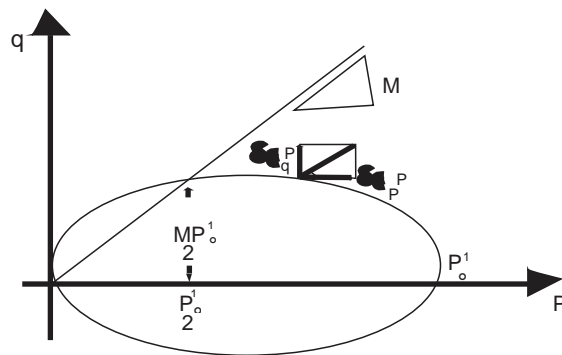
Cuando p' y q se ubica al interior de la superficie, se nota deformaciones elásticas y si la trayectoria alcanza a la elipse, aparece la fluencia y deformaciones elásticas, inicio de las deformaciones plásticas.

- Potencial plástico. Relación entre las componentes volumétricas $\delta \varepsilon_p^p$ y cortante $\delta \varepsilon_q^p$ el modelo asume una condición de normalidad. La componente vertical de este vector es el incremento en la deformación cortante plástica $\delta \varepsilon_q^p$ y la componente horizontal es el incremento en la deformación volumétrica plástica $\delta \varepsilon_p^p$. Realizando derivaciones, en la fórmula 26 se observa la relación entre las deformaciones plásticas.

$$\frac{\delta \varepsilon_p^p}{\delta \varepsilon_q^p} = \frac{M^2 - h^2}{2h} \quad (26)$$

$$h = h$$

Figura 5. Superficie de fluencia del modelo Cam-Clay Modificado



Fuente: Cam-Clay

- Ley de endurecimiento. El tamaño de la superficie de fluencia depende de p_o' , no es constante, depende de la alteración en la deformación volumétrica plástica. (pp.6-8).

$$\frac{\partial p_o'}{\partial \varepsilon_p^p} = \frac{v.p_o'}{\lambda-K} \quad (27)$$

En la ecuación 28 rige la trayectoria de esfuerzo efectivo.

$$\lambda = \frac{\lambda-K}{\lambda} \quad (28)$$

Dónde:

$$\frac{p'_i}{p'} = \left(\frac{M^2 + \eta^2}{M^2 + \eta_i^2} \right)^\lambda \quad (29)$$

p_i y n , definen un estado inicial de esfuerzos efectivos

2.3.4 Método de elementos finitos

Frías (2004), “Se fundamenta en transformar un cuerpo de naturaleza continua en un modelo aproximado discreto, la transformación se llama discretización del modelo. Lo que sucede en el interior se obtiene mediante interpolación de los valores conocidos como nodos” (p.111).

El FEM es la herramienta utilizada para resolver problemas esfuerzo-deformación, interacción suelo–estructura y otras cuyo nivel de complejidad para una solución analítica es difícil.

El MEF o FEM establece la división de un cuerpo, estructura o dominio (medio continuo) en varios elementos que comparten características particulares, y sobre los que se definen algunas ecuaciones, describen

su comportamiento físico (modelos constitutivos). La separación en elementos es conocida como discretización, y cada uno de estos subdominios, elemento finito.

Díaz & López (2008), las ecuaciones que rigen el comportamiento continuo también rigen a cada elemento, en la figura 6 se observa la división.

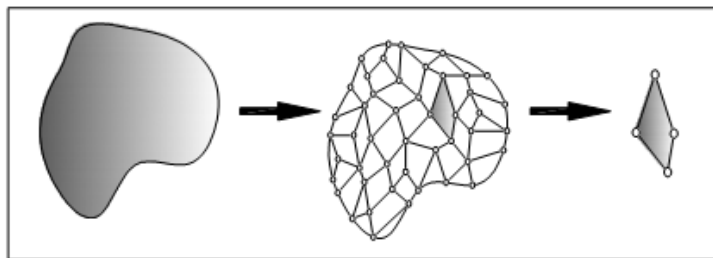


Figura 6. *Discretización, proceso de un elemento*

Fuente: Días Yamile, López Elizabeth

De esta forma se pasa de un sistema continuo con infinitos grados de libertad y trabajado con ecuaciones diferenciales a un sistema con un número de grados de libertad finito, desempeñado con un sistema de ecuaciones lineales o no.

En un sistema se observa:

- Dominio: espacio geométrico.
- Condiciones de contorno: variables que condicionan el sistema como los desplazamientos, cargas, etc).
- Incógnitas.

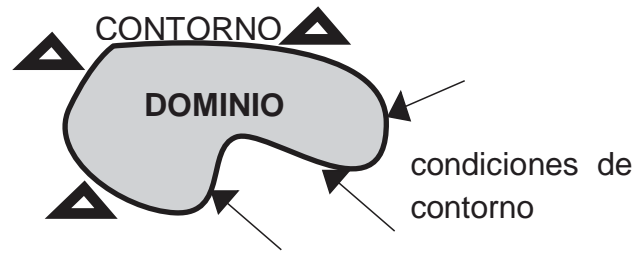


Figura 7. *Condiciones de contorno, dominio*

Fuente: Días Yamile, López Elizabeth

En el caso lineal el dominio se divide en puntos; en tanto líneas cuando es bidimensional y superficies imaginarias cuando es tridimensional

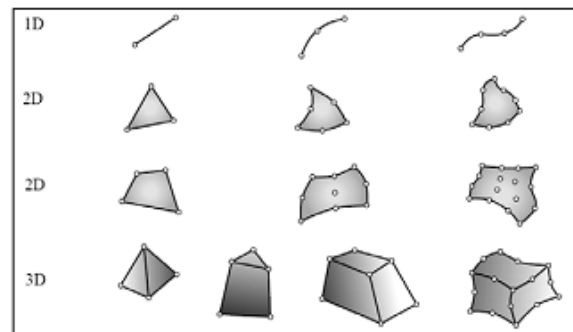


Figura 8. *Elementos, tipos de dominio*

Fuente: Días Yamile, López Elizabeth

Los elementos constituidos por un grupo discreto de puntos, llamados nodos, (pp.13-16).

Simulación de un sistema:

Blasco (2018) “La simulación de un sistema es la operación de un simulador que representa el modelo u organismo. Es una

representación formal de un sistema edificado con un objetivo específico” (pp.205-215)

Un sistema se puede representar por una gran variedad de modelos o simuladores, se necesita de la informática.

Blasco (2018). “Después de la elaboración de programas se procede con la validación, utilizado en experimentos”. (p.247).

Plaxis, programa de ordenador de elementos finitos bidimensionales, los estados modelables pertenecen a problemas de deformación plana o con axisimetría, usa una interfaz gráfica, admite generar un tipo geométrico y malla de componentes finitos, realiza cálculos aplicados al campo de la geotécnica.

2.3.5 Columnas de arena con gravas, modelo teórico

Salguero (2009), “los asentamientos frecuentemente se producen en suelos blandos, la colocación de columnas de partículas gruesas ó concreto con cementante fueron una solución para mejorar el suelo”,(p.34).

La norma British Estándar (BS) para el modelo propone una relación de (H/d) de $\frac{1}{3}$ y $\frac{1}{4}$ (altura/diámetro). La norma ASTM 2435-03 refiere la correspondencia de (H/d) de $1 / 2.5$ sugiere una altura mínima de 12.5mm y 50mm, con estas medidas se puede desestimar la fricción entre el suelo y la pared del prototipo.

Poves (2017),” Determinó coeficientes de consolidación vertical y radial, para el análisis realizó una celda unidad, durante los ensayos

obtuvo asentamientos de 6.174cm pero al utilizar las columnas de grava se disminuye hasta 3.49cm” (p.138).

Cimentada (2009), “celda unidad, es cuando las columnas de grava se organizan en mallas con geometría triangular, hexagonal, cuadradas, etc. una opción es el estudio de una única columna y su área tributaria de suelo”, (p.59).

Define el parámetro razón de sustitución (a_r) :

$$a_r = \frac{A_c}{A_e} = \left(\frac{d_c}{d_e}\right)^2 \quad (30)$$

Donde:

d_c = diámetro de la columna de grava

d_e = Diámetro del área tributaria

Relación de diámetros (N):

$$N = \frac{d_e}{d_c} = \sqrt{1/a_r} \quad (31)$$

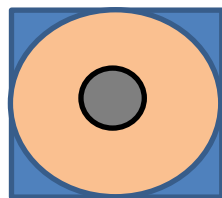


Figura 9. Malla cuadrada $d_e=1.13S$

Fuente: Elaboración propia

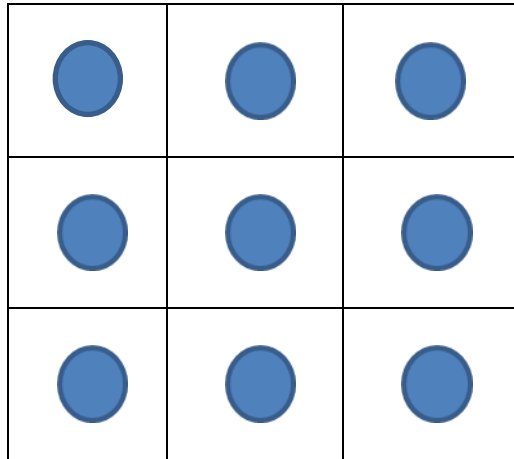


Figura 10. Celda unidad sección cuadrada

Fuente: Elaboración propia

III. Método

La investigación se fundamentó en el método deductivo se midieron valores cuantificables. Los datos obtenidos fueron el producto del análisis y mediciones. En este contexto he aplicado el enfoque cuantitativo para la investigación, para la interpretación de resultados se utilizó el enfoque cualitativo.

3.1 Tipo de investigación

El desarrollado fue la investigación aplicada, buscó conocer para hacer, actuar, construir, modificar la realidad, se predijo situaciones.

Ñaupas (2014) "La investigación es pura porque no está interesada por un objetivo pecuniario, es básica, sirve de cimiento a la investigación aplicada y fundamental para el desarrollo del conocimiento" (p.91).

Marroquín (2012), "La investigación pura se desarrolla en los laboratorios, colabora al crecimiento de la ciencia, crea nuevas teorías, modificando las existentes".

Nivel de investigación: El nivel es explicativo, mediante la causa (investigación post facto) - efecto (experimental) busca el porqué de las cosas, se realiza prueba de hipótesis, sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimiento. Nivel III, predictiva I.

3.2 Población y muestra

3.2.1 Población

Mégard (1968). El cuadrángulo de Huancayo está limitado por los paralelos 12° y 12°30' de latitud sur y por los meridianos 75° y 75°30' de longitud oeste, superficie alrededor de 3,000 km². Abarca algunas provincias del departamento de Junín según la división política del país.

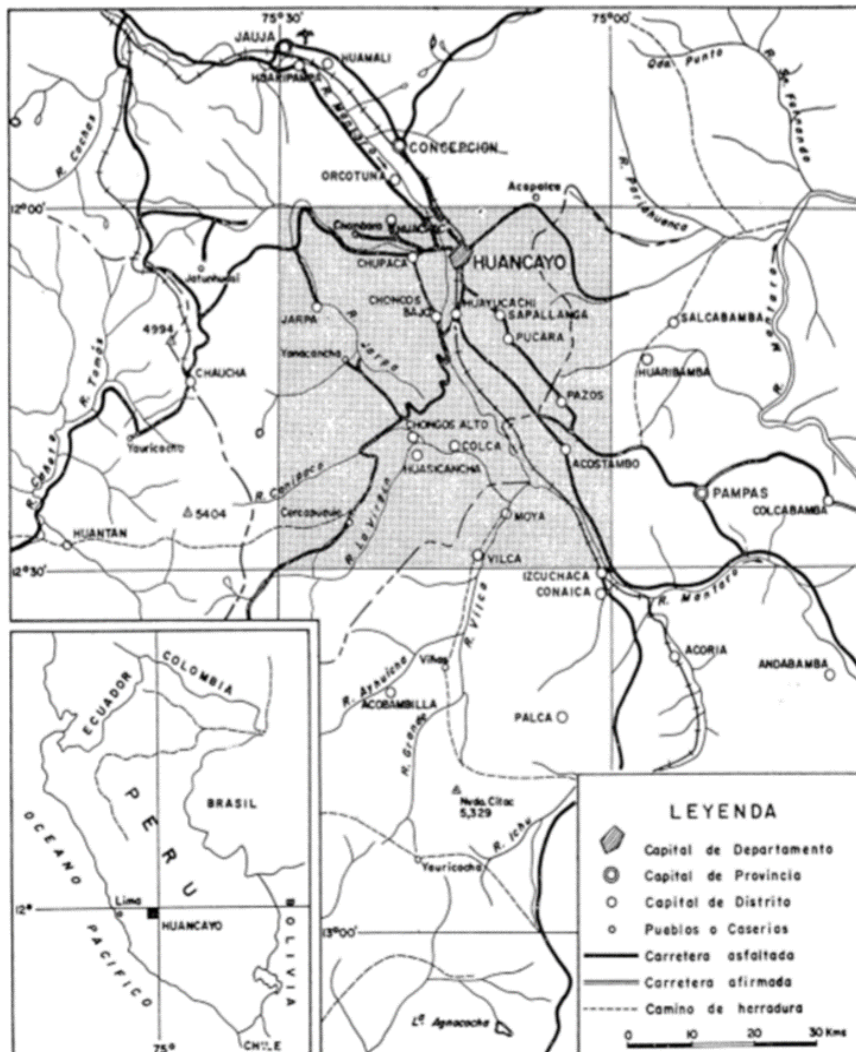
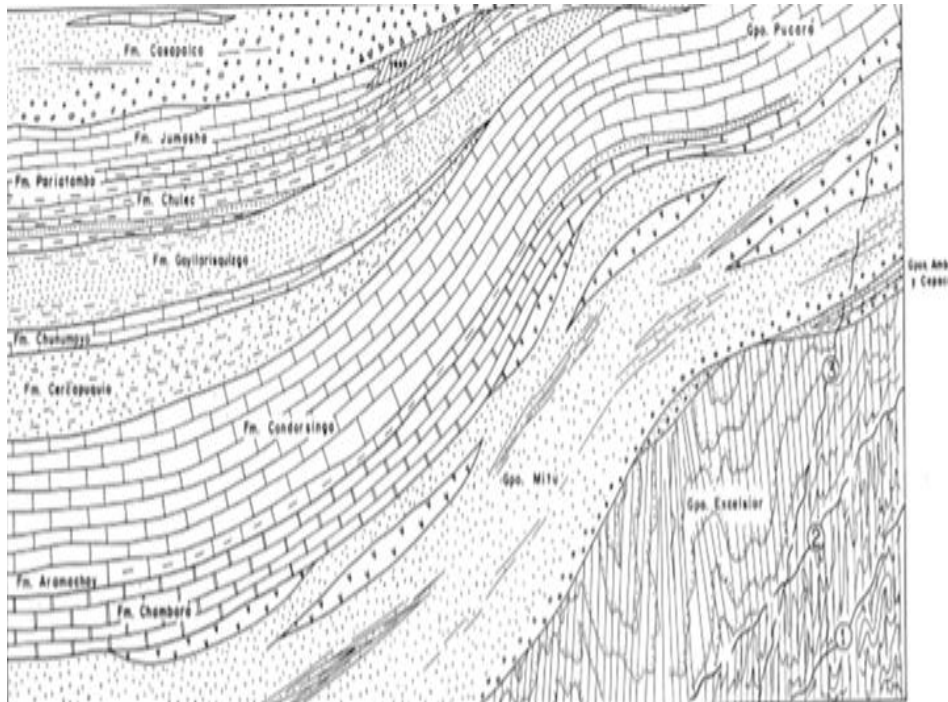


Figura 11. Cuadrángulo de Huancayo

Fuente: Ingemmet



- 1 Límite superior de las rocas metamórficas precámbricas y coledónicas
- 2 Límite superior de las rocas metamórficas cohercínicos
- 3 Límite superior de las rocas metamórficas andinas

Figura 12. Relaciones estratigráficas, límites superiores.

Fuente: Ingemmet

El clima está distinguido por una estación seca durante los meses de abril a noviembre y lluviosa de diciembre a marzo. La temperatura se encuentra en 10° y 13°, en los meses de junio y julio son conocidas las heladas y las precipitaciones que llegan a 400 a 700 mm por año.

La zona de Puna se inicia desde los 3800-3900m de altitud hasta los 4500-4700m. La media anual de las temperaturas esta entre 3° y 6°C, la evapotranspiración es muy reducida (500 y 1000mm / año), se presenta nevadas o granizadas. Presenta superficies pantanosas. Las tierras son catalogadas como

las más productivas, sin embargo son dañadas por la erosión, explotación agrícola entre otras, pp.5-14).

3.2.2 Muestra

Es la parte representativa de la población, se encuentran frecuentemente algunos problemas como son los procedimientos para conocer el tamaño, representatividad y el error al obtenerlo.

Tamaño de la muestra.

Para la deducción se usó fórmulas de una muestra finita:

$$n = \frac{Z^2 pq * N}{E^2 (N-1) + Z^2 * pq} \quad (32)$$

Donde:

n=muestra

Z=nivel de confianza, $95\% / 2 = 47.5\% / 100 = 0.475$

P= probabilidad de éxito: $60\% / 100 = 0.6$

q=probabilidad de fracaso, $40\% / 100 = 0.4$

E=nivel de error, $5\% / 100 = 0.05$

N= población

Toda vez que la población está conformada por 3000km² y 45 distritos de las provincias de Huancayo y Chupaca se procedió a determinar el tipo de muestreo más conveniente considerando el objeto de estudio.

Tipos de muestreo

Ñaupas (2014). Se tiene dos métodos:

Métodos probabilísticos tiene como base las leyes matemáticas-estadísticas, la probabilidad conocida la ley del azar (Ander-Egg.op.cit:82), en este método todas los lugares de exploración tienen la misma posibilidad de ser seleccionados.

Se conoce 6 métodos probabilísticos, de los cuales se desarrolla solo el muestreo de Área o de superficie por ser el más adecuado para el desarrollo de la tesis,(pp.250-251)

Sampieri (2010),”Método por racimos se reduce tiempo, costos, usado cuando se tiene limitaciones económicas, tiempo, distancia.”(p.182).

Muestreo de áreas o de superficie.

Ñaupas (2014) “Es por estratificación geográfica, regiones naturales o geoeconómicas, estudian recursos naturales. Se usa un mapa geográfico escala y divide en regiones, usa técnica aleatoria” (pp.251-252).

Determinación del tamaño:

- a) La región conformada por los 45 distritos se elige al azar una muestra según el tamaño (primera etapa)

Huancayo = 36 distritos

Chupaca = 9 distritos

Población = 45 distritos

Tamaño de muestra $n= 40$ distritos



Figura 13. Región en estudio

Fuente: Cuadrángulo de Huancayo

b) Luego cada distrito se convierte en un universo y se selecciona al azar el lugar (segunda etapa).



Figura 14. Localidad de Huancayo

Fuente: Municipalidad de Huancayo

c) Luego el lugar se considera un universo y se eligen al azar los anexos (tercera etapa)

Municipalidad Tres de diciembre, superficie de 20.2 Km², geográficamente se encuentra a 12° 06'21" latitud sur y a 75°14'39" longitud oeste, conformada por los anexos de Churampi, Ginolia, San Isidro, Talquio y Cercado centro.



Figura 15. *Distrito Tres de diciembre*

Fuente: Municipalidad del Distrito tres de diciembre

d) Cada anexo del distrito se considera el universo y de nuevo, al azar se eligen manzanas o cuadras o viviendas (cuarta etapa).

Para la investigación se ha considerado el anexo de Talquio, superficie de 2Km² aprox. con 21 viviendas aisladas.

Tabla 3. *Tamaño de la muestra*

| Constante | Datos |
|-----------|---------|
| Z | 1.96 |
| P | 0.6 |
| q | 0.4 |
| N | 21 |
| E | 0.05 |
| n | 19.9197 |

Fuente: elaboración propia

El tamaño de la muestra es 20 de los cuales 10 fueron destinados para el grupo control y 10 para el grupo experimental, la distribución de fue al azar según croquis adjunto.

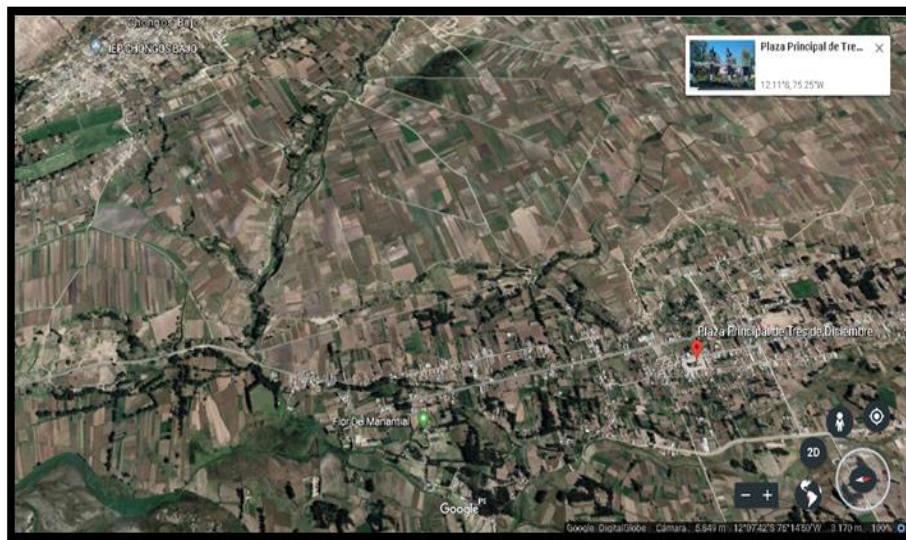


Figura 16. *Vista panorámica de la zona de estudio*

Fuente: Municipalidad distrital de Tres de diciembre



Figura 17. Lugar de extracción de muestras

Fuente: Municipalidad distrital de Tres de diciembre

Tabla 4. Ensayos Realizados, Grupo Control

| Ensayos | Normas | Tamaño de muestra | Cantidad de ensayos, pre prueba | Cantidad de ensayos, pos prueba |
|---|---------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tamaño de la muestra, pre prueba, pos prueba | | 10 | | |
| Análisis granulométrico de suelos por tamizado. | MTC E 107 -2000 | | 10 | 10 |
| Contenido de humedad | ASTM D2216-85 | | 30 | 30 |
| Determinación del límite líquido de los suelos. | MTC E110-2000 | | 30 | 30 |
| Determinación del límite plástico | MTC E111-2000 | | 30 | 30 |
| Peso específico volumetrico | MTC E115-2000 | | 30 | 30 |
| Ensayo Triaxial | ASTM (1949-50) | | 30 | 30 |
| | Tamaño de muestra | 10 | | |
| | cantidad de ensayos | | 160 | 160 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 5. Grupo Experimental, Ensayos Realizados

| Ensayos | Normas | Tamaño de muestra | Cantidad de ensayos, pre prueba | Cantidad de ensayos, pos prueba |
|---|---------------------|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Tamaño de la muestra, pre prueba | | 10 | | |
| Análisis granulométrico de suelos por tamizado. | MTC E 107 -2000 | | 10 | 10 |
| Contenido de humedad | ASTM D2216-85 | | 30 | 30 |
| Determinación del límite líquido de los suelos. | MTC E110-2000 | | 30 | 30 |
| Determinación del límite plástico | MTC E111-2000 | | 30 | 30 |
| Peso específico volumetrico | MTC E115-2000 | | 30 | 30 |
| Ensayo Triaxial | ASTM (1949-50) | | 30 | 30 |
| | Tamaño de muestra | 10 | | |
| | cantidad de ensayos | | 160 | 160 |

Fuente: Elaboración propia

Las observaciones o ensayos realizados fueron 320 para el grupo control y grupo experimental, en total se realizaron 640 ensayos para la tesis.



Figura 18. Punto de exploración, extracción, grupo experimental

Fuente: Elaboración propia



Figura 19. *Muestra fina de suelo fragmentada tipo piel de cocodrilo*

Fuente : Elaboración propia



Figura 20. *Perfil de suelo, altura superior a los 20m, grupo control*

Fuente: Elaboración propia

3.3 Operacionalización de variables

La Rosa, Ángeles, Isaac, Navarro, & Castro (2014) "Es cuando se convierte la variable a indicadores, la hipótesis a unidades de medición. Establece los procedimientos, verifica hipótesis y soluciona el problema" (p.24).

Tabla 6. Operacionalización de variables

| VARIABLE | DIMENSION | INDICADORES | ITEM |
|-------------------------------------|--------------------------------|---|------------------|
| VI:CONTENIDO DE HUMEDAD | D1:natural | Utiliza el contenido de humedad en porcentaje | 2.2.1 |
| | D2:condiciones alteradas | utiliza el contenido de humedad en diferentes porcentajes para dos grupos | 2.2.1 |
| VD: COMPORTAMIENTO ELASTO-PLASTICOS | D1:Propiedades físicas | Demostrar que las propiedades físicas como son densidad, limite líquido, límite, plástico e índice plástico producen efectos al comportamiento del suelo | 2.2.2 2.2.2.1 |
| | D1:Propiedades mecánicas | Demuestra que las propiedades mecánicas como son la cohesión, ángulo de fricción, ángulo de dilatancia son afectadas por el contenido de humedad producen efectos en el comportamiento elastoplástico | 2.2.2 2.2.2.2 |
| | D1:propiedades elastoplásticas | Demuestra que las propiedades elastoplásticas como son el modulo de elasticidad, relación de Poisson, módulo de corte son afectadas por el contenido de humedad, producen efectos en el comportamiento elastoplástico | 2.2.2 2.2.2.3 |
| | | | |

Fuente: Elaboración Propia

3.4 Instrumentos

Los instrumentos fueron elaborados con materiales resistentes, buena calidad, tecnología, durables, garantizaron un manejo seguro, tienen certificados de calibración, son:

- Equipo Triaxial
- Copa de Casagrande conformado por ranurador, espátula
- Horno
- Balanza de precisión de 0.01g

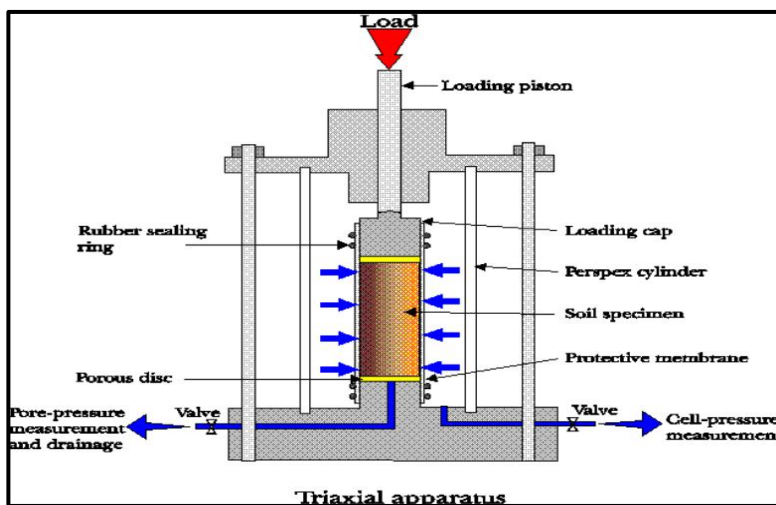


Figura 21. Esquema Triaxial

Fuente: Civil blog.org

Sampieri (2010) "Existen instrumentos mecánicos o electrónicos, sirven para recoger datos tan buenos como los cuestionarios"(p.262).

Tabla 7. Técnicas, Instrumentos de investigación

| Técnicas de investigación | Instrumento de investigación |
|---------------------------|---|
| Enfoque cuantitativo | Equipos, guía de campo, PC, horno, etc. |

Fuente : Elaboración propia

Materiales

Son frágiles se tiene las probetas de vidrio, cámaras fotográficas, USB, cuadernos de notas, mapas, pocillo de losa, espátulas, pipetas.

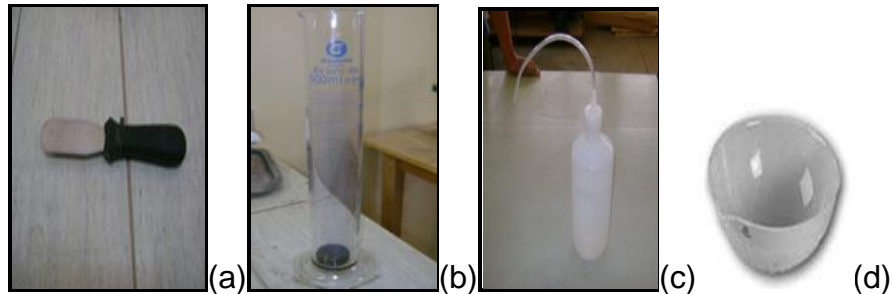


Figura 22. (a) Espátulas, (b) probeta, (c) pipeta, (d) pocillo de losa

Fuente: Elaboración propia

3.4.1 Validación de instrumentos

Ramirez (2013) "Es la comprobación de un elemento si satisface los requisitos establecidos, confirmación mediante el aporte de evidencia objetiva de que se han cumplido los requisitos para una regla o método", (p.21).

Nava & Maria (2008) "Confirma la capacidad de los procedimientos. La información es por parte del fabricante en la documentación. Se realiza la verificación de estos procedimientos en el laboratorio." (p.34).

Se puede realizar la validez usando la comparación la convalidación utilizando otros instrumentos que calculen lo mismo.

Los instrumentos utilizados deben contar con especificaciones técnicas, manuales otorgados por los fabricantes.

3.4.2 Técnicas de procesamiento de los datos

Se entiende el conteo de datos, ordenación, tabulación, cuadros, tablas y graficas estadísticas

3.4.3 Técnicas de análisis e interpretación de la información

La Rosa, Ángeles, Isaac, Navarro, & Castro (2014), "El análisis de documentos es la más utilizada, auto aplicación entre otras, existen varias técnicas. Debe juntar las condiciones de validez y confiabilidad" (p.23).

Actividades para recolectar de datos:

- a) Seleccionar un instrumento.
- b) Uso de instrumento.
- c) Elabora registros y mediciones.

3.5 Procedimientos

Peñuelas (2010), "Son medios para recoger información, destaca la observación. Son estrategias para lograr la información que se necesita y dar respuesta a los problemas" (p.7)

Las técnicas son medios que se apoyan en instrumentos, permiten el uso de procedimientos.

Ñaupas (2014), "las técnicas e instrumentos de investigación se refieren a los procedimientos y herramientas mediante los cuales se recogen los datos e

informaciones para probar, contrastar hipótesis, se clasifican en técnicas conceptuales, descriptivas y cuantitativas”(p.201).

Técnicas cuantitativas: Realizado por medio de números, ecuaciones, algoritmos, tienen procedimiento, análisis estadístico paramétrico y no, mide las variables.

En la investigación se usó métodos normalizados no fue necesario realizar una validación.

Tipos de escala y niveles de medición de variables: nominal, ordinal, intervalo y de razón.

Kerlinger (1988) “Escala de razón: es el nivel más alto de la medición, posee atributos de las escalas nominal, ordinal y de intervalo. Tiene como base el cero absoluto o natural”,(p.160).

Ensayos realizados:

Sección 1. Suelos

MTC E 107 -2000. Análisis granulométrico de suelos por tamizado.



Figura 23. Tamiz No 200 utilizado para el lavado de la muestra

Fuente: Elaboración propia

Del procedimiento es importante verificar el error el cual deberá ser menor al 1%.

$$\frac{W - \sum \text{pesos parciales}}{W} \leq 1\%$$

MTC E110-2000. Límite líquido.

Para este ensayo se utilizó la malla N°40, la muestra deberá ser cercana a los 40gr.

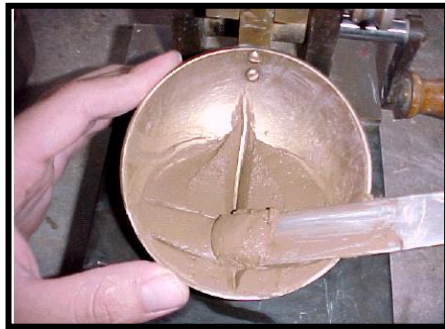


Figura 24. Copa de Casagrande

Fuente: Elaboración propia

MTC E111-2000. Límite plástico

Es importante obtener cilindros agrietados con diámetro de 3.2 mm. (1/8").

MTC E115-2000. Peso específico.

Para este ensayo se utiliza muestra parafinada.

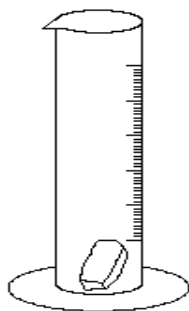


Figura 25. Muestras de suelo parafinadas

Fuente : Elaboración propia

MTC E131-2000.Triaxial

Muestra utilizada de 76 x 38 mm, 02 piedras porosas, papel filtro, agua.



Figura 26. *Medición de la muestra, diámetro.*

Fuente : Elaboración propia



Figura 27. *Accesorios (anillos, piedras porosas)*

Fuente : Elaboración propia



Figura 28. *Colocación de la Muestra en la cámara de Lucita*

Fuente: Elaboración propia

El espécimen se somete a un esfuerzo isotrópico se llenó la cámara con agua a una presión pre establecida. La saturación se logra mediante el empleo de contrapresión.



Figura 29. Panel del equipo triaxial

Fuente : Elaboración propia

Si la muestra está casi saturada, se aplica la contrapresión evitar la sobre consolidación.



Figura 30. Muestras de suelos

Fuente : Elaboración Propia

Durante la etapa de consolidación se produce una variación volumétrica.

MTC E108-2000. Contenido de humedad

Obtener una muestra inalterada representativa.

3.6 Análisis de datos

Análisis Paramétricos

Sampieri, (2010), considera supuestos:

- La distribución poblacional de la VD es una normal: el universo tiene una distribución normal.
- El nivel de medición de las variables es por intervalos o razón.
- Cuando 2 o más poblaciones son estudiadas, tienen una varianza igual u homogénea: las poblaciones presentan una dispersión similar en sus distribuciones, Wiesma y Jurs (p.311)

Las pruebas paramétricas son 6, de las cuales se desarrolla la prueba t, cada prueba obedece a un tipo de hipótesis, asimismo la hipótesis nula plantean que los grupos no difieren significativamente.

Sampieri (2010),” Prueba t es una prueba estadística para evaluar si dos grupos difieren entre sí, respecto a sus medias en una variable”(p.311).

La prueba t se basa en una distribución de la muestra de diferencia de medias conocida como la t de student, se identifica por los grados de libertad (número de maneras que los datos pueden variar libremente). Son determinantes, mientras mayor sea el número de grados de libertad, la distribución t de student se acercará más a una distribución normal, así por ejemplo los grados de libertad son mayores a los 120.

Expresión para calcular los grados de libertad:

$$gl = (n_1 + n_2) - 2 \quad (33)$$

Con la prueba se comparó los resultados de un experimento pre prueba con la pos prueba de dos grupos, comparación de medias y las varianzas en dos momentos diferentes $\bar{X}_1 * \bar{X}_2$, la significancia se proporciona como parte de los resultados y esta debe ser menor a 0.05 o 0.01, depende del nivel de confianza seleccionado (pp.319-320).

IV. Resultados

4.1. Simulación del comportamiento elastoplástico

Para la simulación del suelo se utilizó los resultados de las propiedades y del grupo control y experimental con diferentes contenidos de humedad, obtenidos mediante ensayos en el laboratorio, ambos de la post prueba que se detallan en las tablas 20,24 y 26, se aplicó el método de elementos finitos utilizando el software Plaxis.

En las tablas 9 y 10 se muestra los datos utilizados para la simulación de la masa de suelo aplicando el programa computacional para ello se necesitó de la creación del modelo geométrico, creación de la geometría, propiedades del suelo, generación de la malla de elementos finitos.

La construcción del modelo fue de acuerdo a las condiciones del terreno, con aplicación de cargas verticales y horizontales, finalmente se obtuvieron el comportamiento mediante los cuales se conoce los desplazamientos o asentamientos para las condiciones del grupo en condiciones drenadas adicionalmente se aplicaron los métodos teóricos tradicionales según se observa en la tablas 12,13,15,16 para un análisis en el centro y promedio de la cimentación.

En las figuras 37 y 41 se observa los desplazamientos, los mismos que son excesivos en la mayoría de los casos.

4.1.1 Simulación mediante el método de elementos finitos

Mediante coordenadas (m), se consideró 50.00Kn/ml como carga vertical y 20.00Kn/ml como carga horizontal para condiciones de contorno.

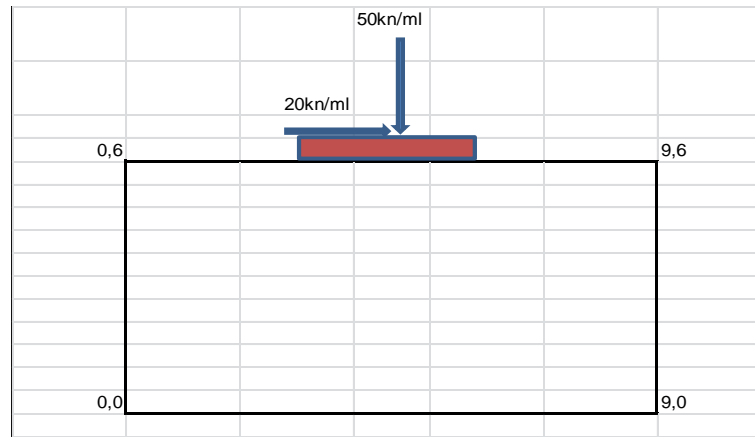


Figura 31. Construcción de la fundación, uso de coordenadas

Fuente: Elaboración propia

Tabla 8. Grupo control, post prueba, datos para la simulación

| Ensayo | Unidad | Datos |
|--------------------------------------|-------------------|---------|
| Gravedad específica (Gs) | | 2.63 |
| Módulo elasticidad (E) | KN/m ² | 1670 |
| Relación de Poisson (μ) | | 0.40 |
| Densidad del suelo (γ) | KN/m ³ | 17.4 |
| Densidad saturada (γ _s) | KN/m ³ | 19.11 |
| Angulo de fricción (Ø) | ° | 10 |
| Cohesión (C) | KN/m ² | 21.57 |
| Ángulo de dilatación (Ψ) | ° | 0 |
| Módulo de corte (G) | KN/m ² | 4024.14 |
| Coeficiente de permeabilidad (K) | m/day | 0.01 |
| Clasificación SUCS | | SC, SC |

Fuente: elaboración propia

Resultados de la simulación mediante el programa Plaxis, ver figuras 34, 35, 36 y 37 respectivamente.

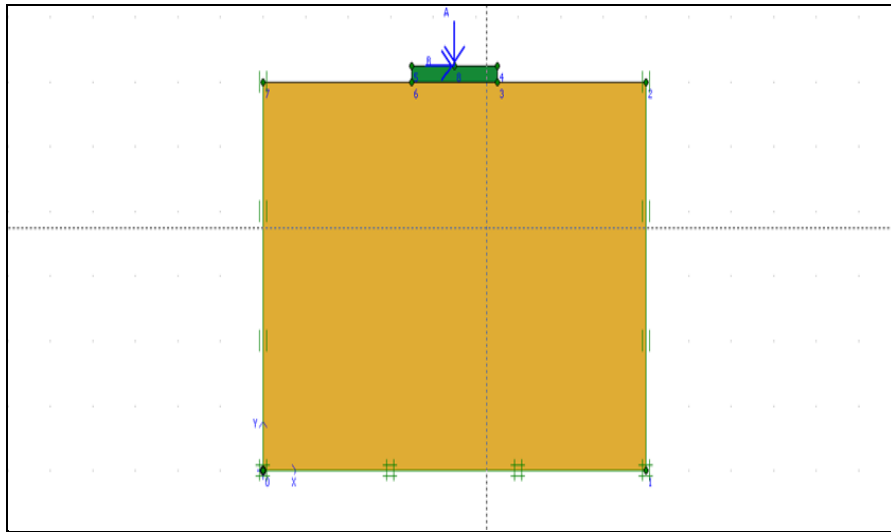


Figura 32. Condiciones de contorno al modelo del proyecto.

Fuente: Programa computacional Plaxis

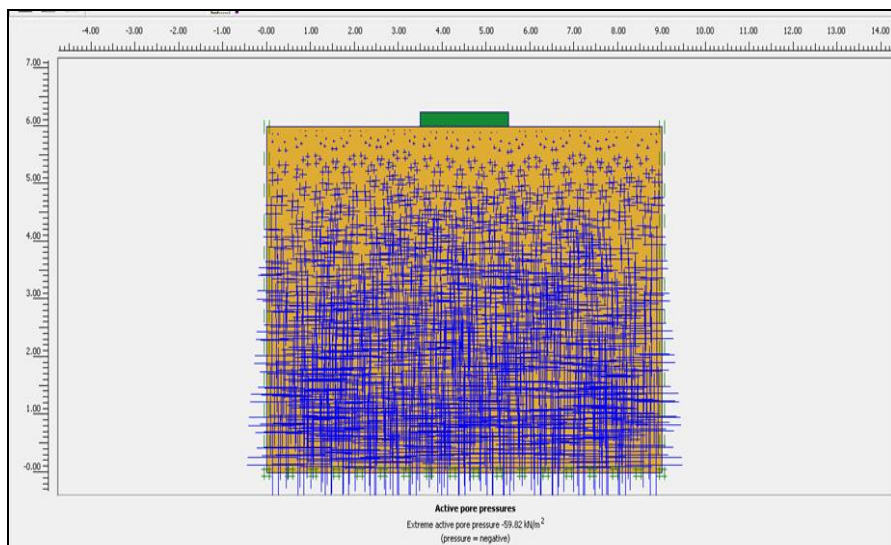


Figura 33. Distribución de presiones de poros

Fuente: Programa computacional Plaxis

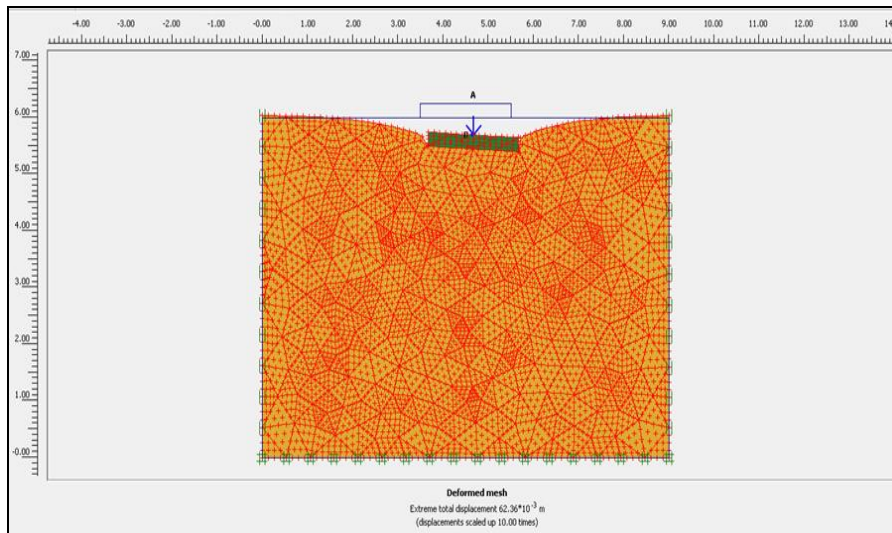


Figura 34. Malla deformada, desplazamiento de la cimentación
Fuente: Programa computacional Plaxis

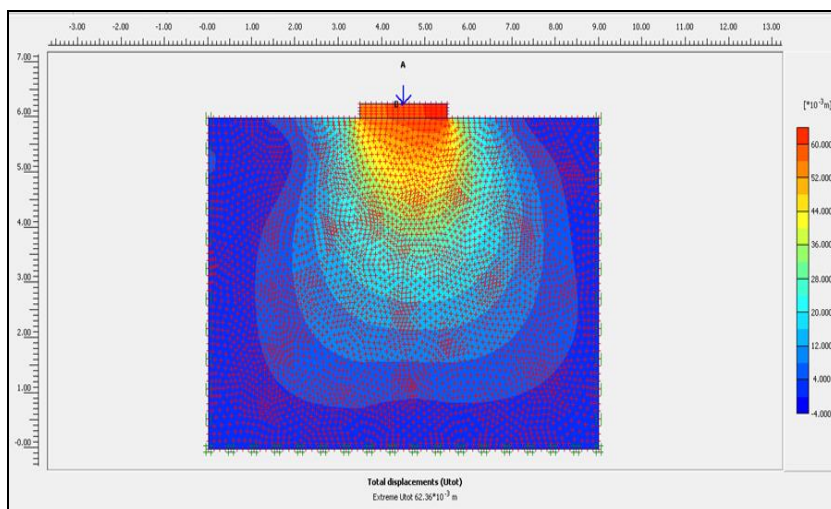


Figura 35. Desplazamientos totales de las presiones
Fuente: Programa computacional Plaxis

En la tabla 10 se muestra los datos para la simulación para el grupo experimental, en las figuras 38, 39, 40,41 se tiene la simulación.

Tabla 9. Grupo experimental, post prueba

| Ensayo | Unidad | Datos |
|-------------------------------------|--------|---------|
| Gravedad específica (Gs) | | 2.72 |
| Módulo elasticidad (E) | KN/m2 | 4000 |
| Relación de Poisson (u) | | 0.35 |
| Densidad del suelo (γ) | KN/m3 | 17.45 |
| Densidad saturada (γ_s) | KN/m3 | 18.91 |
| Angulo de fricción (\emptyset) | ° | 14 |
| Cohesión (C) | KN/m2 | 34.32 |
| Ángulo de dilatancia (Ψ) | ° | 0 |
| Módulo de corte (G) | KN/m2 | 1398.6 |
| Coefficiente de permeabilidad (K) | m/day | 0.00001 |
| Clasificación SUCS | | CL,ML |

Fuente: Elaboración propia

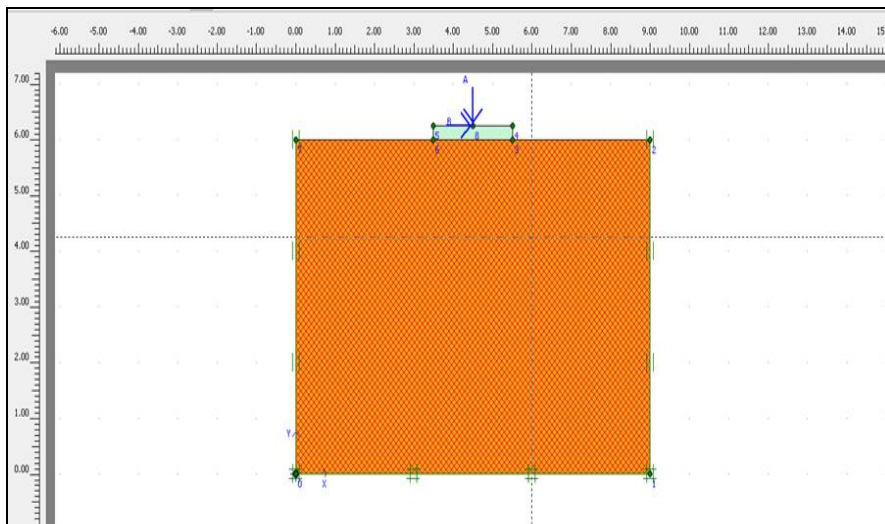


Figura 36. Condiciones de contorno, grupo experimental

Fuente: Programa computacional Plaxis

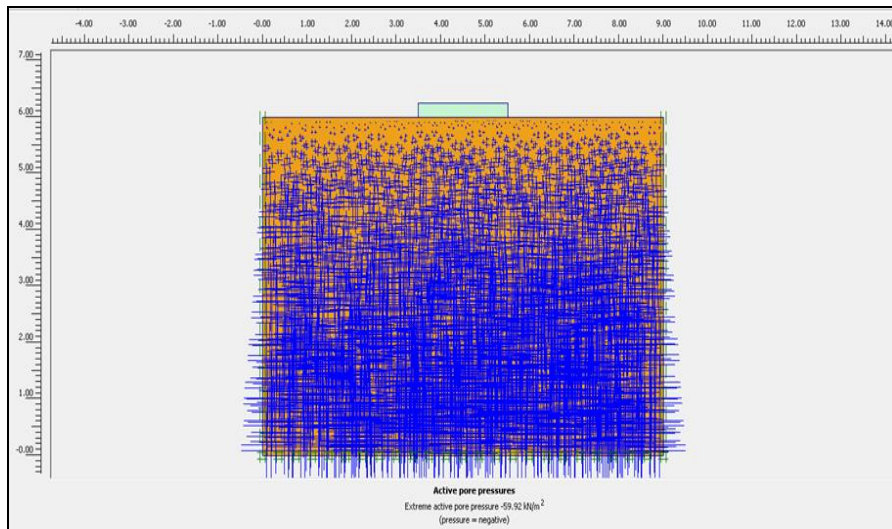


Figura 37. Presiones de poros, grupo experimental

Fuente: Programa computacional Plaxis

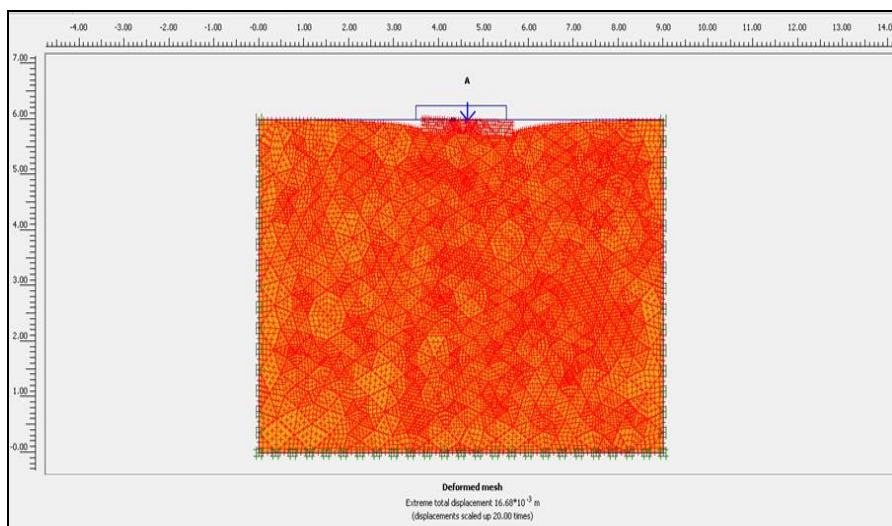


Figura 38. Malla deformada, grupo experimental

Fuente: Programa computacional Plaxis

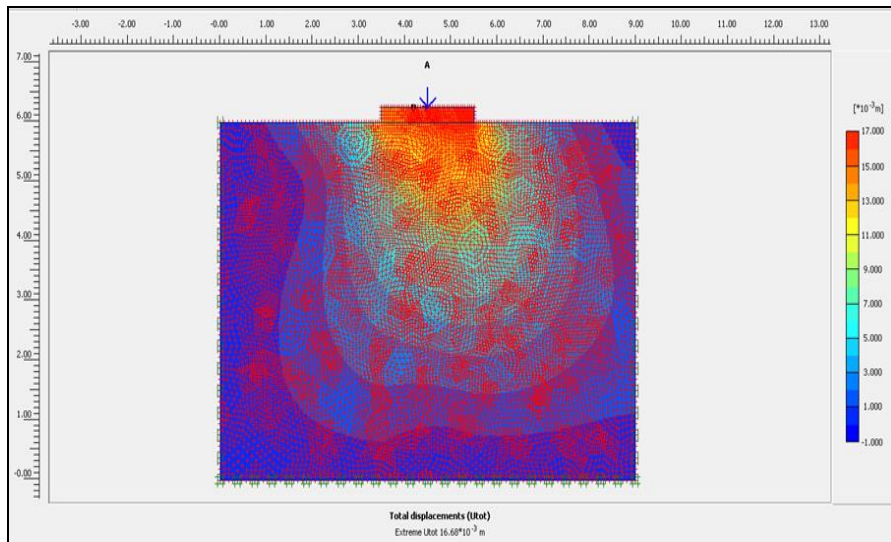


Figura 39. Desplazamientos totales, grupo experimental

Fuente: Programa computacional Plaxis

Tabla 10. Asentamientos, Teoría Mohr-Coulomb

| Asentamientos | Teoría de Mohr-Coulomb, uso software Plaxis |
|--------------------------------|---|
| Grupo control, post prueba | 6.2cm |
| Grupo experimental post prueba | 1.66cm |
| | 4.38cm |
| | 5.92cm |
| | |

Fuente: Elaboración propia

De los resultados obtenidos se observa que en la mayoría de los casos superan los valores permisibles (2.54cm) según las normas por lo tanto se estudiaron soluciones por mejorar las condiciones de terreno finalmente se optó por usar columnas de gravas con arena gruesa para mejorar las condiciones del suelo.

4.1.2 Uso de columnas de gravas y arena gruesa

Se inicia con las condiciones de contorno, las cargas del problema y una columna de grava de 1m de diámetro y 3m de altura, figura 40.

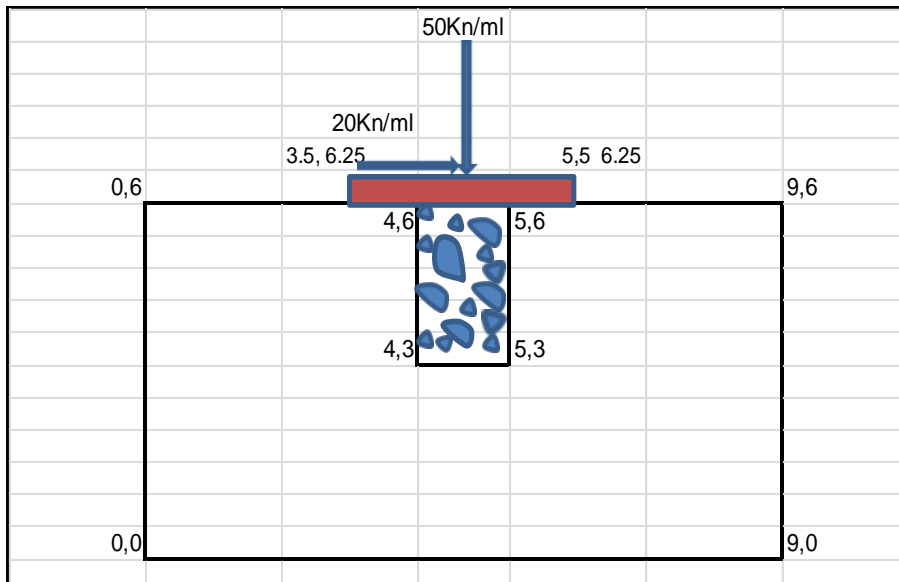


Figura 40. Condiciones de contorno, uso de columnas de gravas con arena gruesa

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11. Parámetros elastoplásticos, mecánicos para la simulación.

| Ensayo | Unidad | datos |
|------------------------------------|-------------------|----------|
| Módulo elasticidad (E) | KN/m ² | 24516.63 |
| Densidad del suelo (γ) | KN/m ³ | 19.10 |
| Angulo de fricción (\emptyset) | ° | 28 |
| Cohesión (C) | KN/m ² | 0 |

Fuente : Elaboración propia

En las figuras 41,42 y 43 se tiene las condiciones de contorno, malla deformada con la columna de gravas y los desplazamientos totales.

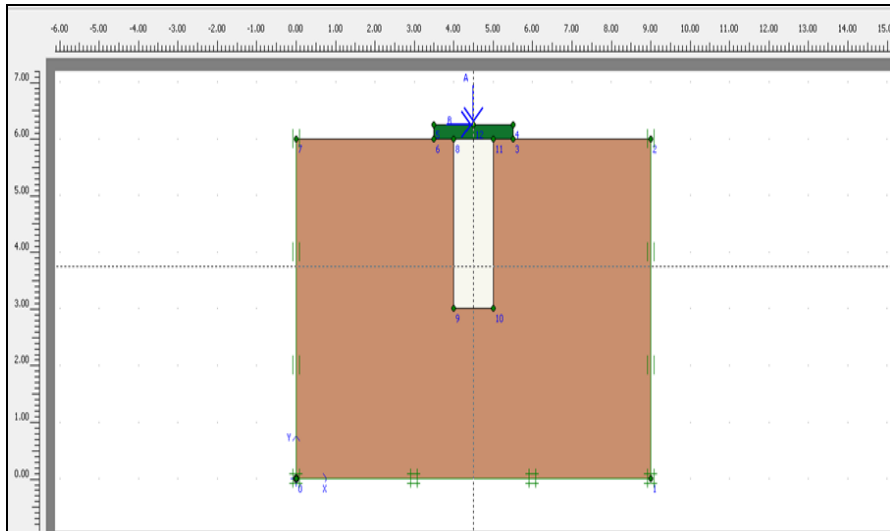


Figura 41. Condiciones de contorno con columnas de gravas y arena gruesa

Fuente: Programa computacional Plaxis

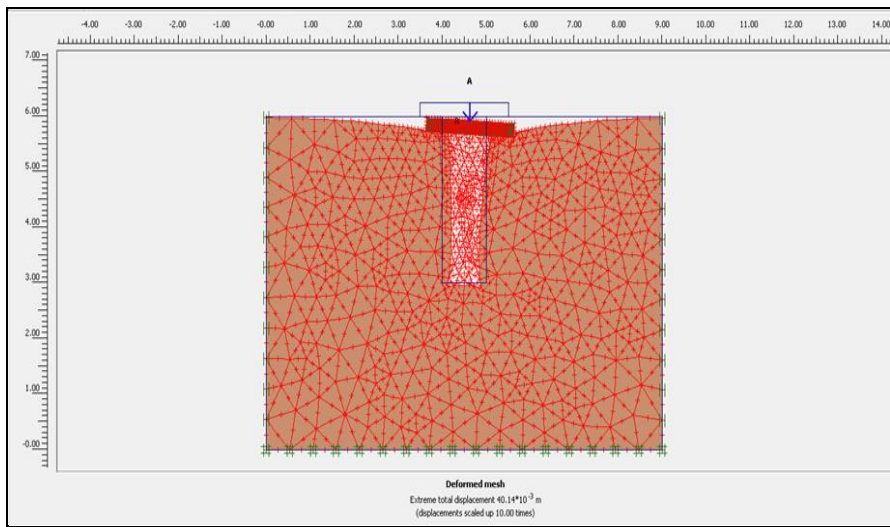


Figura 42. Malla deformada con la columna de gravas y arena gruesa
Fuente: Programa computacional Plaxis.

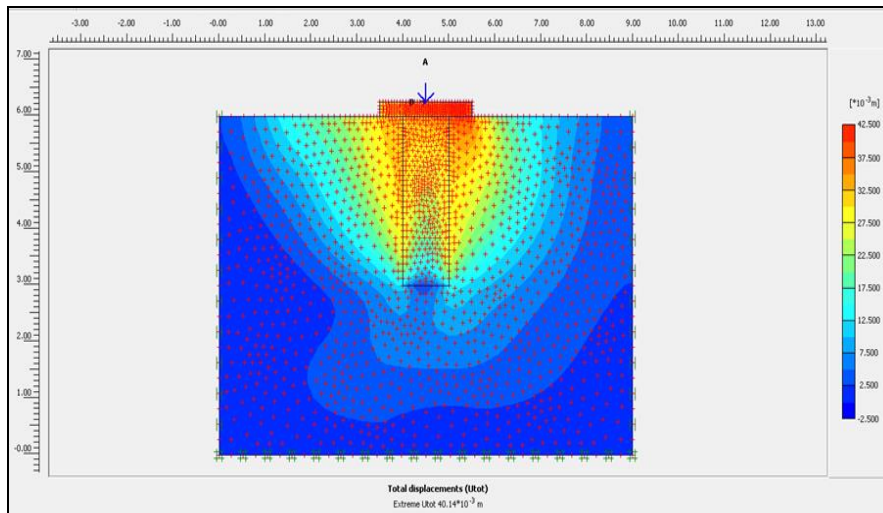


Figura 43. Desplazamientos totales con la columna de gravas

Fuente: Programa computacional Plaxis

Tabla 12. Asentamientos con y sin columnas de gravas, arena gruesa

| Asentamiento | Teoría de Mohr-Coulomb, sin columnas de gravas y arena gruesa | Teoría de Mohr-Coulomb, con columnas de gravas y arena gruesa |
|--------------------------------|--|--|
| Grupo control, post prueba | 6.2cm | 4.02cm |
| Grupo experimental post prueba | 4.38cm | 2.84cm |

Fuente: Elaboración propia

Como se observa se tiene desplazamientos superiores a los valores que establece las normas, dichos asentamientos disminuyen si se usa columnas de gravas con arena gruesa, ver figura 42 y 43. La disminución del asentamiento fue del 35%.

4.1.3 Cálculo de los asentamientos elásticos

El cálculo se desarrolló para una cimentación flexible (Harr, 1966), según métodos tradicionales, basado en la Teoría de la elasticidad.

Grupo experimental, centro de la cimentación flexible

$$S = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha \quad (34)$$

Condiciones:

$$Df=0, H = \infty$$

| |
|---|
| B=ancho de la cimentación |
| Es=Módulo de elasticidad |
| μ = Relación de Poisson del suelo |
| α = relaciones de longitud ,ancho(L/B) |
| S= asentamiento |

Tabla 13. Centro de la cimentación, grupo experimental, post prueba.

| Propiedades/asentamiento | M-1 | M-2 | M-3 |
|------------------------------|-----------|-----------|-------------|
| Contenido de humedad ,W(%) | 31.43 | 24.32 | 22.04 |
| Carga vertical(KN) | 50 | 50 | 50 |
| L(m) | 1 | 1 | 1 |
| B (m) | 2 | 2 | 2 |
| q_0 =(KN/m ²) | 25 | 25 | 25 |
| E_s = (KN/M ²) | 5000 | 5000 | 6100 |
| μ | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| α | 2.1 | 2.1 | 2.1 |
| Asentamiento,S,(m) | 0.0184275 | 0.0184275 | 0.015104508 |
| Asentamiento,S,(mm) | 18.4275 | 18.4275 | 15.1045082 |
| Asentamiento,S,(cm) | 1.84275 | 1.84275 | 1.51045082 |

Fuente: Elaboración propia

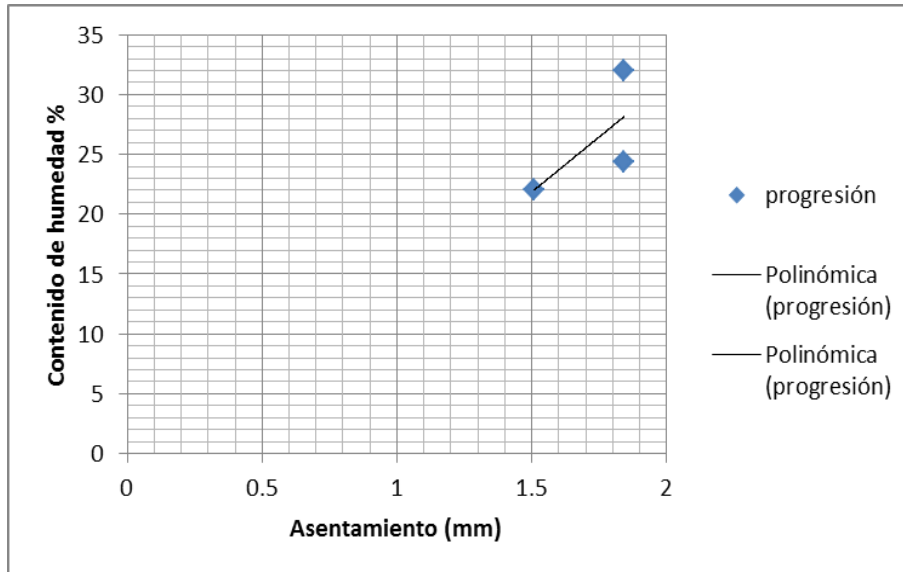


Figura 44. Asentamiento vs contenido de humedad, centro de la cimentación, grupo experimental, post prueba.

Fuente: Elaboración propia

Grupo experimental, promedio para cimentación flexible

$$S = \frac{Bq_0}{E_s} (1 - \mu_s^2) \alpha_{prom} \quad (35)$$

Tabla 14. Promedio para una cimentación, grupo experimental, post prueba.

| Propiedades/asentamiento | M-1 | M-2 | M-3 |
|----------------------------|-------------|------------|-----------|
| Contenido de humedad ,W(%) | 31.43 | 24.32 | 22.04 |
| Carga vertical(KN) | 50 | 50 | 50 |
| L(m) | 1 | 1 | 1 |
| B (m) | 2 | 2 | 2 |
| q_0 =(KN/m2) | 25 | 25 | 25 |
| E_s = (KN/M2) | 4000 | 5000 | 6100 |
| μ | 0.35 | 0.35 | 0.35 |
| α_{prom} | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| Asentamiento,S,(m) | 0.020072813 | 0.01605825 | 0.0131625 |
| Asentamiento,S,(mm) | 20.0728125 | 16.05825 | 13.1625 |
| Asentamiento,S,(cm) | 2.00728125 | 1.605825 | 1.31625 |

Fuente: Elaboración propia

Grupo control, centro de la cimentación flexible

Tabla 15. Centro de la cimentación, grupo control, post prueba.

| Propiedades/asentamiento | M-1 | M-2 | M-3 |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Contenido de humedad ,W(%) | 27.18 | 26.4 | 25.69 |
| Carga vertical(KN) | 50 | 50 | 50 |
| L(m) | 1 | 1 | 1 |
| B (m) | 2 | 2 | 2 |
| q_{00} =(KN/m2) | 25 | 25 | 25 |
| E_s = (KN/M2) | 1670 | 1890 | 1980 |
| μ | 0.4 | 0.4 | 0.41 |
| α | 2.1 | 2.1 | 2.1 |
| Asentamiento,S,(m) | 0.052814371 | 0.046666667 | 0.044115909 |
| Asentamiento,S,(mm) | 52.81437126 | 46.66666667 | 44.11590909 |
| Asentamiento,S,(cm) | 5.281437126 | 4.666666667 | 4.411590909 |

Fuente: Elaboración propia

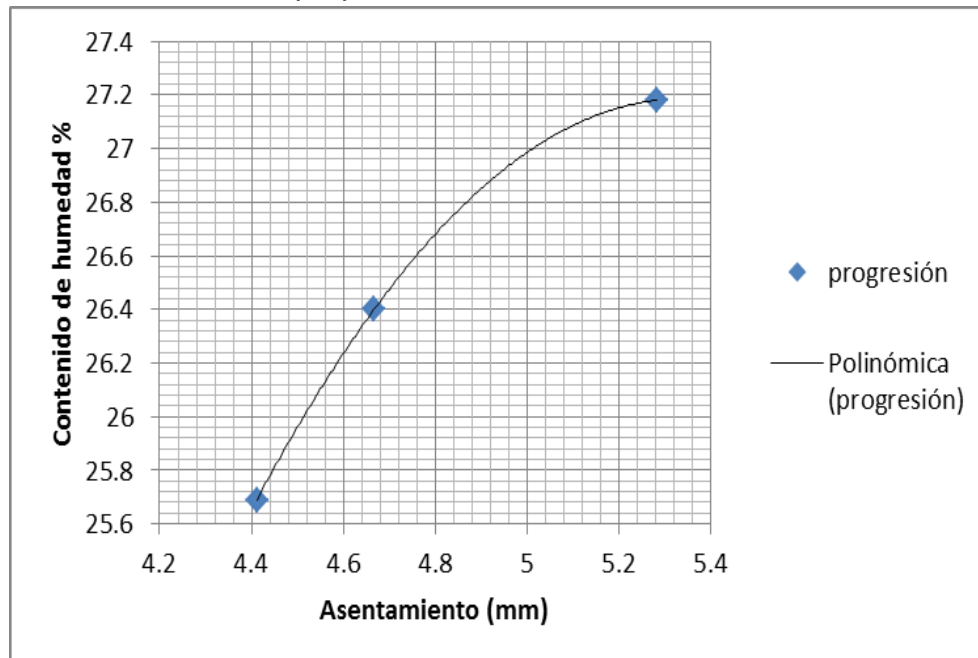


Figura 45. Asentamiento vs contenido de humedad, centro de la cimentación, grupo control, post prueba.

Fuente: Elaboración propia

Grupo control, promedio para cimentación flexible

Tabla 16. Promedio para una cimentación, grupo control, post prueba.

| Propiedades/asentamiento | M-1 | M-2 | M-3 |
|----------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Contenido de humedad ,W(%) | 27.18 | 26.4 | 25.69 |
| Carga vertical(KN) | 50 | 50 | 50 |
| L(m) | 1 | 1 | 1 |
| B (m) | 2 | 2 | 2 |
| q_{e0} =(KN/m2) | 25 | 25 | 25 |
| E_s = (KN/M2) | 1670 | 1890 | 1980 |
| μ | 0.4 | 0.4 | 0.41 |
| α_{prom} | 1.83 | 1.83 | 1.83 |
| Asentamiento,S,(m) | 0.046023952 | 0.040666667 | 0.038443864 |
| Asentamiento,S,(mm) | 46.0239521 | 40.66666667 | 38.44386364 |
| Asentamiento,S,(cm) | 4.60239521 | 4.066666667 | 3.844386364 |

Fuente: Elaboración propia

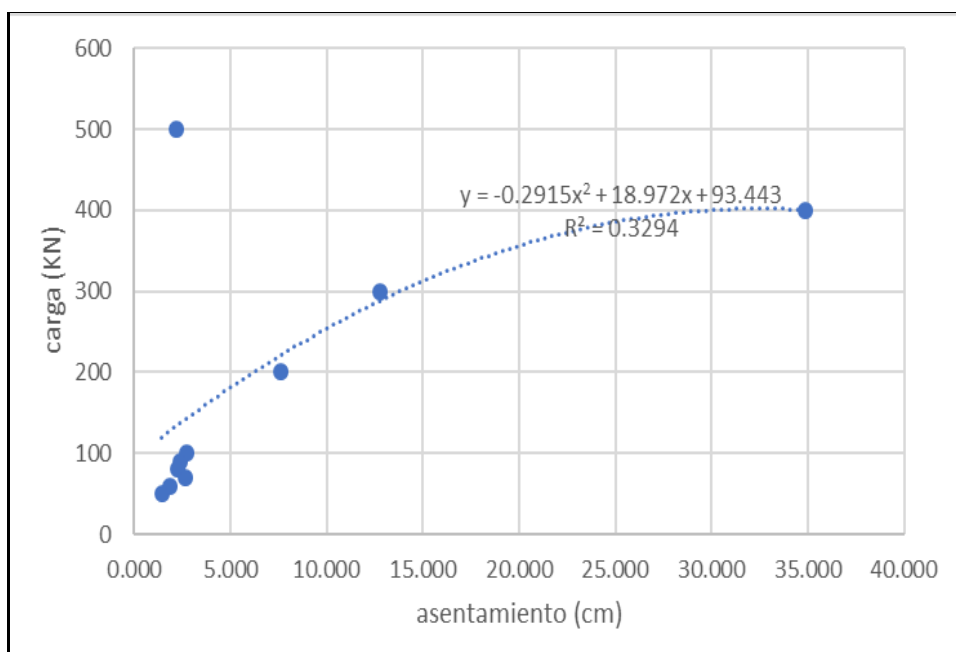


Figura 46. Grupo control, asentamiento vs carga aplicada.

Fuente: Elaboración propia

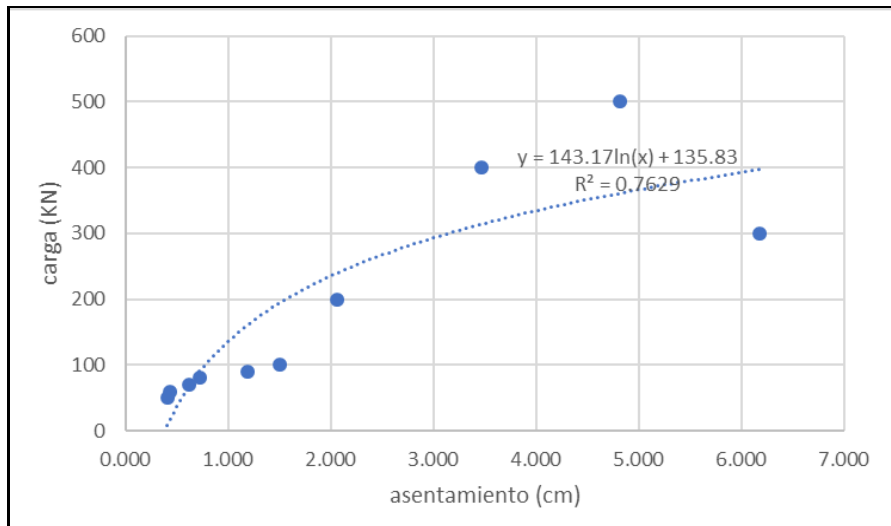


Figura 47. Grupo experimental, resultado de asentamiento vs carga

Fuente: Elaboración propia

4.2 Propiedades físicas

Considerado para los dos grupos pertenecientes a pre prueba y pos prueba, en las figuras 54, 56 y 57 se tiene el comportamiento del suelo a través de la curva esfuerzo-deformación, en las tablas 17, 18, 19, 20 se muestran los resultados, los cuales fueron representados en las figuras 51, 52 y 53.

Tabla 17. *Propiedades físicas, grupo control, pre prueba.*

| Contenido de humedad (%) | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice plástico (%) | Índice de fluidez |
|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 16.96 | 28.9 | 19.71 | 9.19 | -0.299 |
| 17.48 | 33.7 | 21.8 | 11.9 | -0.363 |
| 17.49 | 33.8 | 21.2 | 12.6 | -0.294 |
| 17.52 | 34.6 | 21.44 | 13.16 | -0.298 |
| 15.5 | 22.2 | 18.10 | 4.10 | -0.634 |
| 15.48 | 23.10 | 18.20 | 4.90 | -0.555 |
| 15.15 | 23.15 | 17.90 | 5.25 | -0.524 |
| 15.55 | 21.50 | 17.49 | 4.01 | -0.484 |
| 17.2 | 33.40 | 21.10 | 12.30 | -0.317 |
| 17.4 | 33.1 | 21.3 | 11.8 | -0.331 |

Fuente: Elaboración propia

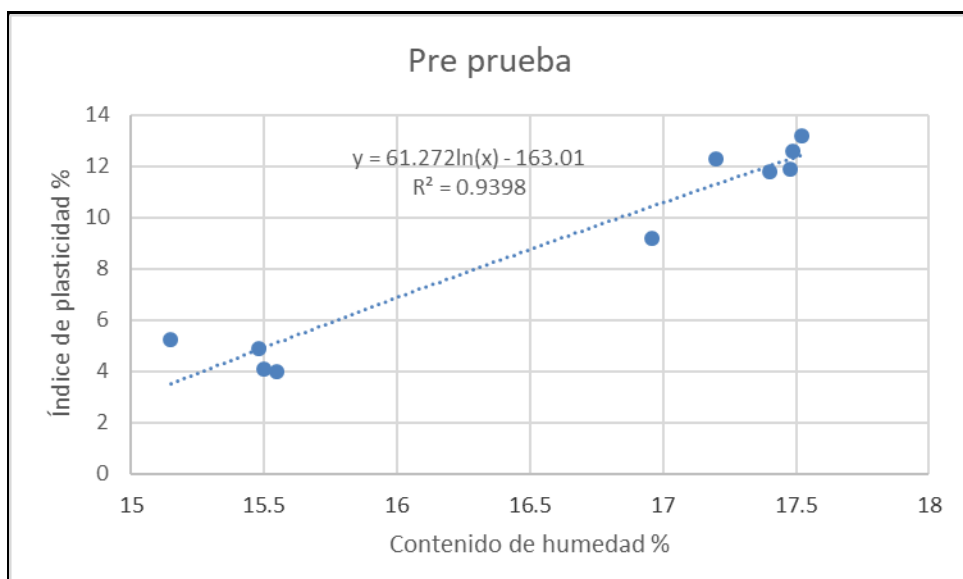


Figura 48. Grupo control, pre prueba, incremento de contenido de humedad vs índice de plasticidad

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18. Propiedades físicas, grupo control, post prueba.

| contenido de humedad(%) | Limite líquido(%) | Límite plástico (%) | Índice plástico (%) | Índice de fluidez |
|-------------------------|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 27.18 | 39.53 | 14.57 | 24.96 | 0.505 |
| 26.63 | 40 | 22.99 | 17.01 | 0.214 |
| 23.25 | 38.18 | 26.82 | 11.36 | -0.314 |
| 24.65 | 38.57 | 24.83 | 13.74 | -0.013 |
| 25.69 | 38.18 | 24.94 | 13.24 | 0.057 |
| 26.55 | 37.8 | 21.9 | 15.90 | 0.292 |
| 27.25 | 36.9 | 22.3 | 14.60 | 0.339 |
| 25.32 | 38.1 | 24.1 | 14.00 | 0.087 |
| 26 | 37.1 | 21.85 | 15.25 | 0.272 |
| 26.4 | 37.5 | 22.1 | 15.4 | 0.279 |

Fuente: Elaboración propia

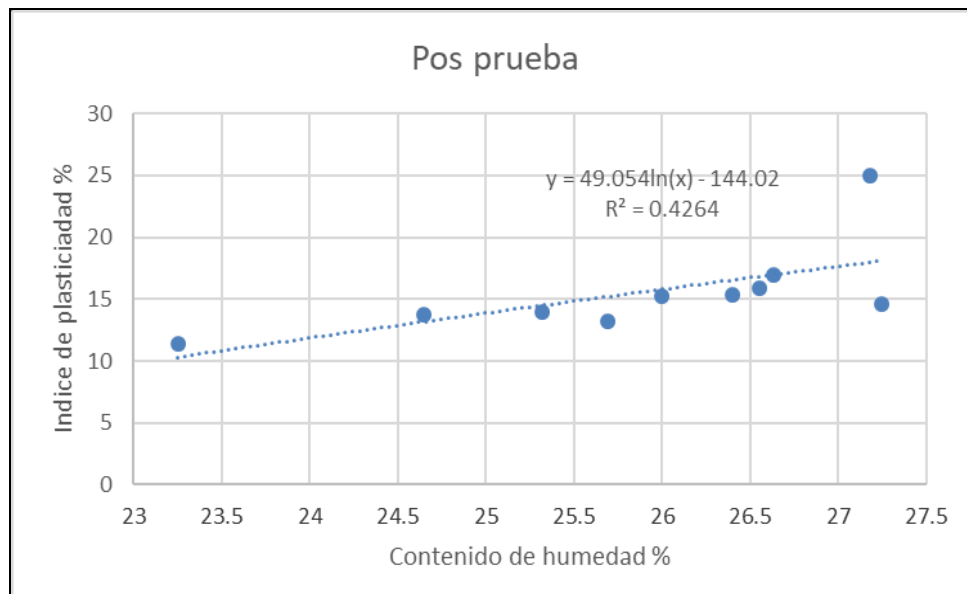


Figura 49. Humedad vs Índice de plasticidad, grupo control, post prueba
Fuente: Elaboración propia

Tabla 19. Propiedades físicas, grupo experimental, pre prueba.

| contenido de humedad(%) | Limite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice plástico (%) | Índice de fluidez |
|-------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 15.66 | 26.2 | 20.1 | 6.10 | -0.728 |
| 15.74 | 26.3 | 20.4 | 5.90 | -0.790 |
| 15.56 | 26.8 | 20.2 | 6.60 | -0.703 |
| 16.11 | 20.5 | 16.73 | 3.77 | -0.164 |
| 15.27 | 26.1 | 20.5 | 5.60 | -0.934 |
| 14.98 | 25.5 | 20.0 | 5.50 | -0.913 |
| 14.42 | 26.3 | 20.5 | 5.80 | -1.048 |
| 13.97 | 20.75 | 17.07 | 3.68 | -0.842 |
| 14.74 | 25.80 | 21.00 | 4.80 | -1.304 |
| 13.89 | 20.61 | 17.40 | 3.21 | -1.093 |

Fuente: Elaboración propia

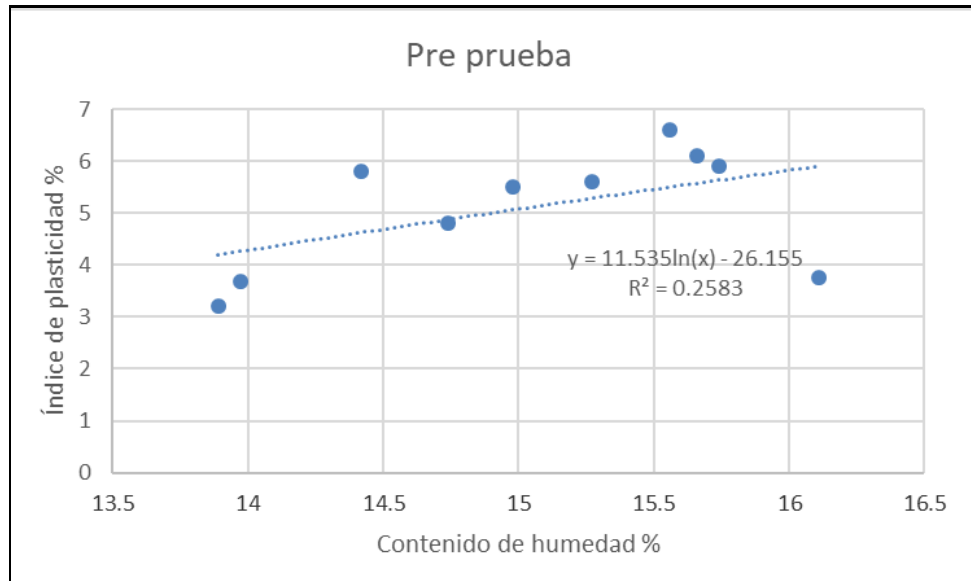


Figura 50. Grupo experimental, pre prueba, IP vs humedad

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20. Propiedades físicas, grupo experimental, post prueba

| Contenido de humedad (%) | Límite líquido (%) | Límite plástico (%) | Índice plástico (%) | Índice de fluidez |
|--------------------------|--------------------|---------------------|---------------------|-------------------|
| 22.04 | 26.1 | 20.15 | 5.95 | 0.318 |
| 24.72 | 27.6 | 21.56 | 6.04 | 0.523 |
| 27.37 | 31.11 | 20.2 | 10.91 | 0.657 |
| 24.32 | 31.4 | 21.19 | 10.21 | 0.307 |
| 23.67 | 29.8 | 20.8 | 9.00 | 0.319 |
| 31.43 | 30.11 | 19.2 | 10.91 | 1.121 |
| 24.13 | 31.3 | 21.13 | 10.17 | 0.295 |
| 24.02 | 39.2 | 27.93 | 11.27 | -0.347 |
| 23.80 | 30.1 | 20.20 | 9.90 | 0.364 |
| 24.18 | 35.5 | 24.50 | 11 | -0.029 |

Fuente: Elaboración propia

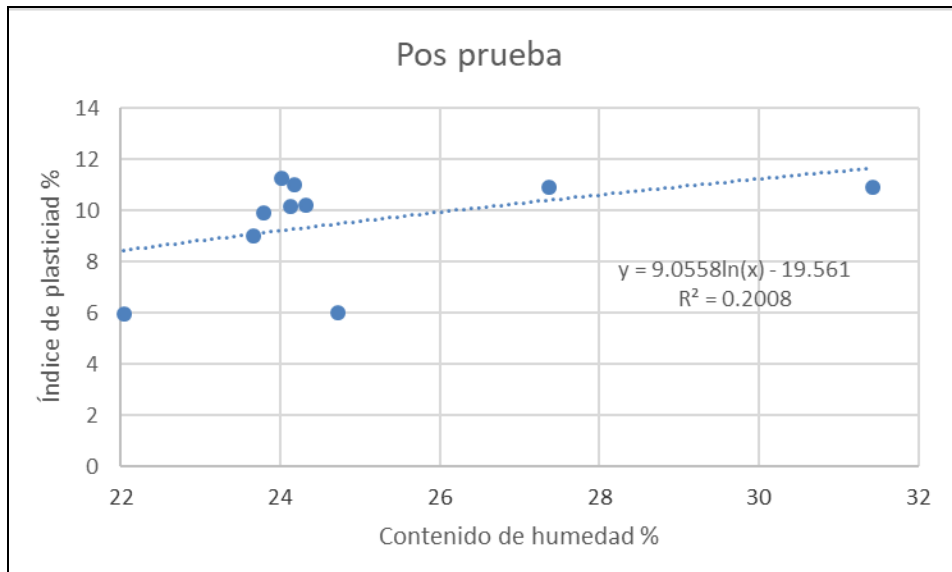


Figura 51. Grupo experimental, post prueba

Fuente: Elaboración propia

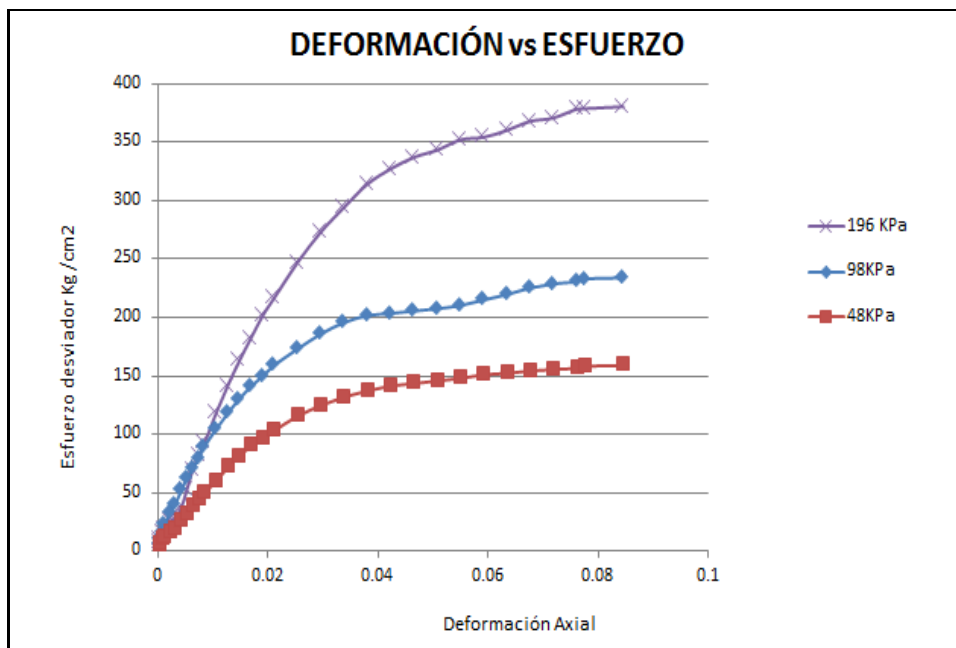


Figura 52. Grupo control, pre prueba, M-7

Fuente: Elaboración propia

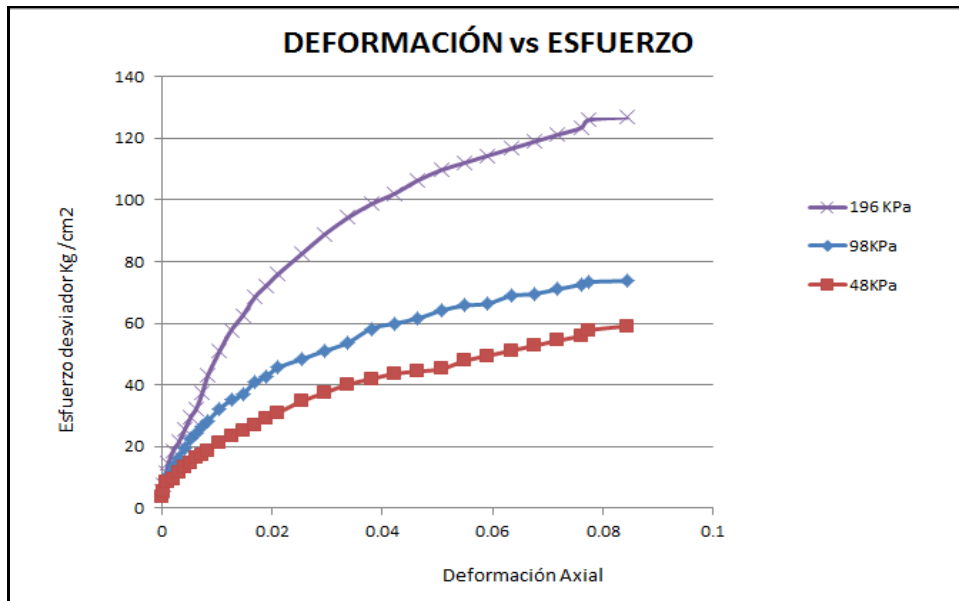


Figura 53. Post prueba M-8, grupo control

Fuente: Elaboración propia

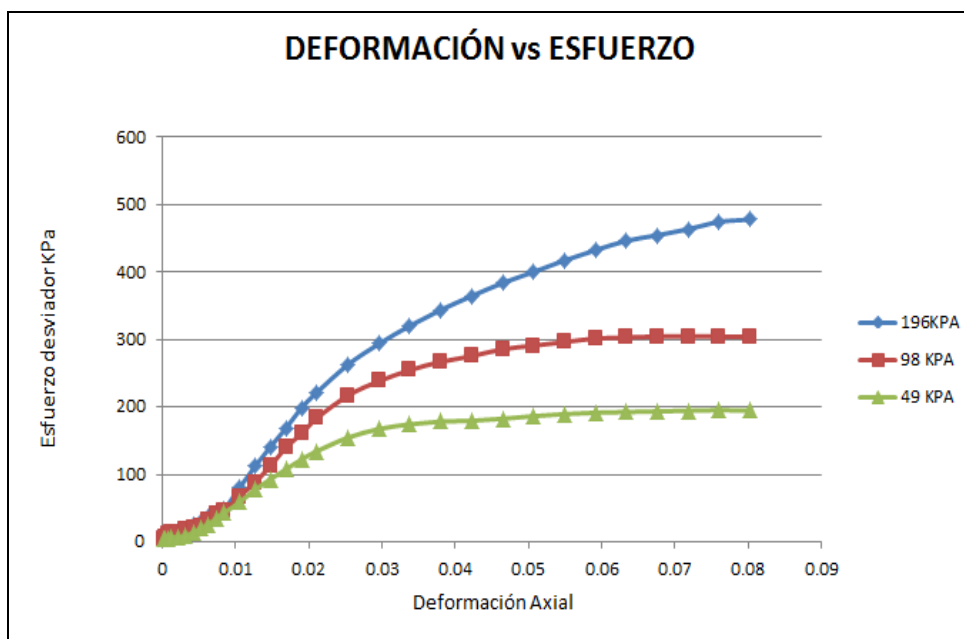


Figura 54. Curva esfuerzo deformación, grupo experimental, post prueba, M-3

Fuente: Elaboración propia

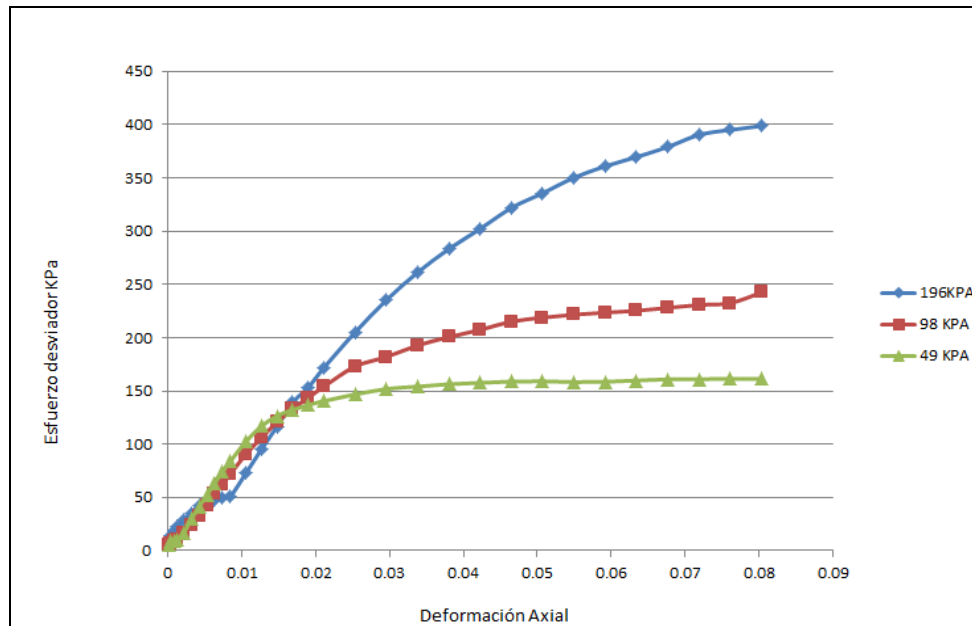


Figura 55. Grupo experimental, pre prueba, M-1, trayectoria de deformaciones

Fuente: Elaboración propia

4.3 Propiedades mecánicas

Este es el segundo objetivo específico, fueron obtenidos de las curvas esfuerzo- deformación y seguidamente a través de los círculos de Mohr como se observa en las figuras 60,61 y 62. En las tablas 21, 22, 23 y 24 se tienen los resultados y están representados mediante las figuras 58,59 y 60.

Tabla 21. *Propiedades mecánicas, grupo control, pre prueba*

| Contenido de humedad (%) | cohesión (Kg/cm2) | Angulo de fricción (°) | Ángulo de dilatancia (°) |
|--------------------------|-------------------|------------------------|--------------------------|
| 16.96 | 0.35 | 18 | 0 |
| 17.48 | 0.4 | 17 | 0 |
| 17.49 | 0.5 | 14 | 0 |
| 17.52 | 0.25 | 25 | 0 |
| 15.5 | 0.26 | 25 | 0 |
| 15.48 | 0.4 | 20 | 0 |
| 15.15 | 0.41 | 20 | 0 |
| 15.55 | 0.26 | 26 | 0 |
| 17.20 | 0.36 | 19 | 0 |
| 17.40 | 0.37 | 18 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

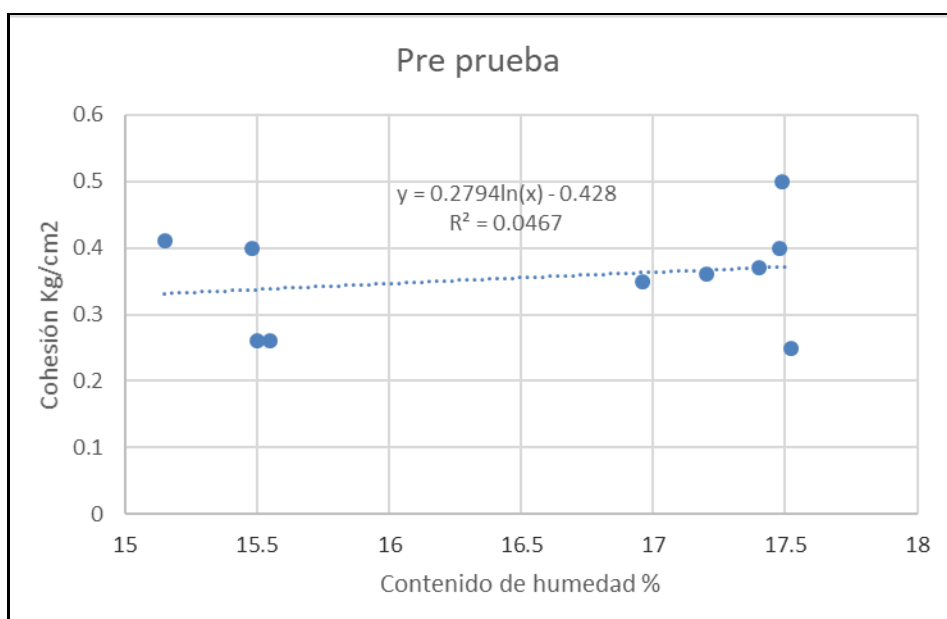


Figura 56. Grupo control, pre prueba

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. *Propiedades mecánicas, grupo control, post prueba*

| Contenido de humedad (%) | cohesión (Kg/cm ²) | Angulo de fricción (°) | Ángulo de dilatancia (°) |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------|--------------------------|
| 27.18 | 0.22 | 10 | 0 |
| 26.63 | 0.1 | 12 | 0 |
| 23.25 | 0.22 | 8 | 0 |
| 24.65 | 0.33 | 17 | 0 |
| 25.69 | 0.38 | 16 | 0 |
| 26.55 | 0.48 | 14 | 0 |
| 27.25 | 0.35 | 18 | 0 |
| 25.32 | 0.36 | 17 | 0 |
| 26.00 | 0.45 | 15 | 0 |
| 26.4 | 0.35 | 18 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

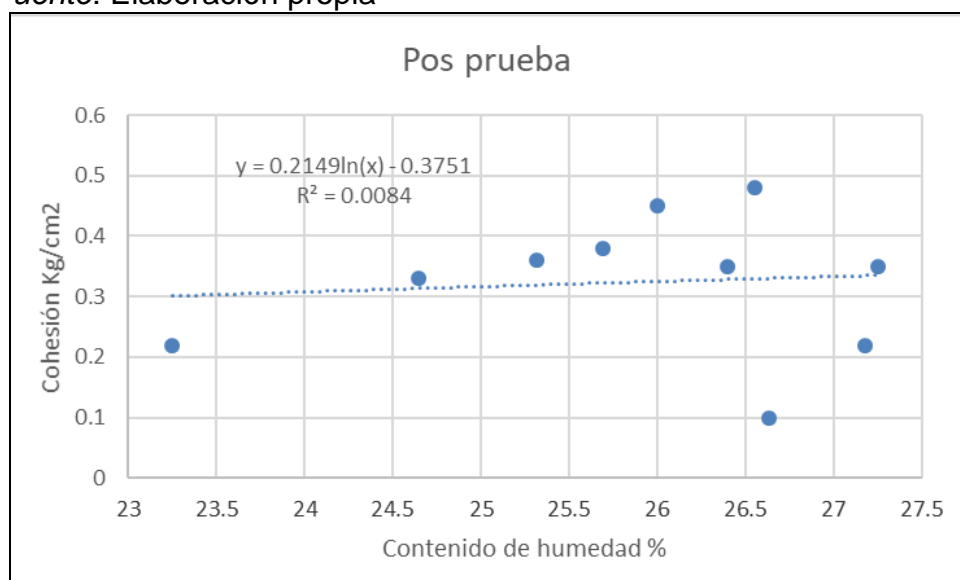


Figura 57. Grupo control, post prueba, trayectorias

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23. Propiedades mecánicas, grupo experimental, Pre prueba

| Contenido de humedad (%) | cohesión(Kg/cm2) | Angulo de fricción(°) | Ángulo de dilatancia(°) |
|--------------------------|------------------|-----------------------|-------------------------|
| 15.66 | 0.22 | 18 | 0 |
| 15.74 | 0.3 | 25 | 0 |
| 15.56 | 0.3 | 24 | 0 |
| 16.11 | 0.25 | 24 | 0 |
| 15.27 | 0.3 | 25 | 0 |
| 14.98 | 0.34 | 22 | 0 |
| 14.42 | 0.45 | 20 | 0 |
| 13.97 | 0.28 | 23 | 0 |
| 14.74 | 0.34 | 21 | 0 |
| 13.89 | 0.33 | 21 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

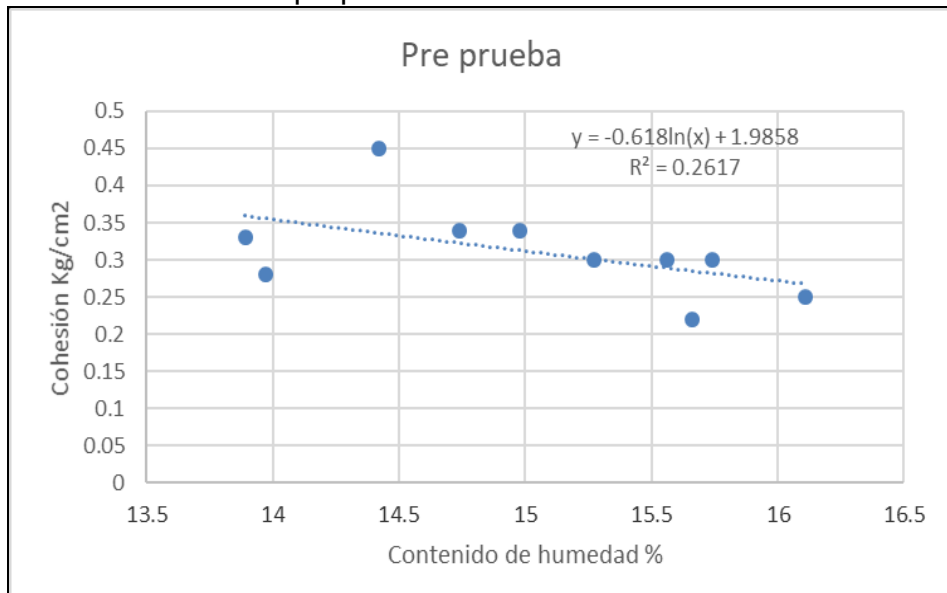


Figura 58. Cohesión vs contenido de humedad, grupo experimental, pre prueba

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. *Propiedades mecánicas, grupo experimental, Post prueba*

| Contenido de humedad (%) | cohesión(Kg/cm2) | Angulo de fricción(°) | Ángulo de dilatancia (°) |
|--------------------------|------------------|-----------------------|--------------------------|
| 22.04 | 0.25 | 30 | 0 |
| 24.72 | 0.3 | 28 | 0 |
| 27.37 | 0.3 | 20 | 0 |
| 24.32 | 0.4 | 10 | 0 |
| 23.67 | 0.25 | 18 | 0 |
| 31.43 | 0.35 | 14 | 0 |
| 24.13 | 0.22 | 20 | 0 |
| 24.02 | 0.35 | 18 | 0 |
| 23.8 | 0.26 | 19 | 0 |

Fuente: Elaboración propia

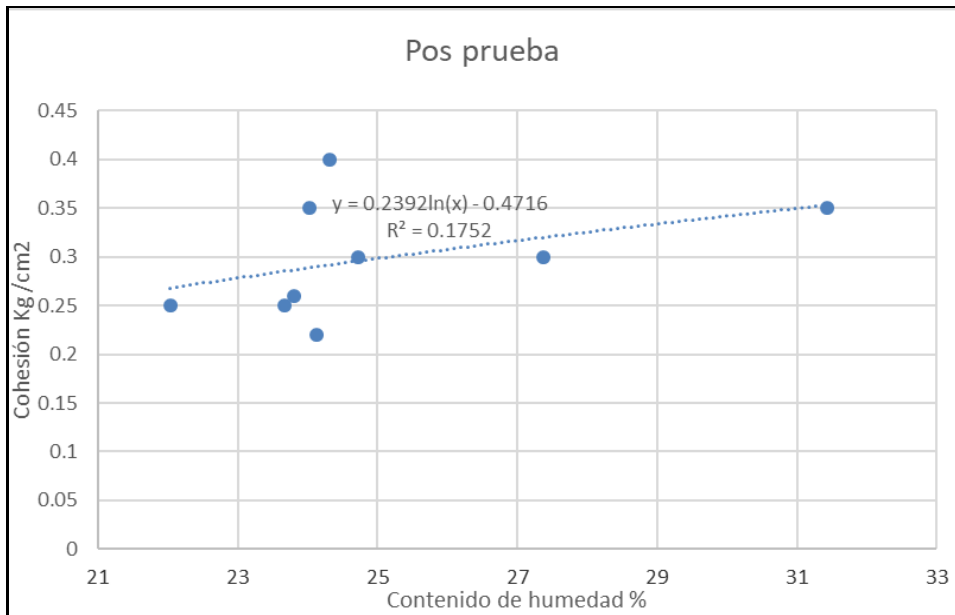


Figura 59. Resultados, grupo experimental, post prueba

Fuente: Elaboración propia

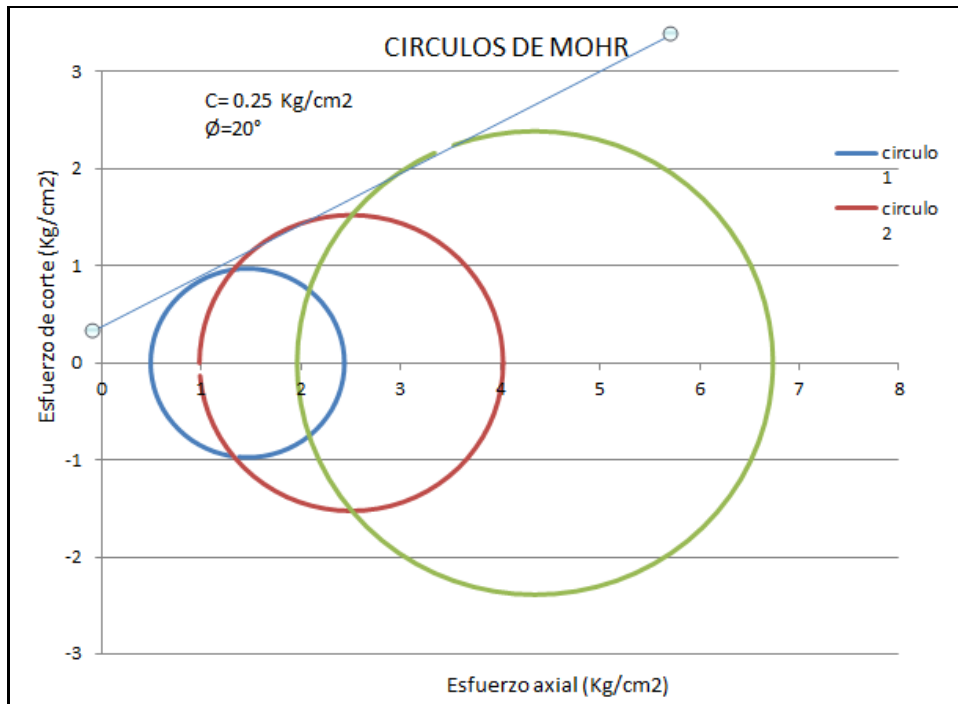


Figura 60. Envoltente de falla, grupo experimental, pos prueba, M-3.

Fuente: Elaboración propia

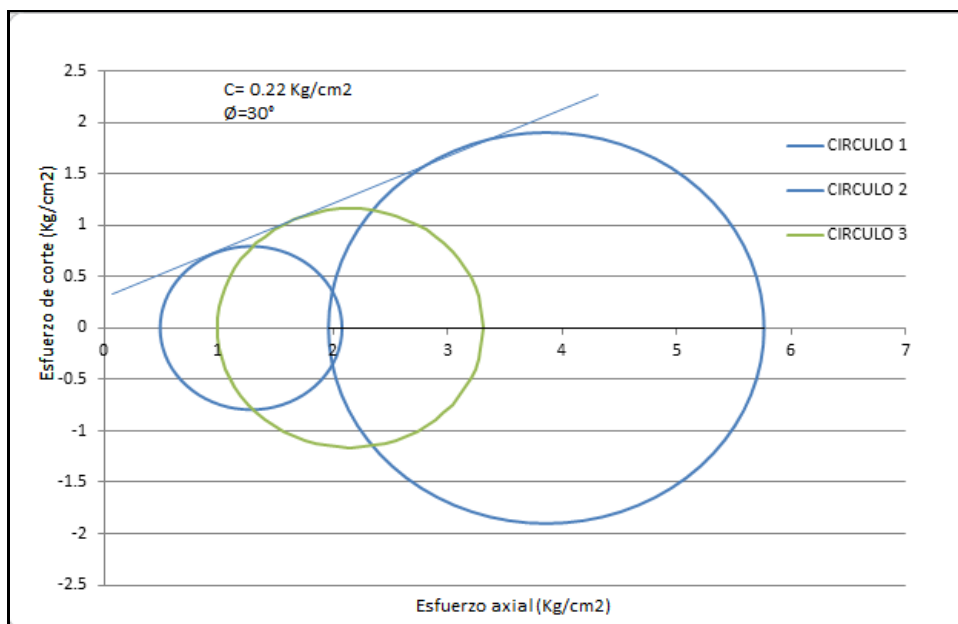


Figura 61. Círculo de Mohr, grupo control, pre prueba, M-7.

Fuente: Elaboración propia

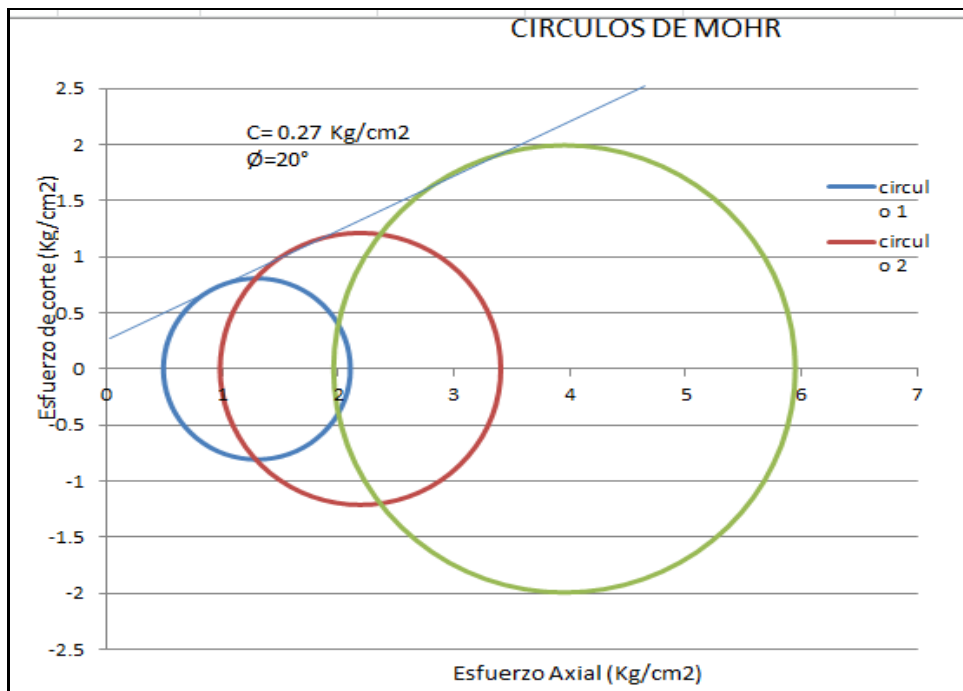


Figura 62. Grupo experimental, pre prueba, M-1

Fuente: Elaboración propia

4.4 Propiedades Elastoplásticas

En las tablas 25, 26, 27 y 28 se tienen los resultados obtenidos a partir de la curva esfuerzo-deformación y de las propiedades mecánicas estos valores son representados a través de las figuras 63, 64, 65 y 66, al finalizar este tercer objetivo específico se adiciona las tablas 29 y 30 con sus figuras respectivas.

Tabla 25. Propiedades elastoplásticas, grupo control, pre prueba

| Módulo de elasticidad (E)(Mpa) | Relación de Poisson (ν) | módulo de corte (G) (Mpa) | Deformación % |
|--------------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------|
| 3.30 | 0.409 | 1.171 | 1.5 |
| 4.00 | 0.414 | 1.414 | 1 |
| 1.60 | 0.431 | 0.558 | 0.3 |
| 4.54 | 0.366 | 1.662 | 2.2 |
| 9.00 | 0.366 | 3.294 | 1 |
| 8.00 | 0.397 | 2.864 | 0.5 |
| 6.50 | 0.397 | 2.327 | 0.4 |
| 7.40 | 0.360 | 2.721 | 0.3 |
| 8.30 | 0.403 | 2.958 | 0.5 |
| 9.20 | 0.409 | 3.266 | 1.1 |

Fuente: Elaboración propia

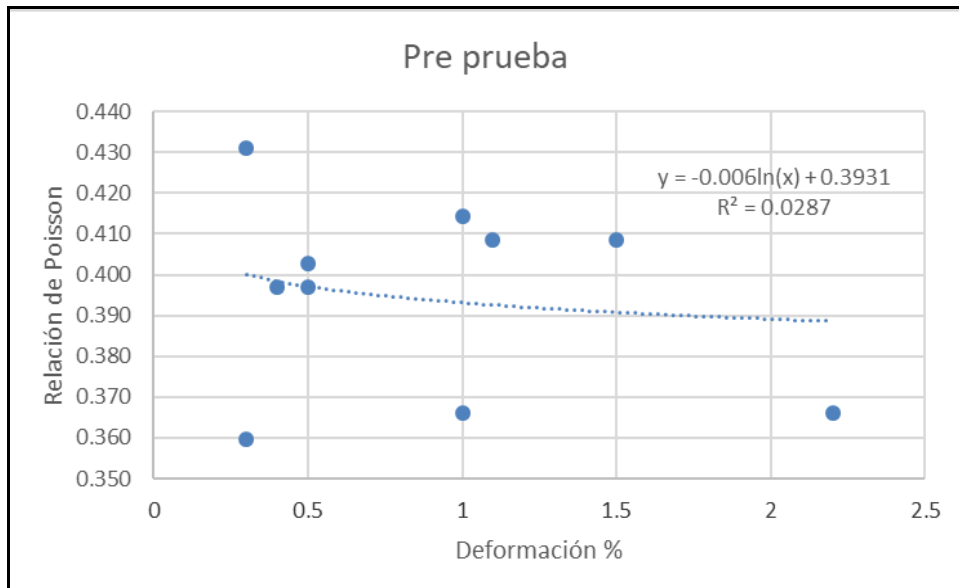


Figura 63. Grupo control, pre prueba resultados experimentales

Fuente: elaboración propia

Tabla 26. Propiedades elastoplásticas, grupo control, post prueba

| Módulo de elasticidad (E) (Mpa) | Relación de Poisson (ν) | módulo de corte (G) (Mpa) | Deformación |
|----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-------------|
| 1.67 | 0.452 | 1.136 | 1.2 |
| 0.6 | 0.442 | 1.491 | 4 |
| 1.2 | 0.463 | 1.812 | 1.5 |
| 1.41 | 0.414 | 2.227 | 1.6 |
| 1.98 | 0.420 | 2.570 | 5 |
| 1.97 | 0.431 | 2.900 | 1.3 |
| 0.9 | 0.409 | 3.301 | 6 |
| 1.4 | 0.414 | 3.641 | 1.8 |
| 1.71 | 0.426 | 3.963 | 1.3 |
| 1.89 | 0.409 | 4.366 | 6.1 |

Fuente: Elaboración propia

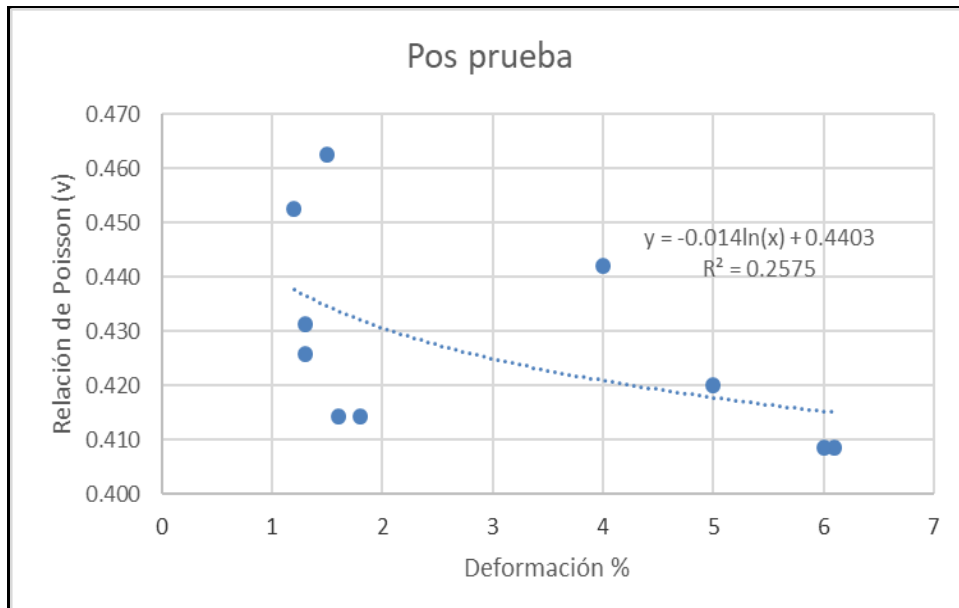


Figura 64. Deformación vs relación de Poisson, grupo control, post prueba

Fuente: elaboración propia.

Tabla 27. Propiedades elastoplásticas, grupo experimental, Pre prueba

| Módulo de elasticidad (E) (Mpa) | Relación de Poisson (ν) | módulo de corte(G) | Deformación % |
|----------------------------------|-------------------------|--------------------|---------------|
| 7.35 | 0.409 | 1.171 | 1.7 |
| 7.5 | 0.366 | 1.574 | 2 |
| 10 | 0.372 | 1.931 | 0.5 |
| 9 | 0.372 | 2.295 | 0.4 |
| 6.5 | 0.366 | 2.672 | 1 |
| 9.1 | 0.385 | 2.997 | 1.2 |
| 5.5 | 0.397 | 3.329 | 0.9 |
| 7.4 | 0.379 | 3.736 | 1.8 |
| 6.8 | 0.391 | 4.062 | 1.1 |
| 6.9 | 0.391 | 4.422 | 1.2 |

Fuente: Elaboración propia

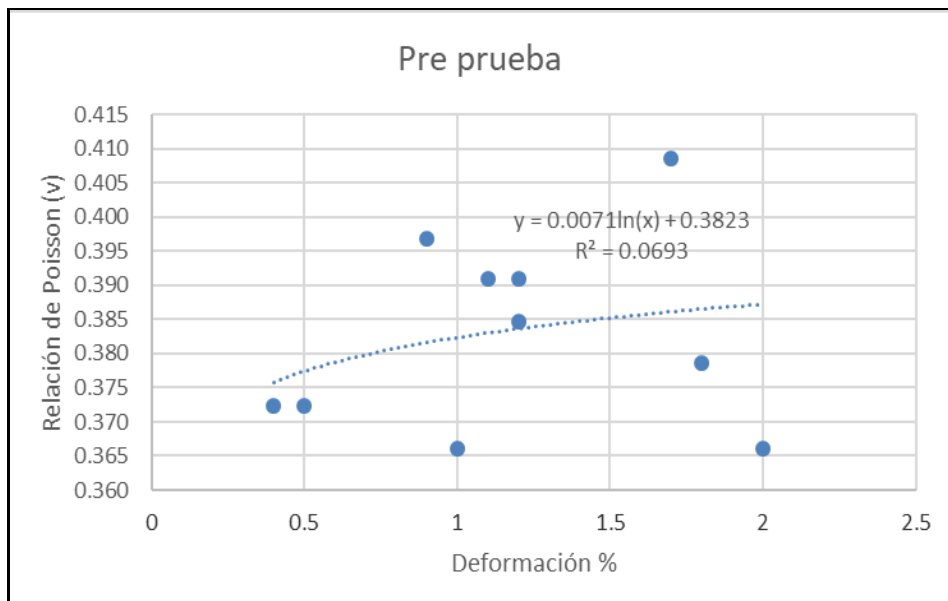


Figura 65. Grupo experimental, relación de Poisson vs deformación, pre prueba
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. *Propiedades elastoplásticas, grupo experimental, Post prueba*

| Módulo de elasticidad (E) (Mpa) | Relación de Poisson (ν) | módulo de corte (G) (Mpa) | Deformación % |
|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------|
| 6 | 0.333 | 1.237 | 1 |
| 6.6 | 0.347 | 1.597 | 1.2 |
| 2.66 | 0.397 | 1.897 | 1.5 |
| 5 | 0.452 | 2.169 | 1.4 |
| 3.6 | 0.409 | 2.591 | 1.8 |
| 4 | 0.431 | 2.900 | 2 |
| 6 | 0.397 | 3.329 | 2 |
| 6.1 | 0.409 | 3.656 | 2.1 |
| 7.5 | 0.403 | 4.028 | 0.8 |
| 6.66 | 0.397 | 4.403 | 1.2 |

Fuente: Elaboración propia

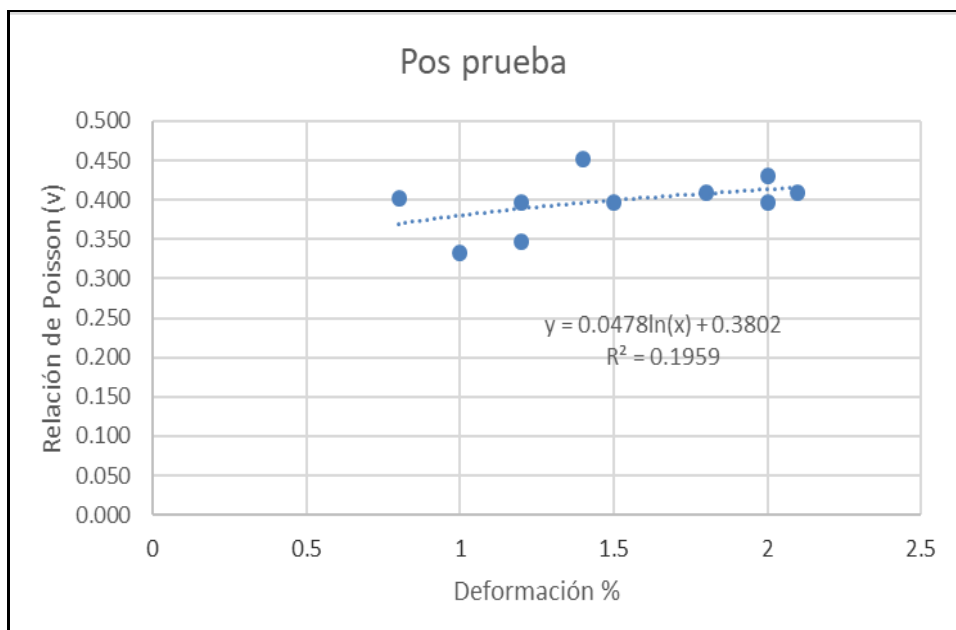


Figura 66. Grupo experimental, post prueba, deformación vs relación de Poisson

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29. Contenido de humedad vs módulo de elasticidad, grupo control

| Pre prueba | | Post prueba | |
|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------------------------|
| Contenido de humedad (%) | Módulo de elasticidad (E)(Mpa) | Contenido de humedad (%) | Módulo de elasticidad (E) (Mpa) |
| 16.96 | 3.30 | 27.18 | 1,67 |
| 17.48 | 4.00 | 26.63 | 0.6 |
| 17.49 | 1.60 | 23.25 | 1.2 |
| 17.52 | 4.54 | 24.65 | 1.41 |
| 15.5 | 9.00 | 25.69 | 1.98 |
| 15.48 | 8.00 | 26.55 | 1.97 |
| 15.15 | 6.50 | 27.25 | 0.9 |
| 15.55 | 7.40 | 25.32 | 1.4 |
| 17.2 | 8.30 | 26 | 1.71 |
| 17.4 | 9.20 | 26.4 | 1.89 |

Fuente: elaboración propia

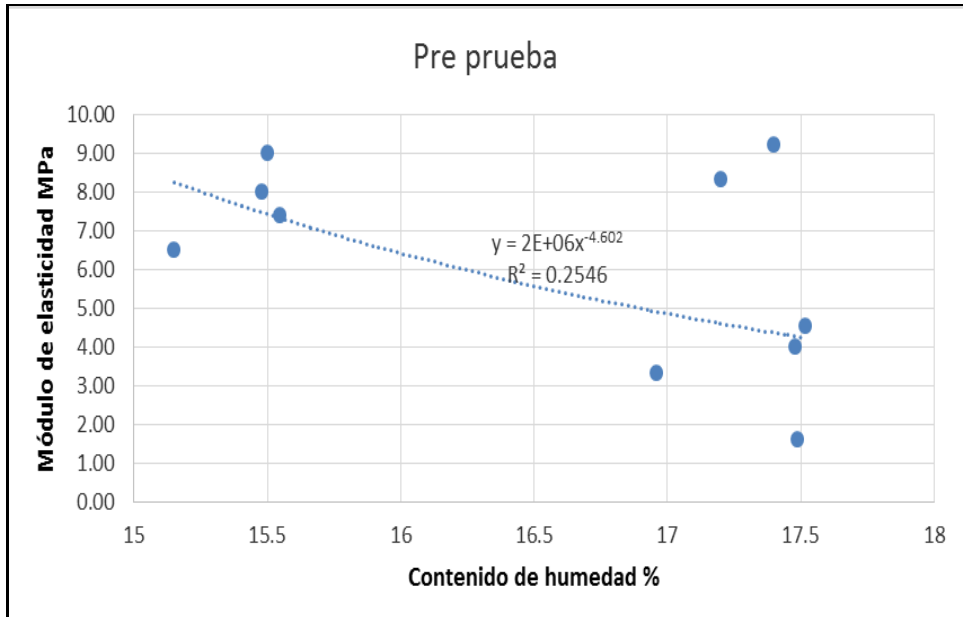


Figura 67. Desarrollo del contenido de humedad vs Módulo de elasticidad, grupo control, pre prueba.

Fuente: Elaboración propia

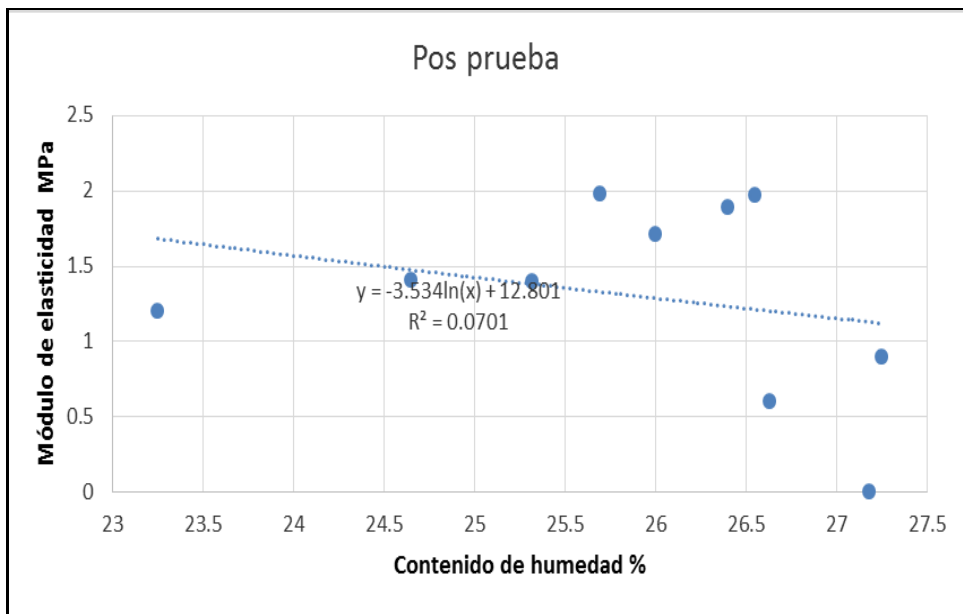


Figura 68. Grupo control, post prueba, módulo de elasticidad vs contenido de humedad

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Contenido de humedad vs módulo de elasticidad, pre prueba y post prueba, grupo experimental.

| Pre prueba | | Post prueba | |
|-------------------------|----------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|
| contenido de humedad(%) | Módulo de elasticidad (E) (Mpa) | contenido de humedad(%) | Módulo de elasticidad (E) (Mpa) |
| 15.66 | 7.35 | 22.04 | 6 |
| 15.74 | 7.5 | 24.72 | 6.6 |
| 15.56 | 10 | 27.37 | 2.66 |
| 16.11 | 7 | 24.32 | 5 |
| 15.27 | 6.5 | 23.67 | 3.6 |
| 14.98 | 9.1 | 31.43 | 4 |
| 14.42 | 5.5 | 24.13 | 6 |
| 13.97 | 8.4 | 24.02 | 6.1 |
| 14.74 | 6.8 | 23.8 | 7.5 |
| 13.89 | 9 | 24.18 | 6.66 |

Fuente: Elaboración propia

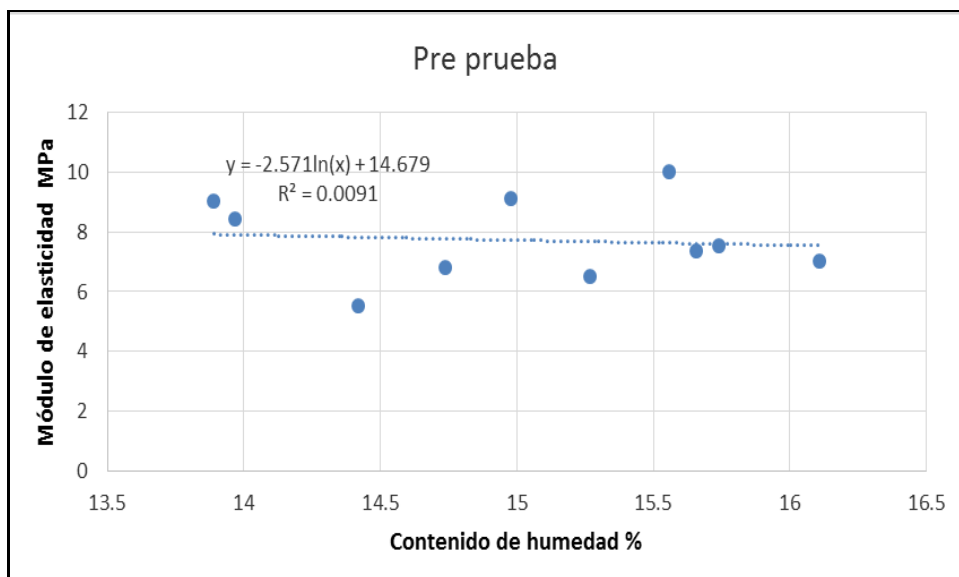


Figura 69. Contenido de humedad vs Módulo de elasticidad, grupo experimental, pre prueba.

Fuente: Elaboración propia

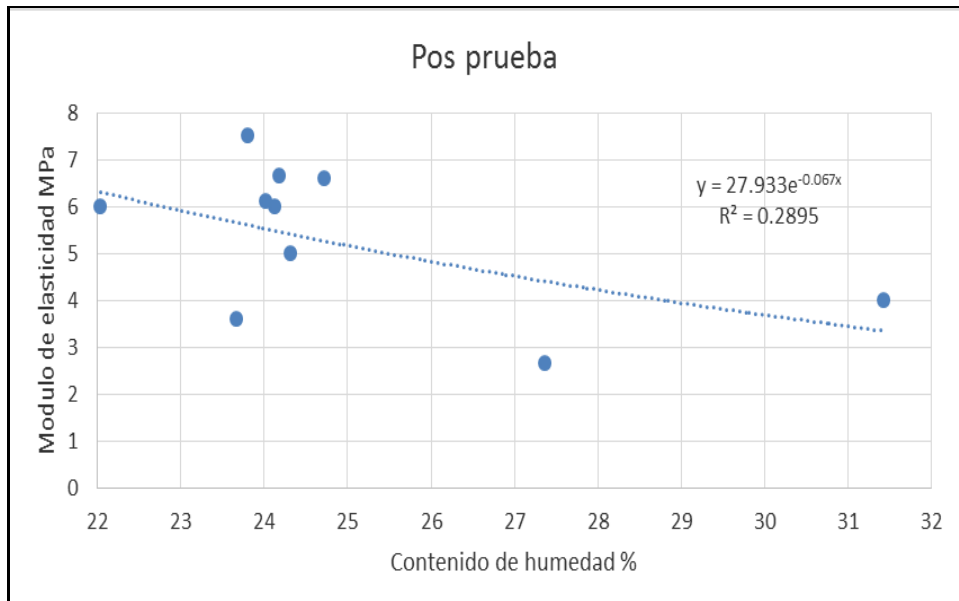


Figura 70. Relaciones de humedad y módulo de elasticidad, grupo experimental, post prueba.

Fuente: elaboración propia

4.5 Contrastación de hipótesis

4.5.1 Hipótesis específica 1

Hipótesis nula. H_0

El incremento del contenido de la humedad no genera significativamente la variación de las propiedades físicas en los suelos, Huancayo 2016.

Hipótesis alterna. H_a

El incremento del contenido de la humedad si genera significativamente la variación de las propiedades físicas en los suelos, Huancayo 2016.

a) Nivel de significación

$$\alpha = 0,05 \text{ (5\%)}$$

b) Prueba estadística

Se escoge la prueba de t de student por ser experimental y tiene el instrumento que proporciona datos cuantitativos, escala de medición Intervalar, utilizando el programa SPSS :

Tabla 31. *Prueba de muestras independientes*

| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | prueba t para la igualdad de medias | | | | | | |
|---------------------|--------------------------------|---|------|-------------------------------------|--------|------------------|----------------------|------------------------------|--|----------|
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Propiedades Físicas | Se asumen varianzas iguales | ,584 | ,455 | 4,582 | 18 | ,000 | 6,02000 | 1,31397 | 3,25944 | 8,78056 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 4,582 | 13,825 | ,000 | 6,02000 | 1,31397 | 3,19846 | 8,84154 |

Fuente: Elaboración propia

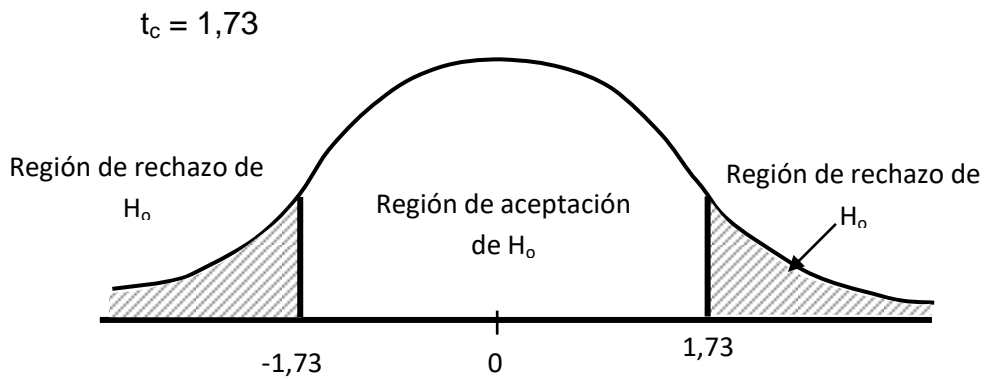


Figura 71. Región de rechazo y aceptación

Fuente: Elaboración propia.

b) Región de rechazo y aceptación

$$\alpha = 0.05$$

$$gl = 20 - 2 = 18$$

$$\text{Valor crítico} = 1,73$$

$$\text{Aceptar } H_0 \text{ si } -1,73 < t_c < 1,73$$

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } -1,73 \geq t_c \geq 1,73$$

c) Recolección de datos y cálculos

$$t = 4,58$$

d) Decisión estadística

Puesto que t calculada es mayor que t teórica ($4,58 > 1,73$), en consecuencia se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a).

e) Conclusión estadística.

Se concluye que el incremento del contenido de la humedad si genera significativamente la variación de las propiedades físicas en los suelos.

4.5.2 Hipótesis específica 2

Hipótesis nula. H_0

El incremento del contenido de la humedad no genera la variación de las propiedades mecánicas en los suelos, Huancayo 2016.

Hipótesis alterna. H_a

El incremento del contenido de la humedad si genera la variación de las propiedades mecánicas en los suelos, Huancayo 2016.

a) Nivel de significación

$$\alpha = 0,05 \text{ (5\%)}$$

b) Prueba estadística

Utilización de la prueba de t de student presenta datos cuantitativos, escala de medición Intervalar, uso del programa SPSS :

Tabla 32. Prueba de muestras independientes, propiedades mecánicas

| | | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | | prueba t para la igualdad de medias | | | | | | |
|----------|--------------------------------|---|------|-------------------------------------|-------|------------------|----------------------|------------------------------|--|------------|
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Mecánico | Se asumen varianzas iguales | 42,453 | ,000 | 5,190 | 18 | ,000 | 1194,0000 | 230,05637 | 710,66949 | 1677,33051 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 5,190 | 9,000 | ,001 | 1194,0000 | 230,05637 | 673,57999 | 1714,42001 |

Fuente: Elaboración propia

$$t_c = 1,730$$

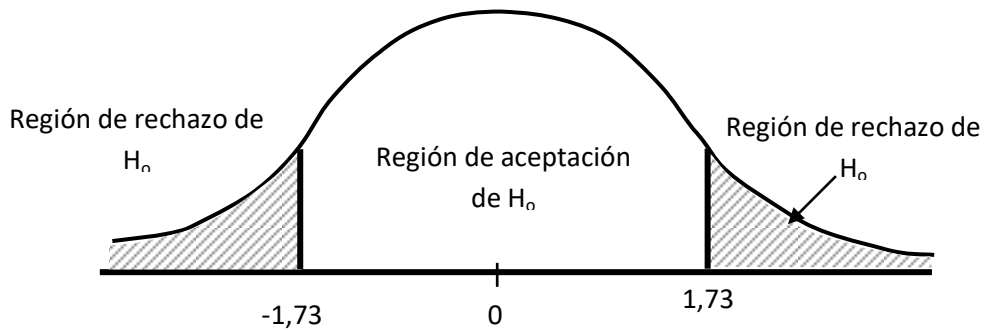


Figura 72. Región de rechazo y aceptación propiedades mecánicas

Fuente: Elaboración propia

b) Región de rechazo y aceptación

$$\alpha = 0,05$$

$$gl = 20 - 2 = 18$$

$$\text{Valor crítico} = 1,73$$

$$\text{Aceptar } H_0 \text{ si } -1,73 < t_c < 1,73$$

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } -1,73 \geq t_c \geq 1,73$$

c) Recolección de datos y cálculos

$$t = 5,19$$

d) Decisión estadística

Puesto que t calculada es mayor que t teórica ($5,19 > 1,73$), en consecuencia se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a).

e) Conclusión estadística.

El incremento del C.H. si genera la variación de las propiedades mecánicas en los suelos, Huancayo 2018

4.5.3 Hipótesis específica 3

Hipótesis nula. H_0

El incremento del contenido de la humedad no genera la variación de las propiedades elastoplásticas en los suelos, Huancayo 2016.

Hipótesis alterna. H_a

El incremento del contenido de la humedad si genera la variación de las propiedades elastoplásticas en los suelos, Huancayo 2016.

a) Nivel de significación

$$\alpha = 0,05 \text{ (5\%)}$$

b) Prueba estadística

Al igual que el caso anterior se escoge la prueba de t de student y se usa el programa SPSS, luego del análisis se tiene:

Se el punto critico

$$t_c = 1,33$$

Tabla 33. Prueba de muestras independiente, propiedades elastoplásticas

| | Prueba de Levene de igualdad de varianzas | prueba t para la igualdad de medias | | | | | | | | |
|----------------|---|-------------------------------------|------|-------|-------|------------------|----------------------|------------------------------|--|------------|
| | | F | Sig. | t | gl | Sig. (bilateral) | Diferencia de medias | Diferencia de error estándar | 95% de intervalo de confianza de la diferencia | |
| | | | | | | | | | Inferior | Superior |
| Elastoplástico | Se asumen varianzas iguales | 131,866 | ,000 | 3,826 | 18 | ,001 | 930,300 | 243,14189 | 419,47784 | 1441,12216 |
| | No se asumen varianzas iguales | | | 3,826 | 9,227 | ,004 | 930,300 | 243,14189 | 382,33266 | 1478,26734 |

Fuente: Elaboración propia

El punto crítico

$$t_c = 1,73$$

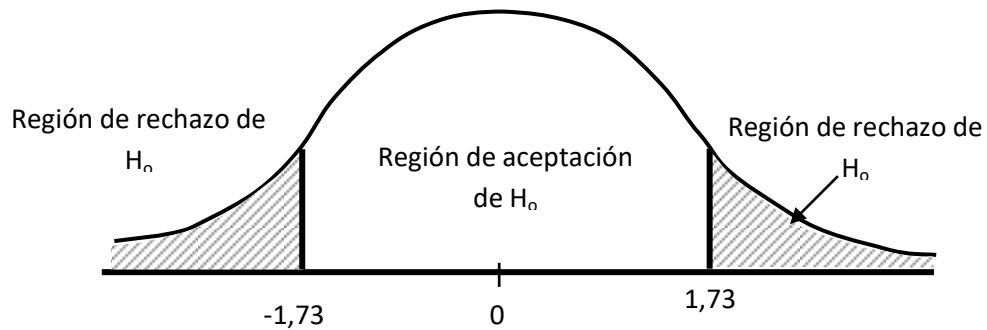


Figura 73. Región de aceptación y rechazo, propiedades elasticidad y plasticidad

Fuente: Elaboración propia

b) Región de rechazo y aceptación

$$\alpha = 0,05$$

$$gl = 20 - 2 = 18$$

$$\text{Valor crítico} = 1,73$$

$$\text{Aceptar } H_0 \text{ si } -1,73 < t_c < 1,73$$

$$\text{Rechazar } H_0 \text{ si } -1,73 \geq t_c \geq 1,73$$

c) Recolección de datos y cálculos

$$t = 3,82$$

d) Decisión estadística

Puesto que t calculada es mayor que t teórica ($3,82 > 1,73$), en consecuencia se rechaza la hipótesis nula (H_0) y se acepta la hipótesis alterna (H_a).

e) Conclusión estadística.

El incremento del contenido de la humedad si genera la variación de las propiedades elastoplásticas en los suelos.

V. Discusión de resultados

De acuerdo al objetivo general aprecio que el contenido de humedad genera variación en la simulación del comportamiento elastoplásticos de los suelos del paraje Chicche, dicho comportamiento se expresa a través de la curva esfuerzo-deformación, existe correspondencia entre los resultados obtenidos de manera experimental y la simulación.

Nieto Leal, Camacho, & Edwin (2009), obtiene parámetros para la simulación esfuerzo- deformación en el FEM, presento el desempeño de los modelos en concordancia con el trabajo experimental es satisfactorio, existe correspondencia razonable.

Respecto al objetivo específico N°01 encuentro que el comportamiento elastoplástico del suelo está en función de las propiedades físicas como son el contenido de humedad, densidades, límites de consistencia el primero genera significativamente variación, las partículas finas con mediana y alta plasticidad son las predominantes.

Vintimilla & Avila (2016), realiza análisis con los modelos constitutivos para presentar el comportamiento de los suelos. En los trabajos realizados en el campo y laboratorio se observa material limoso, arena y arcilla, se realizó el análisis granulométrico se obtuvo un 52% de arenas, 48% de filer, contenido de humedad de 22.07%, limite liquido 44.27% y un índice plástico de 22.02%, finalmente SC como clasificación SUCS (SC).

Hossne (2014), elastoplasticidad de un suelo franco arenoso de Sabana.

En los resultados se observa que predomina arcillas fina del tipo caolinitico y arena, no expansivo, Ydrogo (2006), indica que la plasticidad es propia de la arcilla asimismo manifiesta que el suelo se contrae.

Respecto al objetivo específico N°02 manifiesto que las propiedades mecánicas depende de la trayectoria esfuerzo-deformación, el incremento del contenido de la humedad no genera significativamente variación de las propiedades mecánicas en los suelos.

Vintimilla & Avila (2016), se realizó un análisis utilizando modelos constitutivos para reproducir el comportamiento de los suelos del sector las orquídeas de la ciudad de Cuenca, Ecuador. Los valores de Angulo de fricción y cohesión obtenidos por compresión triaxial fueron de 40° y 58.8°.

Respecto al último objetivo (N°03) encuentro que el comportamiento está en función de sus propiedades ambas dependen una de otra, el módulo de elasticidad es menor, el contenido de humedad es variable si genera variación de las propiedades elastoplásticas en los suelos.

Vintimilla & Avila (2016). En Las mediciones realizadas experimentalmente, se muestra una transición gradual de la curva experimental entre el sector elástico y plástico aclarando un tendencia lineal en la 1ra etapa el cual presenta hasta el 2% de deformación con 5.72% de esfuerzo desviador, un E inicial de 47690KPa y un módulo elástico tangencial de la zona elástica igual a 18846KPa, hasta la deformación axial de 3%.

En la zona plástica, el modelo Mohr Coulomb se aproxima a la forma de la curva experimental, hay semejanza del ciclo de carga y descarga.

Hossne (2014), elastoplasticidad de un suelo franco arenoso de Sabana, los mayores valores de E se obtuvieron a bajas humedades entre 6% y 8%, Raper y Erbach y Gonzales (2009) expresan que a mayor módulo de elasticidad, la resistencia del suelo a la deformación es superior de la misma forma la influencia

de la humedad (5,42%, $E=28774.90 \text{ KN/m}^2$), (16.87%, $E=36.45 \text{ KN/m}^2$), para un incremento de presión de cámara se observa aumento de la densidad aparente. Mouazen et al (2002) reporta que el módulo de Young y la relación de Poisson se reduce respecto al contenido de humedad.

Mayores valores de relación de Poisson (0.5) en la etapa plástica, es un indicativo que el suelo es son incompresibles bajo condiciones plásticas. El módulo de corte es aproximadamente 3 veces menor que el módulo de Young.

VI. Conclusiones

El contenido de humedad produce efectos significativos en la simulación del comportamiento elastoplástico y mediante su trayectoria se determinó estas propiedades, es el módulo de elasticidad uno de los valores más influyentes en los desplazamientos del suelo. Mediante la simulación que se puede predecir diferentes comportamientos de los suelos bajo diversas condiciones como fueron la carga horizontal y vertical, forma de cimentación, la simulación determino los desplazamientos del suelo siendo sus resultados superiores al mínimo permisible frente a este problema se ha planteado el uso de columnas de gravas con arena gruesa de esta manera disminuye los desplazamientos del suelo.

También en esta investigación se determinó que el contenido de humedad produce efectos en las propiedades físicas como las densidades y límites de consistencia, alcanzo valores hasta 31.43% (w), el cual produjo cambios en el comportamiento del suelo reduciendo el tramo elástico próximo al tramo plástico en este último se tiene suelos con plasticidad, los suelos de mayor deformación son aquellos de mayor contenido de humedad y menor densidad. De lo anterior se acepta la hipótesis que indica que el contenido de humedad produce efectos significativos.

Con respecto a las propiedades mecánicas, se observa que las fuerzas de cohesión son grandes y esto se debe al tamaño, forma de las partículas de suelo que en su mayoría está conformada por partículas de limo, arcilla y arena fina, el número de puntos de contacto es mayor y diferente a las partículas gruesas como las gravas.

Finalmente se tiene los parámetros elastoplásticos, los módulos pequeños refieren partículas pequeñas y son las que conducen a mayores desplazamientos. De lo anterior se concluye que el contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades.

Las tres propiedades son necesarias para determinar el comportamiento de los suelos mediante la simulación usando el MEF.

VII. Recomendaciones

Usar el método de elementos finitos mediante un programa computacional para la simulación de los comportamientos elastoplástico del suelo y predicción de desplazamientos. Diseñar columnas de gravas con arena gruesa para suelos blandos con y sin presencia de agua para la disminución de los desplazamientos del suelo.

Aplicar la metodología estudiada para todo el distrito Tres de diciembre, caracterizando sus propiedades principales.

Aplicar los parámetros mecánicos para obtener la carga de falla en condiciones drenadas y no drenadas asimismo mediante la simulación de la curva carga –desplazamiento.

Establecer parámetros elastoplásticos de los suelos mediante ensayos con el equipo triaxial para determinar los desplazamientos o asentamientos.

VIII. Referencias

- Berghuber, K., & Vogl, C. (2005). Descripción y análisis de los puquios como tecnología adaptada para la irrigación en Nasca, Perú. *Zonas Áridas*, 35-49.
- Blasco, M. (2018). *Investigación experimental del juego de simulación como método de aprendizaje*. España: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de ciencias de la información departamento de comercialización e investigación de mercados.
- Blasco, M. (s.f.). *Investigación experimental del juego de simulación como método de aprendizaje*. España: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de ciencias de la información departamento de comercialización e investigación de mercados.
- Brinkgreve, R. (2005). Selection of soils models and parameters for geotechnical engineering application. *ASCE*, 70-91.
- Camacho J. Reyes O, B. P. (2004). Utilización del modelo Cam Clay modificado en suelos cohesivos de la sabana de Bogotá. *Ciencia e ingeniería Neogranadina*, 1-13.
- Campbell, N., & Reece, J. (2007). *Biología*. Madrid, España: Editorial Médica Panamericana.
- Carrillo, A. (2009). *Algunas propiedades elásticas de los suelos de Lima y alrededores*. Lima.

- Cimentada, A. I. (2009). *Análisis experimental en modelo reducido de la consolidación radial y deformación de un suelo blando mejorado con columnas de grava*. Santander: Universidad de Cantabria.
- Comunicaciones, M. d. (2014). *Manual de carreteras, Suelos y pavimentos*. Lima: Macro EIRL.
- comunicaciones, M. d. (2016). *Manual de ensayo de materiales para carreteras*. Lima: MTC.
- Cook, R. (1995). *Finite element modeling for stress analysis*, New York.
- Díaz, Y., & López, E. (2008). *Plaxis como herramienta de modelación para la solución de algunos problemas geotécnicos reales en la ciudad de Punta Arenas*. Chile: Universidad de Magallanes.
- Duncan, J., & Wright, S. (2005). *Soil strength and slope stability*. New Jersey.
- Frías, E. (2004). *Aportaciones al estudio de las máquinas eléctricas de flujo axial mediante la aplicación del método de los elementos finitos*. España: Departamento de ingeniería eléctrica UPC.
- Fuenzalida, M. (2012). *Estudio del flujo gravitacional confinado y su aplicación a minería de caving*. Chile: Universidad de Chile, Departamento de ingeniería de minas.
- Gonzales de Vallejo, L. (2010). *Ingeniería Geológica*. Madrid: Pearson.
- Herrera, M., Iglesias, C., Gonzales, O., Lopez, E., & Sánchez, A. (2008). *Simulación mediante el Método de elementos finitos de la respuesta*

mecánica de un Oxisol. *Revista Ciencias Tecnicas Agropecuarias*, 55-60.

Herrera, M., Iglesias, C., Gonzalez, O., Lopez, E., & Sanchez, A. (2015). Propiedades mecánicas de un Rhodic Ferralsol requeridas para la simulación de la interacción suelo implemento de labranza mediante el método de elementos finitos: parte I. *Redalcy. Universidad autonoma del estado de México*, 31-38.

Hossne, A. (2014). Elastoplasticidad de un suelo franco arenoso de Sabana. *Saber, Revista multidisciplinaria del consejo de investigacion de la Universidad de Oriente*, 153-167.

Kerlinger, F. (1988). *Investigación del comportamiento*. México: McGraw Hill.

L.Kaseng, F. (2017). *Guía práctica para elaborar plan de tesis y tesis de post grado*. Lima: UNFV.

La Rosa, J., Ángeles, A., Isaac, Ä., Navarro, J., & Castro, S. (2014). *Guía Metodológica*. Lima: UNFV.

Marroquín, R. (2012). *Metodología de la Investigación*. Lima: Programa de titulaci3n sesi3n N°4, U.N.E.G y V.

Mégard, F. (1968). *Boletin No18. El cuadrángulo de Huancayo*. Lima: INGEMET.

Mendoza C., F. M. (2014). Validación de modelo constitutivo avanzado de comportamiento mecánico para arcillas estructurada de Brasilia. *Scielo N°15*.

MTC. (2010). *Manual de ensayos demateriales*. Lima: MTC.

- Ñaupas, H. (2014). *Metodología de la investigación*. Colombia: Ediciones de la U.
- Nava, H., & Maria, L. (2008). *Guía para la validación y la verificación de los procedimientos de examen cuantitativo empleados por el laboratorio clínico*. México: Centro Nacional de metrología.
- Nieto Leal, A., Camacho, J., & Edwin, R. (2009). Determinacion de parametros para modelos elastoplasticos Mohr-Coulomb y Handening soil en suelos arcillosos. *Revista Ingenierias Universidad de Medellin*, 75-91.
- Peñuelas, M. A. (2010). *Métodos de investigación*. Mexico: Culiacán, Sinaloa, Universidad autonoma de Sinaloa.
- Poves, J. (2017). *Influencia de las columnas de grava compactada en el asentamiento de suelos blandos, sector Palian*. Huancayo.
- R.Cook. (1995). *Finite element modeling for stress analysis*, New York.
- R.L.Kondner. (1963). Hyperbolic Stress-Strain response:Cohesive soils. *Journal of soil mechanics and Foundation Engineering Division*, Vol 89.
- Ramirez, V. (2013). *Validación y verificacion de métodos en el laboratorio clínico*. Chile: Instituto de salud pública Ministerio de salud.
- Rodriguez, R. (2001). *Metodología de estimación automática de parámetros de suelos arenosos en ensayos presiométricos*. Madrid: Memorias-105.
- Salguero, F. (2009). *Análisis comparativo de algunos métodos usuales de cálculo de asentamientos en suelos blandos con inclusión de grava*. México: Universidad Nacional autónoma de México.

- Sampieri, R. H. (2010). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill.
- Schiava, R., & Guillermo, E. (2008). Formulacion constitutiva y validacion numerica del comportamiento de suelos parcialmente saturados. *Researchgate*, 49-65.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamiento y estabilidad de taludes en zonas tropicales*. Colombia: Ingeniería de suelos Ltda.
- Tamayo y Tamayo, M. (1994). *El proceso de la investigación científica*. Bogotá, Colombia: Limusa Noriega editores.
- Villanueva, M. (2015). Simulación de la construcción de un depósito de relaves filtrado y validación de los parámetros de modelo constitutivo.
- Vintimilla, C., & Avila, E. (2016). Análisis de modelos constitutivos para representar el comportamiento de los suelos del sector las orquídeas de la ciudad de Cuenca, Ecuador. *Anuario 2016. Departamento de procesos y técnicas de realización, área de investigación administración y tecnología para el diseño*, 71-83.

IX. Anexos



Resolución Directoral

N° 18-2016-MTC/14

Lima, 03 de junio del 2016.

CONSIDERANDO:

Que, el artículo 16° de la Ley N° 27181-Ley General del Transporte y Tránsito Terrestre establece que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, es el órgano rector a nivel nacional en materia de transporte y tránsito terrestre, teniendo, entre otras, competencias normativas;

Que, en ese marco, el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado por Decreto Supremo N° 034-2008-MTC, ha señalado en el Numeral 4.1 de su artículo 4°, que el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, es la autoridad competente para dictar las normas correspondientes a la gestión de la infraestructura vial, fiscalizar su cumplimiento e interpretar las normas técnicas contenidas en dicho reglamento. Asimismo; el artículo 19, en concordancia con la Primera Disposición Complementaria Final de la misma norma, señala que este Ministerio, a través de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, elabora, actualiza y aprueba los manuales para la gestión de la infraestructura vial;

Que, el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, ha previsto en su artículo 18°, que los manuales son documentos de carácter normativo y de cumplimiento obligatorio, que sirven como instrumentos técnicos a las diferentes fases de gestión de la infraestructura vial;

Que, en la relación de manuales previstos en el artículo 20° del mencionado reglamento, se encuentra el Manual de Ensayo de Materiales, el cual, según el artículo 27° de la misma norma, contiene los métodos y procedimientos que deben desarrollarse para ensayar los diferentes materiales a emplear o incorporar en las diferentes fases de la gestión de la infraestructura vial, e incluye los equipos y/o aparatos a utilizarse, el tipo de ensayo, cálculos e informes a reportar;

Que, el vigente Manual de Ensayo de Materiales para Carreteras se encuentra aprobado por Resolución Directoral N° 028-2001-MTC/15.17. Asimismo, por Resolución Directoral N° 007-2004-MTC/14 se incorporó en dicho manual, la "Norma de Ensayo sobre Estabilización Química de Suelos-Characterización del Estabilizador y Evaluación de Propiedades de Comportamiento del Suelo";

Que, de otro lado, de acuerdo con el artículo 60° del Reglamento de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la Dirección de Normatividad Vial de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, tiene, entre sus funciones, la de formular y actualizar normas de carácter técnico y/o administrativas relacionadas con la gestión de infraestructura vial (estudios, construcción, rehabilitación, mejoramiento, mantenimiento y uso de caminos).



Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org

Síguenos:



N° 18-2016-MTC/14
Lima, 03 de junio del 2016.

Asimismo, según el artículo 64° del mismo reglamento, la Dirección de Estudios Especiales de la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles tiene, entre otras funciones específicas, la de participar en la formulación de normas y especificaciones técnicas relacionadas con estudios y obras en infraestructura vial;

Que, en ejercicio de tales funciones, y en atención a lo previsto en el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial; las Direcciones de Normatividad Vial y de Estudios Especiales realizaron la actualización del Manual de Ensayo de Materiales;

Que, luego de ello, la Dirección de Normatividad Vial presentó a la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, el proyecto de actualización del Manual de Ensayo de Materiales, para su prepublicación correspondiente, de acuerdo a lo previsto en el artículo 14° del Decreto Supremo N° 001-2009-JUS-"Reglamento que establece disposiciones relativas a la publicidad, publicación de proyectos normativos y difusión de normas legales de carácter general", y en la Directiva N° 001-2011-MTC/01-Directiva que establece el procedimiento para realizar la publicación de proyectos de normas legales, aprobada por Resolución Ministerial N° 543-2011-MTC/01;

Que, de acuerdo a dicha normativa, la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles dispuso, a través de la Resolución Directoral N° 01-2013-MTC/14 de fecha 09 de enero del 2013, la publicación del proyecto de manual en la página web del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, con el objeto de recibir las sugerencias y comentarios de la ciudadanía en general, por un plazo de cuarenta y cinco (45) días hábiles;

Que, concluida tal etapa, las Direcciones de Estudios Especiales y de Normatividad Vial han formulado la versión definitiva de la actualización del Manual de Ensayo de Materiales. Dicho documento ha sido presentado, para su trámite de aprobación correspondiente, por la Dirección de Normatividad Vial a la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, mediante Informe N° 039-2016-MTC/14.04 de fecha 24 de mayo del 2016 e Informe Técnico N° 004-2016-MTC/14.04;

Que, estando a lo señalado, resulta pertinente dictar el acto administrativo de aprobación correspondiente;

De conformidad con la Ley N° 29370-Ley de Organización y Funciones del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, Decreto Supremo N° 021-2007-MTC, y en uso de las facultades conferidas por Resolución Ministerial N° 006-2016-MTC/01;

SE RESUELVE:

ARTÍCULO PRIMERO.- Aprobar la actualización del Manual de Ensayo de Materiales, la cual obra en Anexo que consta de mil doscientos sesenta y ocho



ICG

Difundido por:
ICG - Instituto de la Construcción y Gerencia
www.construccion.org / icg@icgmail.org

Síguenos:



/ConstruccionICG

LABORATORIO DE MEC. DE SUELOS Y MATERIALES

Solicita : _____ Operador : _____ **N°01-2018**

Tesis : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016

Lugar : Anexo de Talquío, Paraje Chicche (GRUPO EXPERIMENTAL)

Profundidad : 3M Calicata : C-1 Muestra : M-1 fecha : 2/04/2018

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

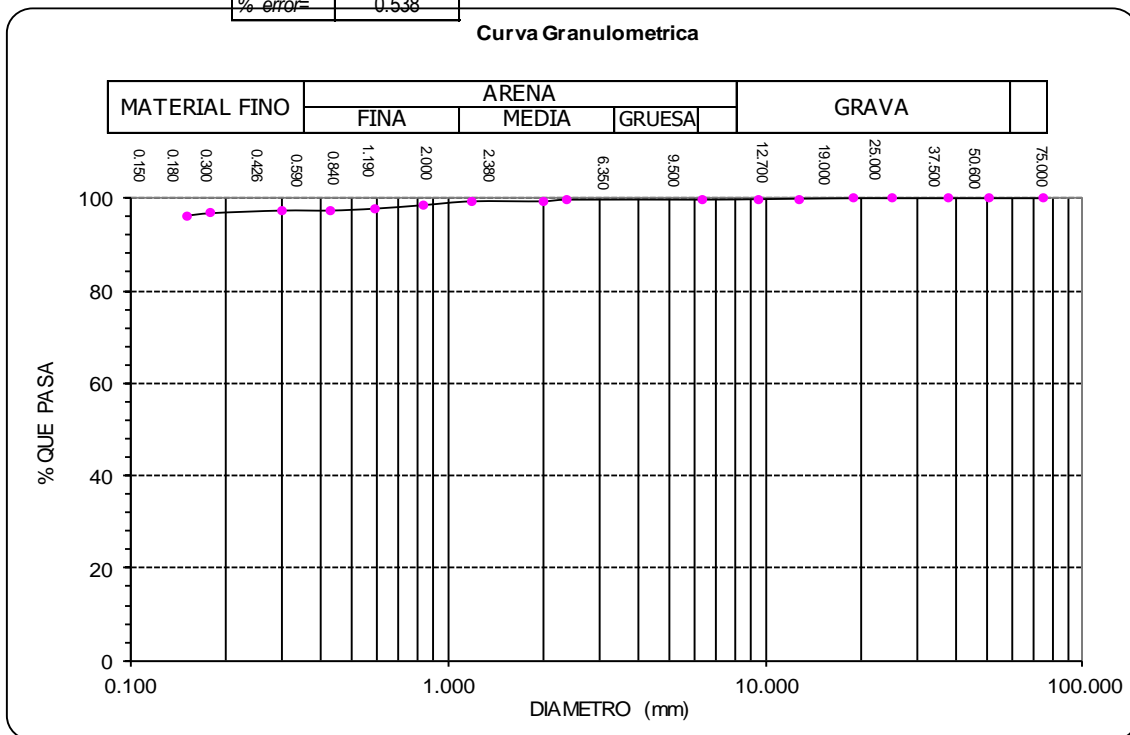
Peso Muestra Seca (gr.) = 2057.00 g

Peso de la Muestra Seca Lavada (gr.) =

93.00 g

| Tamiz ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido | Acumulado que pasa | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|--|
| 3" | 75.00 | 0.00 g | 100.00 % | D60 = 0.05 CC = 1.50 D30 = 0.02 CU = 6.00 D10 = 0.01 Límites de Consistencia LL. = 20.50 LP. = 16.73 IP. = 3.77 Clasificación S.U.C.S. ML _____ Limo inorgánicos ## GRAVA 0.31 % ARENA 4.20 % FINOS 95.49 % 100.00 % |
| 2" | 50.80 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1" | 25.40 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1/2" | 12.70 | 2.00 g | 99.90 % | |
| 3/8" | 9.53 | 2.00 g | 99.80 % | |
| 1/4" | 6.35 | 1.00 g | 99.74 % | |
| No. 4 | 4.76 | 1.00 g | 99.69 % | |
| No. 8 | 2.38 | 0.00 g | 99.69 % | |
| No. 10 | 2.00 | 7.00 g | 99.33 % | |
| No. 16 | 1.19 | 0.00 g | 99.33 % | |
| No. 20 | 0.84 | 16.00 g | 98.51 % | |
| No. 30 | 0.59 | 15.00 g | 97.75 % | |
| No. 40 | 0.42 | 8.00 g | 97.34 % | |
| No. 50 | 0.30 | 0.00 g | 97.34 % | |
| No. 60 | 0.25 | 11.00 g | 96.77 % | |
| No. 80 | 0.18 | 0.00 g | 96.77 % | |
| No. 100 | 0.150 | 11.00 g | 96.21 % | |
| No. 200 | 0.074 | 14.00 g | 95.49 % | |
| Fondo | | 4.50 g | | |
| Total | | 92.50 g | | |
| % error | | 0.538 | | |

Curva Granulométrica



LABORATORIO DE MEC. DE SUELOS Y MATERIALES

Solicita : _____ Operador : _____ **N°02-2018**

Tesis : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016

Lugar : Anexo de Talquío, Paraje Chicche (GRUPO EXPERIMENTAL)

Profundidad : 3M Calicata : C-1 Muestra : M-1 fecha : 2/04/2018

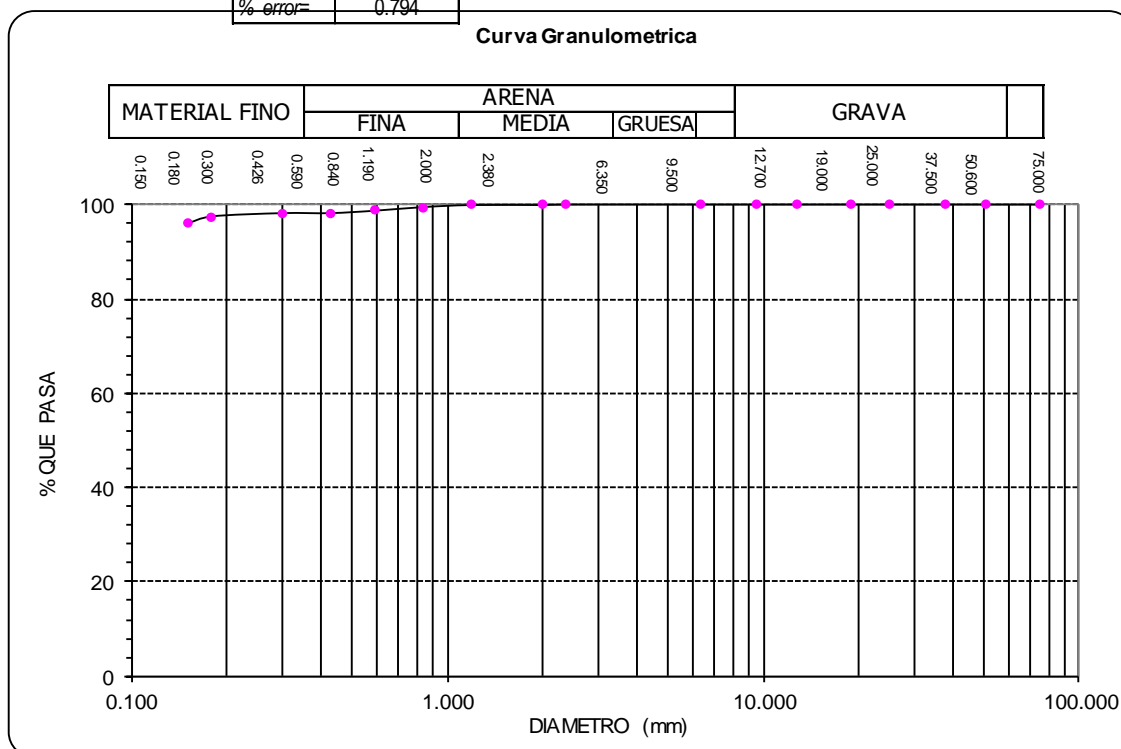
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

Peso Muestra Seca (gr.) = 1296.00 g

Peso de la Muestra Seca Lavada (gr.) =

126.00 g

| Tamiz ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido | Acumulado que pasa | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|----------------|---------------|---------------|--------------------|--|
| 3" | 75.00 | 0.00 g | 100.00 % | D60 = 0.05 CC = 1.50 D30 = 0.02 CU = 6.00 D10 = 0.01 Límites de Consistencia LL. = 31.10 LP. = 21.19 IP. = 9.91 Clasificación S.U.C.S. CL arcilla inorgánica ## GRAVA 0.00 % ARENA 9.60 % FINOS 90.40 % 100.00 % |
| 2" | 50.80 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1" | 25.40 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1/2" | 12.70 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 3/8" | 9.53 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1/4" | 6.35 | 0.00 g | 100.00 % | |
| No. 4 | 4.76 | 0.00 g | 100.00 % | |
| No. 8 | 2.38 | 0.00 g | 100.00 % | |
| No. 10 | 2.00 | 1.00 g | 99.91 % | |
| No. 16 | 1.19 | 0.00 g | 99.91 % | |
| No. 20 | 0.84 | 5.00 g | 99.49 % | |
| No. 30 | 0.59 | 9.00 g | 98.71 % | |
| No. 40 | 0.42 | 6.00 g | 98.20 % | |
| No. 50 | 0.30 | 0.00 g | 98.20 % | |
| No. 60 | 0.25 | 8.00 g | 97.51 % | |
| No. 80 | 0.18 | 0.00 g | 97.51 % | |
| No. 100 | 0.150 | 18.00 g | 95.97 % | |
| No. 200 | 0.074 | 65.00 g | 90.40 % | |
| Fondo | | 13.00 g | | |
| Total | | 125.00 g | | |
| % error | | 0.794 | | |



LABORATORIO DE MEC. DE SUELOS Y MATERIALES

Solicita : _____ Operador : _____ **N°03-2018**

Tesis : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016

Lugar : Anexo de Talquío, Paraje Chicche (GRUPO CONTROL)

Profundidad : 3M Calicata : C-1 Muestra : M-1 fecha : 2/04/2018

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

Peso Muestra Seca (gr.) = 1446.00 g

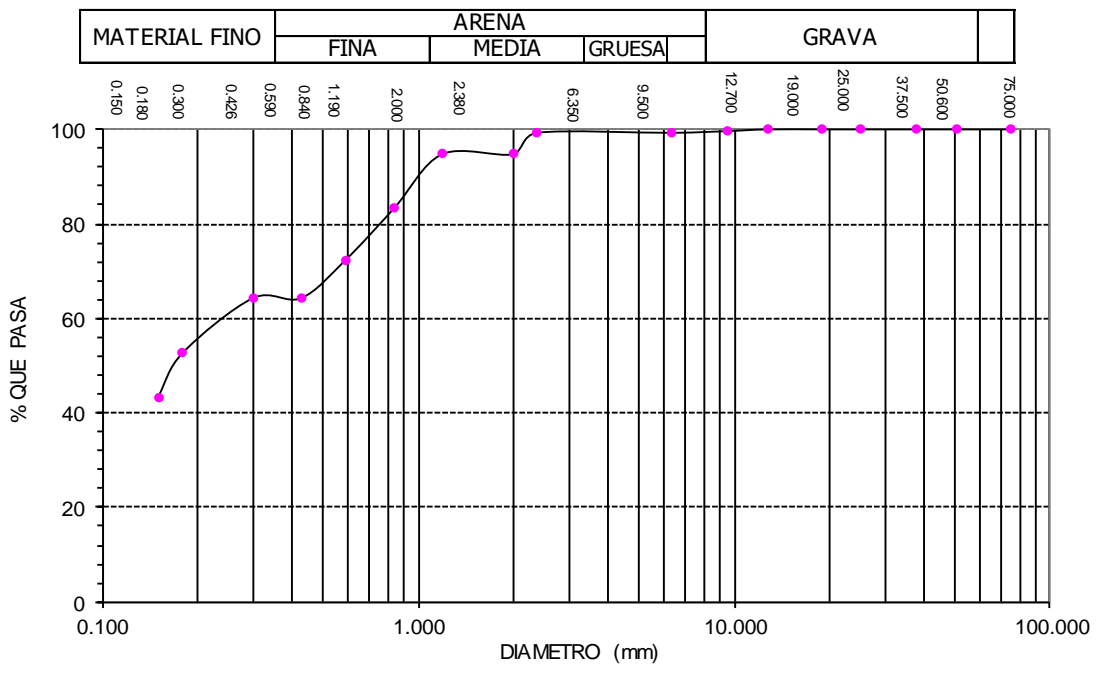
Peso de la Muestra Seca Lavada (gr.) = _____

901.00 g

| Tamiz ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido | Acumulado que pasa | DESCRIPCION DE LA MUESTRA |
|------------|---------------|---------------|--------------------|---|
| 3" | 75.00 | 0.00 g | 100.00 % | D60 = 0.28 CC = 0.63 D30 = 0.06 CU = 14.18 D10 = 0.02 Límites de Consistencia LL. = 39.50 LP. = 14.57 IP. = 24.93 Clasificación S.U.C.S. SC _____ arena arcillosa ## _____ GRAVA 0.72 % ARENA 61.48 % FINOS 37.80 % 100.00 % |
| 2" | 50.80 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1" | 25.40 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 3/4" | 19.05 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1/2" | 12.70 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 3/8" | 9.53 | 5.00 g | 99.64 % | |
| 1/4" | 6.35 | 0.00 g | 99.64 % | |
| No. 4 | 4.76 | 5.00 g | 99.28 % | |
| No. 8 | 2.38 | 0.00 g | 99.28 % | |
| No. 10 | 2.00 | 63.00 g | 94.74 % | |
| No. 16 | 1.19 | 0.00 g | 94.74 % | |
| No. 20 | 0.84 | 158.00 g | 83.37 % | |
| No. 30 | 0.59 | 152.00 g | 72.43 % | |
| No. 40 | 0.42 | 113.00 g | 64.29 % | |
| No. 50 | 0.30 | 0.00 g | 64.29 % | |
| No. 60 | 0.25 | 160.00 g | 52.77 % | |
| No. 80 | 0.18 | 0.00 g | 52.77 % | |
| No. 100 | 0.150 | 131.00 g | 43.34 % | |
| No. 200 | 0.074 | 77.00 g | 37.80 % | |
| Fondo | | 34.00 g | | |

| | |
|-----------|----------|
| Total | 898.00 g |
| % error = | 0.333 |

Curva Granulométrica



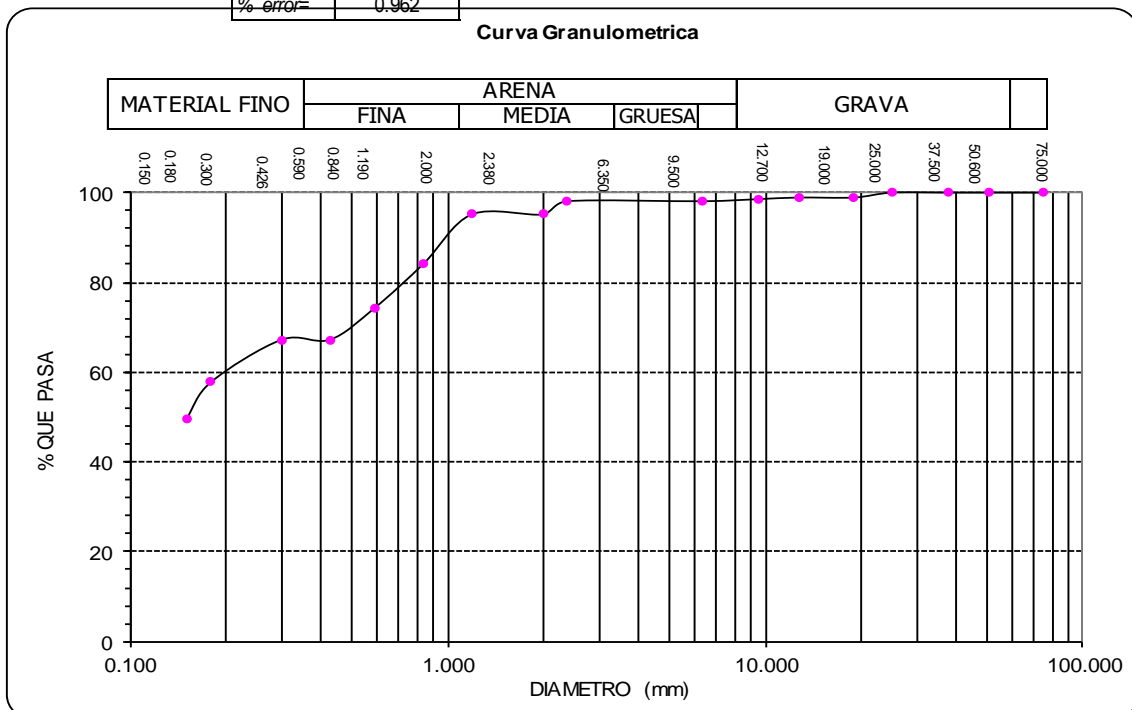
LABORATORIO DE MEC. DE SUELOS Y MATERIALES

Solicita : Operador : **N°04-2018**
 Tesis : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE LOS
 SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016
 Lugar : Anexo de Talquío, Paraje Chicche (GRUPO CONTROL)
 Profundidad : 3M Calicata : C-1 Muestra : M-1 fecha : 2/04/2018

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422

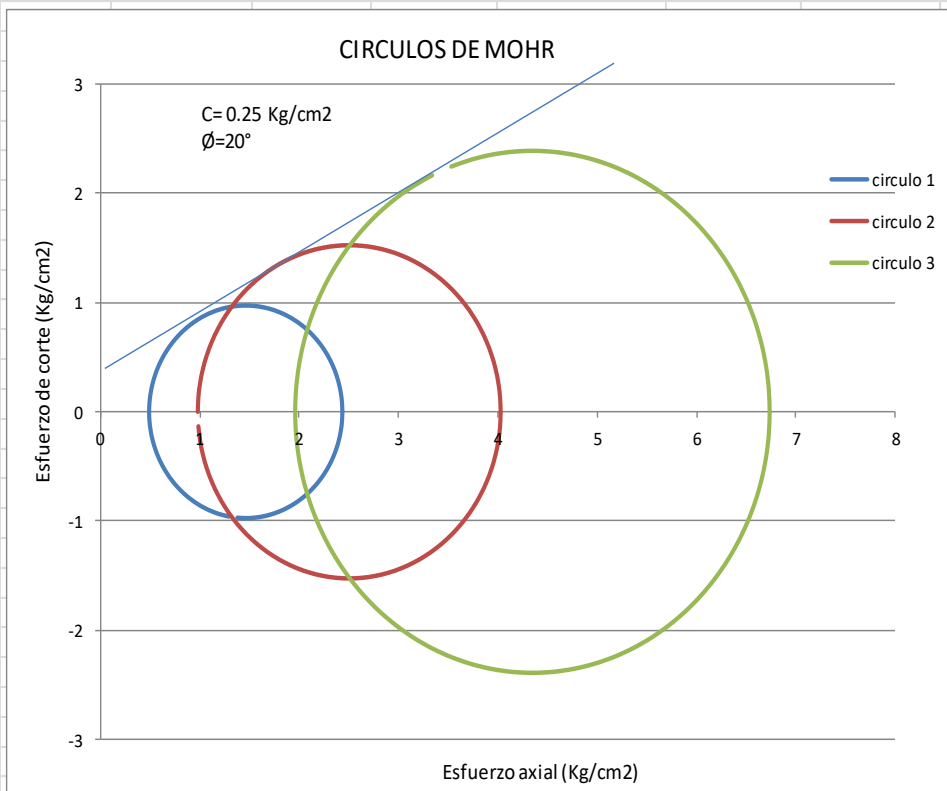
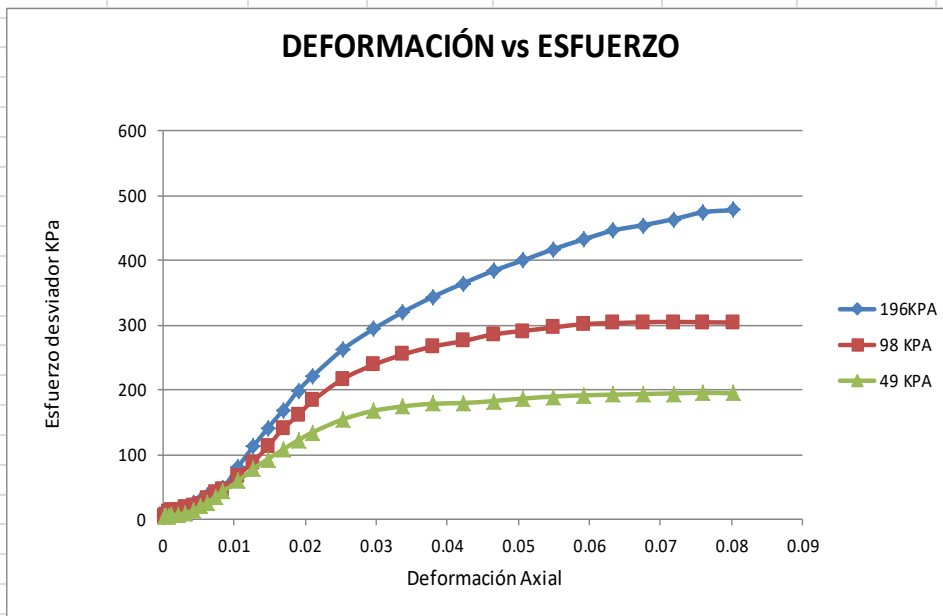
Peso Muestra Seca (gr.) = 2018.00 g Peso de la Muestra Seca Lavada (gr.) = 1143.00 g

| Tamiz ASTM | Abertura (mm) | Peso Retenido | Acumulado que pasa | DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA |
|------------------|---------------|---------------|--------------------|--|
| 3" | 75.00 | 0.00 g | 100.00 % | D60 = 0.26 CC = 0.59 D30 = 0.05 CU = 15.15 D10 = 0.02 Límites de Consistencia LL. = 40.00 LP. = 22.99 IP. = 17.01 Clasificación S.U.C.S. SC arena arcillosa ## GRAVA 1.91 % ARENA 54.62 % FINOS 43.46 % 100.00 % |
| 2" | 50.80 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1 1/2" | 38.10 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 1" | 25.40 | 0.00 g | 100.00 % | |
| 3/4" | 19.05 | 21.00 g | 98.91 % | |
| 1/2" | 12.70 | 0.00 g | 98.91 % | |
| 3/8" | 9.53 | 7.00 g | 98.55 % | |
| 1/4" | 6.35 | 4.00 g | 98.35 % | |
| No. 4 | 4.76 | 5.00 g | 98.09 % | |
| No. 8 | 2.38 | 0.00 g | 98.09 % | |
| No. 10 | 2.00 | 57.00 g | 95.14 % | |
| No. 16 | 1.19 | 0.00 g | 95.14 % | |
| No. 20 | 0.84 | 212.00 g | 84.19 % | |
| No. 30 | 0.59 | 190.00 g | 74.37 % | |
| No. 40 | 0.42 | 138.00 g | 67.24 % | |
| No. 50 | 0.30 | 0.00 g | 67.24 % | |
| No. 60 | 0.25 | 182.00 g | 57.83 % | |
| No. 80 | 0.18 | 0.00 g | 57.83 % | |
| No. 100 | 0.150 | 162.00 g | 49.46 % | |
| No. 200 | 0.074 | 116.00 g | 43.46 % | |
| Fondo | | 38.00 g | | |
| Total | | 1132.00 g | | |
| % error = | | 0.962 | | |



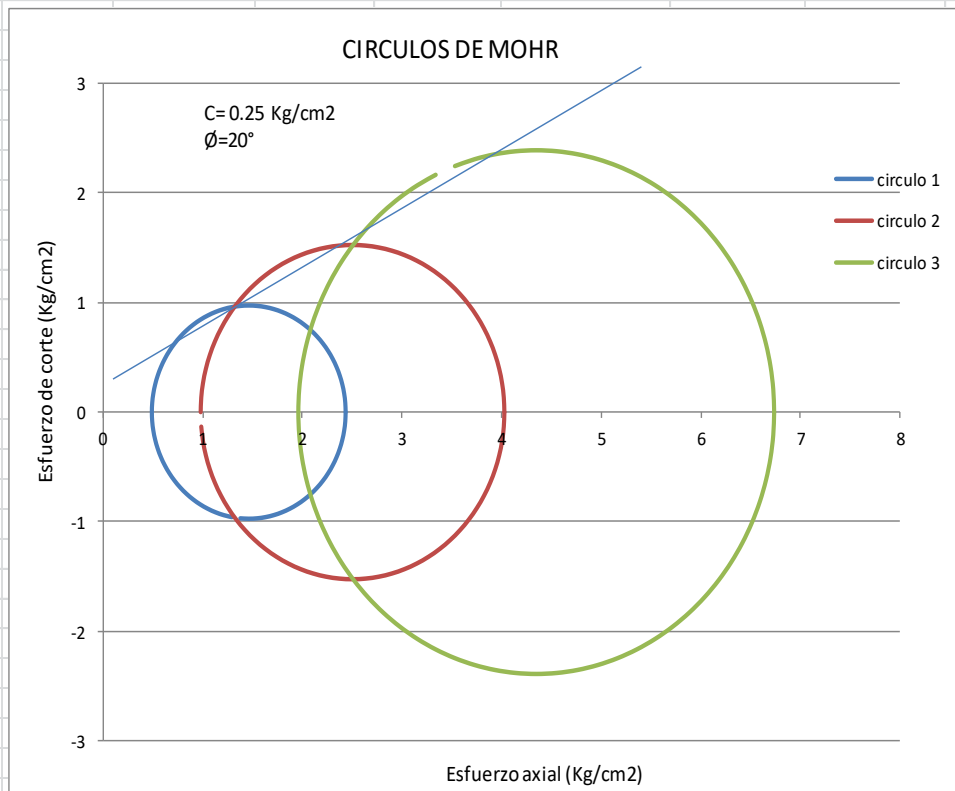
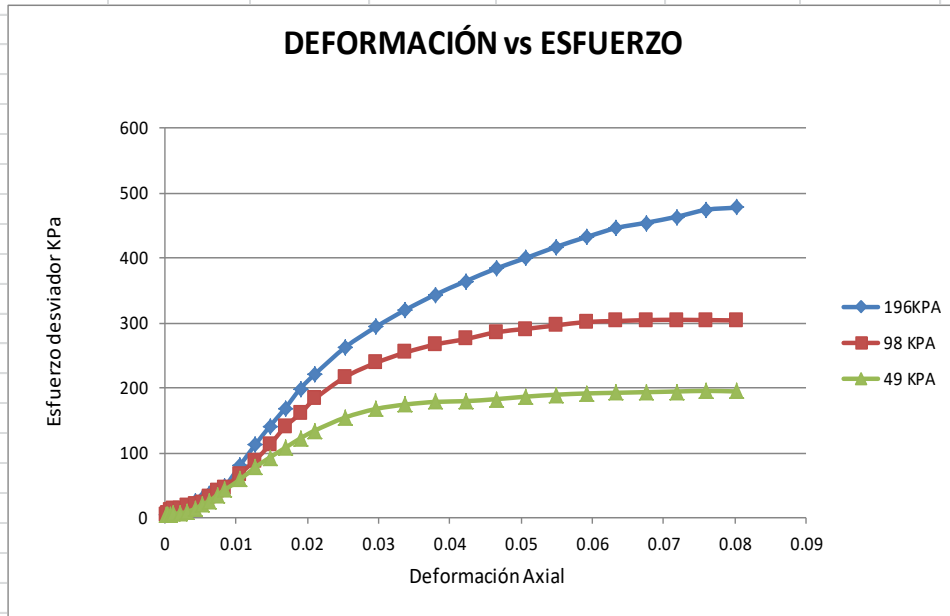
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL ASTM (1949-50)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |



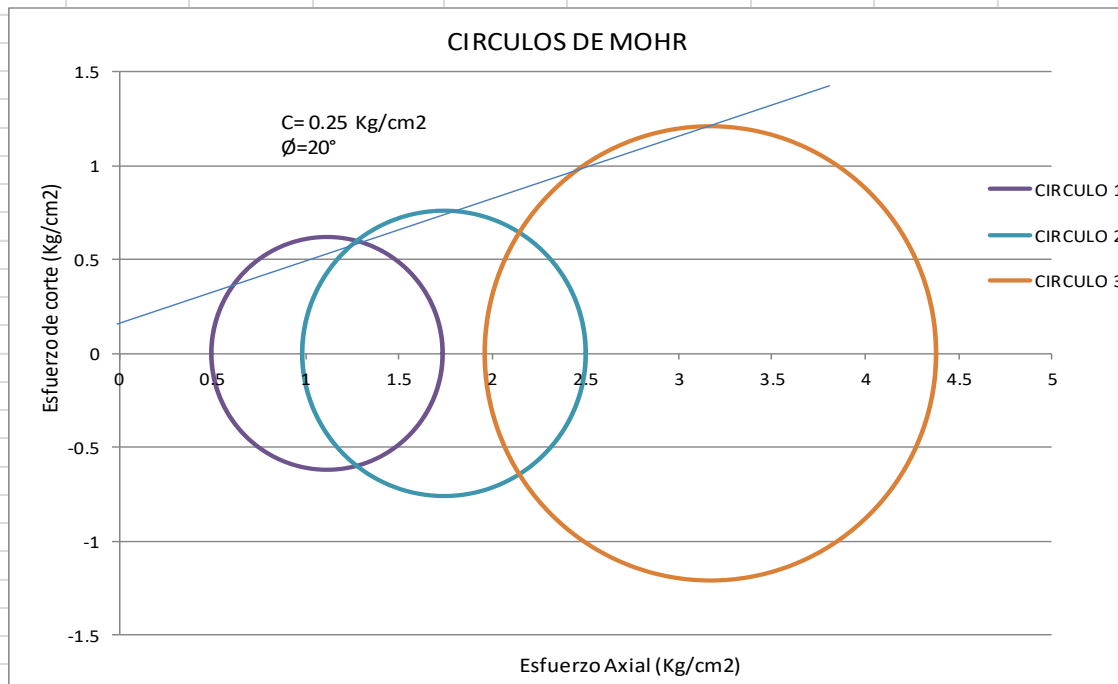
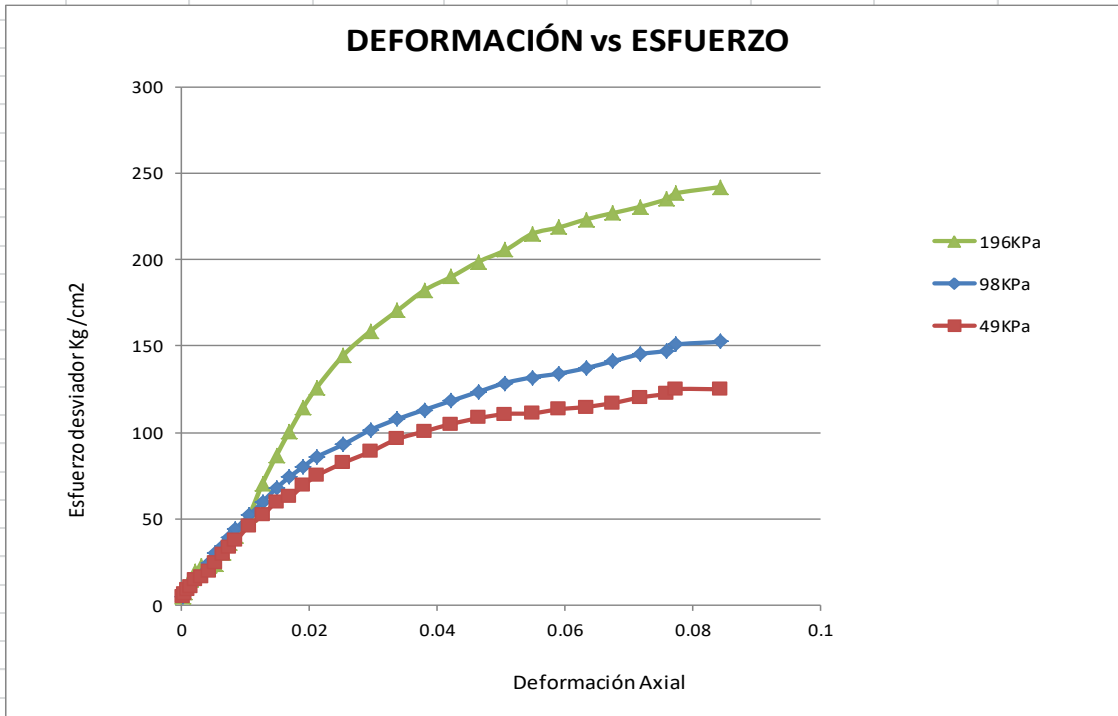
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL ASTM (1949-50)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |



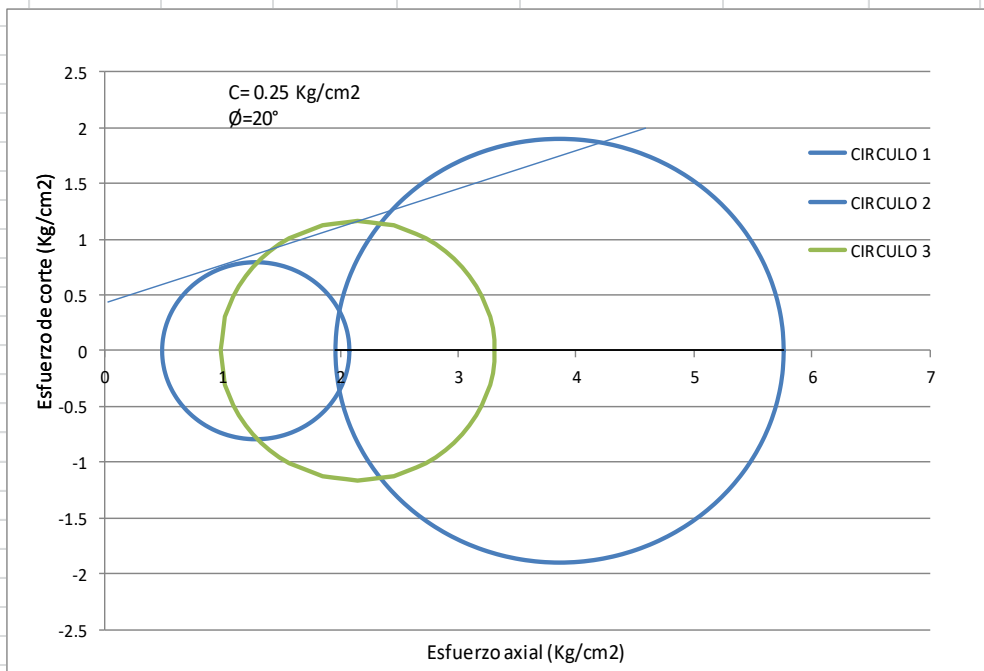
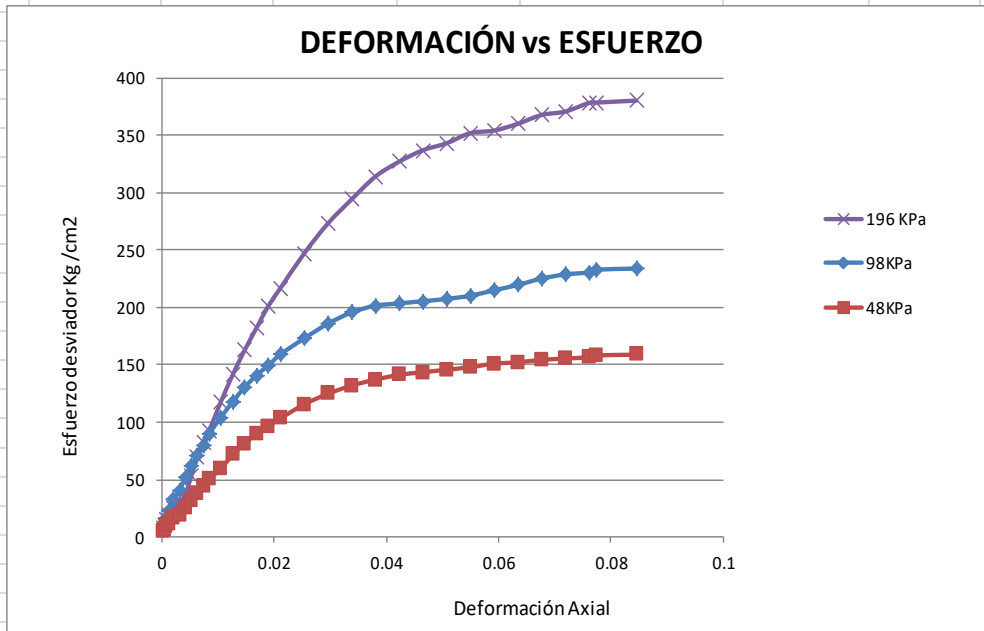
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL ASTM (1949-50)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |



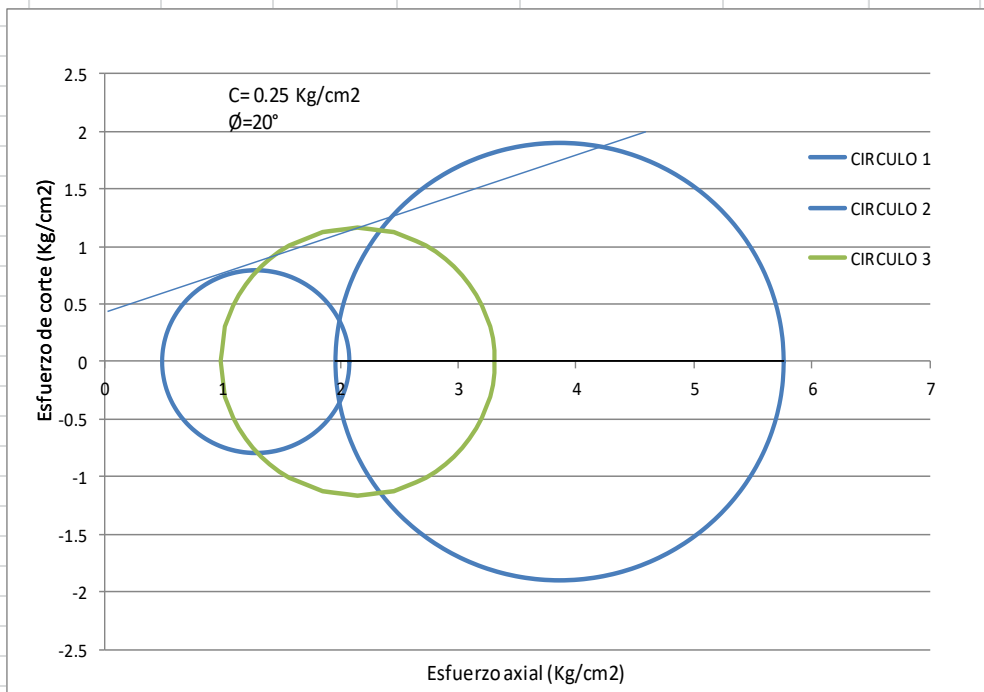
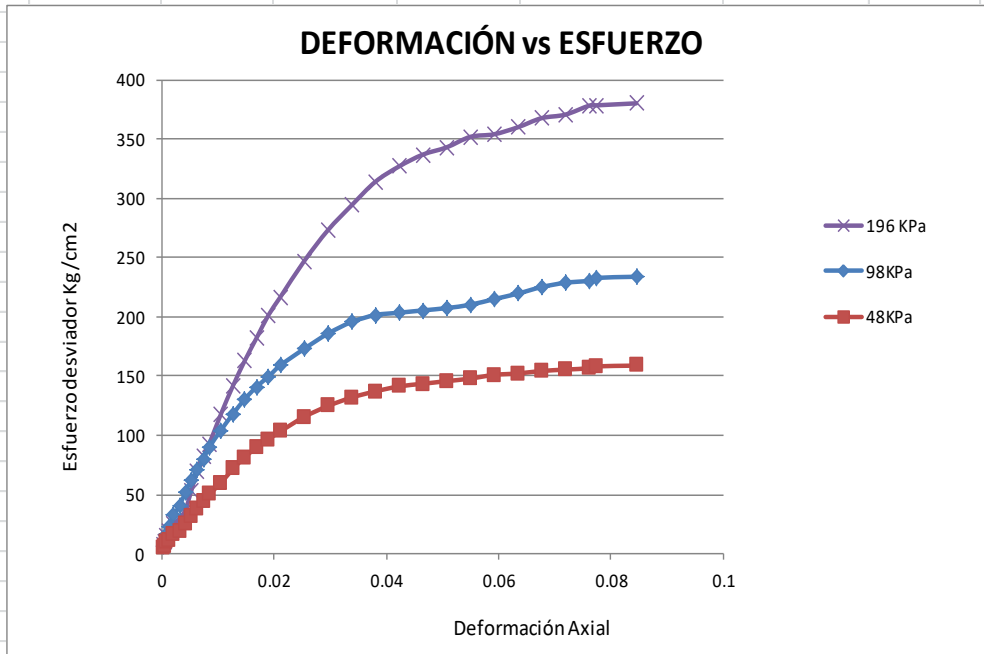
ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL ASTM (1949-50)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |



ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL ASTM (1949-50)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |



PESO ESPECÍFICO VOLUMÉTRICO

SOLICITA : **N°001-2018**

Tesis: EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLÁSTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016

LUGAR : Anexo de Talquío, Paraje Chicche(grupo control)

fecha :4/08/2018

| | | | | |
|----------------------------|---|-------|-------|-------|
| CALICATA:C-1 | | | | |
| MUESTRA : M-1 | | 1 | 2 | 3 |
| PROFUNDIDAD(m):3.0m | | | | |
| 1 | Peso de la muestra(gr) | 44.8 | 40.6 | 36.8 |
| 2 | Peso de la muestra + parafina(gr) | 47.2 | 43.4 | 39.2 |
| 3 | Peso de la parafina(gr) | 2.4 | 2.8 | 2.4 |
| 4 | Peso específico de la parafina(gr/cm3) | 0.865 | 0.865 | 0.865 |
| 5 | Volumen de la parafina(cm3) | 2.77 | 3.24 | 2.77 |
| 6 | Volumen del agua(cm3) | | | |
| 7 | Volumen de la muestra+parafina+agua (cm3) | 28 | 26 | 25 |
| 8 | Volumen de la muestra (cm3) | 25.23 | 22.76 | 22.23 |
| 9 | Peso específico aparente (gr/cm3) | 1.78 | 1.78 | 1.66 |
| | PROMEDIO(gr/cm3) | 1.74 | | |

PESO ESPECÍFICO VOLUMÉTRICO

| | | | | |
|----------------------------|---|-------|-------|-------|
| CALICATA:C-2 | | | | |
| MUESTRA : M-1 | | 1 | 2 | 3 |
| PROFUNDIDAD(m):3.0m | | | | |
| 1 | Peso de la muestra(gr) | 81.9 | 64.8 | 138.1 |
| 2 | Peso de la muestra + parafina(gr) | 83.5 | 67.5 | 142.5 |
| 3 | Peso de la parafina(gr) | 1.6 | 2.7 | 4.4 |
| 4 | Peso específico de la parafina(gr/cm3) | 0.865 | 0.865 | 0.865 |
| 5 | Volumen de la parafina(cm3) | 1.85 | 3.12 | 5.09 |
| 6 | Volumen del agua(cm3) | | | |
| 7 | Volumen de la muestra+parafina+agua (cm3) | 48 | 40 | 82 |
| 8 | Volumen de la muestra (cm3) | 46.15 | 36.88 | 76.91 |
| 9 | Peso específico aparente (gr/cm3) | 1.77 | 1.76 | 1.80 |
| | PROMEDIO(gr/cm3) | 1.78 | | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo CONTROL (Antes de llegar a la cantera)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (antes)

| CALICATA : | | C1 | | C2 | |
|----------------------|---|--------|--------|-------|--------|
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-1 | M-2 |
| No de TARA | | 56 | 66 | 54 | 21 |
| PROFUNDIDAD: 1.35(m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 134.26 | 148.58 | 198.4 | 249.5 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 123.65 | 136.56 | 177.4 | 221.75 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 10.61 | 12.02 | 21 | 27.75 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 61.09 | 67.8 | 57.3 | 65.99 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 62.56 | 68.76 | 120.1 | 155.76 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 16.96 | 17.48 | 17.49 | 17.82 |
| PROMEDIO | | 17.22 | | 17.65 | |

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (antes)

| CALICATA : | | C3 | | C4 | |
|----------------------|---|-------|--------|--------|--------|
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-1 | M-2 |
| No de TARA | | 44 | 45 | 16 | 15 |
| PROFUNDIDAD: 1.35(m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 197.4 | 250 | 208.41 | 222.18 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 177.4 | 221.75 | 188.12 | 201.11 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 20 | 28.25 | 20.29 | 21.07 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 58 | 65 | 57.19 | 64.97 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 119.4 | 156.75 | 130.93 | 136.14 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 16.75 | 18.02 | 15.50 | 15.48 |
| PROMEDIO | | 17.39 | | 15.49 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo CONTROL (Antes de llegar a la cantera)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (antes)

| | | | |
|----------------------|---|--------|--------|
| CALICATA : | | | |
| MUESTRA : M-1 | | | |
| No de TARA | | | |
| PROFUNDIDAD: 1.35(m) | | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 223.9 | 249.5 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 203.49 | 224.81 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 20.41 | 24.69 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 68.8 | 65.99 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 134.69 | 158.82 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 15.15 | 15.55 |
| PROMEDIO | | 15.35 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo CONTROL (Antes de llegar a la cantera)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (despues)

| | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| CALICATA : | | C1 | | C2 | |
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-3 | M-4 |
| No de TARA | | 56 | 66 | 54 | 21 |
| PROFUNDIDAD: 3.0 (m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 290.44 | 317.16 | 309.87 | 293.47 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 266.36 | 290.96 | 287.46 | 273.86 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 24.08 | 26.2 | 22.41 | 19.61 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 40.56 | 67.8 | 67.84 | 68.14 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 225.8 | 223.16 | 219.62 | 205.72 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 10.66 | 11.74 | 10.20 | 9.53 |
| PROMEDIO | | 11.20 | | 9.87 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo EXPERIMENTAL (cantera)

| | | |
|---------------|---|---|
| TESIS | : | EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : | Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : | 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : | MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (ANTES)

| CALICATA : | | C1 | | C2 | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-1 | M-2 |
| No de TARA | | 41 | 42 | 51 | 52 |
| PROFUNDIDAD: 3(m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 274.58 | 290.73 | 277.8 | 308.9 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 246.69 | 258.54 | 246.33 | 274.57 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 27.89 | 32.19 | 31.47 | 34.33 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 68.59 | 53.99 | 44.1 | 61.49 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 178.1 | 204.55 | 202.23 | 213.08 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 15.66 | 15.74 | 15.56 | 16.11 |
| PROMEDIO | | 15.70 | | 15.84 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo EXPERIMENTAL (cantera)

| | | |
|---------------|---|---|
| TESIS | : | EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : | Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : | 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : | MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (ANTES)

| CALICATA : | | C3 | | C4 | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-1 | M-2 |
| No de TARA | | 44 | 45 | 64 | 65 |
| PROFUNDIDAD: 3(m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 191.6 | 193.98 | 274.02 | 209.38 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 174.41 | 175.69 | 247.63 | 191.87 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 17.19 | 18.29 | 26.39 | 17.51 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 61.85 | 53.62 | 64.62 | 66.51 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 112.56 | 122.07 | 183.01 | 125.36 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 15.27 | 14.98 | 14.42 | 13.97 |
| PROMEDIO | | 15.13 | | 14.19 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo EXPERIMENTAL (cantera)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (ANTES)

| | | | |
|-------------------|---|-------------|--------|
| CALICATA : | | | |
| MUESTRA : M-1 | | | |
| No de TARA | | 57 | 60 |
| PROFUNDIDAD: 3(m) | | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 274.02 | 209.38 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 247.63 | 191.87 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 26.39 | 17.51 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 64.62 | 66.51 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 183.01 | 125.36 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 14.42 | 13.97 |
| | PROMEDIO | 14.19387493 | |

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (después)

| | | | | | |
|----------------------|---|--------|--------|--------|--------|
| CALICATA : | | C1 | | C2 | |
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-1 | M-2 |
| No de TARA | | 56 | 66 | 54 | 21 |
| PROFUNDIDAD: 1.35(m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 302.42 | 275.64 | 218.9 | 370.3 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 258.36 | 230.8 | 187.2 | 311.08 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 44.06 | 44.84 | 31.7 | 59.22 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 58.45 | 49.4 | 71.38 | 67.6 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 199.91 | 181.4 | 115.82 | 243.48 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 22.04 | 24.72 | 27.37 | 24.32 |
| | PROMEDIO | 23.38 | | 25.85 | |

CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216-85

grupo EXPERIMENTAL (cantera)

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (después)

| CALICATA : | | C3 | | C4 | |
|----------------------|---|-------|-------|-------|--------|
| MUESTRA : M-1 | | M-1 | M-2 | M-1 | M-2 |
| No de TARA | | 44 | 45 | 16 | 15 |
| PROFUNDIDAD: 1.35(m) | | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 58.32 | 48.72 | 259 | 275.1 |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 53.29 | 41 | 221.6 | 230.86 |
| 3 | Peso del agua (gr) | 5.03 | 7.72 | 37.4 | 44.24 |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 32.04 | 16.44 | 66.6 | 46.7 |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 21.25 | 24.56 | 155 | 184.16 |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 23.67 | 31.43 | 24.13 | 24.02 |
| PROMEDIO | | 27.55 | | 24.08 | |

| | |
|---------------|---|
| TESIS | : EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

CALICATA C-1 (después)

| CALICATA : | | | | | |
|----------------------|---|-------------|--------|--|--|
| MUESTRA : M-1 | | | | | |
| No de TARA | | | | | |
| PROFUNDIDAD: 1.35(m) | | 3 | 3 | | |
| 1 | Peso del recipiente+peso suelo húmedo(gr) | 182.88 | 182.88 | | |
| 2 | Peso del recipiente+peso suelo seco(gr) | 161.29 | 161.29 | | |
| 3 | Peso del agua (gr) | 21.59 | 21.59 | | |
| 4 | Peso del recipiente (gr) | 71.38 | 71.38 | | |
| 5 | Peso del suelo seco (gr) | 89.91 | 89.91 | | |
| 6 | Contenido de humedad (%) | 24.01 | 24.01 | | |
| PROMEDIO | | 24.01290179 | | | |

GRUPO CONTROL

N°012-2018

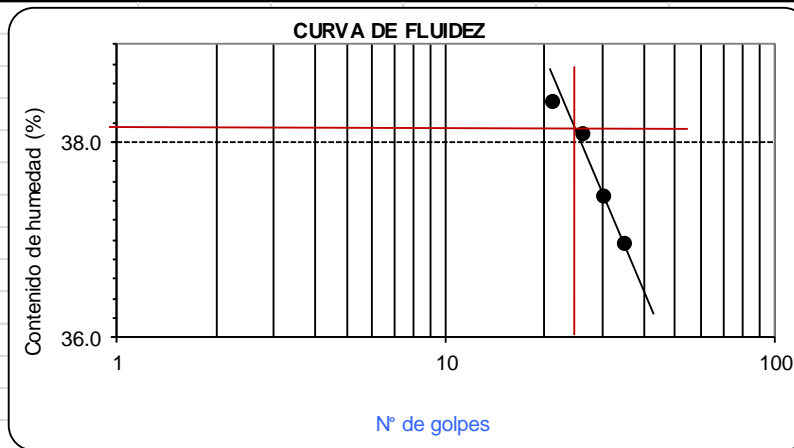
DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

ANTES CARRETERA

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | ASTM - D4318 | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 46.38 | 43.24 | 43.84 | 33.27 | 69.87 | 74.05 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 38.91 | 36.28 | 37.3 | 27.16 | 65.51 | 68.82 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 7.47 | 6.96 | 6.54 | 6.11 | 4.36 | 5.23 |
| PESO TARA (gr) | 19.47 | 18.01 | 19.84 | 10.63 | 48.17 | 47.68 |
| SUELO SECO (gr) | 19.44 | 18.27 | 17.46 | 16.53 | 17.34 | 21.14 |
| N° DE GOLPES | 21 | 26 | 30 | 35 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 38.43 | 38.10 | 37.46 | 36.96 | 25.14 | 24.74 |

| | |
|----|-------|
| LL | 38.18 |
| LP | 24.94 |
| IP | 13.24 |
| LC | - |



GRUPO CONTROL

N°006-2018

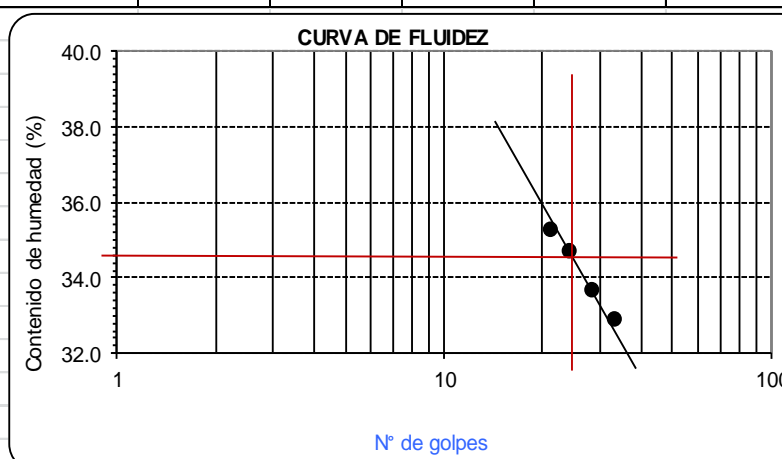
DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

ANTES CARRETERA

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | ASTM - D4318 | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 53.01 | 49.65 | 55.5 | 56.2 | 49.0 | 55.6 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 45.05 | 41.02 | 47.28 | 47.81 | 44.4 | 50.34 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 7.96 | 8.63 | 8.23 | 8.4 | 4.61 | 5.3 |
| PESO TARA (gr) | 22.5 | 16.19 | 22.86 | 22.3 | 23.38 | 25.03 |
| SUELO SECO (gr) | 22.55 | 24.83 | 24.42 | 25.51 | 21.02 | 25.31 |
| Nº DE GOLPES | 21 | 24 | 28 | 33 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 35.30 | 34.76 | 33.70 | 32.93 | 21.93 | 20.94 |

| | |
|----|--------------|
| LL | 34.6 |
| LP | 21.44 |
| IP | 13.16 |
| LC | - |



GRUPO CONTROL

N°008-2018

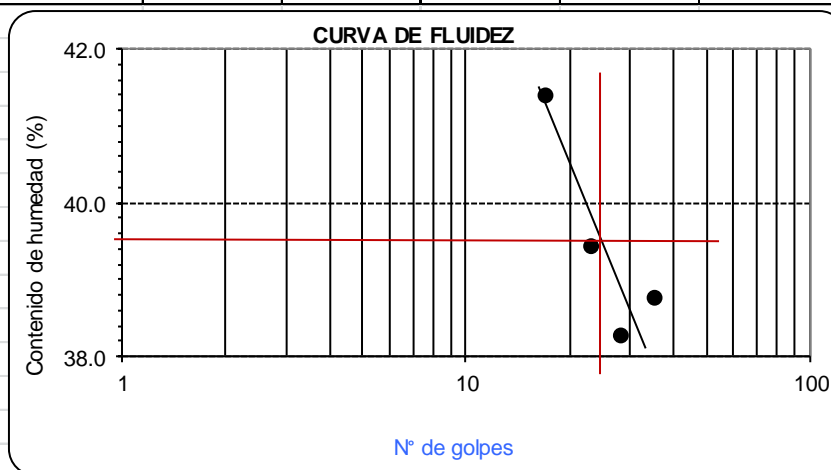
DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

ANTES CARRETERA

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO ASTM - D4318 | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 50.72 | 51.47 | 58.4 | 50.45 | 35.98 | 25.35 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 42.38 | 43.97 | 51.11 | 43.14 | 31.95 | 24.89 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 8.34 | 7.5 | 7.29 | 7.31 | 4.03 | 0.46 |
| PESO TARA (gr) | 22.24 | 24.96 | 32.07 | 24.29 | 16.4 | 10.64 |
| SUELO SECO (gr) | 20.14 | 19.01 | 19.04 | 18.85 | 15.55 | 14.25 |
| Nº DE GOLPES | 17 | 23 | 28 | 35 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 41.41 | 39.45 | 38.29 | 38.78 | 25.92 | 3.23 |

| | |
|----|-------|
| LL | 39.53 |
| LP | 14.57 |
| IP | 24.96 |
| LC | - |



GRUPO CONTROL

N°009-2018

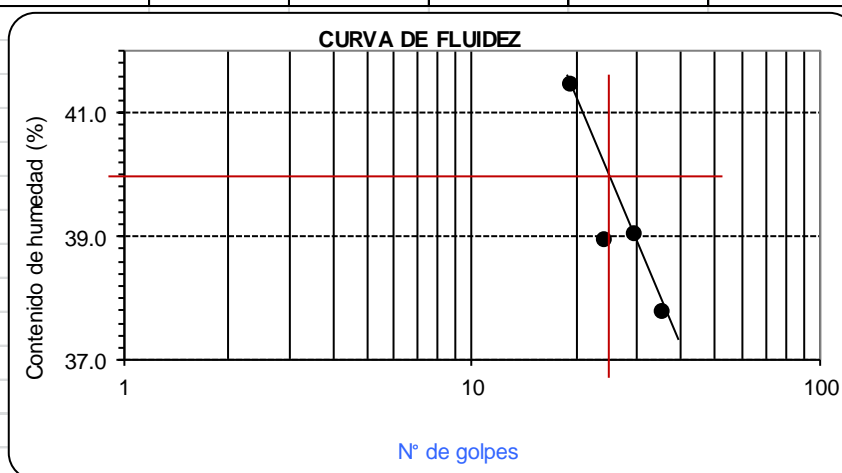
DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

ANTES CARRETERA

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO ASTM - D4318 | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 47.40 | 45.81 | 49.71 | 44.22 | 69.17 | 69.34 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 39.2 | 38 | 42.16 | 36.52 | 65.3 | 65.23 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 8.2 | 7.81 | 7.55 | 7.7 | 3.87 | 4.11 |
| PESO TARA (gr) | 19.43 | 17.96 | 22.83 | 16.16 | 48.16 | 47.67 |
| SUELO SECO (gr) | 19.77 | 20.04 | 19.33 | 20.36 | 17.14 | 17.56 |
| N° DE GOLPES | 19 | 24 | 29 | 35 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 41.48 | 38.97 | 39.06 | 37.82 | 22.58 | 23.41 |

| | |
|----|-------|
| LL | 40 |
| LP | 22.99 |
| IP | 17.01 |
| LC | - |



GRUPO CONTROL

N°011-2018

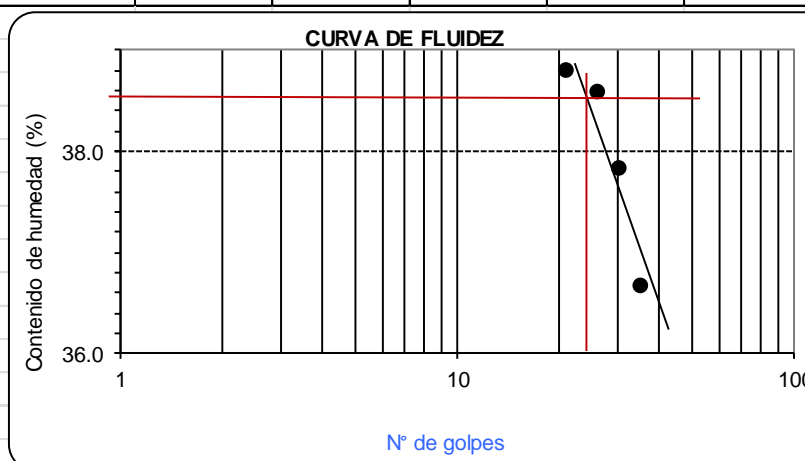
DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

ANTES CARRETERA

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | ASTM - D4318 | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 48.27 | 49.95 | 42.21 | 53.21 | 39.22 | 44.39 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 41 | 42.4 | 35.06 | 47.54 | 34.59 | 40.47 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 7.27 | 7.55 | 7.15 | 5.67 | 4.63 | 3.92 |
| PESO TARA (gr) | 22.27 | 22.84 | 16.17 | 32.08 | 16.39 | 24.28 |
| SUELO SECO (gr) | 18.73 | 19.56 | 18.89 | 15.46 | 18.2 | 16.19 |
| N° DE GOLPES | 21 | 26 | 30 | 35 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 38.81 | 38.60 | 37.85 | 36.68 | 25.44 | 24.21 |

| | |
|----|-------|
| LL | 38.57 |
| LP | 24.83 |
| IP | 13.74 |
| LC | - |



GRUPO EXPERIMENTAL

N°001-2018

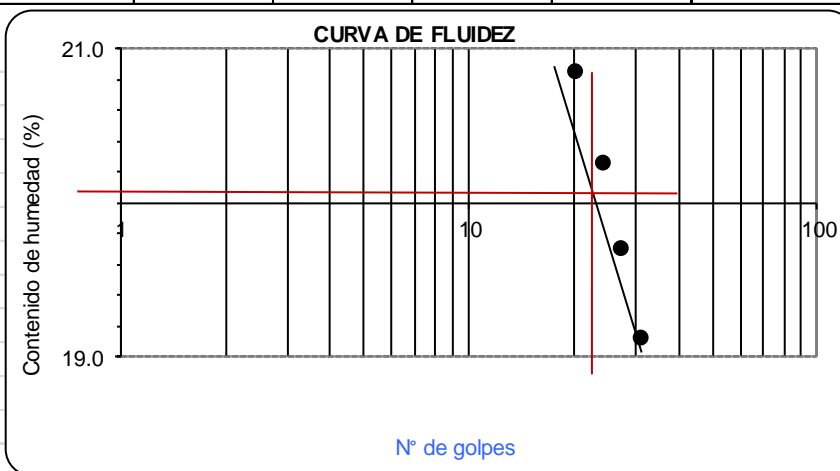
DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 12/12/2017 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

ANTES

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|----------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | ASTM - D4318 | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 61.19 | 60.38 | 54.7 | 55.5 | 45.8 | 49.7 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 54.66 | 53.96 | 49.47 | 50.23 | 42.77 | 45.39 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 6.53 | 6.42 | 5.25 | 5.31 | 3.01 | 4.33 |
| PESO TARA (gr) | 23.35 | 22.29 | 22.83 | 22.48 | 24.28 | 20.19 |
| SUELO SECO (gr) | 31.31 | 31.67 | 26.64 | 27.75 | 18.49 | 25.2 |
| Nº DE GOLPES | 20 | 24 | 27 | 31 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 20.86 | 20.27 | 19.71 | 19.14 | 16.28 | 17.18 |

| | |
|----|--------------|
| LL | 20.5 |
| LP | 16.73 |
| IP | 3.77 |
| LC | - |



GRUPO EXPERIMENTAL

N°003-2018

DETERMINACION DE LIMITE DE ATTERBERG ASTM-D4318

| | |
|---------------|--|
| TESIS | : COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 |
| LUGAR | : Anexo de Talquío, Paraje Chicche |
| FECHA | : 10/04/2018 |
| ELABORADO POR | : MSc Betty M. Condori Quispe |

DESPUES CANTERA

| LIMITES DE CONSISTENCIA | LIMITE LIQUIDO ASTM - D4318 | | | | LIMITE PLASTICO | |
|--------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-----------------|-------|
| | | | | | C-1 | M-1 |
| SUELO HUMEDO + TARA (gr) | 58.65 | 58.82 | 56.9 | 85.7 | 51.7 | 48.5 |
| SUELO SECO+ TARA (gr) | 49.78 | 49.73 | 50.32 | 76.05 | 46.87 | 43.41 |
| PESO DEL AGUA (gr) | 8.87 | 9.09 | 6.54 | 9.68 | 4.79 | 5.08 |
| PESO TARA (gr) | 19.59 | 18.02 | 19.82 | 40.23 | 24.31 | 20.2 |
| SUELO SECO (gr) | 30.19 | 31.71 | 30.5 | 35.82 | 22.56 | 23.21 |
| N° DE GOLPES | 20 | 23 | 28 | 33 | 0 | 0 |
| CONT. DE HUMEDAD (%) | 29.38 | 28.67 | 21.44 | 27.02 | 21.23 | 21.89 |

| | |
|----|--------------|
| LL | 27.6 |
| LP | 21.56 |
| IP | 6.04 |
| LC | - |

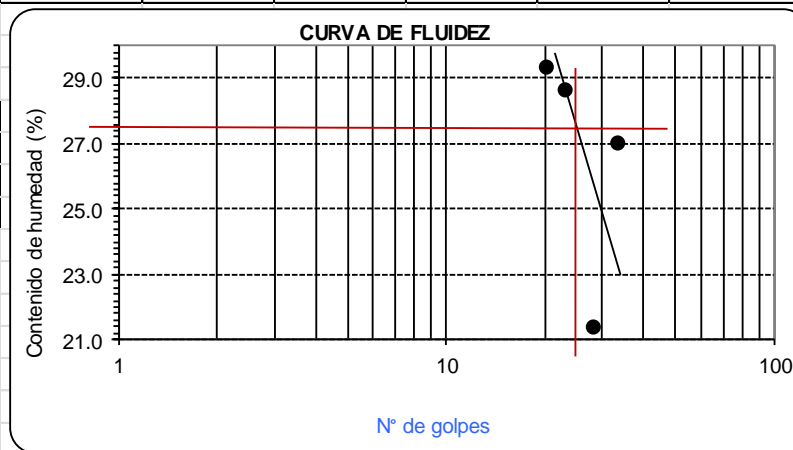




FOTO N° 01 CANTERA N° 1



FOTO N° 02 PROGRESIVA KM. 286 +200 DE CANTERA DE CARRETERA



FOTO N° 03 DE CANTERA N° 02 (SECTOR CHICCHE)





FOTO N° 05 PROGRESIVA KM. 286+500 DE CANTERA 2





FOTO N° 07 FALLA DE ASFALTO POR PRESENCIA DE HUMEDAD EN LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO.





FOTO N° 09 SEÑAL VERTICAL DE HUNDIMIENTO DE PLATAFORMA



FOTO N° 10 PRESENCIA DE HUMEDAD CERCA A LA VÍA ASFALTADO



FOTO N° 11 PRESENCIA DE HUMEDAD EN LA PARTE BAJA DE VÍA, (LADO ESTE.)

| Titulo del Plan de tesis: EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA SIMULACIÓN DEL COMPORTAMIENTO ELASTOPLASTICO DE LOS SUELOS, HUANCAYO EN EL AÑO 2016 | | | | | | | |
|---|---|--|---|-------------------------------------|--|---|--|
| Egresada: BETTY MARÍA CONDORI QUISPE | | | | | | | |
| | PROBLEMA | OBJETIVO | HIPÓTESIS | VARIABLE | DIMENSIÓN | INDICADORES | METODOLOGÍA |
| GENERAL | ¿Qué efectos produce el contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplastico de los suelos, Huancayo en el año 2016? | Determinar los efectos del contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplastico de los suelos, Huancayo en el año 2016 | El contenido de humedad produce efectos significativos en la simulación del comportamiento elastoplastico de los suelos, Huancayo en el año 2016 | VI:CONTENIDO DE HUMEDAD | D1:Contenido de humedad en condiciones naturales | Utiliza el contenido de humedad en porcentaje | Tipo de investigación: Aplicada |
| ESPECIFIC O 1 | ¿Qué efectos produce el contenido de humedad en las propiedades físicas del suelo del comportamiento elastoplastico, Huancayo en el año 2016? | Determinar los efectos del contenido de humedad en las propiedades físicas del suelo del comportamiento elastoplastico, Huancayo en el año 2016 | El contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades físicas del suelo del comportamiento elastoplastico, Huancayo en el año 2016. | | D2:Contenido de humeda en condiciones alteradas | utiliza el contenido de humedad en diferentes porcentajes para dos grupos | Nivel de la investigación: Explicativo |
| ESPECIFIC O 2 | ¿Qué efectos produce el contenido de humedad en las propiedades mecánicas del suelo del comportamiento elastoplastico, Huancayo en el año 2016? | Determinar los efectos del contenido de humedad en las propiedades mecánicas del suelo del comportamiento elastoplastico, Huancayo en el año 2016? | El contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades mecánicas del suelo del comportamiento elastoplastico en el año 2016. | | D1:Propiedades físicas | limite liquido limite plástico índice plástico | Diseño de la investigación: experimental |
| ESPECIFIC O 3 | ¿Qué efectos produce el contenido de humedad en las propiedades elastoplásticas del suelo del comportamiento elastoplastico, Huancayo en el año 2016? | Determinar los efectos del contenido de humedad en las propiedades elastoplásticas del comportamiento elastoplastico del suelo, Huancayo en el año 2016? | El contenido de humedad produce efectos significativos en las propiedades elastoplásticas del comportamiento elastoplastico del suelo, Huancayo en el año 2016. | VD: COMPORTAMIENTO ELASTO-PLASTICOS | D1:Propiedades mecánicas | cohesión ángulo de fricción dilatancia | Población: Cuadrángulo de Huancayo |
| | | | | | D1:propiedades elastoplasticas | modulo de elasticidad relación de poisson modulo de corte | Muestra: 20 muestras |
| | | | | | | | Instrumentos, equipos del laboratorio:Triaxial, tamices, copa de Casagrande, horno, misceláneos. |

