REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil

Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam – Clay Modificado según Metodología de Roscoe y Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022

Tesis presentada por los Bachilleres:

Barreda Delgado, Fabian Erland

ORCID: 0009-0005-8377-1357

Espinoza Barrón, Joseph René

ORCID: 0009-0006-5292-7811

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Gamarra Tuco, Rubén Francisco

ORCID: 0000-0003-1748-5887

Arequipa – Perú

2024

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Mayo del 2024

Dictamen: 007144-C-EPIC-2024

Visto el borrador del expediente 007144, presentado por:

2016242321 - BARREDA DELGADO FABIAN ERLAND
2016110131 - ESPINOZA BARRON JOSEPH RENE

Titulado:

ZONIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE MODELO CAM ? CLAY MODIFICADO SEGÚN METODOLOGÍA DE ROSCOE Y BURLAND, EN EL DISTRITO DE YARABAMBA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2022

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

29329377 - NEIRA ARENAS JULY LILIAM
DICTAMINADOR

29439333 - TICONA BALDARRAGO AGUSTO ISRRAEL
DICTAMINADOR

41587204 - GARCIA GODOS PEÑALOZA LUZ MATILDE
DICTAMINADOR

Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam – Clay Modificado según Metodología de Roscoe y Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022

INFORME DE ORIGINALIDAD

8%	7%	1%	2%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.fceia.unr.edu.ar Fuente de Internet	3%
2	Submitted to Universidad Católica San Pablo Trabajo del estudiante	1%
3	revistas.unimilitar.edu.co Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	catalogo.escuelaing.edu.co Fuente de Internet	1%
6	idoc.pub Fuente de Internet	1%

Excluir citas	Apagado	Excluir coincidencias	< 1%
Excluir bibliografía	Apagado		

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

Dedicado A mis queridos padres, Erland y Blanca, por su amor incondicional, apoyo constante y sacrificios infinitos que hicieron posible este logro. A mi hermano Joaquin, por ser mi compañero de vida y mi inspiración. A toda mi familia, por su aliento y comprensión en cada paso de este viaje. Este logro es también de ustedes. Con amor y gratitud infinita.

Fabian

Dedico este trabajo de investigación a Dios y todas las personas que confiaron y creyeron en mi desde siempre

En primer lugar, a mis amados padres Rene Lorenzo Espinoza Cervantes y María Del Socorro Barrón Farro por haberme enseñado a que cada sacrificio tiene su gloria, enseñarme el significado del amor además de ser mi guía y mi fortaleza en la vida

A mi hermana Helen por haber sido como una segunda madre conmigo y mi ahijado Renecito por ser la alegría de nuestro hogar

A mi hermana Brenda por haber sido mi inspiradora y maestra en esta hermosa carrera de ingeniería Civil

A mi novia Andrea por ser la mujer que me enseña a mejorar y crecer como persona y profesional, además enseñarme el significado del amor

A mis primo Jean Pierre por haber sido fundamental con sus palabras de aliento en mi crecimiento personal y profesional

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A nuestro asesor de tesis Ing. Rubén Gamarra Tuco, por habernos brindado su tiempo, conocimiento y experiencia en esta investigación

A mi amigo y compañero de Tesis Fabian Erland Barreda Delgado por haber puesto todo de el para realizar esta investigación. Desde el primer año de universidad nos juntábamos a estudiar y llego el momento de dar un paso gigante en nuestras vidas, no pude haber escogido a alguien mejor para esta investigación

Por último, a todas las personas que siempre estuvieron brindándome de alguna manera apoyo esto es por y para ustedes

LOS AMO y seguiré creciendo cada día para que siempre se sientan orgullos de mi

Con amor, JOSEPH RENE ESPINOZA BARRON

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

Quisiera expresar mi sincero agradecimiento a todas las personas que han sido parte fundamental en este importante capítulo de mi vida.

En primer lugar, a mis queridos padres Erland y Blanca, por su amor incondicional, su constante apoyo y sus sacrificios invaluables que han hecho posible cada paso de este camino hacia la culminación de mi tesis de grado. Su dedicación y aliento han sido mi mayor motivación en los momentos más desafiantes.

A mi hermano Joaquin, quien ha sido mi confidente, mi inspiración y mi roca inquebrantable. Su apoyo incondicional y su ánimo constante han sido un faro de luz en este proceso.

A mi familia, Diana, Christian, Ricky, Richard, Vale, Mandy, Percy, Maga y Nicolás por su comprensión, sus palabras de aliento y su presencia constante a lo largo de esta travesía. Cada gesto de apoyo ha significado el mundo para mí.

A mi asesor de tesis, Rubén, por su orientación experta, su paciencia y su compromiso inquebrantable. Sus enseñanzas y su mentoría han sido cruciales para el desarrollo de este trabajo.

Y, por último, pero no menos importante, quiero agradecer a mi compañero de tesis, Joseph, por su colaboración, su dedicación y su trabajo en equipo. Juntos hemos enfrentado desafíos, superado obstáculos y celebrados logros. Tu compromiso y tu apoyo han sido fundamentales en este proceso, y estoy profundamente agradecido por tener la oportunidad de trabajar a tu lado.

A todos ustedes, mi más sincero agradecimiento. Este logro no hubiera sido posible sin su ayuda, su aliento y su presencia en mi vida.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Con gratitud y aprecio, Fabian

Quiero dedicar este proyecto de investigación a Dios y a todas las personas que han depositado su confianza y creído en mí a lo largo de mi trayectoria académica. Este logro no sería posible sin el respaldo incondicional de quienes han sido fundamentales en mi desarrollo.

En primer lugar, expreso mi profundo agradecimiento a mis amados padres, Rene Lorenzo Espinoza Cervantes y Maria Del Socorro Barron Farro. Ellos no solo me han enseñado que cada sacrificio tiene su recompensa, sino que también han sido mis guías y mi fuente de fortaleza en la vida. Su amor y valores han sido la base de mi crecimiento personal y académico.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi hermana Helen, quien desde mi infancia no solo me brindó conocimientos académicos y personales invaluable, sino que también me dio el amor de una segunda madre en mi vida. Su apoyo y orientación han sido fundamentales. Además, a mi ahijado Renecito, le agradezco por ser la fuente constante de alegría en nuestro hogar. Su presencia ha iluminado cada rincón de nuestras vidas.

Expreso mi profundo agradecimiento a mi hermana Brenda, mi fuente de inspiración en esta hermosa carrera de ingeniería civil. Su ejemplo y dedicación han sido un faro en mi camino, guiándome con sabiduría y brindándome una invaluable enseñanza en el campo de la ingeniería civil. Sin duda, su influencia ha sido fundamental en mi desarrollo profesional y personal

Agradezco de corazón a mi novia, Andrea, quien ha sido mucho más que una compañera en mi vida. Ella ha sido mi confidente más fiel, mi mejor amiga y la inspiración que me impulsa a mejorar y crecer tanto en lo personal como en lo profesional. Además, a través de su presencia y comprensión, me ha enseñado profundamente el significado verdadero del amor.

Agradezco a mi primo Jean Pierre por ser una presencia fundamental con sus palabras alentadoras durante mi desarrollo personal y profesional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Quiero expresar mi gratitud al ingeniero Rubén Gamarra Tuco, nuestro asesor de tesis, por brindarnos su valioso tiempo, conocimiento y experiencia en este proyecto académico.

Finalmente, dedico un sincero agradecimiento a mi amigo y compañero de tesis, Fabian Erland Barreda Delgado. Desde nuestros primeros años de universidad, hemos compartido momentos de estudio y colaboración. No podría haber elegido a alguien mejor para dar este importante paso en nuestras vidas.

A todas las personas que me brindaron su apoyo y confianza en diversas formas, esto es por y para ustedes. Los amo y me comprometo a continuar creciendo cada día para que sientan siempre orgullo por mí.

Con amor y gratitud, Joseph Rene Espinoza Barrón

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

PORTADA i

DICTAMEN APROBATORIO ii

DEDICATORIA iii

AGRADECIMIENTOS v

ÍNDICE viii

ÍNDICE DE TABLAS xii

ÍNDICE DE FIGURAS xiv

RESUMEN xxi

ABSTRACT xxii

INTRODUCCIÓN 23

CAPÍTULO I. 24

1. GENERALIDADES 24

1.1. Planteamiento del Problema 24

1.2. Formulación del Problema 27

1.2.1. Problema General 27

1.2.2. Problemas Específicos 27

1.2.3. Problema de Cierre 27

1.3. Problemática de la investigación 28

1.4. Objetivos de la investigación 28

1.4.1. Objetivo General 28

1.4.2. Objetivos Específicos 28

1.4.3. Objetivo de Cierre 29

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5. Justificación de la investigación 29

1.5.1. Justificación Ambiental 29

1.5.2. Justificación Social 29

1.5.3. Justificación Económica 29

1.5.4. Justificación tecnológica 30

CAPÍTULO II. 31

2. MARCO TEÓRICO 31

2.1. Fundamento Teórico 31

2.1.1. Antecedentes internacionales de la investigación. 31

2.1.2. Antecedentes Nacionales de la investigación 36

2.2. Estado del Arte 38

2.2.1. Normativa Internacional 38

2.2.2. Normativa Nacional 43

2.3. Marco teórico 50

2.3.1. Caracterización de suelos arcillosos y limosos 50

2.3.2. Relaciones esfuerzo – deformación del ensayo triaxial (CUPP) 69

2.3.3. El espacio p' – q – v 72

2.3.4. Modelos Cam Clay y Cam – Clay Modificado 74

2.3.5. Comentarios sobre la aplicación de los modelos CC y MCC 88

2.3.6. Metodología de Elementos Finitos en Geotecnia 91

2.4. Bases teóricas relacionadas al tema 94

2.4.1. Arcillas 95

2.4.2. Arcillas Contractivas 96

2.4.3. Arcillas dilatantes 96

2.4.4. Cimentación 96

CAPÍTULO III 98

3. METODOLOGÍA 98

3.1. Metodología de la Investigación 98

3.1.1. Tipo y Nivel de Investigación 98

3.1.2. Diseño de la Investigación 98

3.1.3. Enfoque de la Investigación 98

3.1.4. Caso en Estudio/ Población 99

3.1.5. Tamaño de la muestra 99

3.1.6. Tipo de Muestreo 99

3.1.7. Técnicas de Investigación 99

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.8. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos 99

3.2. Determinación de puntos de exploración 100

3.3. Ubicación del área en estudio 101

3.4. Estudio de Mecánica de Suelos 101

3.5. NTP a aplicar 101

3.6. Esquema de desarrollo del Proyecto 102

CAPÍTULO IV 103

4. ANÁLISIS DE RESULTADOS 103

4.1. Ubicación del área de estudio 103

4.1.1. Ubicación Geológica 104

4.1.2. Unidad Geomorfológica 104

4.2. Estudio de Mecánica de Suelos 105

4.2.1. Memoria descriptiva 105

4.2.2. Planos y Perfiles de puntos investigados 105

CAPÍTULO V 147

5. MODELO CAM CLAY MODIFICADO 147

5.1. Parámetros Cam Clay Modificado 147

5.2. Modelamiento de arcilla en @Abacus 150

5.2.1. Creación del Modelo 150

5.2.2. Entrada de propiedades iniciales del material 153

5.2.3. Modelamiento del proceso de análisis 157

5.2.4. Creación de Instancia 161

5.2.5. Modelamiento de carga 161

5.2.6. Configuración de discretización para Modelamiento por Elementos Finitos (MEF) 170

5.2.7. Creación de los parámetros y las corridas de análisis 173

5.2.8. Presentación de Resultados 174

5.3. Zonificación de suelos arcillosos 201

5.3.1. Puntos a zonificar 202

CAPÍTULO VI 203

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS 203

6.1. Respecto al Objetivo General 203

6.2. Respecto a los Objetivos Específicos 204

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES *208*

RECOMENDACIONES *210*

REFERENCIAS *211*

ANEXOS *220*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. *Clasificación de suelos según el tamaño de partículas* 52

Tabla 2. *Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (medidas en mm)* 53

Tabla 3. *Diferencias entre suelos gruesos y suelos finos* 54

Tabla 4. *Clasificación según el valor del coeficiente de redondez R* 56

Tabla 5. *CEC de distintos tipos de arcillas* 62

Tabla 6. *Grupos arcillosos más representativos* 66

Tabla 7. *Resultados del Ensayo Equivalente de Arena* 68

Tabla 8. *Clasificación de arcillas por ensayo de sensitividad* 69

Tabla 9. *Parámetros del modelo MCC* 84

Tabla 10. *Número de puntos de exploración* 100

Tabla 11. *Normas Técnicas Peruanas (NTP)* 102

Tabla 12. *Características para zona RDM-1* 103

Tabla 13. *Condiciones de frontera* 106

Tabla 14. *Perfil estratigráfico - Calicata C1* 108

Tabla 15. *Perfil estratigráfico - Calicata C2* 108

Tabla 16. *Perfil estratigráfico - Calicata C3* 109

Tabla 17. *Perfil estratigráfico - Calicata C4* 109

Tabla 18. *Perfil estratigráfico - Calicata C5* 109

Tabla 19. *Perfil estratigráfico – Calicata C6* 110

Tabla 20. *Perfil estratigráfico - Calicata C7* 110

Tabla 21. *Perfil estratigráfico - Calicata C8* 111

Tabla 22. *Perfil estratigráfico - Calicata C9* 111

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 23. Resultados de ensayos de laboratorio C1-C4 112

Tabla 24. Resultados de ensayos de laboratorio C5-C7 112

Tabla 25. Resultados de ensayos de laboratorio C8-C9 113

Tabla 26. Resultados - Permeabilidad de suelos arcillosos 115

Tabla 27. Datos - Círculo de Mohr de esfuerzos totales Arcilla 1 en $\boldsymbol{kgf/cm2}$*..... 117*

Tabla 28. Datos - Círculo de Mohr de esfuerzos totales Calicata C2 en $\boldsymbol{kgf/cm2}$ *.....120*

Tabla 29. Datos - Círculo de Mohr de esfuerzos totales Calicata C7 en $\boldsymbol{kgf/cm2}$ *.....122*

Tabla 30. Resultados - Ensayo triaxial..... 124

Tabla 31. Método de Taylor - Resultados..... 135

Tabla 32. Parámetros - Presión de Pre consolidación -Arcilla Calicata C1, C2 y C7 136

Tabla 33. Resultados relación de vacíos a distintas cargas en arcillas 137

Tabla 34. Presión de Pre consolidación en arcillas..... 139

Tabla 35. Resultados ensayo de Consolidación Unidimensional - Arcillas..... 141

Tabla 36. Análisis de presión actual - Arcilla C1..... 142

Tabla 37. Cálculo del Índice de Sobreconsolidación OCR - Arcilla C1..... 142

Tabla 38. Análisis de presión actual - Arcilla C2..... 143

Tabla 39. Cálculo del Índice de Sobreconsolidación OCR - Arcilla C2..... 143

Tabla 40. Análisis de presión actual - Arcilla C7..... 143

Tabla 41. Cálculo del Índice de Sobreconsolidación OCR - Arcilla C7..... 143

Tabla 42. Propiedades iniciales del suelo – Arcillas..... 147

Tabla 43. Parámetros - Ensayo de Compresión Triaxial Arcilla 01..... 147

Tabla 44. Parámetros - Ensayo de Compresión Triaxial Arcilla 02..... 148

Tabla 45. Parámetros - Ensayo de Compresión Triaxial Arcilla 07..... 148

Tabla 46. Parámetros elásticos para varios suelos 149

Tabla 47. Propiedades iniciales del suelo 149

Tabla 48. Condiciones de carga..... 150

Tabla 49. Dimensiones del modelo..... 150

Tabla 50. Valores de coeficiente Af 187

Tabla 51. Puntos con presencia de arcillas..... 202

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Distribución de arcillas en Latinoamérica 24

Figura 2 Distribución de Suelos 25

Figura 3 Ejemplo de falla por tubificación en una presa, por presencia de suelos dispersivos 39

Figura 4 Erosión por tubificación en suelos dispersivos 39

Figura 5 Resultados de ensayo Crumb 41

Figura 6 Caracterización de suelos Dispersivos en la región occidental del Paraguay . 49

Figura 7 Elemento de suelo en estado natural (a) y Modelo trifásico del elemento de suelo (b) 51

Figura 8 Proceso de formación de los suelos 52

Figura 9 Diferentes muestras de tipos de suelos 53

Figura 10 Curva granulométrica de un suelo 54

Figura 11 Carta de esfericidad y redondez (líneas diagonales corresponden a partículas de regularidad constante) 56

Figura 12 Muestras de arcillas de distintos colores 57

Figura 13 Imágenes microscópicas de distintos suelos arcillosos, illita (izquierda) y montmorillonita (derecha) 58

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14 Estructuras fundamentales de las arcillas (tetraedro de sílice y octaedro de alúmina) 59

Figura 15 Combinación de láminas T - O - T formando una partícula de arcilla 60

Figura 16 Ubicación de cargas negativas y positivas en la superficie de la partícula de arcilla 60

Figura 17 Intercambio catiónico en la superficie de una arcilla 61

Figura 18 Distribución y concentración de iones entre partículas de arcilla 63

Figura 19 *Difractograma resultante de un ensayo DRX* 64

Figura 20 Ejemplo de ensayo de azul de metileno 65

Figura 21 Muestra de suelo sometida a un estado triaxial de esfuerzos 70

Figura 22 Respuesta del material durante la consolidación isotrópica (modelo constitutivo) 71

Figura 23 Representación de un ensayo triaxial en el espacio p' – q - v 72

Figura 24 Curva de Consolidación Unidimensional 73

Figura 25 Comportamiento típico de arcillas en ensayo de consolidación (edómetro) 75

Figura 26 Línea típica de estado crítico (CSL) y línea de compresión virgen (NCL) para arcillas 77

Figura 27 Superficies de fluencia de los modelos Cam Clay y Cam Clay Modificado en el plano p - q 80

Figura 28 Superficie Límite de Estado 80

Figura 29 Trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales drenados sobre arcilla normalmente consolidada, bajo modelo MCC (relación de Poisson constante) 83

Figura 30 Trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales drenados con arcillas normalmente consolidades bajo modelo MCC (considera módulo de corte constante). 84

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 31 Trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales drenados sobre arcilla sobreconsolidada (OCR=2) con el modelo MCC (relación de Poisson constante)..... 85

Figura 32 Trayectoria de tensiones de ensayos triaxiales drenados en arcillas altamente sobreconsolidada (OCR=5), bajo el modelo MCC (relación de Poisson constante)..... 86

Figura 33 Superficie de rendimiento del modelo CC en un espacio de tensión 3D..... 86

Figura 34 Superficie de rendimiento del modelo MCC en un espacio de tensión 3D .. 87

Figura 35 Proyección de la función de fluencia dentro de los planos meridiano y desviador..... 89

Figura 36 Superficie de fluencia del modelo Cam - Clay modificado..... 90

Figura 37 Arcillas..... 95

Figura 38 Cimentaciones Superficiales..... 97

Figura 39 Ubicación del área en estudio 101

Figura 40 Procedimiento de la investigación 102

Figura 41 Ubicación de puntos..... 107

Figura 42 Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, Calicata C1 117

Figura 43 Gráfica de Mohr - Esfuerzos totales Arcilla 1 118

Figura 44 Diagrama p vs q (Esfuerzos efectivos) Arcilla 1 118

Figura 45 Gráfica de Mohr - Esfuerzos efectivos Arcilla 1 119

Figura 46 Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, Calicata C2 119

Figura 47 Gráfica de Mohr - Esfuerzos totales Calicata C2..... 120

Figura 48 Diagrama p vs q (Esfuerzos efectivos) Calicata C2..... 121

Figura 49 Gráfica de Mohr - Esfuerzos efectivos Calicata C2..... 121

Figura 50 Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, Calicata C7 122

Figura 51 Gráfica de Mohr - Esfuerzos totales Calicata C7..... 123

Figura 52 Diagrama p vs q (Esfuerzos efectivos) Calicata C7..... 123

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 53 Gráfica de Mohr - Esfuerzos efectivos Calicata C7 124

Figura 54 Curva lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) - Calicata C1 .. 125

Figura 55 Curva lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) - Calicata C2 .. 126

Figura 56 Curva lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) - Calicata C7 .. 128

Figura 57 Coeficiente de Consolidación - Método de Taylor Arcilla de Calicata C1 130

Figura 58 Coeficiente de Consolidación - Método de Taylor Arcilla de Calicata C2 131

Figura 59 Coeficiente de Consolidación - Método de Taylor Arcilla de Calicata C7 133

Figura 60 Factor de tiempo Tv para grado de consolidación U (%) 135

Figura 61 Curva de presión de pre consolidación - Método Casagrande (Arcilla C1) 138

Figura 62 Curva de presión de pre consolidación - Método Casagrande (Arcilla C2) 138

Figura 63 Curva de presión de pre consolidación - Método Casagrande (Arcilla C7) 139

Figura 64 Curvas K o Virgen - Índice de Compresibilidad - Arcilla 01 140

Figura 65 Curvas K o Virgen - Índice de Compresibilidad - Arcilla 02 140

Figura 66 Curvas K o Virgen - Índice de Compresibilidad - Arcilla 07 141

Figura 67 Grados de actividad eléctrica de arcillas 144

Figura 68 Análisis de actividad de arcillas - C1 145

Figura 69 Análisis de actividad de arcillas - C2 145

Figura 70 Análisis de actividad de arcillas - C7 146

Figura 71 Configuración de practicidad del modelo 151

Figura 72 Generación de dimensiones 151

Figura 73 Generación de sólidos 152

Figura 74 Asignación de material 153

Figura 75 Asignación de peso específico de la muestra de arcilla 154

Figura 76 Asignación de parámetros de arcillas - Cam Clay Modificado 155

Figura 77 Asignación de propiedades plásticas de la arcilla 156

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 78 Asignación de propiedades permeables 157

Figura 79 Tipo de aplicación de carga 157

Figura 80 Efectos no lineales de desplazamientos en arcillas 158

Figura 81 Configuraciones de incremento 159

Figura 82 Selección del tipo de asignación de carga 159

Figura 83 Generación del comportamiento mecánico realista 160

Figura 84 Creación de instancia independiente 161

Figura 85 Modelación de presión de confinamiento 162

Figura 86 Selección de superficie y topo de espécimen 162

Figura 87 Asignación de presión de confinamiento 163

Figura 88 Generación de condiciones de contorno 164

Figura 89 Disposición de desplazamientos permitidos según ensayo triaxial 165

Figura 90 Proceso de modelado de presión de poros 166

Figura 91 Flujo etapa de corte no drenado 167

Figura 92 Impermeabilización de capa superior 167

Figura 93 Asignación de esfuerzos de presión de confinamiento 168

Figura 94 Asignación de relación de vacíos 170

Figura 95 Configuraciones preliminares de elementos finitos 171

Figura 96 Configuración de controles - Elementos finitos 171

Figura 97 Control de poros en Elementos finitos 172

Figura 98 Visualización de mallas 173

Figura 99 Generación de trabajos en @Abacus 173

Figura 100 Configuraciones preliminares de supervisión para el análisis 174

Figura 101 Visualización de deformaciones 175

Figura 102 Generación de gráficas de esfuerzos y presión de confinamiento 177

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 103 Gráfica de deformación axial 179

Figura 104 Gráficas de exceso de presión de poros vs deformación axial 181

Figura 105 Gráfica de Presión de poros vs Deformación Unitaria Arcilla C1 184

Figura 106 Gráfica de Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria C1 185

Figura 107 Curva de deformación unitaria versus A de Skempton - Arcilla C1 186

Figura 108 Modelo Arcilla C1 - Software @ Abacus – Presión de Poros 188

Figura 109 Modelo Arcilla C1 - Software @ Abacus – Relación de vacíos 188

Figura 110 Modelo Arcilla C1 - Software @ Abacus – Deformación Axial 189

Figura 111 Modelo Arcilla C1 - Software @ Abacus – Distribución de esfuerzo principal mayor 190

Figura 112 Gráfica de Presión de poros vs Deformación Unitaria Arcilla C2 190

Figura 113 Gráfica de Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria C2 191

Figura 114 Curva de deformación unitaria versus A de Skempton - Arcilla C2 192

Figura 115 Modelo Arcilla C2 - Software @ Abacus – Presión de Poros 194

Figura 116 Modelo Arcilla C2 - Software @ Abacus – Relación de vacíos 194

Figura 117 Modelo Arcilla C2 - Software @ Abacus – Deformación Axial 195

Figura 118 Modelo Arcilla C2 - Software @ Abacus – Distribución de esfuerzo principal mayor 195

Figura 119 Gráfica de Presión de poros vs Deformación Unitaria Arcilla C7 196

Figura 120 Gráfica de Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria C7 197

Figura 121 Curva de deformación unitaria versus A de Skempton - Arcilla C7 198

Figura 122 Modelo Arcilla C7 - Software @ Abacus – Presión de Poros 200

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 123 Modelo Arcilla C7 - Software @ Abacus – Relación de vacíos..... 200

Figura 124 Modelo Arcilla C7 - Software @ Abacus – Deformación Axial..... 201

Figura 125 Modelo Arcilla C7 - Software @ Abacus – Distribución de esfuerzo principal mayor..... 201

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RESUMEN

La investigación tuvo por objetivo principal comprender y delimitar el comportamiento de las arcillas del distrito de Yarabamba, mediante la utilización del modelo Cam – Clay Modificado. El tipo de investigación es experimental y nivel exploratorio, con diseño cuantitativo, enfoque cuantitativo. La población en estudio fue el suelo del distrito de Yarabamba con un área de 492.2 km2. La muestra estuvo conformada por la superficie en las partes bajas del distrito, con presencia de material arcilloso, el cual comprende una extensión de 2 km2 aprox. En los resultados se identificó la presencia de arcillas contractiva y dilatantes a partir del parámetro de falla A de Skempton de la metodología de Roscoe & Burland para determinar el comportamiento de arcillas, según el modelo Cam Clay Modificado. Los valores obtenidos para las arcillas de las calicatas C1, C2 y C7 fueron de -0.78, 0.26 y -0.33 respectivamente. Se concluyó que, se identificó un sector crítico para emplazamiento de edificaciones de hasta tres niveles, con presencia de arcillas contractivas de compacidad suelta con elevado índice de poros. Cabe precisar que, el mencionado sector se ubica aledaños a zonas agrícolas del sector Bajo Yarabamba del distrito mencionado.

Palabras Clave: Metodología de Roscoe & Burland, Modelo Cam Clay Modificado, Suelos Arcillosos, Zonificación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

The main objective of this research was to understand and delimit the behavior of the clays of the Yarabamba district, throughout the use of the Modified Cam – Clay model. The type of research is experimental and exploratory level, with quantitative design, quantitative approach. The population under study was the land of the Yarabamba district with an area of 492.2 km2. The sample was made up of the surface in the lower parts of the district, with the presence of clay material, which includes an area of approximately 2 km2. In the results, the presence of contractive and dilatant clays was identified from the Skempton failure parameter A of the Roscoe & Burland methodology to determine the behavior of clays, according to the Modified Cam Clay model. The values obtained for the clays from pits C1, C2 and C7 were -0.78, 0.26 and -0.33 respectively. It was concluded that a critical sector was identified for the siting of buildings of up to three levels, with the presence of contractive clays of loose compactness with a high pore index. It should be noted that the aforementioned sector is located adjacent to agricultural areas of the Bajo Yarabamba sector of the Yarabamba district.

Keywords: Roscoe & Burland Methodology, Modified Cam Clay Model, Clay Soils, Zoning.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

El trabajo analiza el comportamiento de los suelos previamente a la construcción de una edificación. Mas aún si existiese la presencia de suelos arcillosos, los cuales tienen un comportamiento fuera de los criterios de Mohr Coulomb para determinar su comportamiento frente a esfuerzos. Existe escasa investigación referida al comportamiento de suelos arcillosos, lo cual se evidencia en las recientes publicaciones sobre modelos teóricos que tratan de comprender el funcionamiento de esta tipología de suelos para fines de cimentación.

Existen diversas metodologías para modelar la respuesta mecánica de un suelo frente a esfuerzos. Este proceso, conocido en la Mecánica de Suelos como Estado Crítico, ha ido evolucionando con modelos de predicción del comportamiento, iniciando su desarrollo a partir de las publicaciones de Roscoe (1950), en la cual se logró formular el Modelo Cam Clay Original, el cual tuvo sus limitaciones por considerar que la superficie de cedencia es descrita como elipse, con un vector de incremento de deformación horizontal, sin incremento de deformación plástoca desviatoria, sin problemas de estabilidad númerica. Motivo por el cual propició que Burland (1968) establezca el Modelo Cam Clay Modificado.

En ese sentido, la investigación plantea emplear la Metodología de Roscoe & Burland (1968) Modelo Cam Clay Modificado para describir el comportamiento de suelos arcillosos emplazados en el sector Canal Bajo Yarabamba de la provincia y departamento de Arequipa, con el propósito de identificar zonas críticas para el emplazamiento de edificaciones comunes tipo C.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

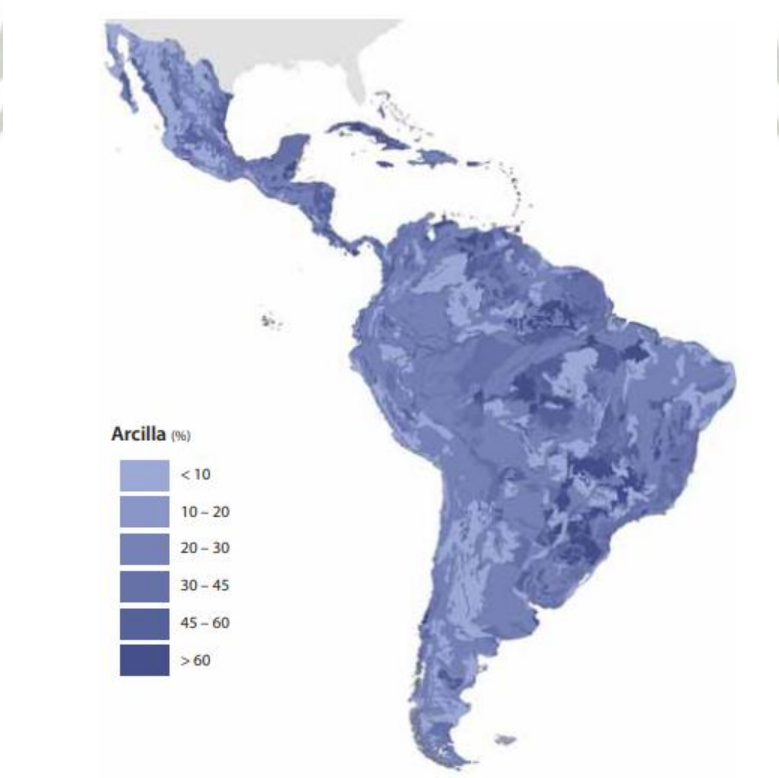
GENERALIDADES

1.1. Planteamiento del Problema

En Latinoamérica la presencia de suelos Acrisol (AC) es predominante, sobretodo en los sectores comprendidos entre Perú y Brasil. Este tipo de suelo es característico por presentar arcillas muy alteradas. Así mismo, para identificar este tipo de suelo, es típico registrar relieves con topografía plana, ondulada o acolinada. El clima predominante es el tropical húmedo, o muy cálido. Respecto a la caracterización cromática es característico es color oscuro, amarillento o rojizo. Con su condición mineralógica es que estos tipos de suelos son susceptibles a erosionarse.

Figura 1

Distribución de arcillas en Latinoamérica



Nota: Información que muestra la distribución de arcillas en latinoamérica

Fuente: GPS Services (s.f.)

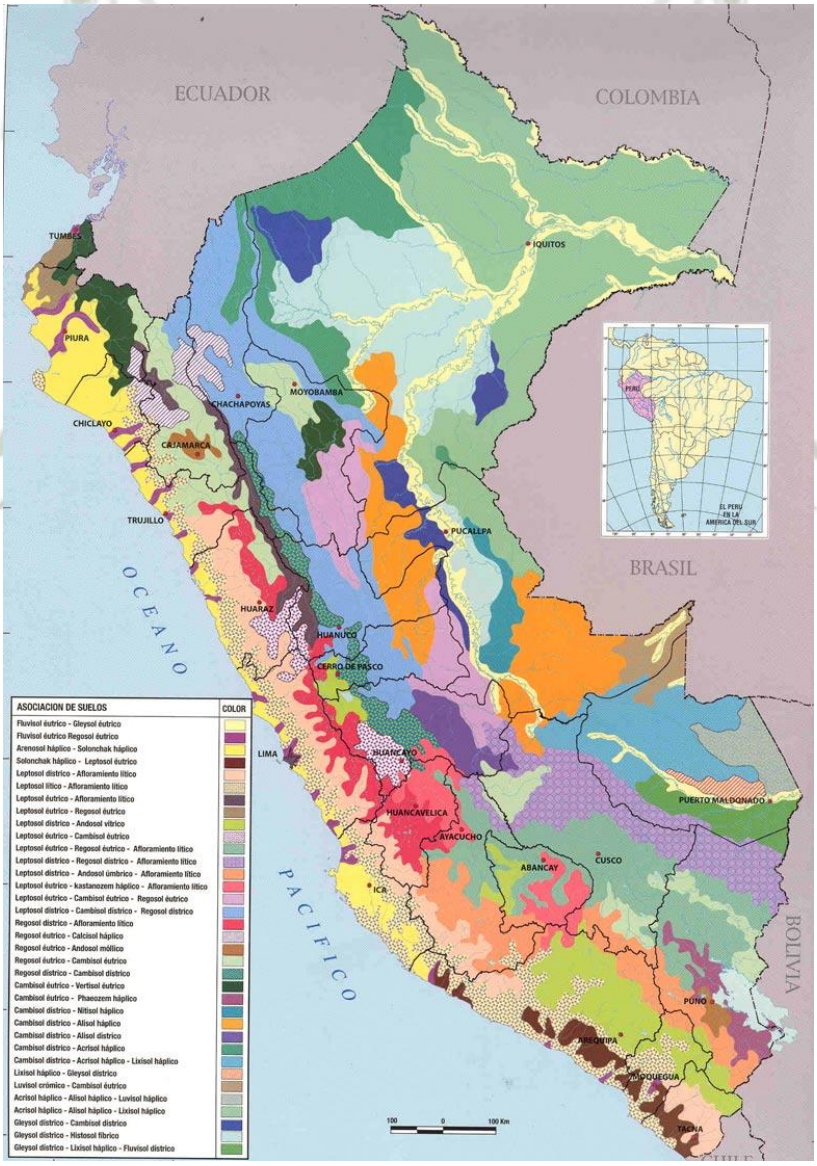
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A nivel nacional, la presencia de suelos arcillosos se registra en algunas regiones geo edáficas las cuales son: Región yermosólica con presencia de arcillas y suelos alcalinos en la costa norta de Piura y Tumbes, en la región litosólica, por el lado este e intermedio con presencia de suelos yermosoles lúvicos con presencia de arcilla y cal; en la región Paramosólida o andosólica con presencia de suelos arcillosos en los páramos andosoles, entre los 4000 y 5000 msnm. Así también en las regiones kantanosólicas corformadas por los suelos altiplánicos con presencia de suelos arcillosos lúvicos entre otros (Mendiola & Brack, 1985).

Figura 2

Distribución de Suelos



Nota: Información que muestra la distribución de suelos en Perú

Fuente: MIDAGRI (2015)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

A nivel regional, según MIDAGRI prevalece la presencia de suelos de afloramientos líticos (Leptosol dístrico y lítico), Solonchak háplico (Leptosol éutrico), Leptosol districo (Andosol vítrico) y afloramientos líticos conformados por Leptosol dístrico y Andosol úmbrico. En este tipo de suelos (Leptosol districo), son conocidos por suelos muy jóvenes, con un grado de saturación menor de 50% en los 5 cm. Seguidamente presentan una saturación del 50% o mayor (Soil Survey Staff, 1999).

La prevalencia de suelos en la unidad de estudio de la presente investigación, los cuales son Andosol Vítrico (Leptosol districo), conforman aquellas colinas y montañas y en menor proporción lomadas pendientes de 25 a +75 (ANA, 2019).

Las arcillas resultan uno de los suelos más complicados de estudiar y. Los cuales, resulta poco común en la ciudad de Arequipa. Por ende, no se cuenta con variedad de estudios sobre las propiedades de los mismos. En tal sentido, al construir sobre suelos arcillosos, se precede pérdidas costosas ocasionadas por la actividad sísmica presente en la ciudad de Arequipa, tal como se menciona en la publicación de los Ing. Julio Patrone y Jose Enrique Prefumo, de la Universidad de Montevideo. En ésta, se menciona que Los daños en las construcciones sobre suelos extensivos costan más de dos billones de dólares cada año en el mundo. (Patrone & Prefumo). Esto debido a que, el principal problema de los suelos arcillosos es su expansividad (Gómez de Santos, 2019)

El método de predicción de modelación de arcillas más sofisticado, es el Cam – Clay, desarrollado por Schofield y Worth (1968), el cual resulta de las metodologías geotécnicas tradicionales que son: elástico y elastoplástico – siendo la más imprecisa para materiales geológicos, los métodos elásticos.

Por otra parte, resulta un problema para edificaciones la presencia de suelos arcillosos. En la tesis de grado “Reforzamiento de suelo arcilloso con caucho reciclado para fines de cimentación en el distrito de Yarabamba en la ciudad de Arequipa” (2019), se menciona la existencia de sedimentos arcillosos por las partes bajas del mencionado distrito. Así mismo, con capacidad portante de 0.5 (Llerena Castillo & Paredes Chura, 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.2. Formulación del Problema

Se describe a continuación los problemas principales y específicos de la presente investigación.

1.2.1. Problema General

¿Cuál es la zonificación y comportamiento de los suelos arcillosos mediante modelo Cam – Clay Modificado según metodología de Roscoe Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál será la caracterización de los suelos arcillosos del distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa?

¿De qué manera es posible zonificar los puntos de exploración de suelos arcillosos llevados a cabo en el distrito de Yarabamba?

¿Cuál es la metodología para predecir y analizar el comportamiento de las arcillas del distrito de Yarabamba, ubicado en la ciudad de Arequipa?

¿Es posible identificar y analizar el comportamiento de las arcillas del distrito de Yarabamba, siguiendo el Modelo Cam – Clay, según la metodología dispuesta por los autores Roscoe & Burland?

1.2.3. Problema de Cierre

¿Cuál es el área de los sectores más vulnerables para emplazamiento de edificaciones en el distrito de Yarabamba, según el comportamiento de arcillas dispuesto por el modelo Cam Clay Modificado?

Son estas las interrogantes que surgen, como finalidad de esta investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.3. Problemática de la investigación

De manera general, se pretende comprender el comportamiento de arcillas bajos condiciones controladas en laboratorio, y según los parámetros establecidos del modelo Cam – Clay, para el modelamiento de arcillas.

1.4. Objetivos de la investigación

Se describe el objetivo principal y específico de la presente investigación.

1.4.1. Objetivo General

Determinar la zonificación y comportamiento de los suelos arcillosos mediante modelo Cam – Clay Modificado según metodología de Roscoe Burland en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar el suelo arcilloso del distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa
- Zonificar la exploración de suelos arcillosos llevada a cabo en el distrito de Yarabamba.
- Identificar la metodología para predecir y analizar el comportamiento de las arcillas del distrito de Yarabamba, ubicado en la ciudad de Arequipa
- identificar y analizar el comportamiento de las arcillas del distrito de Yarabamba, siguiendo el Modelo Cam – Clay, según la metodología dispuesta por los autores Roscoe & Burland
- Analizar los resultados aplicando el modelo de comportamiento de suelos arcillosos Cam – Clay Modificado, según metodología de autores Roscoe & Burland.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.4.3. Objetivo de Cierre

Identificar los sectores más vulnerables para emplazamiento de edificaciones en el distrito de Yarabamba, según el comportamiento de las arcillas siguiendo los parámetros del Modelo Cam Clay Modificado

1.5. Justificación de la investigación

Se describe la justificación ambiental, social, Económica y tecnológica de la presente investigación.

1.5.1. Justificación Ambiental

El identificar las características físicas, mecánicas de un suelo, además de la condición de sismicidad del entorno, antes de ejecutar un proyecto civil, preserva el entorno físico aledaño existente de la zona, evitando la ocurrencia de cuantiosos daños ambientales a la misma. Logrando de esta manera mitigar los riesgos para el desarrollo sustentable del entorno.

1.5.2. Justificación Social

Esta investigación pretende identificar el comportamiento elastoplástico de las arcillas del distrito de Yarabamba. Logrando de esta manera, determinar la vulnerabilidad del suelo al cual se ven expuestos los pobladores del mencionado distrito.

1.5.3. Justificación Económica

Modelar el comportamiento del suelo arcilloso presente en el distrito de Yarabamba, para predecir el efecto hacia las estructuras cimentadas en este suelo. Por ello, el considerar procedimientos de estabilización de suelos y buenas prácticas de las autoridades competentes en lo concerniente a planeamiento urbano, constituyen

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

alternativas satisfactorias que debieran ser consideradas en las carteras de proyectos de las entidades y personas implicadas.

1.5.4. Justificación tecnológica

Promover el empleo de técnicas más sofisticadas para determinar el comportamiento elastoplástico de arcillas – como lo es el modelo Cam – Clay – El cual resulta una alternativa tecnológica para modelar el comportamiento de suelos arcillosos en la región de Arequipa.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Fundamento Teórico

Se describe los antecedentes internacionales y nacionales de la presente investigación.

2.1.1. Antecedentes internacionales de la investigación.

Chacón Pinilla, G. (2004) analiza la calibración de modelos constitutivos en arcillas de Bogotá, en el cual prevalece la importancia del ingeniero geotecnista, al predecir el comportamiento del suelo frente a solicitaciones producidas por estructuras o cualquier condición de carga. Por ello, se pretende establecer leyes de comportamiento que predigan los fenómenos asociados a un proceso de carga o deformación. Por otro lado, se menciona el modelo observacional de Peck (1969), el cual consta de: Observación preliminar del terreno, establecimiento de condición más desfavorable considerando la geología del terreno, diseño preliminar considerando una metodología de predicción, establecimiento de valores anticipados de variables necesarias en los cálculos basados en la hipótesis, cálculo de valores para condición más desfavorable, modificación de variables en base a las observadas y las predecidas según metodología de cálculo, medición de cantidades y condiciones actuales y finalmente modificación del diseño de acuerdo a las cantidades y condiciones estimadas de medidas. Sin embargo, esta metodología no establece un mecanismo de trabajo para predecir comportamientos y realizar diseños, por ello se plantea el modelo elástico y elastoplásticos – los cuales son aplicables para el concreto y acero, mas no para geomateriales. Por ello, el modelo modificado “Cam – Clay”, que resulta en un modelo elastoplástico desarrollado en Cambridge por Schofield y Worth, resulta el idóneo a aplicar. Además, se mencionan

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

modelos computacionales más complejas a la relación esfuerzo – deformación. Como lo es la hipoplasticidad desarrollado por Kolymbas. El modelo, el cual presenta una ecuación hiperbólica para carga y descarga, emplea variable de estados y parámetros de fácil interpretación física, mecánica y determinación experimental. Este modelo es muy usado para reproducir fenómenos asociados a un proceso de carga – a excepción de la viscosidad – y permite modelar licuefacción de suelos simulando propagaciones de onda. Por ello, gracias a Niemunis (2003), se logró añadir la viscosidad al modelo, nombrándose Viscohipoplasticidad, la cual resulta óptima para cálculos hipoplásticos con materiales finos, limos y arcillas. Además, reproduce los fenómenos que ocurren en un proceso de carga o deformación. El trabajo resalta los depósitos lacustres de la ciudad de Bogotá, como los más extensos en el mundo – con un espesor de hasta 600 metros, Por ende, los proyectistas civiles plantean factores de seguridad sobreestimados sin cuestionar el comportamiento del modelo, lo cual repercute en el elevado costo de los proyectos, diseños poco óptimos y largos tiempos de ejecución. Según la comparación de los modelos elastoplásticos, Cam-Clay y modelo viscohipoplástico, se deduce que, el modelo Cam – Clay no es recomendado para modelar suelos en proyectos de gran envergadura, debido a que la relación entre esfuerzos y deformaciones no resulta linear, cambiando completamente la historia de los esfuerzos. El modelo Cam – Clay presentó deficiencias cuando el suelo se encuentra sobreconsolidado (como los suelos de Bogotá, que se encuentran expuestos a cambios constantes de clima, permitiendo desecación y humedecimiento en los mismos, además que el contenido de agua sea una variable que afecte de forma directa a los esfuerzos del suelo). Por ello, finalmente se recomienda usar el modelo viscohipoplástico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Mendoza y Da Cunha (2014) investigan sobre la validación de modelos constitutivos avanzados de comportamiento mecánico para la arcilla estructurada de Brasilia. Obras y proyectos. Según el analisis la ciudad está formado por restos de material arcilloso tropical que ha sido muy incómodo y contiene mucho hierro y aluminio en las capas superiores. Lo cual, resulta en la formación de grumos, creando una estructura de hormigón con granos de arena del tamaño de una pelota de béisbol. Esta estructura, resulta inestable según la investigación, bajo incremento de fuerzas externas o cambios en la cantidad de agua en el aire, lo cual desencadena cambios de volumen conocidos como colapsabilidad de suelos. Es por ello resalta la importancia de un modelo que permita comprender de una mejor manera el comportamiento mecánico del suelo cementado y estructurado del estudio, es así que realizaron pruebas en el laboratorio, tanto con y sin muestras de arcilla empapadas que fueron recolectadas en su estado natural. Posteriormente se utilizaron modelos constitutivos que toman en cuenta la estructura y la cementación, como Cam Clay, Hipoplasticity y Subloading Cam Clay. Seguidamente, se realiza la simulación para evaluar los modelos y asignar aquel que reproduce mejor el comportamiento de estos suelos arcillosos. Se discretiza la información en cinco secciones: Ensayos de laboratorio para determinar las características mecánicas del suelo estudiado, modelos constitutivos estudiados (funcionamiento, implementación y comprobación, simulaciones de los ensayos escritos con cada uno de los modelos, los resultados con análisis e implicaciones, y finalmente las partes del trabajo que se desarrollaron. Para el caso de las muestras, se consideraron bloques de 30x30x30 a 3m de profundidad (en el punto de muestreo, se identificó arcillas porosas, estructuradas y cementadas). Seguidamente se realizó ensayos de caracterización de suelos (contenido de humedad, límites de Atterberg, Peso Unitario, Peso Unitario Seco, Peso Específico de sólidos, granulometría y porcentajes de arena, limo y arcilla) y ensayos de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

comportamiento mecánico (ensayos triaxiales en condiciones saturadas, algunos ensayos con cambios en velocidad de deformación, cambio en trayectoria de esfuerzos). Seguidamente, se realizó calibración de modelos constitutivos y evaluación del desempeño de estos. Además, se realizaron ensayos de consolidación anisotrópicos CA con variación en trayectoria de esfuerzos, en muestras naturales y en muestra reconstituida. Se concluye que, el modelo subloading Cam Clay presenta un cambio suavizado, asemejándose más a los resultados de los ensayos. Por otro lado, el modelo Hipoplástico representó de mejor manera el efecto de cementación en ensayos triaxiales drenados.

Ledesma y Sfriso (2008) realizan un trabajo con el objetivo de calibrar los parámetros del modelo constitutivo Cam Clay, para suelos de la formación Postpampeano en Buenos Aires. Por lo cual, se menciona que el modelo Cam – Clay, (modelo constitutivo elastoplástico), aplicable a suelos cohesivos – limos y arcillas. Permite simular la relación de vacíos, resistencia y rigidez. Por otro lado, se menciona que la formación Postpampeana se encuentra ubicada en zonas con gran actividad urbana, industrial y portuaria, por lo cual resulta de gran importancia económica la caracterización del comportamiento mecánico de este tipo de suelos. En tal sentido, se desarrolla la teoría de la plasticidad basada en la mecánica de suelos, con un modelo Cam-Clay modificado como bloque de construcción. Este es un modelo descriptivo que se utiliza para mostrar el estado de tensiones y deformaciones axiales, como el que se muestra en la tesis de compresión tridimensional. Además, se describe el comportamiento de los patrones de tensión efectivos en el desarrollo de ensayos húmedos y secos. Adicionalmente se describen las características físicas y mecánicas de la formación Postpampeana en base a trabajos de investigación desarrollados sobre este depósito. Por otro lado, el desarrollo del programa experimental explicando los ensayos de consolidación y ensayos triaxiales

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

sobre muestras obtenidas. Seguidamente, la calibración numérica de Cam – Clay en base a los resultados obtenidos. Finalmente, resulta que los parámetros encontrados mediante pruebas de consolidación en muestras amorfas coinciden perfectamente con los resultados de las simulaciones numéricas. Sin embargo, Cam-Clay no puede adivinar cómo se comportarán mecánicamente las muestras de limusina. Por ello, se tuvo que recurrir a un ajuste de los parámetros obtenidos de manera experimental, para lograr un ajuste numérico aceptable. Además, se tuvo que utilizar un valor de permeabilidad – tanto para muestras arcillosas como limosas – Los valores que surgen son mucho mejores para calibrar el análisis del caso inverso que los valores que se utilizaron para calibrar los resultados numéricos de las pruebas de laboratorio. Por ello, el autor menciona que, este aumento de la permeabilidad en campo, es debido a la existencia de lentes de arena distribuidos de forma errática en los estratos del depósito en estudio. Se concluye que, gracias a los ensayos de consolidación y ensayo triaxial realizados, se pudo realizar una calibración numérica del modelo Cam Clay. Además, Se realizó un análisis invertido del análisis numérico sobre un caso real de construcción en la ribera del río Paraná. Por otro lado, el comportamiento mecánico de las arcillas con deposición marina del pospampeano se puede reproducir con precisión utilizando el modelo Cam-Clay que ha sido modificado (agregando un componente de viscoplasticidad). Así mismo, los parámetros determinados mediante ensayos de consolidación para muestras de carácter arcilloso, son reproducidos de forma correcta con las simulaciones numéricas (tanto para ensayos de laboratorio, como el caso real estudiado). En otra instancia, el modelo Cam – Clay no puede reproducir el comportamiento mecánico de muestras limosas. Para este caso, se realizó un ajuste sucesivo de los parámetros obtenidos de manera experimental, para lograr un ajuste numérico aceptable. Adicionalmente, se tuvo que usar un valor de permeabilidad – para las muestras arcillosas y limosas – para la calibración del análisis inverso del caso

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

real, el cual resulta muy superior a los valores usados en la calibración numérica de los ensayos de laboratorio. Es por esto que se concluye que este aumento de permeabilidad de campo se debe a la presencia de lente de arena distribuidos de forma errática en los estratos.

2.1.2. Antecedentes Nacionales

Guerrero (2015) analizan los superficies duras y compactadas, para descubrir cómo cambia su volumen cuando se expone a diferentes niveles de contenido de humedad durante la compresión. Para lo cual, se utilizaron muestras de suelos arcillosos de baja y alta plasticidad, logrando clasificar a estos mediante clasificación SUCS. Seguidamente se aplicó el ensayo de Proctor Modificado para determinar la densidad seca máxima y contenido óptimo de humedad del suelo. Así mismo, se realizó ensayos de hinchamiento, se consideró el contenido de humedad óptimo como referencia, y valores de humedad de +1%, +2%, +3%, -1%, -2% y -3%, tomando como referencia la misma. Además, se sumergió las muestras durante 96 horas, logrando registrar de esta manera tiempo vs hinchamiento. De esta forma, se logró registrar el hinchamiento de suelo arcillosos de baja y alta plasticidad, en su intervalo de tiempo respectivo. Del análisis estadístico basado en el modelo de regresión polinomial, se obtuvo que, las variables de humedad de compactación y tiempo explican el 98% de la expansión de suelos arcillosos. Mientras que, el 2% viene referido a otras variables o al error aleatorio. Es importante señalar que los valores más altos de expansión se encontraron en suelos con alta plasticidad (CH) y baja plasticidad (CL) que estaban compactados y tenían niveles de humedad más bajos que el nivel de humedad ideal del suelo. En referencia a que los suelos con humedad menor a la óptima, sus poros son ocupados por aire y encuentran interconectados y expuestos a la presión exterior, lo cual lo hace existir como un estado abierto. Por otro lado, en los suelos con contenido de humedad mayor a la óptima, el aire se encuentra

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

englobado por agua, lo cual resulta a definirse como un estado ocluido. Así mismo, la expansión en estos suelos incrementa con el tiempo, debido a infiltraciones de agua estrechamente relacionadas con la relación de vacíos – el cual resulta inversamente proporcional con el paso del tiempo (Llique Mondragón, 2015). Por último, la tesis concluye que, a mayor humedad menor será la expansión de suelos, debido a que el grado de saturación tiende a 100%, lo cual decanta a eliminar la fase gaseosa como componente de la muestra de suelo.

En Huancayo, Condori (2019) investiga el contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplástico de los suelos y cómo afectaba la cantidad de agua en el suelo simulando el comportamiento de suelos elastoplásticos. El estudio analiza la presencia de fallas, agrietamientos, asentamientos en obras civiles y presencia de nivel freático dominante en la zona. De las 20 muestras como parte de la exploración en campo, se determinó en laboratorio que la humedad oscila entre 13% y 31.43%, con elasticidades de 3.30 MPa a 9.20 MPa, con una relación inversa entre ambos parámetros mencionados. De esta característica intrínseca, se decanta su influencia en los desplazamientos. Por otro lado, se registró un asentamiento máximo de 6.2 cm, el cual se redujo hasta en 32% aplicando columnas de material grueso. Gracias al software Plaxis, aplicando procedimientos estadísticos SPSS y T-Student, se dedujo que, el contenido de humedad influye significativamente en las propiedades de caracterización de suelos y en el comportamiento elastoplástico. Para disminuir el movimiento de los suelos cuando hay heladas, se sugiere utilizar tejas de geometría variada que se mezclan con columnas de roca de lava endurecida con púas. Teniendo en cuenta columnas de 1 m de diámetro y 3 m de profundidad para este estudio.

Rojas (2014) investiga sobre la siimulación del comportamiento esfuerzo deformación de suelos cohesivos empleando el modelo constitutivo Hardning-Soil, para

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

lo cual se detalla la metodología en mención, analizando su comportamiento físico y la obtención de resultados en laboratorio a partir del ensayo triaxial. Así mismo, a partir de muestras en bloque inalterados de suelos cohesivos, aplicando ensayos de comprensión triaxial drenado (CD) y no drenado (DU). A partir de estos, se realizó gráficas esfuerzo – deformación, de las cuales se obtienen los parámetros elastoplásticos características para el suelo en estudio. Seguidamente, se implementa el modelo constitutivo Hardening Soil para calibración de parámetros, de tal manera que se logre la gráfica tenso deformación, de manera eficiente. Un hallazgo del trabajo es la presencia de un ligero desfase (grado de relación alto a muy alto r>0.9), entre las curvas simuladas y las experimentales. Por otra parte, se registra la influencia de la cohesión y el ángulo de fricción en la modelación de las curvas tenso – deformación, concluyendo en 80% para en ángulo de fricción y su incidencia en el esfuerzo de falla, frente al 20% de la cohesión. Además, que la incidencia de estas dos propiedades mecánicas frente a la dilatancia resulta nula, debido a que los suelos en estudio de la tesis tuvieron carácter no dilatante.

2.2. Estado del Arte

Se realiza un análisis de la normativa nacional e internacional relevante para desarrollo de los criterios a emplear para propósito de la presente investigación.

2.2.1. Normativa Internacional

2.2.1.1. Norma USBR (American States Bureau of Reclamation)

Es importante conocer que un suelo fino, o conocido en la norma USBR como suelo dispersivo, es aquel que, por su naturaleza mineralógica y química con el agua, son susceptibles a separación de partículas ocasionando erosión que se observa en grietas en los suelos bajo infiltración de agua (Garay Porteros & Alva Hurtado). Inclusive este fenómeno se da sin efecto de gradientes hidráulicos de flujos de agua (agua en reposo).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 3

Ejemplo de falla por tubificación en una presa, por presencia de suelos dispersivos



Nota: Se muestra un tipo de falla por tubificación en presa, por presencia de suelos dispersivos

Fuente: Garay P. & Alva J. (s.f.)

Estos suelos son ubicados en quebradas profundas y fallas por tubificación de presas. Así como: Erosión en grietas de caminos, erosión tipo túnel en quebradas o arcillas unidas en rocas y cercanos a charcos de agua luego de lluvias (Garay Porteros & Alva Hurtado).

Estos suelos dispersivos no pueden ser identificados visualmente, o con un ensayo índice de laboratorio. Por esta razón se utilizan pruebas químicas como la SAR (Proporción de Absorción de Sodio) y el ESP (Porcentaje Intercambiable de Sodio). Estas determinaciones se hicieron mediante pruebas de laboratorio, como la prueba Crumb (USBR 5400-89), la prueba Hidrómetro Doble (ASTM D 4221-90, USBR 5405-89), y la prueba Pinhole ASTM D 4647-93, USBR 5410-89). (Garay Porteros & Alva Hurtado)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 4

Erosión por tubificación en suelos dispersivos



Nota: Se muestra falla por tubificación en suelos dispersivos

Fuente: Garay P. & Alva J. (s.f.)

El ensayo de Crumb, mencionado en la norma USBR, contempla la colocación de un trozo de suelo en agua, para observar la dispersión como grado de nubosidad del agua, en función a 4 grados referentes al tipo de reacción (Ninguna, ligera, moderada y fuerte) (Garay Porteros & Alva Hurtado).

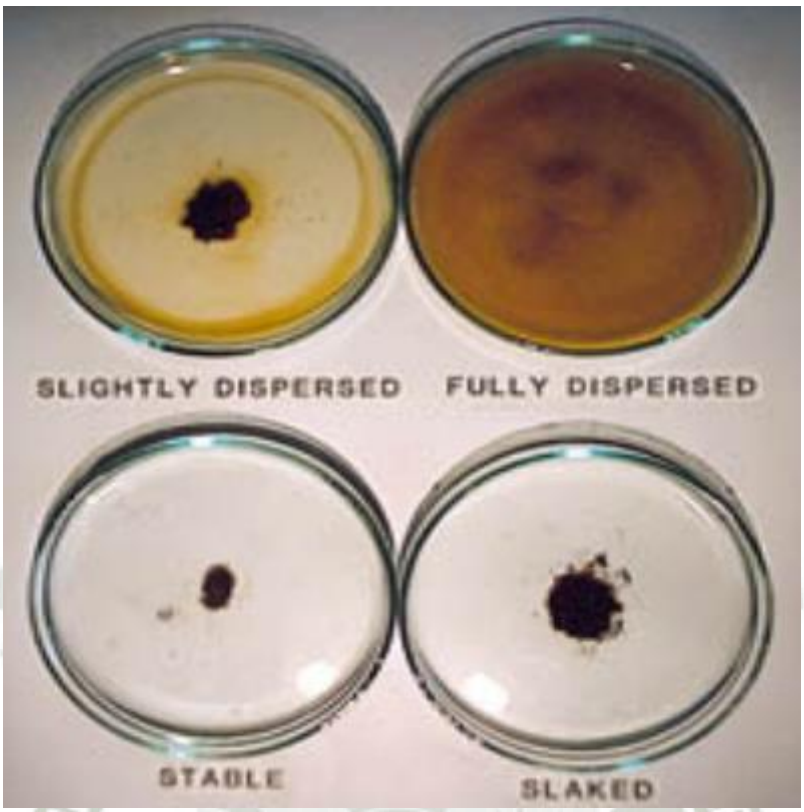
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5

Resultados de ensayo Crumb



Nota: Se muestra resultados de arcillas por ensayo de Crumb

Fuente: Garay P. & Alva J. (s.f.)

Por otro lado, el ensayo de Doble Hidrómetro (USBR 5405 – 89), se aplica dos ensayos con hidrómetro. Siendo conducidos uno con dispersante y otro en su ausencia (Garay Porteros & Alva Hurtado). Siendo la interpretación de resultados regida por la relación: Menor que 30% (no dispersivo), Entre 30 y 50% (Intermedio), mayor que 50% (dispersivo).

Además, la prueba Pinhole (USBR 5410–89) implica hacer un agujero de 1,0 mm en el suelo y el agua puede fluir a través del agar en diferentes condiciones de carga y tiempo. Usando este método para hacer un modelo de una terraza con un agujero en el suelo (Garay Porteros & Alva Hurtado).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Finalmente, cabe mencionar que el investigador Jorge E. Alva Hurtado menciona que existe una buena correlación entre los ensayos de Crumb y Pinhole, dispuestos por la Normativa USBR. Así también, que es recomendable aplicar Pinhole en condición de flujo hidráulico de agua, y el ensayo de Crumb bajo situaciones con agua en estado de reposo (Garay Porteros & Alva Hurtado).

2.2.1.2. Norma ASTM (American Society for Testing and Materials)

La Norma ASTM, permite caracterizar una arcilla, mediante los ensayos de muestreo manual por cono y cuarteo (ASTM C 702). Y como análisis granulométrico de la muestra arcillosa (ASTM D 422 – 63). Seguidamente, determinación del Límite Líquido y Plástico de la arcilla aplicando la metodología de Atterberg (ASTM D 4318 – 10), y la determinación de la gravedad específica de la arcilla (ASTM D854 – 14).

Por otra parte, es posible determinar propiedades físicas de las arcillas, gracias a la norma ASTM C20-00, las cuales son: Porosidad aparente, absorción de agua, gravedad específica aparente y densidad aparente (Zuluaga Castrillón, y otros, 2016).

2.2.1.3. Norma UNE (Normalización Española)

Es una entidad referida al desarrollo de normativas y certificaciones en sectores industriales y de servicios, que tiene como objetivo la difusión de normas técnicas y su difusión en España (une.org, s.f.). Así mismo, otorga certificaciones AENOR, los cuales son muy valiosos en el ámbito internacional, emitiendo certificados en más de 60 países (une.org, s.f.). A través de sus catálogos, ofrece libros técnicos, libros electrónicos, revistas y otros documentos. Las áreas que desempeña son (une.org, s.f.): Calidad, seguridad alimentaria, gestión ambiental, desarrollo sostenible, energía y cambio climático, seguridad en el trabajo, tecnologías de información y recursos humanos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

(une.org, s.f.). Así mismo, a través del comité CTN 77 contempla especificaciones para el desarrollo de estudios de suelos.

2.2.1.4. Otras metodologías para caracterización de arcillas

Existen diversos procedimientos para ahondar en el desarrollo de caracterización de arcillas. Siendo uno de esto la difracción laser utilizando agua como dispersante, junto con equipo Mastersizer 2000 Ver. 5.60, junto con accesorio Hydro 20000S (A) (Zuluaga Castrillón, y otros, 2016).

Así mismo, se podría cuantificar la composición química de arcillas mediante técnica de fluorescencia de Rayos X (FRX). Así como la identificación de fases cristalinas existentes en arcillas mediante la técnica de difracción de rayos X (DRX), utilizando para este último el equpo ARL OPTIM'X – 211. Otro inclusive como fuentes de radiación para análisis DRX, análisis termogravimétricos y termodiferenciales (TGA/DTA) utilizando equipo SDT Q600 V20.9 Build 20 (Zuluaga Castrillón, y otros, 2016).

Para la interpretación de resultados, es posible utilizar softwares. Siendo uno de estos "X'per HighScore", "MAUD" (Software de distribución libre) (Zuluaga Castrillón, y otros, 2016).

2.2.2. Normativa Nacional

2.2.2.1. Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018

El presente manual en el Capítulo IX – Estudios de Ingeniería Básica, define que se deberán efectuar trabajos en campo, laboratorios y gabinete para evaluar y establecer las características físico-mecánicas de los suelos de fundación, contemplando lo siguiente: Perfil estratigráfico luego de efectuar las prospecciones en campo (representará los tipos de suelos y características físico – mecánicas, espesor de estratos, nivel freático y otros detalles), Estudios geotécnicos y geográficos por si hay variaciones o formas de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

evitar problemas, Estudios para conocer las propiedades físicas y mecánicas de los materiales que se utilizarán en la Obra (Cantera y fuentes de agua) (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018).

Por otro lado, el manual habla de lo importante que es contar con un diseño hidráulico para obras de drenaje, teniendo en cuenta: régimen hidráulico; justificación de obras de drenaje superficial y subterráneo; y evaluación del estado de las obras de drenaje existentes (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018).

Además, al evaluar la estabilidad de los taludes, es importante tener en cuenta pruebas convencionales y específicas (Dirección General de Caminos y Ferrocarriles, 2018), como la clasificación del suelo, los límites de Atterberg, el contenido de humedad, el ensayo de corte directo, las pruebas triaxiales, entre otros.

2.2.2.2. Manual de Carreteras: Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos – Sección Suelos y Pavimentos

En el Capítulo IV se detallan los pasos sobre cómo encontrar y clasificar los tipos de suelos que se utilizarán para la construcción de pavimentos en las carreteras peruanas (Manual de Carreteras, 2014). Para lo cual desarrolla la normativa para la exploración de suelos y rocas, que se establecen en las normas MTC E101, MTC E102, MTC E103, MTC E104 (los cuales recopilan la información de AASHTO y ASTM).

El espaciamiento entre puntos de exploración para trazos de vía, oscila entre 250 m y 2000 m, pudiendo estás más próximo en situaciones especiales como: Cambios de topografía en zona de estudio, naturaleza de suelos (de forma errática o irregular), identificación de suelos insuficientes o inadecuados, zonas con soporte para terraplén de altura mayor a 5m, zonas donde la rasante se ubique muy próxima a terreno natural, zonas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de corte donde su ubican los cambios de corte a terraplén o viceversa (Manual de Carreteras, 2014).

Por otro lado, el Manuel menciona que, para los perfiles estratigráficos, los espesores no deberán ser menores a 1.50m.

En número de calicatas para caracterización de sub rasante queda descrito según el cuadro 4.1 del mencionado manual. Así mismo, indica que la profundidad de pozos exploratorios o calicatas, será no menor a 1.50m. Por otro lado, para proyectos en estudios de prefactibilidad o factibilidad, el espaciamiento de calicatas será cada 2km en vez de 1km referido a la tabla 4.1. Para estudios a nivel de perfil, el espaciamiento de calicatas será a razón de 4 a 1 por km. Así mismo, el manual menciona que para carreteras menores a 500m, en número de calicatas será a razón de la mitad, según lo dispuesto en el cuadro 4.1 de la norma (Manual de Carreteras, 2014).

Finalmente, la norma refiere la importancia de la identificación de suelos orgánicos, expansivos, nivel freático, rellenos sanitarios. En estos casos, las calicatas deberán ser más profunda. Además, se deberá contemplar estudios geotécnicos de estabilidad y asentamiento mediante a presentación de un Informe Técnico (IT) (Manual de Carreteras, 2014) (Para este caso, se deberá asegurar estabilidad volumétrica, resistencia, permeabilidad, compresibilidad y durabilidad).

Por otro lado, para la descripción de suelos, el Manual aplica signos convencionales utilizados en AASHTO y SUCS, los que se muestran en el cuadro 4.3 y 4.4. Así mismo, refiere las propiedades fundamentales de un estudio de suelos, las cuales son (Manual de Carreteras, 2014): Granulometría, Plasticidad, Equivalente de Arena, Índice de Grupo, Humedad Natural, Clasificación de los Suelos (según AASHTO y SUCS), ensayos CBR, ensayos de Módulo Resiliente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Finalmente, el Manual presenta una lista de ensayos de laboratorio a efectuarse de forma básica y complementaria (Manual de Carreteras, 2014), según sea el tipo de suelo encontrado en los pozos exploratorios.

2.2.2.3. Manual de Puentes

En el referido Manual, se contemplan los alcances referidos a los estudios geológicos y geotécnicos para la construcción de un puente y menciona que:

Para los estudios geológicos, se analiza la información existente y la descripción de la geología regional y local, la descripción de la geomorfología, la zonificación geológica del área, la definición de las propiedades físicas y mecánicas de los suelos y/o rocas, la definición de áreas donde se producen erosión, huaycos y aluviones han ocurrido en el pasado y podrían ocurrir en el futuro, sugiriendo materiales de construcción, identificando y caracterizando caídas geológicas, y más (Viceministerio de Transportes, 2017).

Así mismo, como parte de los estudios geotécnicos se incluyen:

Ensayos de campo en suelos y/o rocas; pruebas de laboratorio en muestras de suelo y/o rocas; describir las condiciones del suelo; estratigrafía e identificación de estratos; definir tipos y profundidades de cementación; realizar ensayos complementarios con refracción sísmica o comprobar excavaciones; y dando resultados y sugerencias sobre especificaciones de construcción y obras de protección (Viceministerio de Transportes, 2017).

Por otro lado, se definen los ensayos en suelos y rocas (en campo y laboratorio) para realizar, según la tipología del proyecto (Viceministerio de Transportes, 2017).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Además, el manual menciona la interrelación de los estudios sobre la geomorfología con los estudios hidrológicos, para tratas la influencia de socavación y subpresión en el diseño (Viceministerio de Transportes, 2017).

2.2.2.4. Reglamento Nacional de Edificaciones. Norma E.050 Suelos y Cimentaciones

La Presente Norma referida a Edificaciones contempla las disposiciones generales acerca del Estudio de Mecánica de Suelos, sus alcances y la aplicación de la Norma (SENCICO, 2020).

En el Capítulo IV, "Problemas Especiales en Cementación", se explica qué son los suelos "colapsables" y por qué necesitan ser estudiados (Determinación de la plasticidad del suelo según NTP 339.129:1999, determinación del peso volumétrico NTP 339.139. 1999, ensayo de humedad NTP 339.127:1998). El objetivo es descubrir la probabilidad de que colapsen en función de su LL y su peso seco (SENCICO, 2020).

Una vez determinado que el suelo es potencialmente colapsable, se debe verificar la existencia de la misma característica, a partir den ensayo normalizado para la medición del potencial de colapso de suelos NTP 339.163 (SENCICO, 2020). La norma menciona que las muestras deberán ser obtenidas de pozos a cielo abierto bajo condición inalterada (muestra tipo Mib) (SENCICO, 2020). Seguidamente, de deberá definir el Índice de Colapso y se deberá comparar el resultado mediante los grados de colapso, según la tabla 10 de la mencionada norma. Si el colapso es mayor a 6, el PR (Profesional Responsable) deberá formular las recomendaciones correspondientes.

Cabe mencionar importante que, el manual prohíbe la cimentación de estructuras sobre suelos colapsables con Ic mayor a 6. Por ello, se deberá plantear el reemplazo del

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

suelo colapsable, con rellenos controlados compactados según el numeral 25.4 de la mencionada norma (SENCICO, 2020).

Por otro lado, el manual indica:

La obligatoriedad de estudios cuando se registre nivel freático, los cuales son: Ataqué químico por suelos y aguas subterráneas. Refiere el manual que se deberá seguir las indicaciones de la norma NTE E.060 Concreto Armado, si existiera napa freática o posible contenido de sales en la zona activa de la cimentación (SENCICO, 2020).

Seguidamente, se refiere el manual al ataque ácido, ataque por sulfatos y ataque por cloruros, y su normativa de ensayos (NTP 339.074, NTP 400.014, NTP 339.076) (SENCICO, 2020).

Finalmente, el manual hace mención a los suelos expansivos y licuables.

a. Normativa E.030 diseño sismorresistente RM-43-2019-VIVIENDA:

Define las consideraciones sísmicas para el diseño de edificaciones y conceptos como peligro sísmico, categoría, sistema estructural y regularidades en edificaciones, análisis estructural, requisitos de rigidez resistencia y ductilidad, consideraciones para el diseño de elementos no estructurales, cimentaciones, reforzamiento de estructuras, y mapa de zonificación sísmica del territorio peruano (Dirección de Construcción, 2019).

Resulta importante comprende que, los suelos finos como son conocidos en las normas USBR de la manera suelos dispersivos, son aquellos que por su naturaleza mineralógico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 6

Caracterización de suelos Dispersivos en la región occidental del Paraguay



Nota: La figura muestra suelos dispersivos en Paraguay

Fuente: Atilio C. (2015)

b. Normativa E.050 Suelos y Cimentaciones

La presente norma detalla las disposiciones generales para el Estudio de Mecánica de Suelos (INDECI, 2020). Dentro del cuerpo de la normativa, en el capítulo I establece las disposiciones generales, alcance, obligatoriedad de ensayos y responsabilidades referidas al EMS. EN el capítulo II, establece los estudios y diferenciación entre ITS (Informe técnico de Suelos) y EMS (Estudio de Mecánica de Suelos) (INDECI, 2020). Así también, en el capítulo III, establece las condiciones de cimentación, en donde detallas las cargas que se utilizarán, asentamientos generales y tolerantes, capacidad de carga, factores de seguridad frente a falla por corte y criterios para presiones admisibles. Seguidamente en el capítulo IV, cimentaciones superficiales, se define suelos no permitidos para apoyar cimentaciones, rellenos, alcances para determinar la profundidad de cimentación, presiones admisibles, cargas excéntricas en cimentación, cargas inclinadas y cimentaciones superficiales en taludes o cercanía A continuación, en el capítulo V; se definen los criterios para cimentación profunda mediante pilotes, pilares y cajones de cimentación. Finalmente, en el capítulo VI se detallan los problemas especiales de cimentación, que corresponde a suelos colapsables, ataque químico por suelos y aguas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

subterráneas, suelos expansivos, licuefacción de suelos y sostenimiento de excavaciones (INDECI, 2020).

2.3. Marco teórico

Se describe la teoría estrechamente vinculada con los objetivos de la investigación.

2.3.1. Caracterización de suelos arcillosos y limosos

Conocer el suelo que afecta a cualquier obra civil es muy importante para predecir cómo se comportará en el futuro, tanto durante como después del proceso constructivo, y evitar imprevistos que puedan ocurrir. Todas las obras se a olan en el suelo de alguna manera, y algunas (diques, terraplenes, presas de tierra, carreteras, etc.) lo usan como material para construir. Tiene sentido pensar que no todos los terrenos reaccionarán de la misma manera ante las mismas condiciones que le impone una edificación o un bien, el medio ambiente. Esto se debe a que existen diferentes tipos de dunas de arena, cada una con su propia estructura, historia, composición y raíces geológicas. Hay algunos suelos que necesitan una revisión especial antes de iniciar un proyecto porque cambiar las condiciones del terreno puede tener efectos negativos, como expandir o colapsar los suelos.

En las normas UNE-EN ISO 14688-1 y 14689-1, el suelo se define como la combinación de partículas minerales y/o materia orgánica depositadas, con mayor o menor contenido mineral o de origen orgánico, que pueden separarse fácilmente mediante un proceso mecánico y que contienen cantidades variables de agua y aire. A partir de esta descripción, podemos identificar tres componentes que nos permiten comprender el comportamiento físico del suelo en su totalidad y analizarlo a través de un modelo tridimensional, tal como se ilustra en la Figura 4. Las fases son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

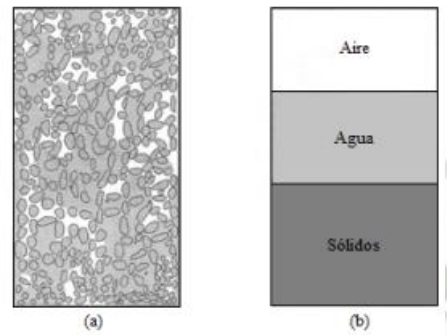
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Partículas de suelo en fase solida
- El agua que esta en los vacíos, la cual conforma la fase liquida
- El aire que esta en los vacíos, la cual conforma la fase gaseosa

Figura 7

Elemento de suelo en estado natural (a) y Modelo trifásico del elemento de suelo (b)



Nota: Se muestra los componentes del suelo (modelo trifásico)

Fuente: (Zapata, 2018)

2.3.1.1. Origen y formación

A medida que se forman los suelos, se considera que los procesos de los meteoritos, tanto físicos (desagregación) como químicos (alteración), tienen un efecto sobre la roca madre. Después de eso, los productos de la contaminación de los meteoritos pueden ser transportados por fuerzas naturales, desgastando las rocas de la superficie de la corteza terrestre. Estos materiales se depositarán más tarde y el propio terreno se solidificará mediante una serie de procesos naturales. Edafogénesis es el proceso de formación del suelo. Los fenómenos que influyen en este proceso son el clima, la topografía, la acción biológica, la composición litológica y el tiempo en que todos ellos actúan (Figura 2.1). Como resultado de estas acciones debemos saber que el proceso de separación producirá grava, arena o limos, ya que para formar las arcillas se necesitan cambios químicos. Después del impacto del meteorito, el suelo que se creó puede

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

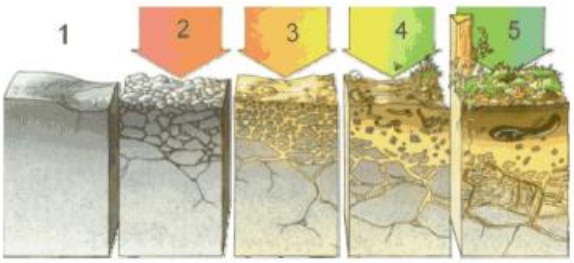
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

permanecer en un lugar (suelo residual) o ser movido por medios naturales como el aire y el agua.

Figura 8

Proceso de formación de los suelos



(1) Roca madre; **(2)** Acción mecánica; **(3)** Acción química; **(4)** Acción biológica; **(5)** Acción conjunta mecánica-química-biológica.

Nota: La figura muestra un proceso de formación de suelos

Fuente: (Zapata, 2018)

2.3.1.2. Clasificación de suelos

Un sistema de clasificación general nos brinda una manera de hablar rápidamente sobre las características generales de las dunas de arena, que son infinitamente diferentes y no es necesario describirlas en detalle. Para ello, agrupa las dunas de arena con otras que tienen propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas similares.

Podemos diferenciar los siguientes tipos de suelos en función del tamaño de las partículas:

Tabla 1. Clasificación de suelos según el tamaño de partículas

Clasificación de suelos según tamaño de partículas	
Gravas	Limos
Arenas	Arcillas

Fuente: (Zapata, 2018)

Como prometí, aquí hay una tabla comparativa (Tabla 3) que muestra cómo se clasifican los suelos según el tamaño de sus partículas individuales, según la norma IRAM

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

10535, del Instituto Tecnológico de Massachusetts y la ASTM D3282–93/97 o VN. – Sistemas E4–84 (H.R.B.) y SUCS (Sistema Universal de Clasificación de Suelos).

Tabla 2. Clasificación de suelos según tamaños de sus partículas (medidas en mm)

	Norma IRAM 10535	**MIT**	**SUCS**	**ASTM D3282 – 93/97**
Gravas	5 a 75	> 2	4.75 a 75	2 a 75
Arenas	0.075 a 5	0.06 a 2	0.075 a 4.75	0.075 a 2
Limos	< 0.075	0.002 a 0.060	< 0.075	< 0.075
Arcillas		< 0.002		

Fuente: (Zapata, 2018)

Figura 9

Diferentes muestras de tipos de suelos



Nota: La figura muestra tipos de suelos

Fuente: (Zapata, 2018)

A su vez, estos podrían clasificarse en dos grandes grupos: suelos densos y suelos finc

Algunas de las diferencias más importantes entre suelos graníticos y graníticos finitos

enumeran a continuación (Tabla 3):

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 3. Diferencias entre suelos gruesos y suelos finos

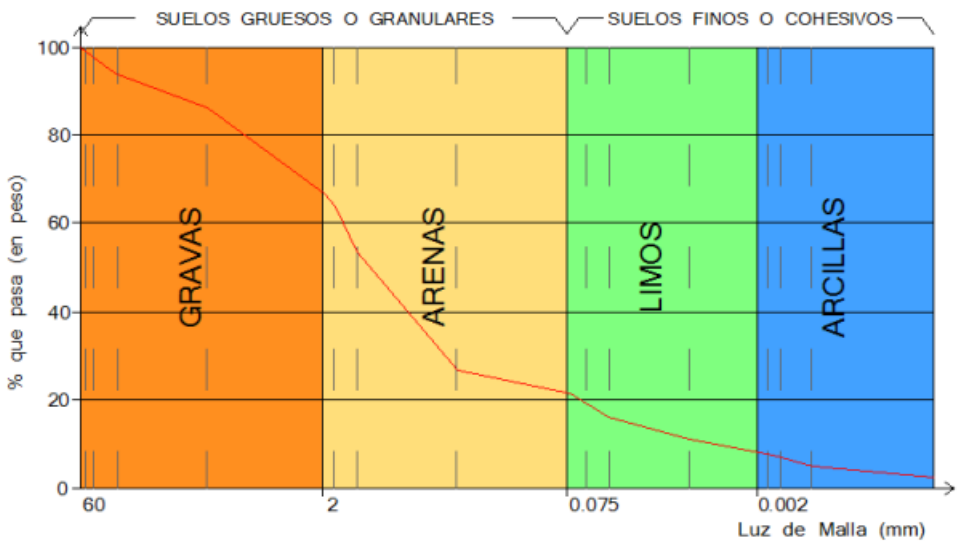
Suelos gruesos (> 1mm)	**Suelos finos (<1mm)**
Sus partículas componentes son visibles a simple vista	Sus partículas componentes no son visibles a simple vista
La forma de las partículas puede ser angular o redondeada	La forma de las partículas puede ser laminar, angular o redondeada
No poseen minerales arcillosos	Pueden poseer minerales arcillosos
Suelos no cohesivos	Suelos cohesivos
Muy alta permeabilidad: $k > 10^{-2}$ cm/seg	Permeabilidad: Alta (arenas finas), media a baja (limos), muy baja o nula (arcillas)$k < 10^{-2}$ cm/seg
El tamaño de los vacíos es mayor, pero el volumen total de vacíos es menor: e < 0,85	El tamaño de los vacíos es menor, pero el volumen total de vacíos es mayor: arcilla blanda e > 1,2; montmorillonita e > 5
Si se aplica una sobrecarga importante, el asentamiento del suelo es instantáneo	Si se aplica una sobrecarga importante, se tienen asentamientos diferidos en el tiempo

Fuente: (Zapata, 2018)

Debe utilizar el método de sedimentometría para observar cómo se distribuyen las partículas finas de una fracción del suelo (partículas menores a 0,075 mm). Se utilizan tamizado (vía seca) y/o vía húmeda para conocer la distribución de la fracción gruesa. Se pueden crear curvas utilizando los porcentajes de peso que pasan por cada tamiz una vez que se han completado ambos pasos. Por ejemplo, la Figura 10 ilustra cómo se distribuyen granulométricamente los diversos tipos de suelo, lo que nos permite distinguir los distintos tamaños de partículas.

Figura 10

Curva granulométrica de un suelo



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Nota: La figura muestra la granulometría de los distintos tipos de suelos

Fuente: (Zapata, 2018)

Existe una gran diferencia entre la forma de las partículas en la masa de un suelo y cómo se distribuyen en términos de tamaño porque ambas tienen un gran efecto en las propiedades físicas de un determinado suelo. En general, la forma de la partícula se puede dividir en tres grupos importantes:

- Voluminosa: puede ser angular, subangular, subredondeada y redondeada.
- Escamosa o laminar: tienen baja esfericidad (minerales de arcilla).
- Nodulosa: son mucho menos comunes que los otros dos tipos (ejemplo: depósitos de coral).

Debido a esto, podemos hablar de dos parámetros importantes que nos ayudan a describir la forma de una partícula de suelo:

- Esfericidad: te dice qué tan cerca está la partícula de una elipse del mismo volumen

$$S = \frac{r_{máx}}{r_{mín}}$$

Dónde: $r_{máx}$ es el radio máximo de la partícula y $r_{mín}$ es el radio mínimo de la partícula.

- Redondez: Una forma de describir lo enojados que están los aristas y ángulos.

$$R = \frac{\sum r_i / N}{r_{máx}}$$

Donde: r_i radio i de la partícula, N es cantidad de radios medidos de la partícula y $r_{máx}$ es el radio máximo de la partícula.

Como se puede ver en la siguiente imagen (Figura 11), hay ejemplos de diferentes formas de partículas en función de su esfericidad y redondez.

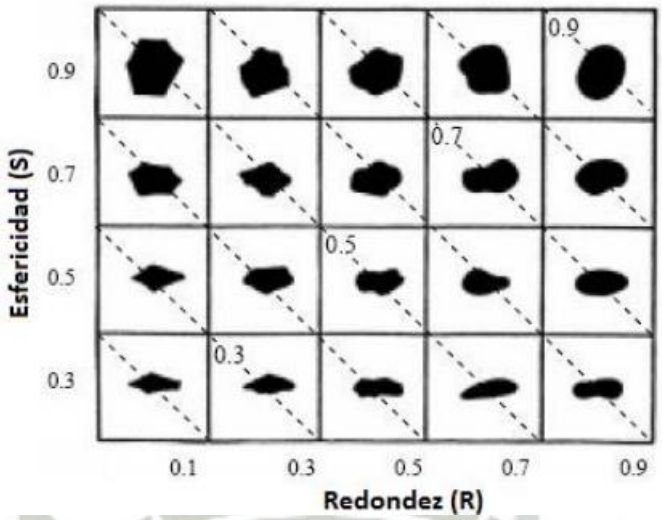
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 11

Carta de esfericidad y redondez (líneas diagonales corresponden a partículas de regularidad constante)

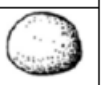


Nota: La figura muestra la carta de esfericidad y redondez para suelos

Fuente: (Zapata, 2018)

Los valores más bajos indicarán partículas muy angulares y los valores más altos indicarán partículas bien redondeadas, dependiendo del valor de la ecuación (3.1). La partícula sería un círculo perfecto si R = 1. La Tabla 4 muestra lo mismo.

Tabla 4. Clasificación según el valor del coeficiente de redondez R

Redondez	$R < 0,17$	$R \approx 0,20$	$R \approx 0,30$	$R \approx 0,35$	$R \approx 0,50$	$R \approx 0,70$
Descripción	Muy Angular	Angular	Subangular	Subredondeada	Redondeada	Bien-Redondeada
Imagen						

Fuente: (Zapata, 2018)

2.3.1.3. Suelos finos

- Arcillas

Arcillas son cualquier sedimento o depósito mineral que se forma de partículas muy pequeñas, más de 0,002 mm de tamaño, y que son más de 50% silicatos de aluminio hidratados. Se caracterizan por ser flexibles cuando están mojados y por su sonido y

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

durabilidad cuando se calientan por encima de 800°C. As según se había dicho, surgen de las alteraciones físicas y químicas, principalmente por el agua, de minerales que provienen de otras rocas existentes (feldespatos, piroxenos y micas), estableciendo los "minerales de la arcilla" dependiendo de qué roca se altera y en qué grado. No existe un solo material compuesto simple llamado arcilla; hay muchos de ellos con orígenes y marcas muy diferentes. Para darte un ejemplo, en la Figura 9 puedes ver muestras de arcilla con gamas de colores completamente diferentes. En este se muestran las diferentes composiciones desde un punto de vista visual.

Figura 12

Muestras de arcillas de distintos colores



Nota: La figura muestra arcillas de distintos colores

Fuente: (Zapata, 2018)

- Composición cristaloquímica

Existe un grupo específico de minerales llamados silicatos al que pertenecen las arcillas. Se encuentran en el grupo de los filosilicatos, que también se conoce como silicatos en hojas (Figura 10). Su estructura se puede entender juntando hojas tetraédricas (T) y octaédricas (O). Es importante señalar algunos puntos lingüísticos importantes:

- Plano atómico: Son aquellas superficies que comprende alineaciones de átomos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

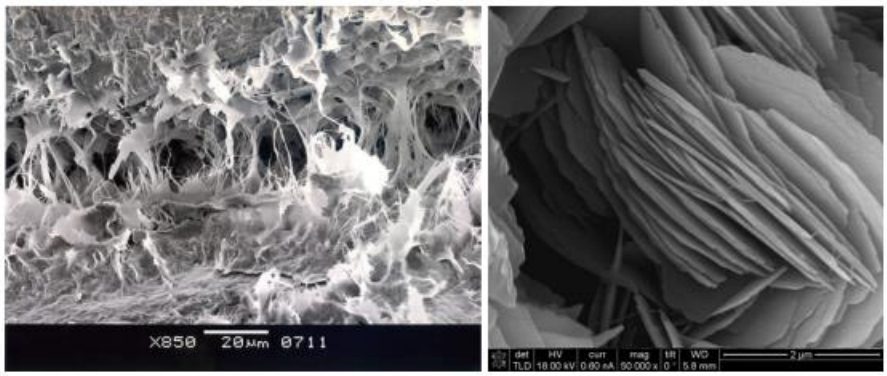
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Hojas: Montón de planos atómicos determinado por la presencia de unidades estructurales básicas

- Laminas: hacinamiento de varias hojas

Figura 13

Imágenes microscópicas de distintos suelos arcillosos, illita (izquierda) y montmorillonita (derecha)



Nota: La figura muestra imágenes microscópicas de suelos

Fuente: (Zapata, 2018)

Una hoja tetraédrica está formada por una disposición bidimensional de tetraedros de SiO_4^{-4}, compartiendo tres de los cuatro átomos de oxígeno que tienen y formando casquetes infinitamente largos, en los que los tetraedros se extienden formando hexágonos. Existe la posibilidad de que el silicio tetraédrico pueda ser, sustituido por Al^{3+} o Fe^{3+}.

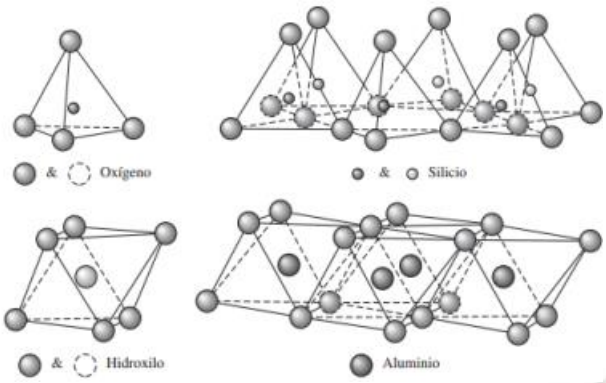
Una hoja gibbsita es una hoja octaédrica que generalmente se compone de un conjunto de octaedros de Al06. Aunque el Al3+ puede ser reemplazado ocasionalmente por Mg2+ (hoja de brucita), Fe2+ o Fe3+, y más raramente por Li, Cr, Mn, Ni, Cu o Zn. La Figura 14 muestra ambas estructuras.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 14

Estructuras fundamentales de las arcillas (tetraedro de sílice y octaedro de alúmina)



Nota: La figura muestra tipologías de estructuras de arcillas

Fuente: (Zapata, 2018)

Los oxígenos de los tetraedros que no se compartían (oxígenos apicales) y los grupos (OH) de la capa brucítica o gibsítica forman el plano de unión entre las dos capas.

Todas las conexiones establecidas entre el oxígeno (OH) y los cationes son covalentes, lo que significa que no se pueden romper fácilmente a menos que se agregue mucha energía para rompr la conexión. Del otro lado del cabo de ocho lados puede ocurrir una unión similar, dando lugar a las siguientes combinaciones:

- Dos capas: Hoja tetraédrica más octaédrica se denominan bilaminares, 1:1 o T-O
- Tres capas: hoja octaédrica y dos tetraédricas, se denominan trilaminares, 2:1 o T-O-T (Figura 15)

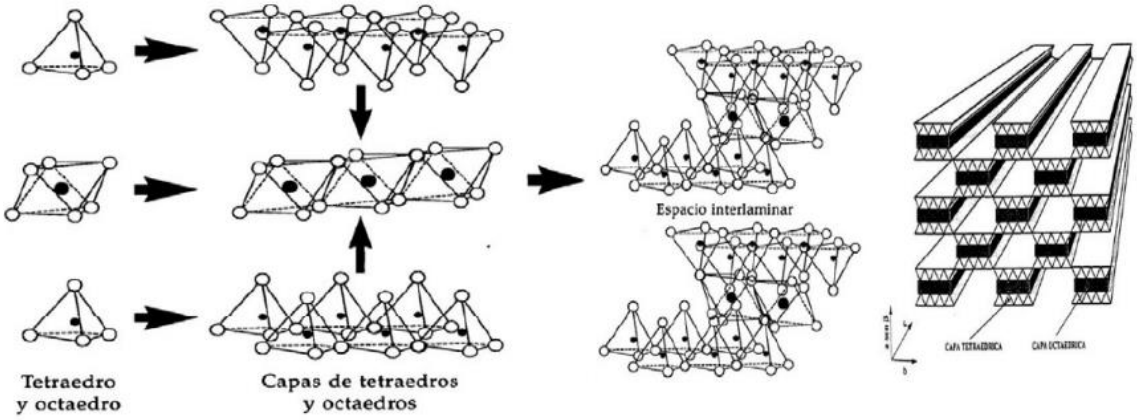
Una lámina es un conjunto formado por una cápsula de ocho lados y una o dos cápsulas de cuatro lados unidas entre sí. Como resultado, las fuerzas que conectan las diferentes unidades estructurales son más débiles que las fuerzas que existen entre los iones de una misma capa, por lo que hay una clara dirección de exfoliación que discurre paralela a las capas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 15

Combinación de láminas T - O - T formando una partícula de arcilla



Nota: La figura muestra combinación de estructuras en partículas de arcillas

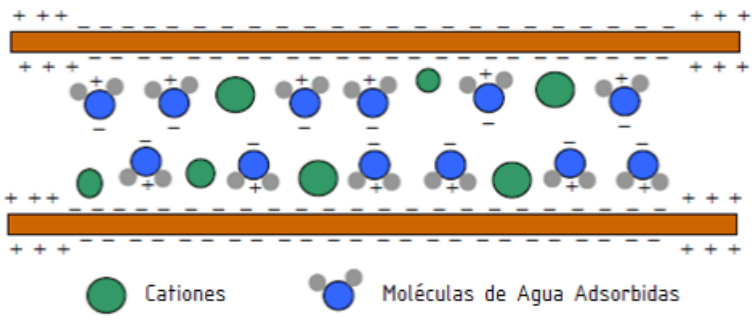
Fuente: (Zapata, 2018)

Como resultado de la estructura en capas de las partículas de arcilla, se crea una gran superficie, que es igual a la suma de las superficies de todas las partículas que entran en un gramo de material seco. Esta superficie crece significativamente a medida que disminuye el tamaño de las partículas.

Como resultado, esta característica hace que las fuerzas electromagnéticas presentes en la superficie de los minerales tienen una gran influencia en cómo se comportan. Las cargas negativas se encuentran en los puntales del laminado de arcilla y las cargas positivas alrededor de ellos (Figura 16)

Figura 16

Ubicación de cargas negativas y positivas en la superficie de la partícula de arcilla



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Nota: La figura muestra la distribución de cargas en superficie de arcillas

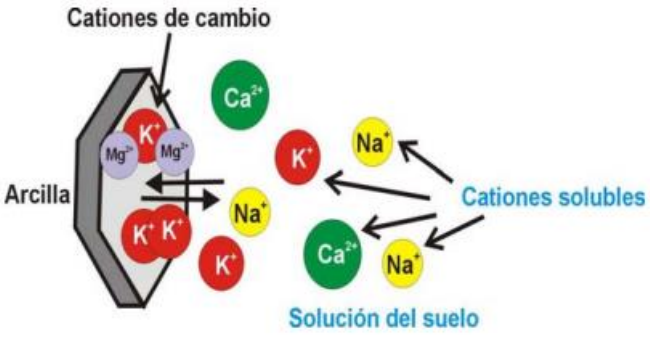
Fuente: (Zapata, 2018)

Esto se debe a que los bordes tienen conexiones rotas o los átomos de Si o Al han sido sustituidos por otros con valores inferiores. Un reemplazo en la familia octaédrica de Al por Mg o Fe^{2+}, producirá demasiadas cargas negativas, lo que hará que la capa superior de oxígeno de los tetraedros recoja una carga que habilite que los cationes se peguen entre sí. Si además se producen reemplazos de Si^{4+} por Al^{3+} en los tetraedros, la carga negativa, y por lo tanto la cantidad de atracción de cationes aumentará aún más. A medida que la superficie aumenta, las fuerzas eléctricas se harán más fuertes en relación con el peso, y la capacidad de cambiar entre cargas catiónicas y eléctricas también será más fuerte.

La capacitancia de intercambio capilar (CEC) es un proceso reversible y dinámico que ocurre en la superficie de las partículas. Esto sucede porque las partículas en el suelo no están eléctricamente equilibradas. Como resultado, las partículas con mayor carga por unidad de superficie son las que están más activas. Se puede considerar como la suma de todas las partículas cargadas que un elemento puede contener a un determinado pH. Es lo mismo que medir la carga negativa total del mineral (Figura 17)

Figura 17

Intercambio catiónico en la superficie de una arcilla



Nota: La figura muestra el comportamiento catiónico en arcillas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Fuente: (Zapata, 2018)

Dado que hay cargas eléctricas negativas en las partículas del suelo, tiene sentido que los suelos con una superficie más específica (SE) puedan cambiar más. Se puede ver más de esto en la Tabla 6:

Tabla 5. CEC de distintos tipos de arcillas

Arcilla	**CEC** $[meq/100g]$	**SE** $[m^2/g]$
Caolinita	2 – 5	15
Halloysita	10 – 50	60
Illita	10 – 50	50
Montmorillonita	80 - 200	80 - 900

Fuente: (Zapata, 2018)

Cuando una arcilla entra en contacto con agua, se formarán moléculas de agua alrededor de sus partículas. Esto se debe a que las moléculas de agua son neutras, por lo que se adherirán a la capa superior cargada negativamente de la arcilla mediante una conexión de hidrógeno. Esta capa de agua alrededor de la partícula se llama agua adsorbida. Su viscosidad es mayor que la del agua libre y tiene un espesor entre los 10 Å y los 100 Å. Esta capa está directamente relacionada con la plasticidad del suelo (su capacidad de sufrir deformaciones permanentes sin romperse y manteniendo su volumen constante) y es muy difícil de eliminar. En la fase líquida, habrá cationes presentes junto con el agua. Esto significa que habrá una concentración de cationes y agua dipolar alrededor de las partículas, creando lo que se llama una "doble capa difusa". Estos no están distribuidos uniformemente; más bien, son más densos cerca de la superficie de la partícula (Figura 18).

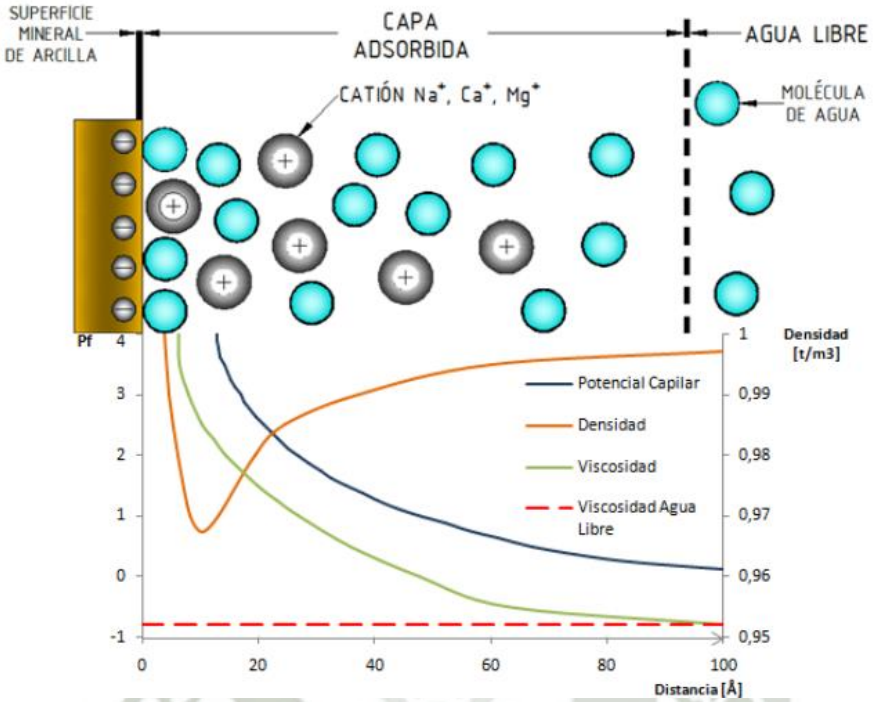
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 18

Distribución y concentración de iones entre partículas de arcilla



Nota: La figura muestra una distribución y concentración de iones en partículas de arcilla

Fuente: (Zapata, 2018).

En la Tabla 7 se muestran los grupos arcillosos más comunes que se encuentran en la naturaleza, explicando sus principales diferencias en cuanto a su procedencia y sus propiedades físicas y químicas. Hay diferentes formas de determinar qué tipo de arcilla se está estudiando. En los laboratorios se utilizan muchos métodos empíricos tradicionales. Algunos ejemplos son las pruebas de granulometría, los límites de Atterberg, el equivalente a una prueba de arena, y otros. Estos métodos están bien definidos teóricamente, pero tienen algunos problemas a la hora de relacionar directamente las propiedades físicas y químicas de las partículas. A continuación se muestran algunos más específicos:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

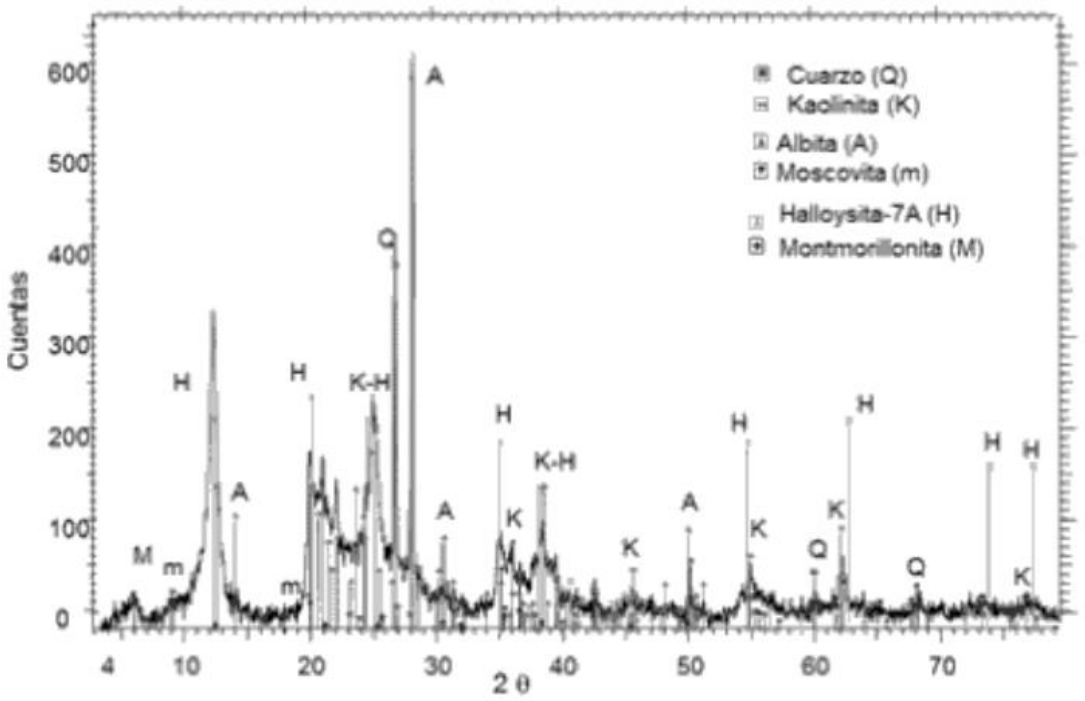
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Visualización de partículas mediante microscopio electrónico
- Difracción de RX: Se ataca una muestra con rayos X y a partir de los resultados gráficos obtenidos, se cuenta las veces que se repite un ángulo de difracción, el cual es función de los minerales presentes. Se presenta un ejemplo en la Figura 19.

Figura 19

Difractograma resultante de un ensayo DRX



Nota: La figura muestra un difractograma de ensayo DRX

Fuente: (Zapata, 2018)

- Ensayo de Azul de Metileno (AM): La "Mancha de Azul de Metileno" está detallada según las normas UNE-EN 933–9. Las tesis están destinadas a descubrir las propiedades geométricas de los áridos. Parte 9: Evaluación de las aletas. Carta del sol azul de metileno. Basado en reacciones químicas desencadenadas por la presencia de demasiada carga eléctrica negativa en las partículas de arcilla y la capacidad de que se produzca un intercambio iónico irreversible entre la parte catiónica de la arcilla y los cationes en la solución a base de agua del tinte azul de metileno que desmoronarse cuando se mezcla con agua. El valor de azul (VA) es la cantidad de metileno azul que pueden

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

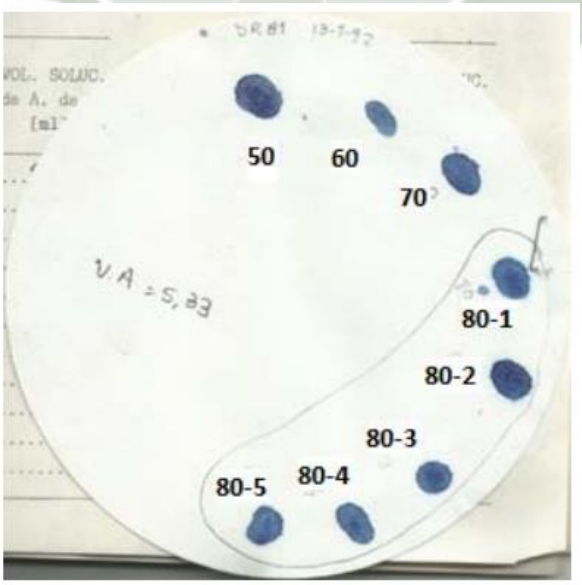
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

absorber 100 gramos de higos secos en 200 cm³ de agua destilada. 10–20 g del material de estudio seco que había sido pesado y pasado por el tamiz IRAM 200 son agregados a 200 ml de agua destilada. Se deja humidificar por 2 horas y se homogeneiza con un agitador magnético. Después de eso, se agregaron pequeñas cantidades de solución de azul de metileno a la muestra de suelo que estaba suspendida en agua. Después de unos minutos, se toma una gota de cada dosis y se coloca en papel de filtro Whatman 42 o algo similar para comprobar qué tan bien la muestra de suelo absorbe la solución colorante. Si la marca no tiene aura, se agrega más solución y el proceso se repite hasta que aparece un aura. Al cabo de unos minutos se saca una gota y se pone sobre el papel de filtro. Si la mancha tiene un anillo con un borde azul claro, se termina el experimento (el azul metálico ha reemplazado al catión en la doble capa difusa y ha cubierto toda la superficie material de la arcilla), y se registra el costo de la solución. Si la aureola desapareció se añade la mitad de la solución del paso anterior. Esto se hace una y otra vez hasta que la aureola quede en dos extracciones de gota (Figura 20)

Figura 20

Ejemplo de ensayo de azul de metileno



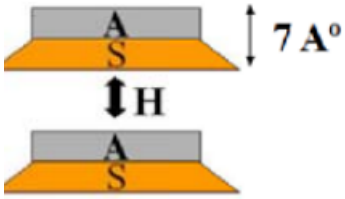
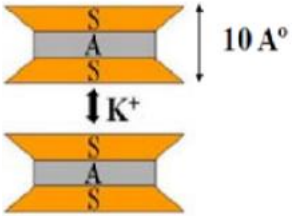
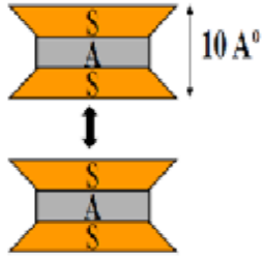
Nota: La figura muestra valores del ensayo azul de metileno

Fuente: (Zapata, 2018)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 6. Grupos arcillosos más representativos

	Origen	Estructura	Espesor ^{o} (A)	Superficie Específica (m2/g)	ϕ/e	Tipo de enlace	Absorción de agua	Retracción/ Expansión	Representación
Illitas	Alteración de feldespatos y micas)	T – O/ 1:1 (Sustitución de Si o Al escasa)	500 – 1000	50	10 a 20	Puente H+ (Fuerte)	Baja	Baja	
Caolinitas	Alteración de feldespatos y muscovitas en medios marinos	T-O-T/ 2:1	200 – 300	50	20 a 50	Enlace iónico de átomos de K+ (Fuerte)	Baja	Baja	
Esmecitas (Montmorillonitas)	Alteración adicional de la illita y de los feldespatos presentes en cenizas volcánicas	T-O-T/ 2:1 (Sustitución de Si^{4+} por Al^{3+} y de Al^{3+} por Mg o Fe^{3+})	200 - 400	80 - 300	10 a 30	Enlace de moléculas de agua absorbida y iones metálicos (Débil)	Alta	Alta	

Fuente: (Zapata, 2018)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El valor de Azul de Metileno se calcula usando la formula siguiente:

$$V_a = \frac{V_s x C}{P_{ss}} * \frac{1}{f}$$

Donde: Va es el valor del vinilo de metileno por cada 100 gramos de material, o g de AM por cada 100 gramos de suelo seco [g/g]. vs es el tamaño de la solución de Azul de Metileno añadido en mililitros, g de AM para cada 1000 g de suelo seco [g/Kg], pss es el peso de suelo seco [g]. ¿Qué es C? Es la concentración de la solución de Azul de Metileno en gramos por litro, y f es el factor que convierte la concentración de la solución de Azul de Metileno en la cantidad que se absorbe. (10 veces si MSS es de 100 g y 1 vez si es de 1000 g).

Cuando obtenemos un valor alto de Azul de Metileno, significa que la delgada zona árida está muy activa. Si usa la misma herramienta, puede medir la parte superior de la fractura arcillosa activa, que depende de los minerales que están presentes y se muestra a continuación:

$$S_e = \frac{1}{319.87\ \frac{gr}{mol}} * \frac{W_{s(AM)}}{V_{(AM)sol}} * (N * 0.5ml) * N_{AV} * A_{AM} * \frac{1}{W_{S_{(Arcilla)}}}$$

Donde: Se: Superficie específica de la fracción arcillosa., Ws (AM): Masa del azul de metileno colocado en la suspensión [g], V(AM)sol: Volumen total utilizado en la solución [ml, N: Número de veces que se agregaron 0,5ml de la solución patrón con azul de metileno, NAv: Número de Avogadro (6,023.1023 partículas/mol), AAM: Área cubierta por un catión de azul de metileno (generalmente se considera 130 $Å^2$ y Ws (Arcilla): Masa seca de la arcilla en gramos que se utilizó en el ensayo [g].

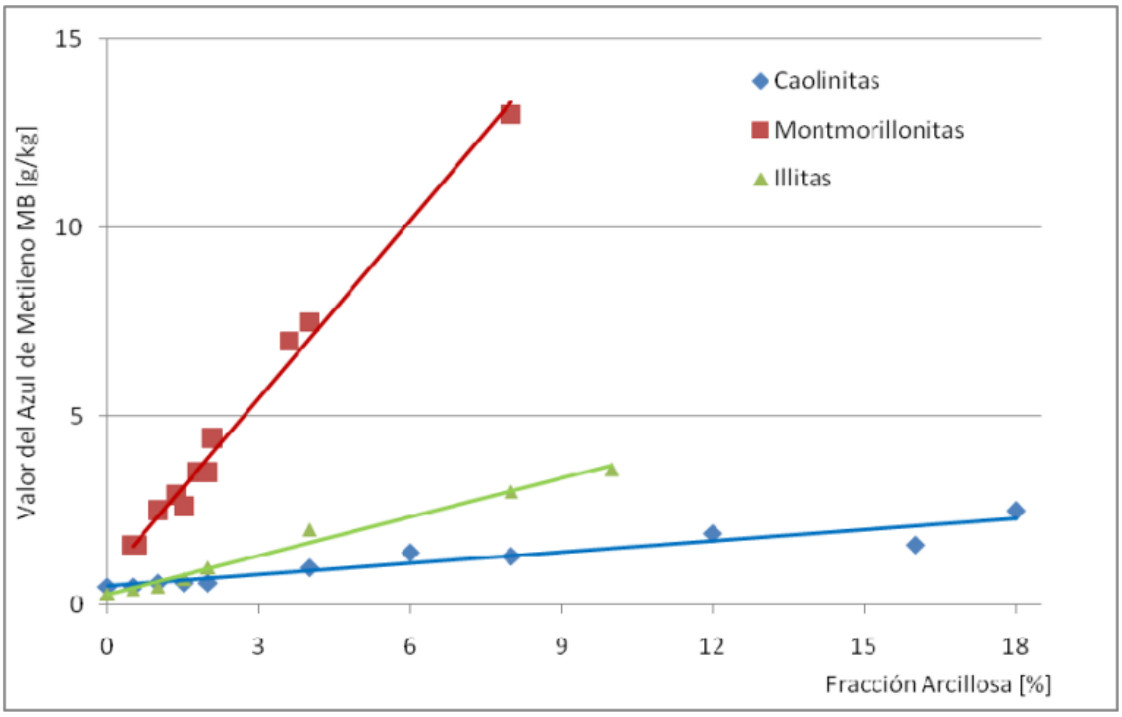
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la Tabla 7 se muestran los valores de las pruebas sobre diferentes arcillas publicados en el Bulletin de Liaison DES LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES – ESSAI AU BLEU DE MÉTHYLÈNE. Los valores del color del cianoacrilato se muestran según la cantidad de arcilla de la muestra estudiada. Se puede ver la diferencia entre las Montmorillonitas, Caolinitas, e Illitas. Esta diferencia se debe a la gran superficie que existe en las primeras. El valor del azul de metileno está directamente relacionado con esta característica.

Tabla 7. Resultados del Ensayo Equivalente de Arena



Fuente: (Zapata, 2018)

- Sensitividad

El término "sensibilidad" se refiere al impacto que tiene el amasado sobre la consistencia de las arcillas inalteradas. El nivel de sensibilidad (St) es diferente para cada archilla e incluso puede ser diferente dentro de una misma arcilla dependiendo de cuánta

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

humedad contenga. Se basa en la relación entre la resistencia de una muestra que no ha sido cambiada y la resistencia de una muestra que ha sido cambiada.

$$S_t = \frac{R_I}{R_R}$$

Donde: St: Grado de sensitividad, RI: Resistencia de una muestra de arcilla inalterada y RR: Resistencia de una muestra de arcilla remoldeada.

En función de los resultados obtenidos, la arcilla en estudio puede ser clasificada de la siguiente manera:

Tabla 8. Clasificación de arcillas por ensayo de sensitividad

Clasificación de arcillas	
Valor	**Descripción**
< 2	Insensitiva
2 – 4	Medianamente Sensitiva
4 – 8	Sensitiva
8 - 16	Muy Sensitiva

Fuente: (Zapata, 2018)

Tixotropía es el proceso por el cual un coloide pierde resistencia al amasarlo y renueva esa resistencia a través del tiempo. Cuando las arcillas tixotrópicas se mezclan se convierten en un auténtico líquido. A medida que pasa el tiempo y se les deja descansar, recuperan la cohesión y su comportamiento sólido. Para que esto suceda, el contenido de agua debe estar en el orden de su límite plástico.

2.3.2. Relaciones esfuerzo – deformación del ensayo triaxial (CUPP)

El ensayo de compresión triaxial consiste en el sometimiento de un espécimen de suelo, a un estado de esfuerzos que ocurren en una cámara de compresión triaxial convencional

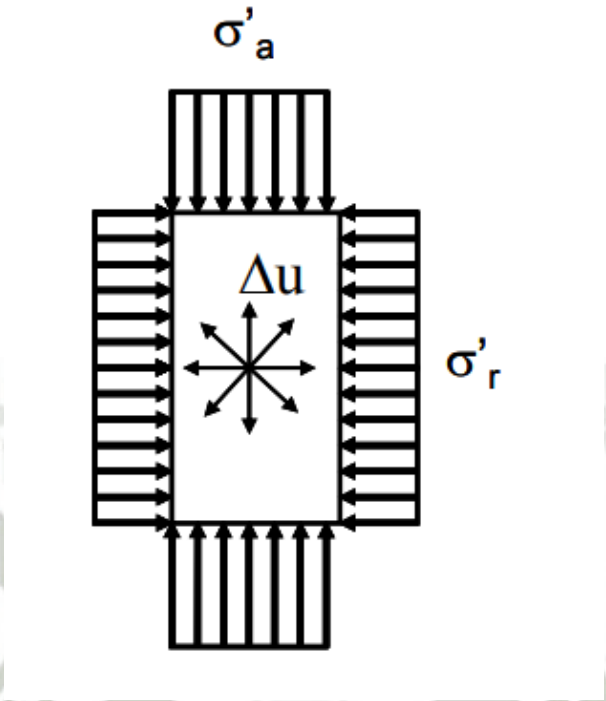
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 21

Muestra de suelo sometida a un estado triaxial de esfuerzos



Nota: La figura muestra una distribución de presiones en estado triaxial

Fuente: Camacho T. & Otros (2004)

El estado logrado se expresa en términos de esfuerzo isotrópico promedio (p') y el esfuerzo desviador (q) (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004), los cuales se expresan en función al esfuerzo axial efectivo () y el radial efectivo (:

El estado de esfuerzo varía a medida que se realiza el progreso del ensayo hasta lograr la falla. Importante mencionar a δp' como cambio en el esfuerzo isotrópico efectivo y δq el cambio en el esfuerzo cortante (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Mientras van incrementándose los estados de esfuerzos, se presentan incrementos en las deformaciones volumétricas y los cortantes. Pudiendo estos últimos ser elásticos o plásticos (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

Por lo expuesto, las deformaciones volumétricas y cortantes pueden ser evaluadas en función a la deformación axial y deformación radial (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

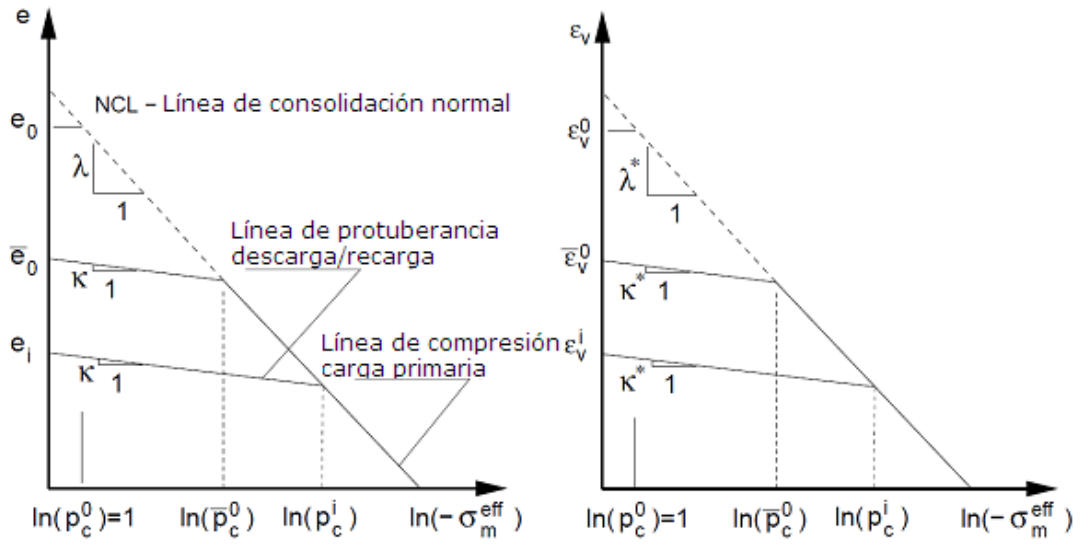
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por otra parte, en un ensayo triaxial consolidado no drenado (CUPP), al no ocurrir el drenaje durante la etapa de falla, la deformación volumétrica resulta nula (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Obteniendo la siguiente expresión:

Además, es importante señalar que el desarrollo del modelo constitutivo muestra cómo el índice de vacío y la tensión volumétrica cambian en relación con el logaritmo de la tensión efectiva de los medios (Fine Software España, s.f.): y

Figura 22

Respuesta del material durante la consolidación isotrópica (modelo constitutivo)



Nota: La figura muestra el comportamiento durante la consolidación isotrópica según modelo constitutivo

Fuente: Fonesoftware.es (s.f.)

La línea de consolidación normal (LCN) y la línea insuficiente se pueden observar en la Figura 5. Cuando se aplica la primera carga, el suelo tiende a moverse hacia la LCN. Posteriormente, era necesario consolidar el suelo con cierta cantidad de trabajo, lo que se conoce como presión de preconsolidación. Después de eso, baje la línea actual. Posteriormente, cuando se recarga el suelo, éste se desplaza hacia el fondo de la línea espesa hasta alcanzar el estado de tensión provocado por el que se encontraba antes de la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

carga. Es así que el suelo empieza a moverse a lo largo de la línea de consolidación normal NCL (Fine Software España, s.f.).

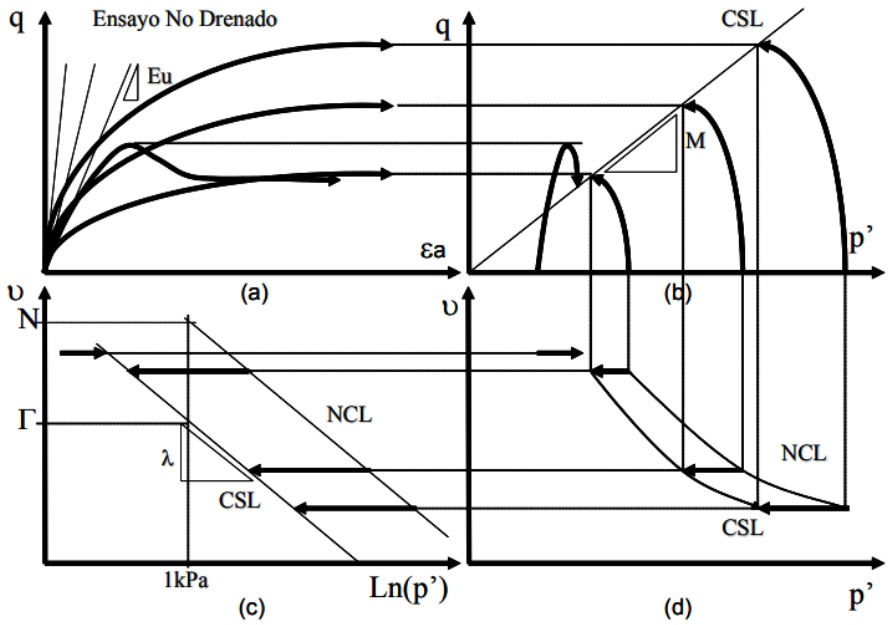
2.3.3. El espacio p' – q – v

Al representar un ensayo triaxial en el espacio p' – q – v, en el cual se identifica las trayectorias de esfuerzos de tres especímenes de suelo, se observa en primera instancia la relación entre el esfuerzo desviador y la deformación axial (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004); siendo su pendiente de la parte inicial de la curva, el módulo de Young (Ver figura a). Seguidamente, el módulo cortante (), se obtiene a partir de:

En la siguiente gráfica (Ver figura b), se observa la línea de estado crítico (CSL) hacia la cual llegan las trayectorias en el plano p' – q (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Siendo la pendiente de ésta última, simbolizada con la letra M.

Figura 23

Representación de un ensayo triaxial en el espacio p' – q - v



Nota. La figura muestra el comportamiento del ensayo triaxial

Fuente: Fonesoftware.es (s.f.)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

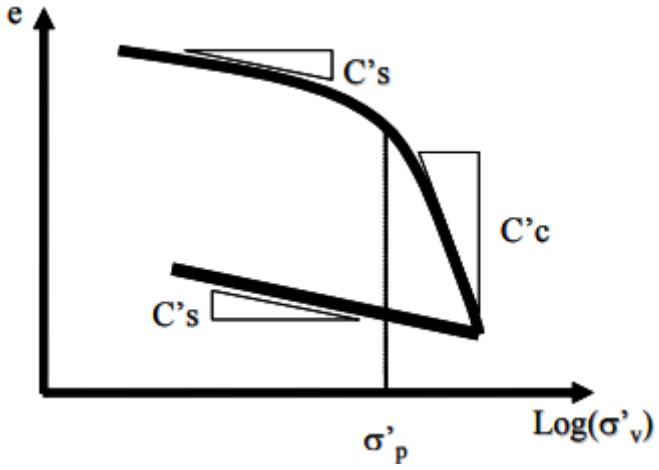
Por otro lado, en la siguiente figura, se observa las trayectorias de las últimas en el plano p' – v (Ver figura d), donde v es el volumen específico del material ensayado (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

Estas últimas trayectorias avanzan por la línea de consolidación normal (NCL) hacia la línea de estado crítico (CSL). Observando en la figura c, que el eje de las abscisas se encuentra a escala logarítmica, por un tema de representación (Ver figura c) (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

Cabe mencionar que, las líneas NCL y CSL son paralelas entre sí, con una pendiente λ (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Así mismo, para un esfuerzo unitario de 1kPa, el valor de volumen específico en la línea NCL es N, y en la línea CSL es Γ. λ tiene una relación con la pendiente de la línea NCL en un ensayo de consolidación unidimensional (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004), mediante la expresión $\lambda = \frac{C_c}{2.3}$ y κ=Cs/2.3-

Figura 24

Curva de Consolidación Unidimensional



Nota: La figura muestra la curva de consolidación Unidimensional

Fuente: Fonesoftware.es (s.f.)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Así mismo, los parámetros λ y κ se podrán estimar de las siguientes expresiones: $\kappa = 1.3\frac{1-v_c}{1+v}C_s$. De las cuales: Cc es el índice de compresión de una dimensión y. Cs Índice de hinchazón de una dimensión (Fine Software España, s.f.).

2.3.4. Modelos Cam Clay y Cam – Clay Modificado

Basados en la teoría del estado crítico, ambos modelos muestran cómo la resistencia puede ser causada por deformación plástico-elástica. A esto se suma la idea de una relación lógica entre la tensión media y la relación de vacíos (Rocscience).

El primer modelo de estado crítico para describir el comportamiento de suelos blandos como la arcilla, resulta ser Cam Clay (CC) y Cam – Clay Modificado (MCC), los cuales fueron formulados por investigadores de la Universidad de Cambridge. Ambos modelos describen el comportamiento del suelo en función a la resistencia, comprensión o dilatancia (cambio de volumen con respecto al cizallamiento) y estado crítico en los cuales los elementos del suelo experimenten distorsión ilimitada sin cambios en resistencia o volumen (Rocscience).

Una porción de suelos está conformada por vacíos que son llenados por fluidos (aire y agua). Por ello, las deformaciones van acompañadas con cambios de volumen significativos.

Las ventajas de la aplicación de los modelos CC y MCC, es su capacidad para modelar cambios de volumen de forma realista (Rocscience). Se consideran supuestos en la mecánica del estado crítico, el cual considera tres parámetros: Esfuerzo medio, esfuerzo desviador y volumen específico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

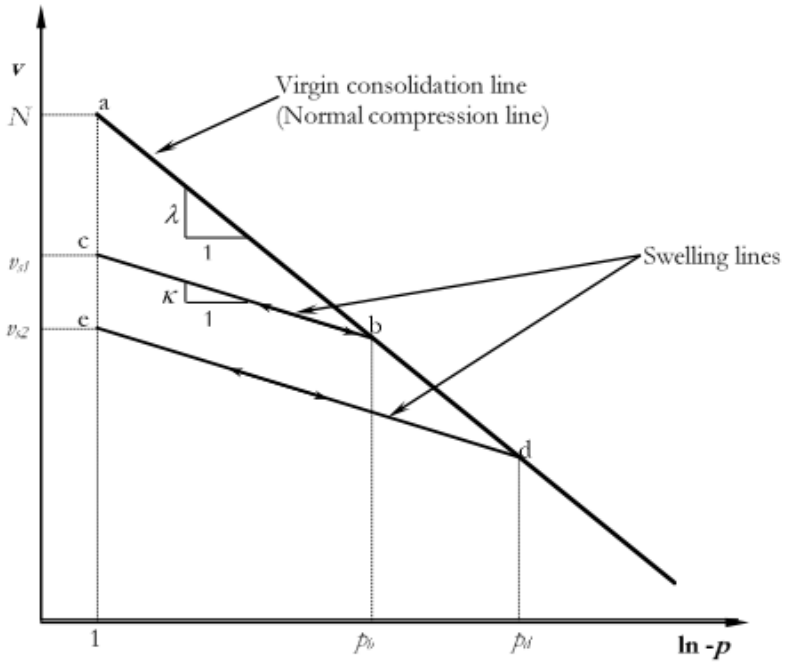
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a. La línea de Consolidación Virgen y Línea de Expansión

Figura 25

Comportamiento típico de arcillas en ensayo de consolidación (edómetro)



Nota: La figura muestra la curva de comportamiento de arcillas en consolidación

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

Ambos modelos suponen que cuando una muestra de suelo liso se comprime lentamente en condiciones de estrés isotrópico y drenaje perfecto, la relación entre el volumen y la tensión promedio se basa en una línea recta de consolidación virgen (también conocida como Línea de Compresión Normal, NCL) y un grupo de líneas exageradas (mostradas en la Figura 25) (Rocscience). N es conocido como el volumen específico de la línea de compresión normal a la unidad de presión, y sus unidades de medición pueden variar. Se podrá apreciar de la figura 25 que, varía para cada línea de expansión y dependerá de la carga histórica del suelo (Rocscience).

Si el estado actual de un suelo se encuentra en la línea NCL, el suelo es descrito como normalmente consolidado. Por otro lado, si el estado de tensión se encuentra por

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

debajo de la línea, se considera al suelo como sobreconsolidado (Rocscience). Cuando el suelo se encuentra fuera de la línea NCL, se considera como un estado inestable. El comportamiento de los esfuerzos bajo los modelos CC y MCC, está formulado en base a la línea NCL. Y, para los cálculos de propiedades elásticas se considera la línea de expansión (Rocscience).

b. La Línea de Estado Crítico

El cizallamiento producido en una muestra de suelo, ocasiona un cizallamiento adicional sin generar cambio en el esfuerzo o volumen. Esta condición conocida como estado crítico, se basa en que el suelo se distorsiones en un estado de esfuerzo constante sin cambio de volumen (Rocscience). Este estado se conoce como Estado Crítico, y se caracteriza por la Línea de Estado Crítico CSL.

En el plano p’ – q, el CSL es una línea recta que pasa por el origen con una pendiente igual a M (Rocscience), siendo una de las características del material que define la superficie de fluencia (Ver figura 10).

Esta línea se ubica en relación con la línea de compresión normal, la cual se puede apreciar en la figura 9.

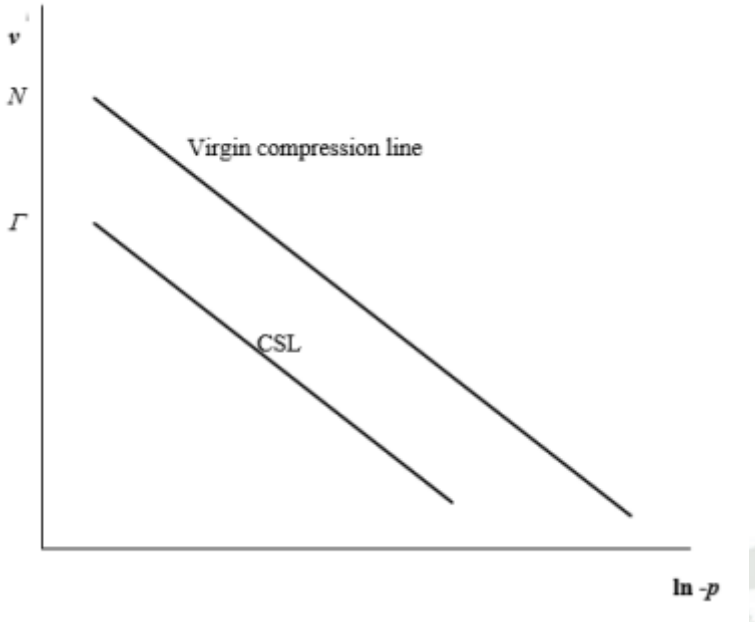
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 26

Línea típica de estado crítico (CSL) y línea de compresión virgen (NCL) para arcillas



Nota: La figura muestra es estado crítico CSL y compresión virgen para arcillas NCL

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

En esta última, la CSL es paralela a la línea de consolidación NCL en el espacio v – ln p. El parámetro dependerá de las unidades de medida (Rocscience). Así mismo, existe una relación entre el parámetro N de la recta normal de compresión.

c. Funciones de Rendimiento

La ecuación del Modelo Cam Clay (CC) es:

$$\sigma = p1 + \sqrt{\frac{2}{3}} q\hat{n}$$

Donde:

$\hat{n}$: $e^e / \|e^e\|$ $\qquad p = p_0 \beta e^{\left(\frac{\varepsilon_v^e - \varepsilon_{v0}^e}{k}\right)}$

$\beta = \left[1 + \frac{3\alpha}{2k}(\varepsilon_s^e)^2\right]$ $\qquad e^e = \varepsilon^e - \frac{\varepsilon^e{}_v}{3}$ $\qquad q = 3\varepsilon_s^e(\mu_0 - \alpha p_0 e^{\left(\frac{\varepsilon_v^e - \varepsilon_{v0}^e}{k}\right)})$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Siendo:

e^e: *Componente desviadora del tensor de deformaciones elásticas*

μ_0: *Constante del módulo elástico de cortante*

k: *Módulo volumétrico*

$\varepsilon^e{}_v$: *Deformación volumétrica plástica*

Por otro lado, para el Modelo Cam – Clay Modificado (MCC) resulta:

a) Propiedades elásticas:

Es la tasa de cambio entre la variación en los esfuerzos efectivos (δp' y δq) y las variaciones en deformaciones elásticas del material (δεp e y δεq e) (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004), expresados por la matriz:

$$\begin{bmatrix} \delta\varepsilon_e^p \\ \delta\varepsilon_e^q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\kappa}{vp'} & 0 \\ 0 & \frac{1}{3G'} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta p' \\ \delta q \end{bmatrix}$$

b) Superficie de fluencia:

Posición geométrica en el espacio de esfuerzos p'-q que define las combinaciones de esfuerzos (p' y q) que pueden provocar o no deformaciones plásticas. La superficie de fluencia tiene la forma de una elipse, centrada en el eje de coordenadas p' (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004), cuya ecuación es:

$$\frac{p'}{p_0'} = \frac{M^2}{M^2 + \eta^2}$$

Donde:

η: *Razón entre los esfuerzos p´y q´*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

p'_0: *Esfuerzo que controla la extensión de la superficie de fluencia*

M: *Pendiente de la línea de estado crítico*

c) Potencial plástico

Expresión de las deformaciones plásticas y la razón entre las componentes volumétrica y de cizalla. Se asume una relación estrecha entre la superficie de fluencia y el potencial plástico (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Se describe dicha relación como:

$$\frac{\delta {\varepsilon_p}^p}{\delta {\varepsilon_q}^p} = \frac{M^2}{M^2 + \eta^2}$$

Donde:

${\delta\varepsilon_p}^p$, ${\delta\varepsilon_q}^p$: *Son el incremento de la deformación volumétrica plástica y el incremento de la deformación de cizalla plástica respectivamente.*

d) Ley de endurecimiento

Esta analiza cuáles son los valores de las deformaciones plásticas y cómo afecta a la superficie de fluencia (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Dicha relación sigue la forma:

$$\frac{\partial p'_0}{\partial \varepsilon_p^p} = \frac{v p'_0}{\lambda - \kappa}$$

En el espacio p – q, la superficie de fluencia del modelo CC es una curva logarítmica, mientras que para el modelo MCC es una curva elíptica (ver figura 10). Siendo el parámetro (límite elástico o presión de preconsolidación) el que controla el tamaño de la superficie de fluencia (Rocscience). El parámetro M resulta la pendiente de la curva CSL en el espacio p – q. La curva CSL cruza la curva de rendimiento en el punto donde q alcanza su máximo valor.

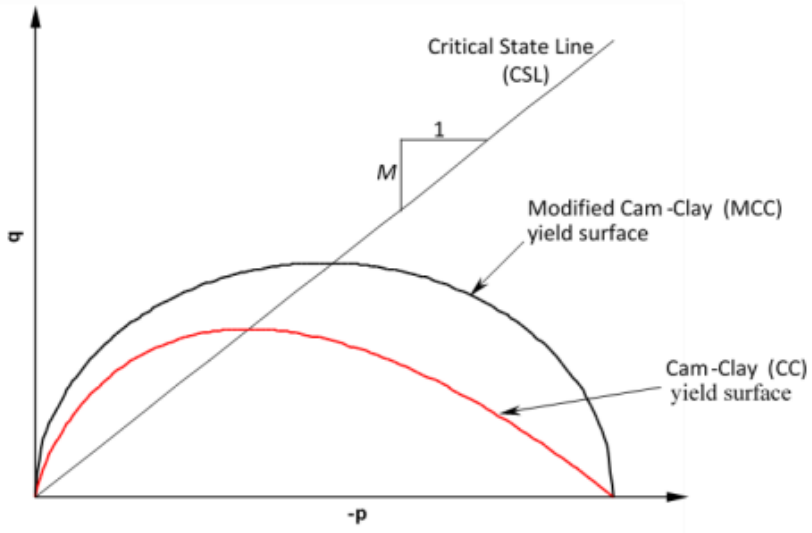
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 27

Superficies de fluencia de los modelos Cam Clay y Cam Clay Modificado en el plano p - q



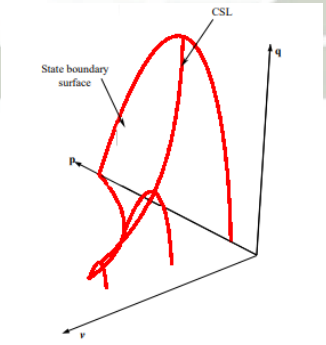
Nota: La figura muestra superficies de fluencia para modelo Cam Clay y Cam Clay Modificado

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

En un espacio tridimensional v – p – q, la superficie de fluencia se discrimina para la formulación CC o MCC, como superficie de límite de estado (Rocscience). Para el modelo Cam Clay resulta:

Figura 28

Superficie Límite de Estado



Nota: La figura muestra la Superficie Límite de Estado

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

d. Constantes de material elástico para Cam – Clay y Cam – Clay Modificado

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para ambos modelos (CC y MCC), el módulo volumétrico no es constante. Dependerá del esfuerzo medio, volumen específico y pendiente de la línea de expansión: (Rocscience).

Ambos modelos requieren la especificación del módulo de corte G ó Razón de Poisson v.

e. Relación de Sobreconsolidación y el estado inicial.

Cuando un suelo está en su estado nativo, su estado de tracción (p, q), volumen específico v y límite elástico (presión de preconsolidación, que es una medida del nivel de esfuerzo más alto que el suelo ha experimentado) pueden usarse para describirlo.

La relación entre la presión de preconsolidación y la presión actual se conoce como relación de sobreconsolidación (OCR) (Rocscience). La distribución de la presión de preconsolidación para un suelo para modelo CC o MCC podrá ser generado usando OCR. Un valor OCR de 1 representa un estado de consolidación normal, en la cual el nivel de tensión máximo experimentado previamente por un material, no es mayor al nivel de tensión actual.

Por otro lado, un valor OCR menor a 1, describe un estado sobreconsolidado, que indica un nivel máximo de esfuerzo experimentado, siendo incluso mayor que el nivel de tensión actual (Rocscience).

Al aplicar modelos MCC o CC, deberán especificarse las tensiones. Los softwares RS2 y RS3 de la marca Rocscience, permiten especificar están tensiones in situ, por gravedad o por una tensión constante de campo (Rocscience). Siendo las superficies de fluencia iniciales para todos los estados de tensión especificados, con su correspondiente.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Este último valor podrá ser asignado, mediante la presión de preconsolidación o especificando OCR (Rocscience). Si un estado de tensión actual se encuentra dentro de la superficie de fluencia específica, el suelo responde inicialmente de manera elástica a la carga, indicando que se encuentra sobreconsolidado.

Por otro lado, si el estado de tensión inicial se encuentra en la superficie de fluencia, el suelo responde elastoplásticamente a la carga, lo cual indicia que el suelo se encuentra consolidado (Rocscience).

Finalmente, dado que los estados de tensión inicial, se encuentren fuera de la superficie de fluencia, conlleva a determinar que no existe significado físico bajo los modelos CC y MCC (Rocscience). Por ello, los programas RS2 y RS3 reajustan la presión de preconsolidación para adaptarse a un nivel actual de esfuerzo.

f. Comportamiento de Endurecimiento y Ablandamiento

El endurecimiento se atribuye a la deformación plástica volumétrica o compactación del material, lo cual resulta equivalente a la reducción de relación de vacíos y su volumen específico (Rocscience).

Considerando un incremento de carga de n a n+1, la expansión de la superficie de fluencia estará definida por el aumento de la presión de preconsolidación.

Si la fluencia se registra a la derecha del punto en el cual CSL interseca la superficie de fluencia, el comportamiento de endurecimiento acompañado de compresión, se aprecia (Rocscience). Este sector de la superficie de fluencia se conoce como lado húmedo o subcrítico.

Por otro lado, si la fluencia se registra a la izquierda de la intersección de CSL y la superficie de fluencia (llamada superficie seca o supercrítica), el material suelo exhibe

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

un comportamiento de ablandamiento, acompañado de dilatancia (incremento de volumen) (Rocscience).

En régimen de ablandamiento, la curva de tensión de fluencia disminuye, luego que el estado de tensión toca la envolvente inicial.

g. Verificaciones y Ejemplos

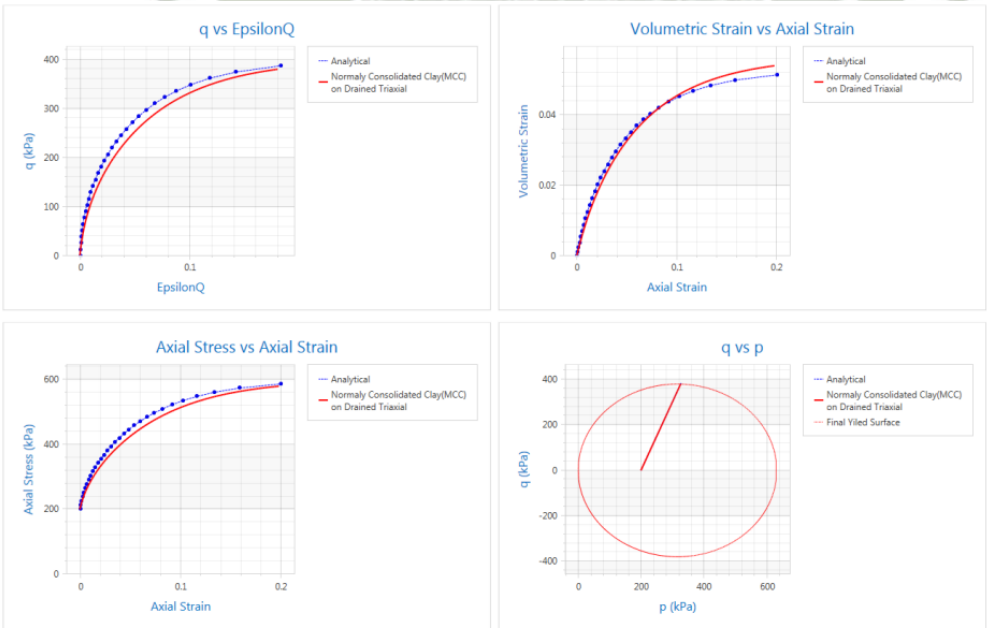
Peric (2006) presenta la solución analítica al modelo MCC en estados triaxiales de tensión y deformación (Rocscience).

Los resultados analíticos en pruebas triaxiales se comparan en simulación.

En la figura 12, se observa resultados de prueba triaxial partiendo de un confinamiento hidrostático de p = p'= 200 kPa en una arcilla normalmente consolidada, aplicando el modelo MCC con la constante Coeficiente de Poisson.

Figura 29

Trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales drenados sobre arcilla normalmente consolidada, bajo modelo MCC (relación de Poisson constante)



Nota: La figura muestra trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales en condición drenada en arcillas, según modelo MCC

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

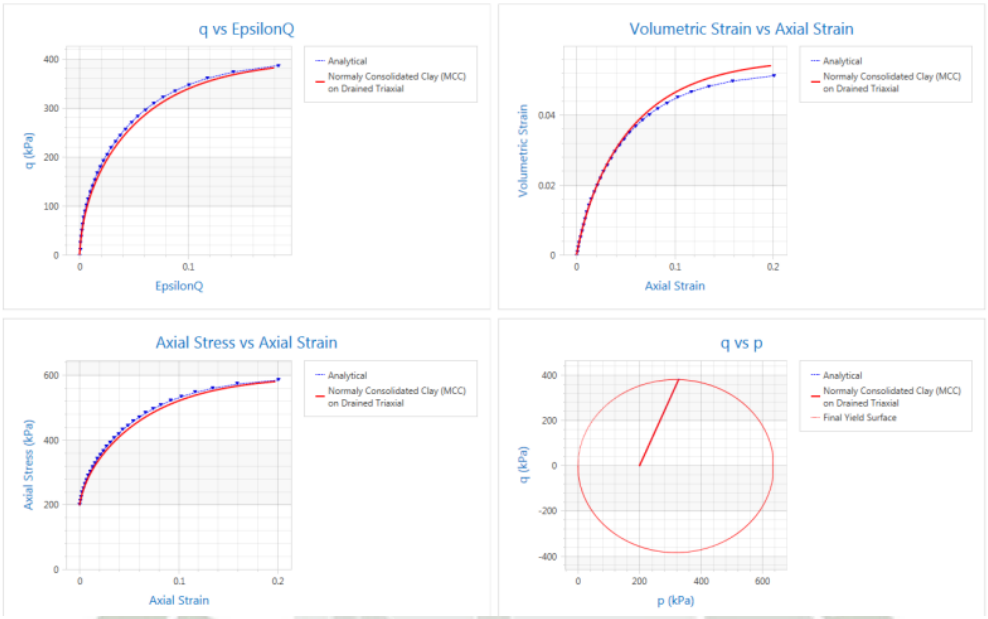
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por otro lado, se presentan resultados similares con Módulo de corte constante em la figura 13. La superficie de fluencia final también se encuentra incluída en el gráfico de trayectoria de tensión en el plano p – q (Rocscience).

Figura 30

Trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales drenados con arcillas normalmente consolidades bajo modelo MCC (considera módulo de corte constante)



Nota: La figura muestra diagrama de tensiones de ensayos triaxiales con condición drenada según Modelo MCC

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

Las propiedades utilizadas para el modelo MCC (Rocscience) se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 9. Parámetros del modelo MCC

Parameter	*Value*
N	1.788
M	1.2
λ	0.077
κ	0.0066
G (for the case of constant elasticity)	20000 kPa
μ (for the case of variable elasticity)	0.3
Initial State of the Normally Consolidated Clay	
Preconsolidation pressure, p_o	200 kPa
Initial mean volumetric stress, p'	200 kPa
Initial shear stress, q	0 kPa
Initial State of the Lightly Over Consolidated Clay	
Preconsolidation pressure, p_o	200 kPa
Initial mean volumetric stress, p'	100 kPa
Initial shear stress, q	0 kPa
Initial State of Highly Over Consolidated Clay	
Preconsolidation pressure, p_o	500 kPa
Initial mean volumetric stress, p'	100 kPa
Initial shear stress, q	0 kPa

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

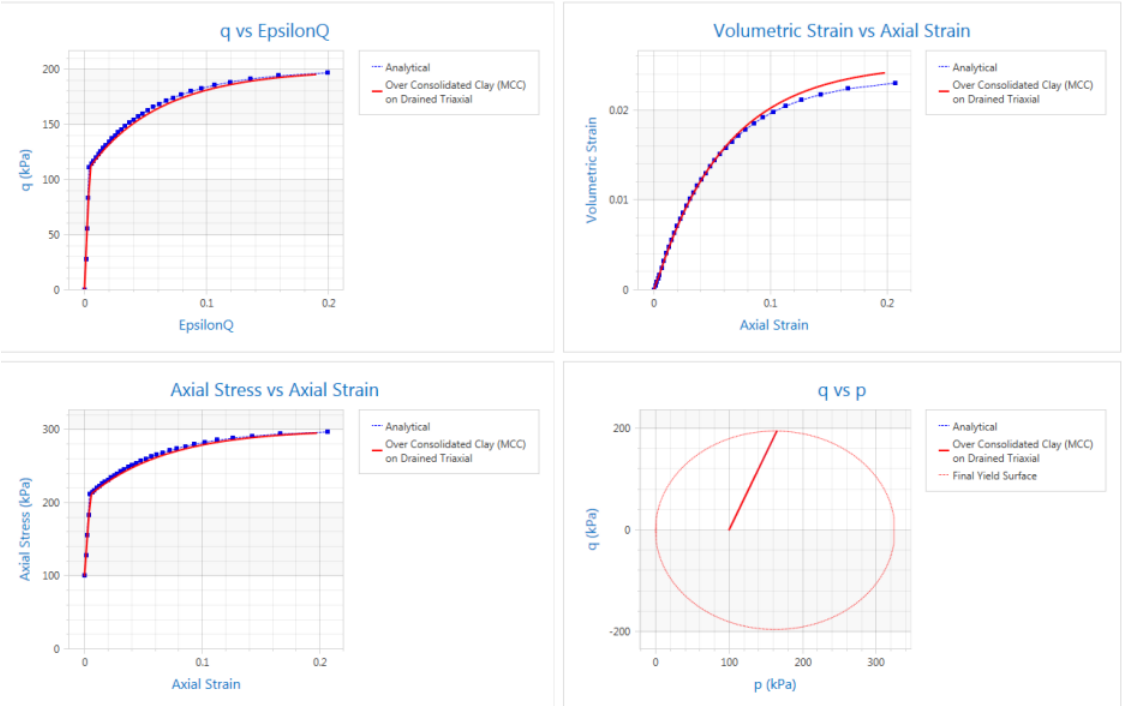
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 31

Trayectorias de tensiones de ensayos triaxiales drenados sobre arcilla sobreconsolidada (OCR=2) con el modelo MCC (relación de Poisson constante)



Nota: La figura muestra trayectoria de tensiones de arcillas en ensayo triaxial bajo condición drenada sobreconsolidada con el modelo MCC

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

El comportamiento observado en ambos casos incluye el endurecimiento gradual del material, a medida que la muestra es afectada por mayores niveles de esfuerzos desviadores y de compactación continua, hasta alcanzar el estado crítico (Rocscience). En la figura 14 se observan los resultados analíticos y numéricos del ensayo triaxial sobre una arcilla sobreconsolidada con OCR=2.

En la anterior prueba, se parte un confinamiento inicial de p = p’ = 100 kPa. Sin embargo, hasta que la trayectoria de la tensión alcanza la superficie de fluencia inicial con, su comportamiento resulta elástico (lineal). Luego de eso, el comportamiento elastoplástico comienza a darse, hasta que la muestra se conta en la condición de estado crítico (Rocscience).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

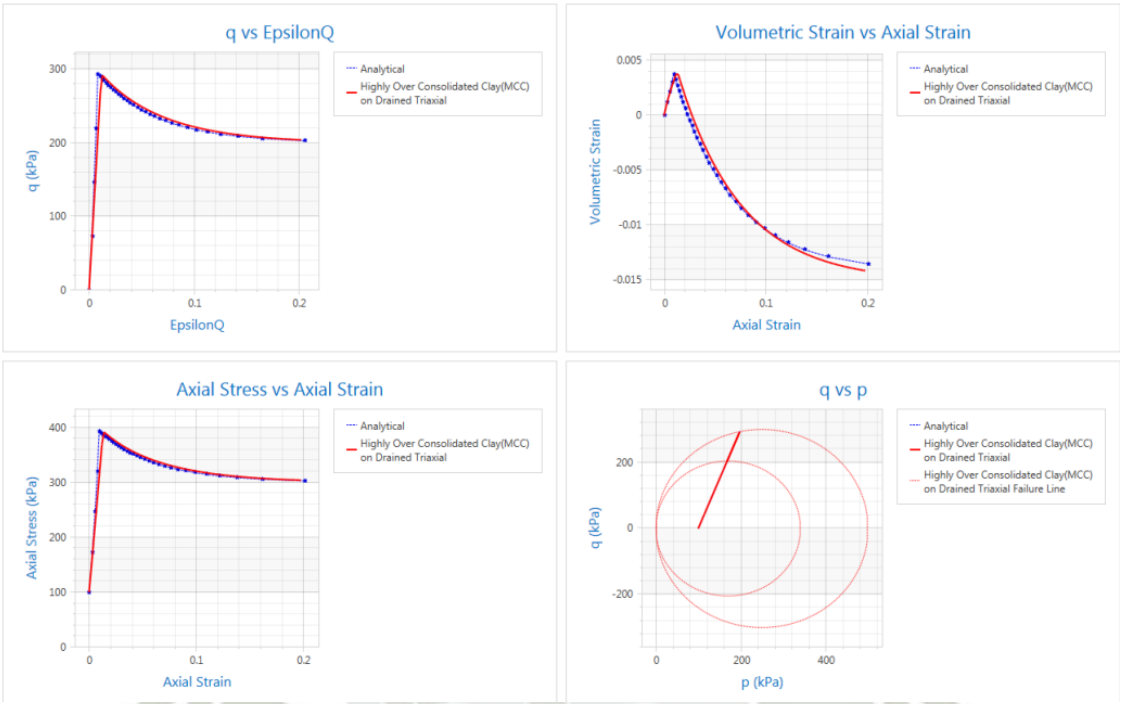
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El caso de una arcilla altamente sobre consolidada con OCR = 5 (Rocscience), se presenta en la figura 15.

Figura 32

Trayectoria de tensiones de ensayos triaxiales drenados en arcillas altamente sobreconsolidada (OCR=5), bajo el modelo MCC (relación de Poisson constante)



Nota: La figura muestra curva de tensiones de ensayo triaxial de arcillas en condición altamente sobreconsolidadas con modelo MCC

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

En la anterior prueba, el comportamiento resulta elástico hasta que la trayectoria de tensión alcanza la superficie de fluencia por el lado izquierdo de su pico (Rocscience). Por ello, se muestra una rama de ablandamiento y luego la trayectoria del esfuerzo se acerca al estado crítico.

Finalmente, se muestra las superficies de fluencia 3D del modelo CC y MCC respectivamente (Rocscience).

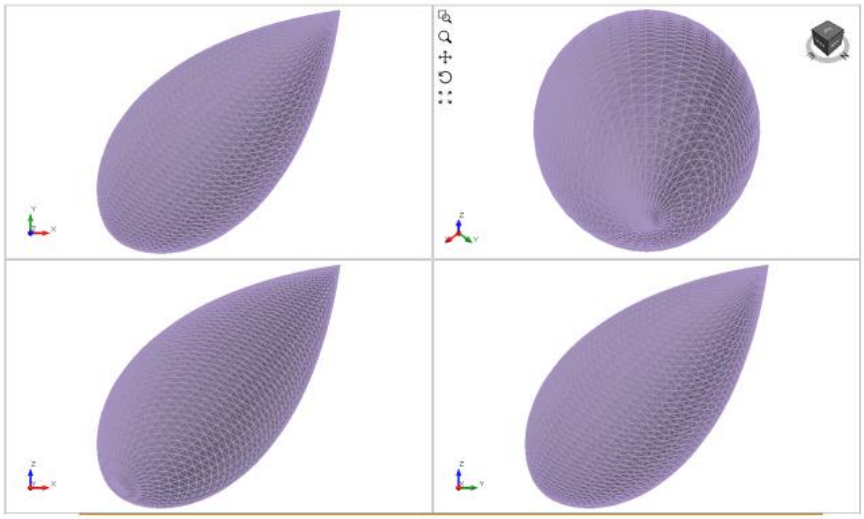
Figura 33

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Superficie de rendimiento del modelo CC en un espacio de tensión 3D

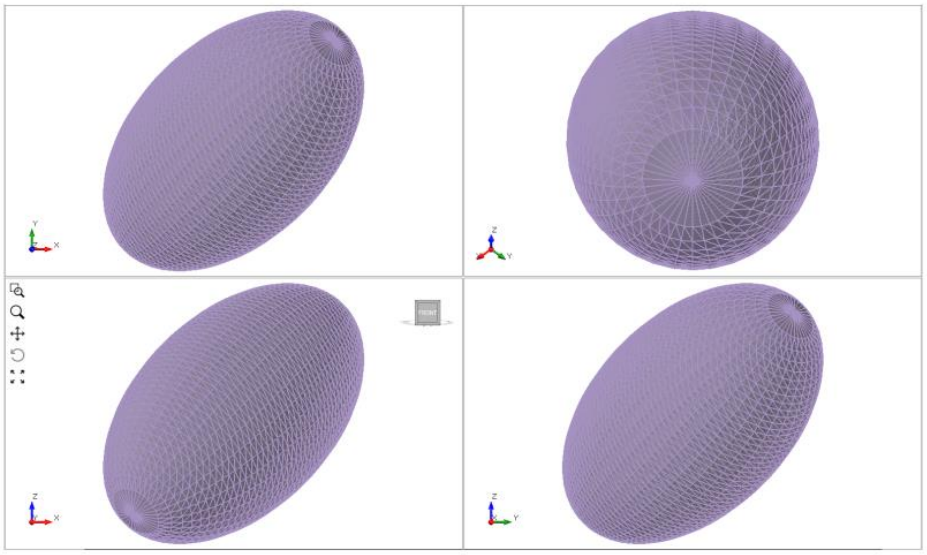


Nota: La figura muestra superficies de rendimiento del modelo CC en espacio de tensión en arcillas

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

Figura 34

Superficie de rendimiento del modelo MCC en un espacio de tensión 3D



Nota: La figura muestra superficies de rendimiento del modelo MCC en arcillas

Fuente: Rocscience RSe (s.f.)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.5. Comentarios sobre la aplicación de los modelos CC y MCC

Ambos modelos permiten relaciones de esfuerzos cortantes irrealmente grandes sobre la tensión media, cuando el estado de tensión se encuentra por encima de la línea de estado crítico. Además, estos modelos predicen un comportamiento de reblandecimiento para el estado de tensión en el lado seco de la superficie de fluencia (Rocscience).

Bajo ninguna consideración especial, el comportamiento de ablandamiento conduce a una dependencia de la malla de un análisis de elementos finitos (Rocscience). Sin embargo, el uso de ambos modelos no es recomendable en simulaciones de aplicaciones prácticas, los cuales incluye los problemas generales con valor límite.

Adicionalmente, Cam – Clay, resulta un modelo de comportamiento elastoplástico del suelo, el cual considera un comportamiento compresivo de las arcillas, y pretende predecir su respuesta a partir de ensayos de resistencia al cortante (Zuloaga, 2019). Tanto CC como MCC son modelos de endurecimiento por deformación elastoplástica, basados en la teoría del estado crítico y la suposición primordial de que existe una relación logarítmica entre la media de tensiones y la relación de vacíos.

Por otro lado, en evidente que las resistencias máximas observadas en las pruebas de corte directo de una arcilla limosa, se interpretan como evidencia de que partículas minerales de arcilla, contribuyen con el enlace cohesivo (Zuloaga, 2019). Así también, como que las partículas de limo contribuyen al enclavamiento (cementación), además de la resistencia a la fricción (ocasionada por la tensión normal media efectiva entre las partículas del suelo).

Un suelo blando, se comporta como un continuo plástico – dúctil (Zuloaga, 2019). Asumiendo que, se cumple la regla del flujo asociada a la teoría de plasticidad (Zuloaga,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

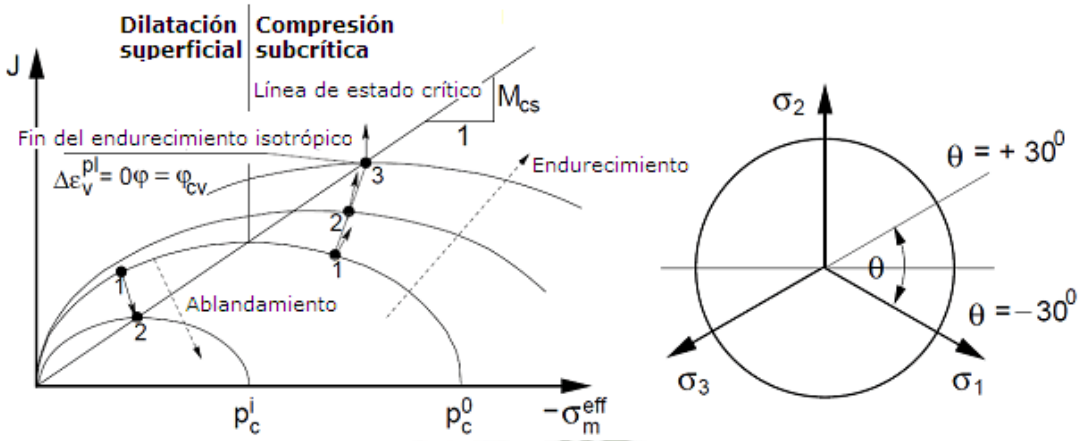
2019). Además, el cambio de volumen plástico, y la fricción entre partículas se encuentran involucradas en la resistencia del suelo blando (Zuloaga, 2019). Logrando de esta manera obtener una curva teórica de fluencia para un suelo ideal.

a. Modelo Cam – Clay Modificado

El modelo Cam es Clay. Después del cambio, la superficie del flujo es suave y no hay posibilidad de que se desarrollen fuerzas de tracción. Este modelo permite ver diferentes tipos de deformación directa o ablandamiento de fuerzas por suelos normalmente consolidados o suelos sobre consolidades, con una dependencia no lineal de las fuerzas de tracción en una fuerza de resistencia media y límites de plasticidad ideales (Fine Software España, s.f.).

Figura 35

Proyección de la función de fluencia dentro de los planos meridiano y desviador



Nota: La figura muestra proyección de la fluencia en planos

Fuente: Finesoftware.es (s.f.)

Bajo este modelo, el suelo cargado en corte resulta distorsionado plásticamente sin fallar (puntos 1,2 de endurecimiento; punto 2 por ablandamiento), hasta lograr el estado crítico (puntos 3,2 para endurecimiento y ablandamiento respectivamente) (Fine Software España, s.f.). Seguidamente, el suelo se distorsiona en corta bajo criterio de plasticidad

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ideal y cambios en el e y . Luego de la descarga, se considera respuesta lineal del suelo (Fine Software España, s.f.).

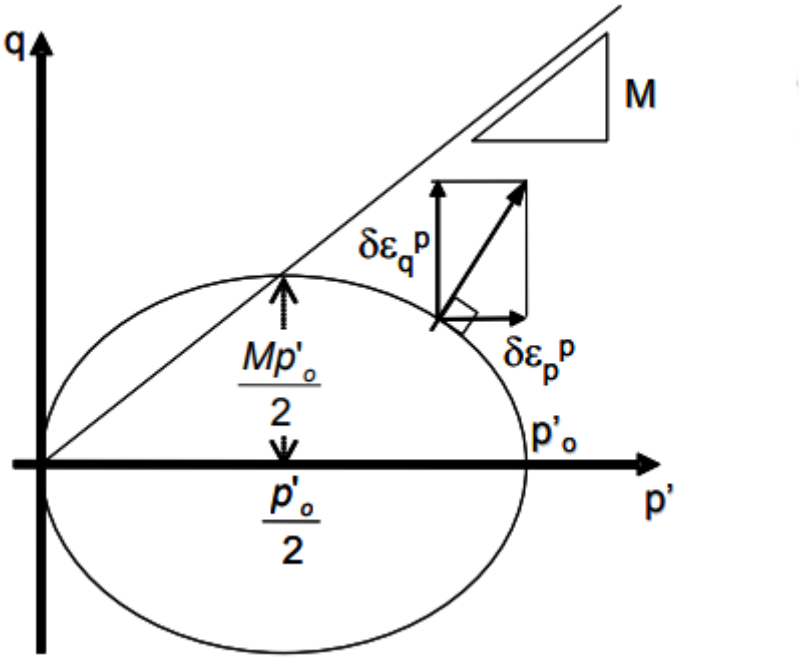
Existen diversos modelos elastoplásticos que permiten modelar el comportamiento de suelos arcillosos. Uno de estos modelos, ha sido el desarrollado por Roscoe y Burland en 1968, que se denomina Cam - Clay modificado (MCC), en cual contempla 4 principios: Propiedades elásticas, superficie de fluencia, potencial plástico y ley de endurecimiento (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

b. Propiedades Elásticas y superficie de fluencia

Corresponde al lugar geométrico en el espacio de esfuerzos p' -q, siendo productor de deformaciones plásticas (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

Figura 36

Superficie de fluencia del modelo Cam - Clay modificado



Nota: La figura muestra superficies de fluencia del modelo Cam Clay Modificado

Fuente: Camacho T. & Otros (2004)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cuando los datos p' y q se localizan en un punto dentro de la superficie, se presentan deformaciones elásticas. Por otro lado, cuando la trayectoria alcanza la elipse, se presenta fluencia y además de deformaciones plásticas (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

c. Potencial Plástico

Descubre si existen deformaciones plásticas y cómo se relacionan con las partes volumétricas y de corte. El modelo ve un vínculo débil entre la superficie de flujo y el posible plástico (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). La magnitud se muestra mediante un vector, que se denomina magnitud de deformación plástica. Su componente vertical es el aumento de la rigidez a la flexión del plástico y su componente horizontal es el aumento de la rigidez a la flexión del volumen del plástico. Este vector siempre acaba siendo perpendicular a la superficie del flujo. Entonces, si conoces la ecuación de la superficie de flujo, conoces la dirección del vector (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004). Por último, se analiza la conexión entre las deformidades plásticas:

d. Ley de Endurecimiento

Muestre el tamaño de las deformaciones plásticas y cómo cambian en relación con la superficie del flujo. Por lo tanto, depende el tamaño de este último, que no siempre es el mismo. Entonces, depende de cómo cambia la deformación volumétrica del plástico (Camacho Tauta, Reyes Ortiz, & Bueno Pumarejo, 2004).

2.3.6. Metodología de Elementos Finitos en Geotecnia

El método de elementos finitos, aplicable a el estudio geotécnico de masas de suelos o estructuras de edificios, utiliza métodos numéricos para integrar ecuaciones diferenciales de modelos físicos (modelos constitutivos). Posteriormente, se aplica la

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

integración parcial de cada elemento al conjunto total para obtener las ecuaciones globales que se utilizarán para determinar los desplazamientos nodales (cantidades primarias) y, en base a ellas, las cantidades secundarias que representan los esfuerzos tensoriales y unitarios. distorsiones resultantes de tales esfuerzos.

La teoría que sustenta el método de los elementos finitos conduce a ecuaciones globales que permiten el cálculo de desplazamientos nodales como cantidades primarias. Esto no es casualidad, sino que se debe a la facilidad para medir dichos desplazamientos con instrumentos diseñados para tal fin.

Para un ingeniero geotécnico, es más fácil medir desplazamientos en los puntos de la masa de suelo donde se ubican los nodos de la malla, y medir presiones de poros utilizando piezómetros de cuerda vibrante, porque el uso de instrumentos diseñados para reproducir.

Después de una perturbación de la masa de suelo en referencia, se puede producir una "malla deformada" mediante la aplicación de teorías fundamentadas en el comportamiento elástico o elastoplástico del suelo, lo que posibilita el cálculo de las cantidades secundarias (esfuerzos y deformaciones). unitarias), empleando el comportamiento no lineal in situaciones de deformaciones unitarias significativas o el comportamiento lineal en casos de deformaciones relativamente pequeñas para lograr el mismo efecto.

2.3.6.1. Metodología de Elementos finitos - Procedimientos

Este artículo tiene como objetivo proporcionar una mejor comprensión técnica del método del elemento de acabado a estudiantes y profesionales de ingeniería geotécnica. Por ello, todo lo relacionado con el marco teórico se desglosa en cinco pasos básicos, permitiendo entender el papel que juega cada uno de ellos. Esta no es una tarea sencilla

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

que se relacione con la explicación sistemática de la obtención de las ecuaciones globales; más bien, es la explicación de cómo funciona el conjunto de elementos finitos para obtener las cantidades primarias y secundarias.

- Discretización del Medio Continuo mediante elementos finitos

El mundo físico es sumamente complejo, por lo que el método de los Elementos Finitos es una manera ingeniosa de proceder. En el proceso de aplicación del método, se entiende como parte de la subdivisión de un todo, y es necesario aplicar un criterio práctico conocido como Discretización, el cual permite limitar el modelo físico que representa la situación real que cuenta con infinitos grados de libertad. De esta manera, se obtiene un modelo matemático válido que se adapta, ofreciendo sobre todo un número finito de grados de libertad.

De este modo, se puede pasar de un medio continuo a varias subdivisiones finitas formadas por pequeñas regiones llamadas elementos, cada una de las cuales tiene un comportamiento regido por unos parámetros finales definidos. Estos elementos, por otro lado, están conectados por nodos, que son los nodos de borde, o la conexión de los lados de un elemento independientemente de su forma geométrica. En términos de pautas prácticas para usar los programas que supervisan este método (en este caso, SAGE CRISP), también es útil tener en cuenta que unir un nodo con otro forma un eje. Para obtener una solución numérica, sólo se deben tener en cuenta los grados de libertad definidos en las entidades puntuales (nodos) de la discretización.

- Selección de las funciones de aproximación

Se sabe que el método de elementos terminados permite la solución aproximada de muchos problemas mediante la integración de funciones básicas. La complejidad y el número de variables elevadas que surgen en el medio continuo hacen que la solución

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

exacta nunca sea posible. Debido a esto, existen métodos de interpolación usando expresiones, como funciones de formulario, en los que al tener en cuenta una mayor cantidad de elementos se obtiene una mayor coincidencia con la solución del problema.

- Elementos isoparamétricos y ajustes de forma

En todo caso bidimensional o tridimensional, existe la matriz N que interpola la geometría y corresponde a las funciones de las formas, y está la matriz N' que interpola variables nodales. Si ambas matrices N y N' son iguales, entonces los elementos son isoparamétricos si los valores de los nodos están directamente conectados a los mismos nodos que determinan la geometría del elemento. Las coordenadas localmente serían la base de las matrices. Utilizándolos es posible simplificar las ecuaciones que deben procesar los programas con elementos finitos. También puede mostrar que el número de nodos utilizados para definir la variación ϕ es menor que el número requerido para definir la geometría; es decir, el orden geométrico refleja el orden utilizado para interpolar las incertidumbres de los nodos, y estos elementos se denominan superparamétricos. Por el contrario, la variación ϕ se define utilizando más nodos que los utilizados para describir la geometría del elemento; estos elementos se denominan subparamétricos.

- Derivación de ecuaciones de los elementos

Luego de obtener las funciones de aproximación correspondientes, se formula el problema, es decir, se plantean las ecuaciones que permitan identificar posteriormente las deformaciones, esfuerzos y fuerzas actuantes en el dominio de estudio

2.4. Bases teóricas relacionadas al tema

Se describen los conceptos estrechamente vinculados a la investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.1. Arcillas

La roca sedimentaria conocida como arcilla está formada por agregados de sílice de aluminio hidratada que quedan después de que las rocas que contienen feldespato, como el granito, se descomponen. Tiene variados tonos dependientes de las impurezas en ella, variando desde el rojo anaranjado hasta el blanco cuando es puro (Wenk, 2004).

Figura 37

Arcillas



Nota: La figura muestra arcillas

Fuente: (Cerdán, s.f.)

Se acredita como un coloide físico, que posee partículas de tamaño microscópico y una superficie lisa. El diámetro de las partículas de arcilla es inferior a 0,0039 mm (Wenk, 2004). En la sección de textura arcillosa, puede haber partículas no minerales, fitolitos. Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, de fórmula: $Al2O3 \cdot 2SiO2 \cdot 2H2O$.

Se destaca por su flexibilidad al mezclar con agua, su ductilidad y durabilidad al alcanzar 800 °C y más (Wenk, 2004). Uno de los materiales más asequibles y más utilizados sigue siendo el carbón vegetal, que fue el primer objeto cerámico elaborado por el hombre. Arcilla se utiliza para fabricar artículos de azur, utensilios de cocina, obras de arte e incluso instrumentos musicales como la ocarina (Wenk, 2004). Se emplea en varios

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

procesos industriales, tales como la producción de papel, revestimiento cerámico, cemento y químicos.

2.4.2. Arcillas Contractivas

Una arcilla contractiva o contractante es aquella conformada por arenas flojas y arcillas normalmente consolidadas (inclusive ligeramente sobreconsolidades), que tienden a reducir su volumen. En condición saturada, para contraerse expulsan agua, sufriendo inicialmente un incremento en u (presión de poros) (Ortuño, 2020).

2.4.3. Arcillas dilatantes

Conformada por arenas densas y arcillas sobreconsolidadas que tienden a aumentar su volumen. En condición saturada, deben sufrir un decremento en u (presión de poros) para dilatarse al absorber agua (Ortuño, 2020).

2.4.4. Cimentación

El término "cimentación" se refiere al conjunto de elementos estructurales de un edificio que se encargan de transmitir su carga o elementos de soporte al suelo, distribuyéndolos de manera que no excedan las presiones permitidas ni creen cargas regionales. La superficie de contacto entre el suelo y la cimentación debe ser mayor en relación a los elementos soportados, excepto en suelos muy cohesivos, dado que la resistencia del suelo es generalmente menor que la resistencia de la columna o muro que soporta. La cimentación es significativa ya que es el conjunto de componentes que soporta la superestructura. La estabilidad de un edificio depende en gran medida del tipo de suelo sobre el que se apoya.

La base es una simple cimentación de piedra o de hormigón armado. En la medida de lo posible, la cimentación debe estar sujeta a cargas centrípetas porque las cargas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

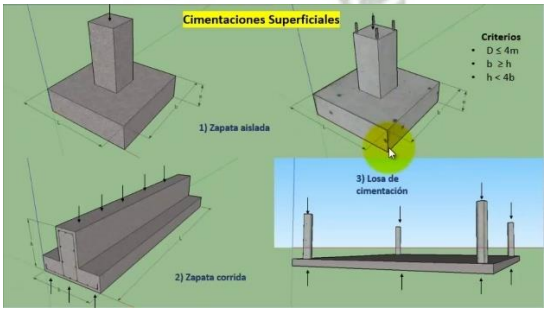
excéntricas pueden causar un empuje diferencial. Siempre nos esforzaremos para que el suelo de soporte sea resiliente y, si esto no es posible, se buscarán soluciones alternativas. En muchos casos, la cimentación no solo transmite fuerzas de compresión, sino que también a través de fuerzas de fricción y adherencia, logra soportar cargas laterales y de tracción, anclando la estructura al suelo, si es necesario. Además de las funciones principales, el establecimiento debe cumplir otros objetivos: Lo suficientemente fuerte como para no romperse debido al corte.

Con respecto a la fuerza de flexión generada por el suelo, cuyos refuerzos se colocarán generalmente en su parte inferior, esta fuerza absorberá el arrastre. Es por ello que, adaptarse a los posibles movimientos del suelo. Resiste el ataque del suelo y del agua y sus posibles presiones.

Según la norma E.050, se define cimentación superficial como cualquier cimentación en la que la relación profundidad-ancho (Df/B) sea menor o igual a cinco, representando Df la profundidad de la cimentación y B el ancho del cimiento. lo mismo (INDECI, 2020). Este tipo de cementación incluye zapatas aislados, conectados y combinados; además, incluye cimentaciones continuas (cimientos corridos) y placas de cimentación (INDECI, 2020).

Figura 38

Cimentaciones Superficiales



Nota: La figura muestra tipos de cimentaciones superficiales

Fuente: (ConstruReyes, 2017)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Metodología de la Investigación

3.1.1. Tipo y Nivel de Investigación

Debido a la naturaleza exploratoria de la presente investigación, es que resulta del tipo Experimental, ya que el desarrollo de la investigación se realiza de forma controlada, a partir de muestras aleatorias y reproducción de fenómenos en laboratorio.

El nivel de investigación, es del tipo Exploratorio, ya que se trata de examinar un tema o problema de investigación (Moreno Galindo, 2016), y permite familiarizarse con el fenómeno de comportamiento de suelos arcillosos.

3.1.2. Diseño de la Investigación

El diseño de investigación corresponde al cuantitativo, para lograr alcanzar resultados específicos de manera porcentual o determinística ya sea el caso de análisis de las variables implicadas en este estudio.

3.1.3. Enfoque de la Investigación

El enfoque corresponde al cuantitativa por la naturaleza de las variables con orden numérico, para el caso de la variable independiente (como es el caso de la caracterización del suelo en estudio).

Por otro lado, cuando se trabaje con la variable independiente, se abordará de forma cuantitativa, para lograr conseguir resultados precisos que competen a esta investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.1.4. Caso en Estudio/ Población

Para este proyecto de tesis, la población resulta ser el suelo del distrito de Yarabamba. Cabe mencionar que el área de superficie del mismo resulta 492.2 km2 (Google, s.f.)

3.1.5. Tamaño de la muestra

El tamaño de la muestra, resulta la superficie ubicada en las partes bajas del distrito en mención. Sin embargo, el tamaño de esta muestra podría variar al considerar aquellos suelos que presenten arcillas y con presencia de napa freática, lo cual resultaría en un 5% de la superficie total del distrito de Yarabamba (24.61km2 aprox.) (Google, s.f.). Importante mencionar que, se registra material arcilloso en el canal Yarabamba Bajo, el cual comprende un área de 2km2 aprox. (Autoridad Nacional del Agua, 2017)

3.1.6. Tipo de Muestreo

Para fines de la investigación el muestreo es no probabilístico por la cantidad específica y limitada de muestras en campo, y del tipo intencional o de conveniencia, para lograr conseguir muestras representativas cualitativas para este proyecto de tesis (Revista Científica del Instituto Nacional de Salud, 2019)

3.1.7. Técnicas de Investigación

La técnica de investigación se basa en el estudio mecánico de suelos, el cual se describe detalladamente en la Norma E.050 sobre Suelos y Cimentaciones del Reglamento Nacional de Edificación. Distribuido por el Instituto de Construcción y Gestión (ICG, 2018)

3.1.8. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La recolección de datos está basada en la técnica de observación de Suelos, con el propósito de determinar su condición natural. Para lo cual, se procede a la realización de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

calicatas para identificar las características del suelo, las cuales tendrán una profundidad de 4 metros.

El propósito de esta observación, es identificar la altura a la cual se encuentra la napa freática a nivel del suelo y conocer la estratigrafía del mismo.

3.2. Determinación de puntos de exploración

La Tabla 6 establece los números de puntos de exploración y la cantidad de puntos de exploración en función del tipo de edificación y del área de la superficie del suelo, conforme a la norma técnica E.050 Suelos y Cimentaciones.

Tabla 10. Número de puntos de exploración

TABLA 6
NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN

Tipo de edificación u obra (Tabla 1)	Número de puntos de exploración (n)
I II	uno por cada 225 m2 de área techada del primer piso uno por cada 450 m2 de área techada del primer piso
III	uno por cada 900 m2 de área techada del primer piso*
IV	uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas
Habilitación urbana para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

*Dentro de esta categoría se incluyen las plantas de tratamiento de agua en la que se considera en lugar de área techada, el área en planta de la misma.
n nunca será menor de 3.

Fuente: Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2018).

Debido a la demanda de edificaciones aporticadas de acero, pórticos y/o muros de concreto y edificaciones con muros portantes en albañilería, es que se consideran edificaciones del tipo I, II y III. Siendo el más crítico la del tipo I.

Por ende, la cantidad mínima de puntos a considerar será de 9 puntos exploratorios mediante calicatas (considerando el área del canal bajo Yarabamba).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3. Ubicación del área en estudio

El área en estudio se encuentra ubicado en el departamento de Arequipa, provincia de Arequipa, distrito de Yarabamba.

Figura 39

Ubicación del área en estudio



Nota: La figura muestra la ubicación del área de estudio

Fuente: Google Maps (2022).

3.4. Estudio de Mecánica de Suelos

Según NTE E.050, el Estudio de Ingeniería Mecánica de Suelos (EMS) consta de lo siguiente: Memoria Descriptiva, Planos y Perfiles de Puntos Investigados, Perfil Estructural por Punto Investigado y Resultados de Ensayos de Laboratorio (ICG, 2018)

3.5. NTP a aplicar

Las NTP a aplicar son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 11. Normas Técnicas Peruanas (NTP)

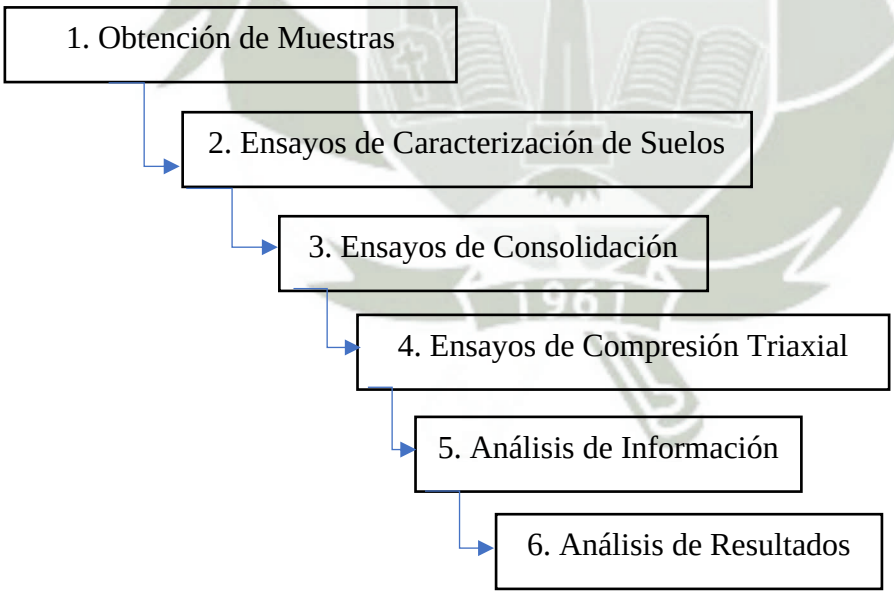
Normativa	Descripción
NTP 339.089	Obtención de muestras representativas en laboratorio (cuarteo)
NTP 339.090	Preparación en seco de muestras para el análisis granulométrico y determinación de las constantes del suelo.
NTP 339.128	Método de ensayo para el análisis granulométrico
NTP 339.129	Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos
NTP 339.131	Método de ensayo para determinar el peso específico relativo de las partículas sólidas de un suelo.
NTP 339.134	Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos, SUCS)
NTP 339.154	Ensayo de Consolidación de los Suelos
NTP 339.163	Método de ensayo normalizado para la medición de potencial de colapso de suelos.
NTP 339.164	Método de ensayo normalizado de compresión Triaxial

Fuente: Instituto Nacional de Calidad (2016).

3.6. Esquema de desarrollo del Proyecto

Figura 40

Procedimiento de la investigación



Nota: La figura muestra el procedimiento para ejecución de la investigación

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1. Ubicación del área de estudio

El Instituto Municipal de Planeamiento (IMPLA) establece el espacio ocupado por el Distrito de Mollebaya en una Zonificación RDM-1 (Zona Residencial Densidad Media Tipo 1) en el Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa (PDM 2016-2025). El Plan designa este tipo de suelo como aquel que está asociado a viviendas o viviendas unifamiliares que permiten conseguir una baja concentración poblacional a través de viviendas unifamiliares con las siguientes características:

Tabla 12. Características para zona RDM-1

Zona Residencial Densidad Media RDM-1		
Unifamiliar	Densidad Neta	De 166 a 900 hab/ha
	Lote Mínimo	90.00 m2
	Frente mínimo	8.00 ml
	Altura de edificación	3 pisos
	Coeficiente de edificación	2.10
	Área Libre	30 %
	Retiros	Según normatividad de retiros
	Alineamiento de fachada	Según normas de la Municipalidad Distrital Correspondiente
	Espacios de estacionamiento	1 c/2 viviendas
Multifamiliar	Densidad neta	166 a 1300 hab/ha
	Lote Mínimo	150.00 m2
	Frente mínimo	8.00 ml
	Altura de edificación	4 pisos
	Coeficiente de edificación	2.80
	Área Libre	35%
	Retiros	Según normatividad de retiros
	Alineamiento de fachada	Según normas de la Municipalidad Distrital correspondiente
	Espacios de estacionamiento	1 c/2 viviendas
Usos Compatibles		CV, CS, E-1, H-1, ZR

Fuente: Tomado de (IMPLA, 2016)

En anexos M – 01 y U – 01, se adjunta plano y mapa de ubicación del emplazamiento de estudio.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.1.1. Ubicación Geológica

Según el Portal Web Geocatmin (2024), identifica el sector en estudio del distrito de Yarabamba, sobre sobre el cuadrángulo de Puquina 34t, identificándose dos unidades litoestratigráficas, pertenecientes al Eratema Cenozoico, Sistema Neógeno y Cuaternario, Serie Plioceno y Holoceno, las unidades:

- Qh-al (Depósito Aluvial): Conformado por gravas y conglomerados en matriz areno-limoso.

Combina varios depósitos, tanto ribereños como aluviales, que se caracterizan por estar formados por gravas, arenas, rocas y arcillas dispuestas en diversas proporciones (INGEMMET, 2018).

Se encuentran principalmente en quebradas, planicies, lechos de ríos y cubren parcialmente rocas más antiguas. También se les puede observar en lechos y laderas de ríos a lo largo del valle chileno; se asemejan a pequeñas terrazas de dimensiones irregulares dependiendo de cómo estaba configurado el terreno donde se depositaban estos materiales.

Litológicamente está compuesto por grava, arena y piedra caliza sueltas que se formaron por la erosión y entremezcla de las rocas intrusivas, sedimentarias y metamórficas de la zona (Gutierrez Mamani, 2023).

4.1.2. Unidad Geomorfológica

Se identifica una geoforma de Carácter Depositacional y Agradacional, en la Unidad Planicies, Depresiones y Otros y Sub Unidad Terraza Aluvial Alta (Ta-al), en la cual se identifica peligros asociados a procesos de erosión e inundaciones menores (INGEMMET, 2020).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2. Estudio de Mecánica de Suelos

Se describe la memoria descriptiva y los planos – perfiles estratigráficos encontrados en el emplazamiento.

4.2.1. Memoria descriptiva

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones, en la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, en el artículo 16.2. de la citada, establece los siguientes cálculos y parámetros para diseño de cimentación.

4.2.1.1. Información previa

Anteriores usos (Artículo 13.6.1. NTE E.050): Los residentes de la región consideran el terreno como destinado a la agricultura. con áreas pantanosas rellenadas para la construcción de viviendas.

En el área de estudio no se encuentran restos arqueológicos, según el artículo 13.6.2. NTE E.050.

En cuanto a las construcciones colindantes (Artículo 13.7. NTE E.050): se pueden encontrar casas con hasta tres niveles.

4.2.2. Planos y Perfiles de puntos investigados

Se desarrolla un plano de ubicación acorde al acta catastral de la jurisdicción, perfil estratigráfico por puntos explorados y se sustenta los resultados de los ensayos de laboratorio.

4.2.2.1. Plano de Ubicación

El programa de exploración de campo y ensayos de laboratorio comprende:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 13. Condiciones de frontera

Condición	Descripción	Comentarios
a-1	No existen en los terrenos colindantes grandes irregularidades como afloramientos rocosos, fallas, ruinas arqueológicas, estratos erráticos, rellenos o cavidades.	Las áreas colindantes presentan estratos de relleno de altura variable.
a-2	No existen edificaciones situadas a menos de 100 m del terreno a edificar que presenten anomalías como grietas o desplomes originados por el terreno de cimentación.	Las edificaciones no presentan grietas o desplomes, ocasionado por las características del terreno de cimentación.
a-3	El tipo de edificación a cimentar es de la misma o de menor exigencia que las edificaciones situadas a menos de 100 m.	El tipo de edificación es similar en el área de estudio.
a-4	El número de plantas del edificio a cimentar, la modulación media entre apoyos y las cargas en éstos son iguales o inferiores que las correspondientes a las edificaciones situadas a menos de 100 m.	Las características de las edificaciones son comparables a las existentes.
a-5	Las cimentaciones de los edificios situados a menos de 100 m y la prevista para el edificio a cimentar son de tipo superficial.	La cimentación considerada es superficial.
a-6	La cimentación prevista para el edificio en estudio no profundiza respecto de las inmediatamente contiguas más de 1.5 m.	Se considera una edificación con profundidad de cimentación que no excede la profundidad de las cimentaciones contiguas.

Fuente: Adaptado de Delgado V. & Gil J. (2021)

Además, se consideran nueve puntos de exploración mediante calculadoras (ver ítem 3.2 del presente estudio). De igual forma se deberá alcanzar la profundidad mínima de 3 metros en cada sitio de exploración (calicatas y perforaciones).

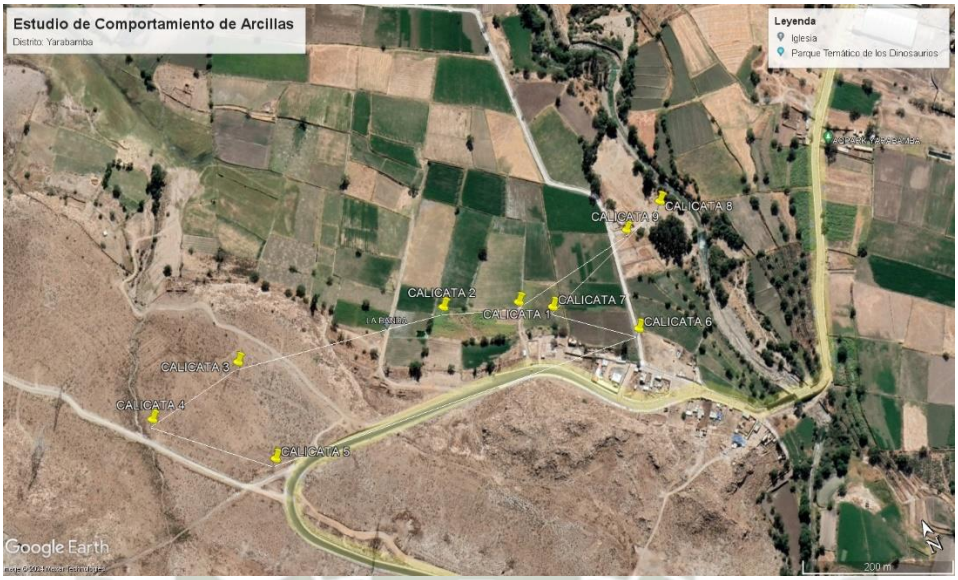
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 41

Ubicación de puntos



Nota: La figura muestra ubicación de puntos de exploración

Fuente: Google Earth Pro (2020)

La equidad en la distribución de los puntos de exploración se basó en las dimensiones y características del área de estudio. (Anexos U - 02: Plan de Exploración - Cálculos).

Los ejemplos que deben tomarse del suelo no se pueden rellenar. Así, los tipos de manifestaciones extraídas son: Exhibidas en una bolsa de plástico (Mab), obtenida de la balanza. Conforme los detalles de la tabla 4 de la NTE E.050.

Los ensayos "in situ" y en laboratorios se evalúan las muestras extraídas, como se describe en las Tablas 3 y 5 de la NTE E.050.

4.2.2.2. Perfil estratigráfico por puntos explorados

Se adjunta los perfiles estratigráficos encontradas en la exploración de suelos.

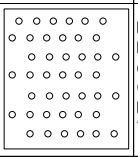
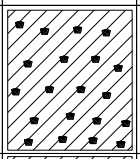
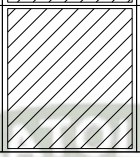
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 14. Perfil estratigráfico - Calicata C1

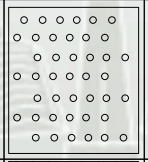
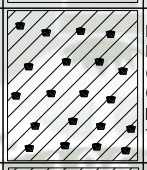
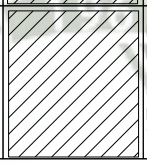
CALICATA C1

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 1.40 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: 8.54% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Media Humedad: 5.2% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
1.40 m - 1.70 m	Arena Arcillosa	SC		Plasticidad: 15.38% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Baja Humedad: 4.8% Tamaño Máximo: 4.75 mm	Color: Marrón Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
1.70 m - 3.30 m	Arcilla Inorgánica de Baja Plasticidad	CL		Plasticidad: 25.42% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Baja Humedad: 9.8% Tamaño Máximo:2.36mm	Color: Marrón Olor: No Detectado Angularidad: no detectado Cementación: Baja

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 15. Perfil estratigráfico - Calicata C2

CALICATA C2

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 1.90 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: 12.66% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Baja Humedad: 5.9% Tamaño Máximo: 3/4"	Color: Marrón claro Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
1.90 m - 2.30 m	Arena Arcillosa	SC		Plasticidad: 23.78% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Media Humedad: 4.6% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón claro Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
2.30 m - 3.05 m	Arcilla Inorgánica de Alta Plasticidad	CH		Plasticidad: 28.96% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Media Humedad: 10.5% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón claro Olor: No Detectado Angularidad: no detectado Cementación: Baja

Fuente: Elaboración Propia

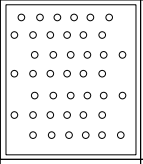
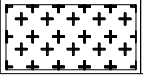
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 16. Perfil estratigráfico - Calicata C3

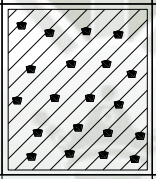
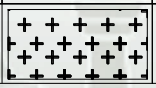
CALICATA C3

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 1.00 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.4% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón claro Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
1.00 m a +	Roca Intrusiva			Cuerpo rocoso intrusivo compuesto por granito	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 17. Perfil estratigráfico - Calicata C4

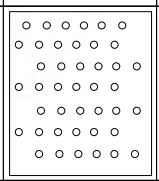
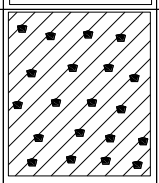
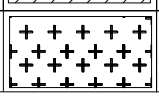
CALICATA C4

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 2.45 m	Arena Arcillosa	SC		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 5.2% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: No presenta
2.45 m a +	Roca Intrusiva			Cuerpo rocoso intrusivo compuesto por granito	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18. Perfil estratigráfico - Calicata C5

CALICATA C5

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 1.10 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.7% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
1.10 m - 2.50m	Arena Arcillosa	SC		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.5% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
2.50 m a +	Roca Intrusiva			Cuerpo rocoso intrusivo compuesto por granito	

Fuente: Elaboración Propia

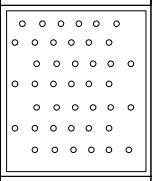
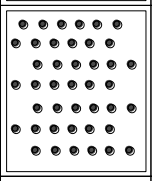
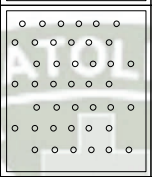
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 19. Perfil estratigráfico – Calicata C6

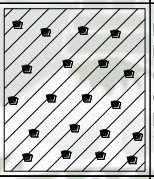
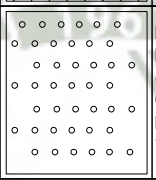
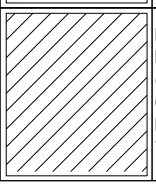
CALICATA C6

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 1.00 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.4% Tamaño Máximo: 3/4"	Color: Marrón gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas Cementación: Ligera
1.00 m - 1.40m	Arena Mal Gradada	SP		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.4% Tamaño Máximo: 4.75 mm	Color: Marrón oscuro Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas Cementación: Ligera
1.40 m - 3.00m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.4% Tamaño Máximo: 3/4"	Color: Marrón oscuro Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas Cementación: Ligera

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20. Perfil estratigráfico - Calicata C7

CALICATA C7

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 0.80 m	Arena Arcillosa	SC		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 7.4% Tamaño Máximo: 1"	Color: Gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena Cementación: Ligera
0.80 m - 2.50m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.6% Tamaño Máximo: 1/2"	Color: Marrón gris claro Olor: No Detectado Angularidad: Arena Cementación: Ligera
2.50 m - 3.00m	Arcilla de Baja Plasticidad	CL		Plasticidad: 27.19% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Baja Humedad: 10.5% Tamaño Máximo:2.36mm	Color: Marrón Olor: No Detectado Angularidad: no detectado Cementación: Baja

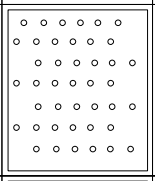
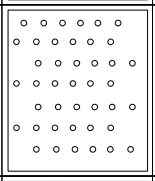
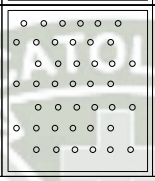
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 21. Perfil estratigráfico - Calicata C8

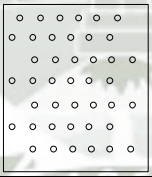
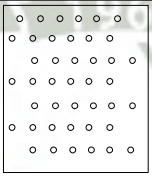
CALICATA C8

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 0.80 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.5% Tamaño Máximo: 1"	Color: Gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena Cementación: Ligera
0.80 m - 1.60m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.7% Tamaño Máximo: 1"	Color: Marrón gris claro Olor: No Detectado Angularidad: Arena Cementación: Ligera
1.60 m - 3.00m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: --% Densidad Relativa: No determinada Compacidad: Baja Humedad: 4.8% Tamaño Máximo: 3/4"	Color: Marrón gris claro Olor: No Detectado Angularidad: no detectado Cementación: Ligera

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 22. Perfil estratigráfico - Calicata C9

CALICATA C9

PROFUNDIDAD (m)	CLASIFICACIÓN SUCS			DESCRIPCIÓN FÍSICA	DESCRIPCIÓN GENERAL
	NOMBRE	TÉRMINO	SIMBOLOGÍA		
0.00 m - 0.90 m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.5% Tamaño Máximo: 3/4"	Color: Marrón gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera
0.90 m - 3.10m	Arena Bien Gradada	SW		Plasticidad: -- Densidad Relativa: No determinada Compacidad: No presenta Humedad: 4.7% Tamaño Máximo: 3/4"	Color: Marrón gris Olor: No Detectado Angularidad: Arena y gravas angulosas Cementación: Ligera

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

4.2.2.3. Resultados de los Ensayos de Laboratorio

Según las especificaciones de la norma E.050. Art. 16.4, se detalla los resultados de ensayos:

Tabla 23. Resultados de ensayos de laboratorio C1-C4

Nº Calicata	**C1**			**C2**			**C3**	**C4**
Muestra	1	2	3	1	2	3	1	1
Profundidad (m)	0.00 – 1.40	1.40 – 1.70	1.70 – 3.30	0.00 – 1.85	1.85 – 2.15	2.15 – 3.05	0.00 – 1.00	0.00 – 2.45
Tipo de muestra	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab
Clasificación SUCS	SW	SC	CL	SC	SW	CH	SW	SC
Contenido de Humedad (%)	5.2	4.8	9.8	5.9	4.6	10.5	4.4	5.2
Gravedad Específica promedio G_s	2.69	2.62	2.63	2.64	2.68	2.62	2.68	2.65
Gravedad (m/s^2)	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005
Densidad del agua (kg/m^3)	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343
Peso Unitario (kN/m^3)	15.887	15.985	18.443	15.887	15.985	17.927	15.396	16.181
Peso Unitario (g/cm^3)	1.62	1.63	1.88	1.62	1.63	1.82	1.57	1.65

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 24. Resultados de ensayos de laboratorio C5-C7

Nº Calicata	**C5**		**C6**			**C7**		
Muestra	1	2	1	2	3	1	2	3
Profundidad (m)	0.00 – 1.10	1.10 – 2.50	0.00 – 1.00	1.00 – 1.40	1.40 – 3.00	0.00 – 0.80	0.80 – 2.50	2.50 – 3.00
Tipo de muestra	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab
Clasificación SUCS	SW	SC	SW	SP	SW	SC	SW	CL
Contenido de Humedad (%)	4.7	4.5	4.4	4.4	4.4	7.4	4.6	10.5
Gravedad Específica promedio G_s	2.69	2.69	2.68	2.57	2.68	2.62	2.68	2.65
Gravedad (m/s^2)	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005

Nº Calicata	C5		C6		C7			
Densidad del agua (kg/m^3)	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343
Peso Unitario (kN/m^3)	15.200	15.495	15.200	14.808	15.298	16.181	15.004	18.541
Peso Unitario (g/cm^3)	1.55	1.58	1.55	1.51	1.56	1.65	1.53	1.89

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25. Resultados de ensayos de laboratorio C8-C9

Nº Calicata	C8			C9	
Muestra	1	2	3	1	2
Profundidad (m)	0.00 – 0.80	0.80 – 1.60	1.60 – 3.00	0.00 – 0.90	0.90 – 3.10
Tipo de muestra	Mab	Mab	Mab	Mab	Mab
Clasificación SUCS	SW	SW	SW	SW	SW
Contenido de Humedad (%)	4.5	4.7	4.8	4.5	4.7
Gravedad Específica promedio G_s	2.67	2.68	2.68	2.66	2.67
Gravedad (m/s^2)	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005	9.81005
Densidad del agua (kg/m^3)	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343	T x 20ºC 998.2343
Peso Unitario (kN/m^3)	15.004	15.004	14.906	15.004	15.004
Peso Unitario (g/cm^3)	1.53	1.53	1.52	1.53	1.53

Fuente: Elaboración Propia

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.2.2.3.1. Ensayo de permeabilidad de suelos (NTP 339.147)

Debido a que en el laboratorio de la universidad solo se cuenta con el ensayo de permeabilidad de carga constante es que se adecuó dicho ensayo en el ensayo de permeabilidad de carga variable de la siguiente manera

1. Primero mezclamos nuestra muestra de suelo con agua aproximadamente 100 ml
2. Mezclamos nuestra muestra y el agua hasta que quede uniforme
3. Con ayuda de una balanza obtenemos el peso de la celda vacía con todos los accesorios
4. Pesamos 200 g. de la muestra preparada
5. Luego nuestra muestra húmeda la pasamos a la celda en 3 capas y cada capa la compactamos con ayuda de un pisón
6. Pesamos la celda + la muestra húmeda
7. Luego acomodamos el soporte del permeámetro
8. Se verifico que la manguera sea la adecuada a la boquilla de la celda
9. Se calculo el área de la bureta luego echamos agua, lo repetimos varias veces para eliminar las burbujas de aire
10. Usamos un bowl metálico para obtener la variación de volumen de la bureta
11. Luego de conectar la bureta a la manguera y la celda, repetimos el proceso hasta obtener una columna de agua importante, asegurándonos de que nunca queden burbujas de aire y que el suelo esté saturado, para terminar con el llenado nos ayudamos con una jeringa
12. Medimos la altura del permeámetro desde el piso hasta la primera marca
13. Medimos la altura del espejo de agua
14. Finalmente anotamos las lecturas de la bureta para los distintos tiempos

La permeabilidad se obtiene de la expresión:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$k = \frac{aL}{At} ln \frac{h1}{h2}$$

Donde:

a = Área de la tubería

h1 = Carga Inicial

h2 = Carga final

t = Tiempo

k = Permeabilidad

Los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 26. Resultados - Permeabilidad de suelos arcillosos

Calicata	Estrato	K (Permeabilidad en cm/s)
C1	3	7.61×10^{-7}
C2	3	5.11×10^{-7}
C7	3	8.42×10^{-7}

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.3.2. Ensayo de Compresión Triaxial consolidado (C) no drenado (U) para suelos cohesivos.

- Justificación del ensayo

(Braja , 2015) refiere que, En un suelo arcilloso, el proceso completo de la prueba triaxial consolidada-drenada puede tomar varios días. Para garantizar el pleno aprovechamiento del suelo, es necesario invertir tiempo en aplicar un esfuerzo degradante a un ritmo muy lento. Los esfuerzos principales totales y efectivos no son los mismos en la prueba consolidada-no drenada, en contraste con la prueba con consolidación y drenaje. Esta prueba permite medir la presión intersticial en el otoño, que es la presión utilizada para la zonificación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Además, en este tipo de experimentos se asegura que el esfuerzo sea efectivo actuando de esta forma sobre la fase sólida del suelo. Así, impidiendo la creación de consolidación extra durante la falla, por aplicación de carga axial (Salas, 2011). Esto se logra mediante una cámara de compresión triaxial.

Así mismo, debido a la baja permeabilidad de las arcillas y a su proximidad con el cauce del río y a las condiciones pluviales de la zona, el ensayo triaxial CU es el que más asemeja el comportamiento de la arcilla en el campo.

- Velocidad de ensayo

Se consideró una velocidad recomendada por (Dai & Qin, 2013), en la que señala que para un ensayo triaxial CU, se garantiza que el estrato superior sea impermeable, obligando al flujo a desplazarse hacia abajo una distancia de 0.016 m, con velocidad de 0.00167 mm/s, el cual resulta ser 0.1 mm/min, la cual es recomendada para el modelamiento por el autor referido.

- Descripción del ensayo CU.

Debido a la presencia de arcillas en el área de estudio en el distrito de Yarabamba, se realizó un ensayo de resistencia a la compresión triaxial para determinar el ángulo de fricción interna y la cohesividad superficial del suelo. Es de vital importancia señalar que se utilizó la condición Consolidado. No afectado por la baja permeabilidad de las arcillas y la presencia de un nivel freático en la zona. Las tablas de resultados se adjuntan a continuación de acuerdo con las consideraciones establecidas en la norma NTP 339.164 SUELOS. Método de prueba de compresión triaxial normalizado sin consolidación y sin drenado para suturas cohesivas.

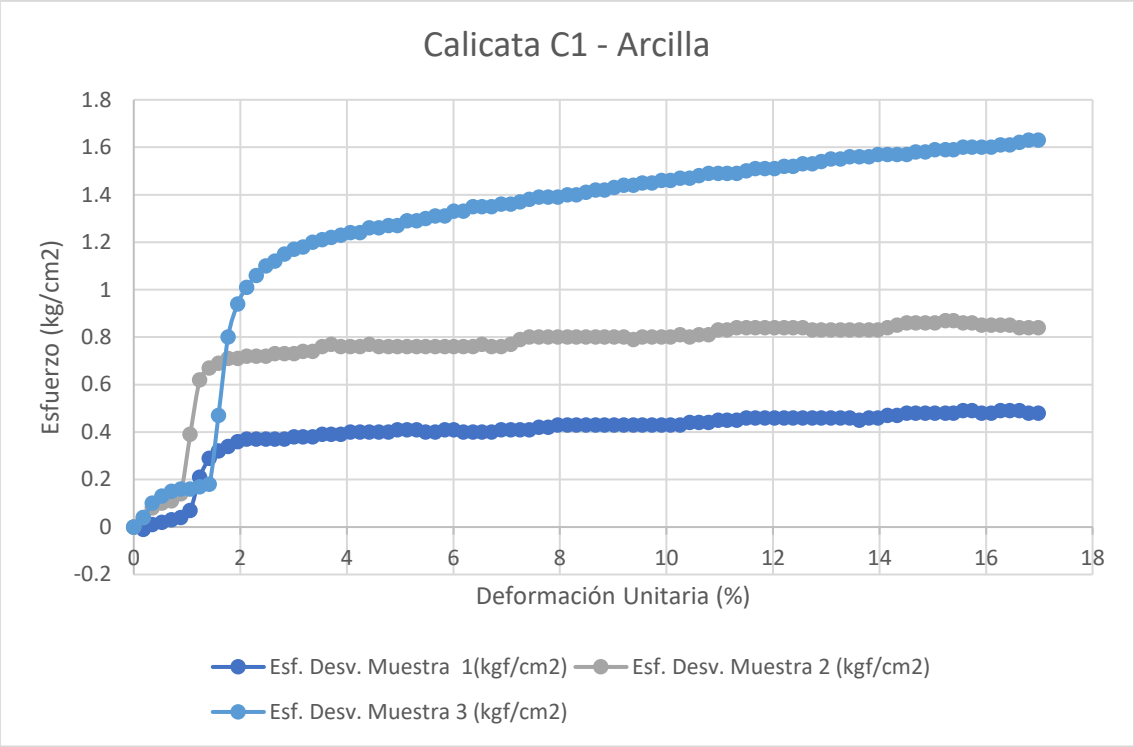
Se adjunta la curva de Esfuerzo versus Deformación Unitaria para la arcilla encontrada en Calicata C1.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 42

Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, Calicata C1



Nota: La figura muestra la curva esfuerzo – deformación unitaria de muestra de arcilla en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener los diagramas del círculo de Mohr, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 27. Datos - Círculo de Mohr de esfuerzos totales Arcilla 1 en kgf/cm^2

$\sigma_1 - \sigma_3$	$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	Esf. inicial	centro x
1.63	0.815	2.55	3.365
0.84	0.42	1.41	1.83
0.48	0.24	0.7	0.94

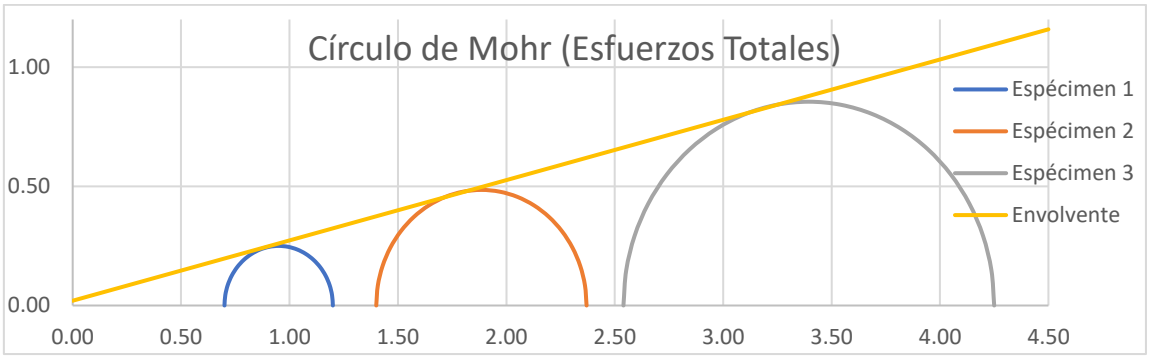
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 43

Gráfica de Mohr - Esfuerzos totales Arcilla 1



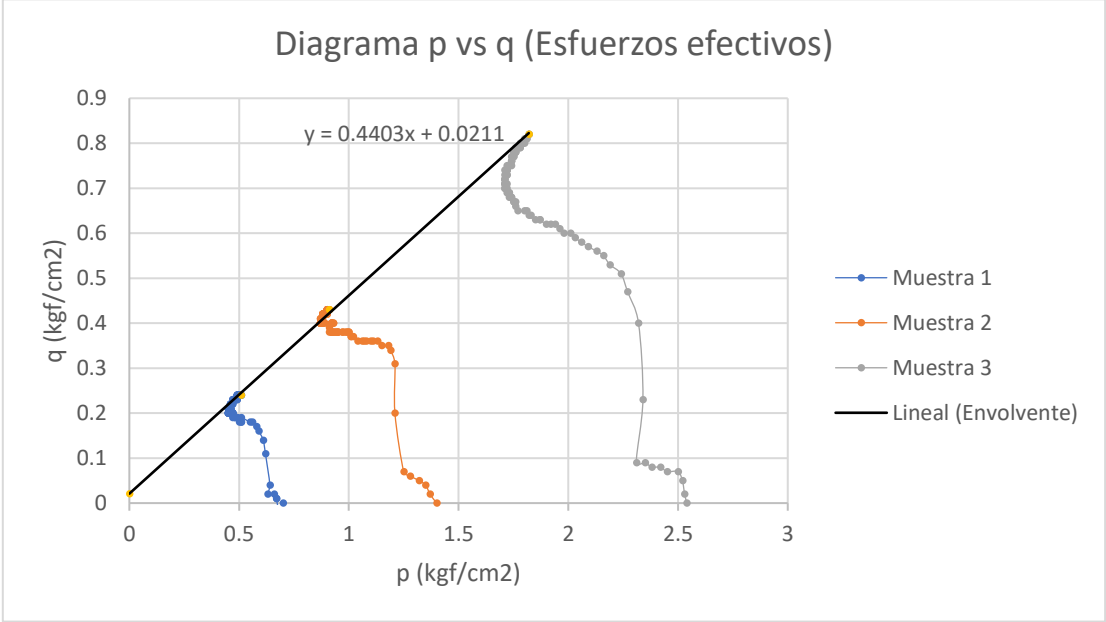
Nota: La figura muestra la gráfica de Mohr de Arcilla 1

Fuente: Elaboración Propia

Con los esfuerzos efectivos p y q, se obtiene el diagrama de esfuerzos efectivos p vs q y Círculo de Mohr de esfuerzos efectivos, los cuales se adjuntan a continuación:

Figura 44

Diagrama p vs q (Esfuerzos efectivos) Arcilla 1



Nota: La figura muestra el disgrama p vs q de Arcilla 1

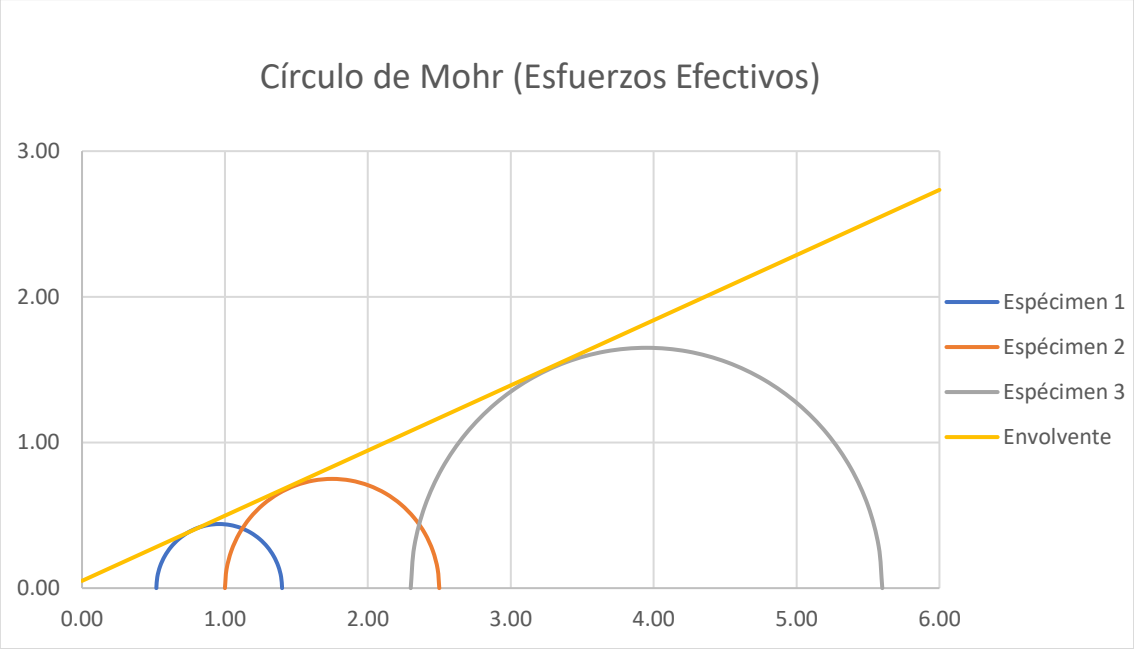
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 45

Gráfica de Mohr - Esfuerzos efectivos Arcilla 1 (kgf/cm^2)

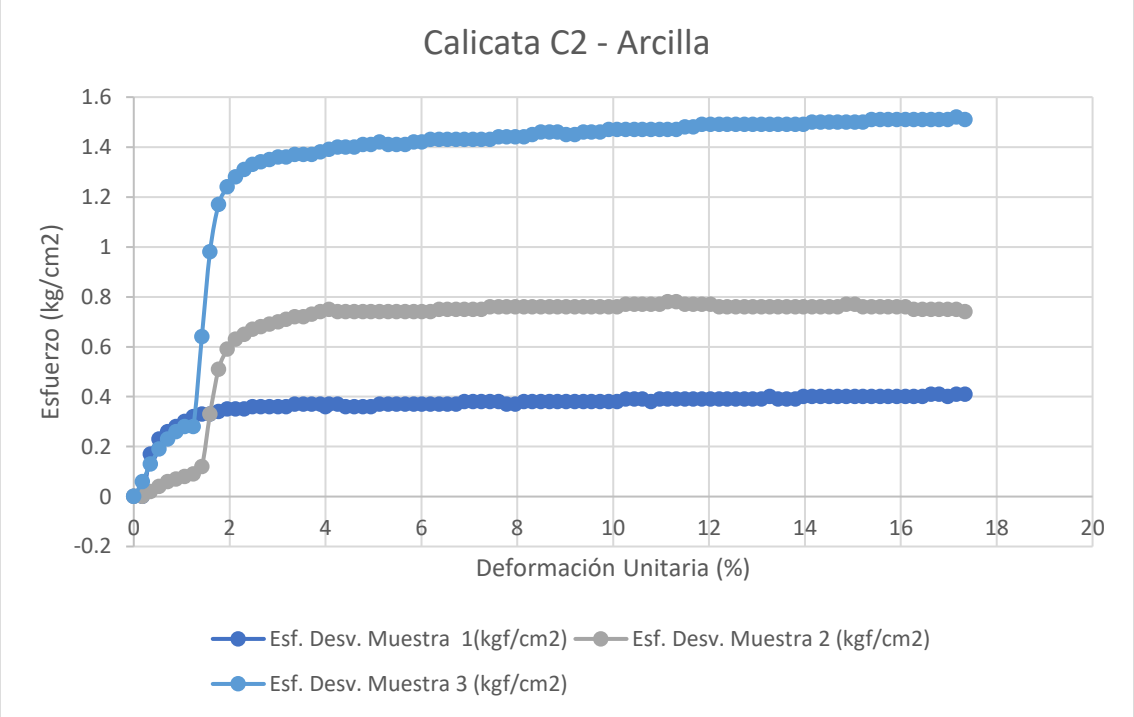


La figura muestra el Circulo de Mohr de esfuerzos efectivos para Arcilla 1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 46

Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, Calicata C2



Nota: La figura muestra esfuerzo vs deformación unitaria en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para obtener los diagramas del círculo de Mohr, se obtuvieron los siguientes datos:

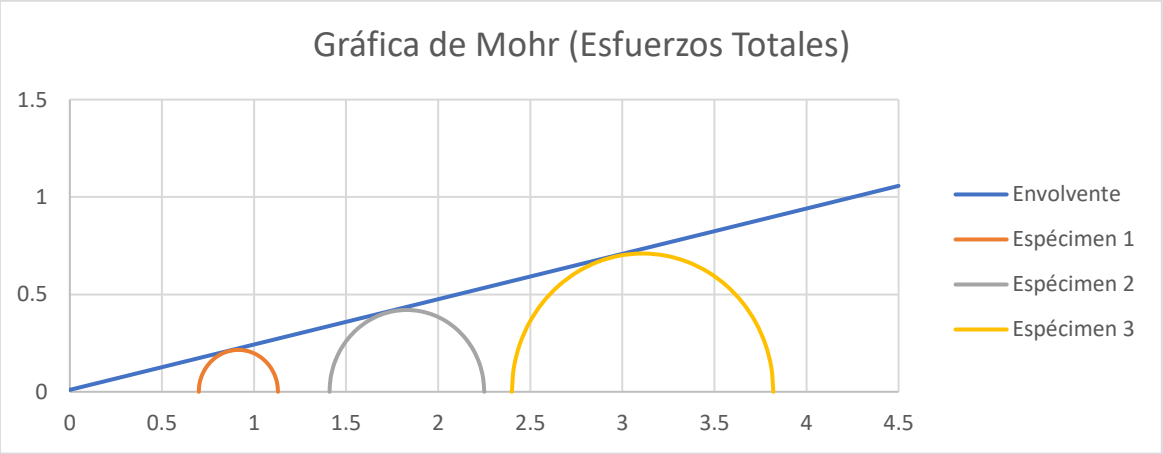
Tabla 28. Datos - Círculo de Mohr de esfuerzos totales Calicata C2 en kgf/cm^2

$\sigma_1 - \sigma_3$	$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	Esf. inicial	centro x
1.51	0.755	2.55	3.305
0.74	0.37	1.41	1.78
0.41	0.205	0.7	0.905

Fuente: Elaboración Propia

Figura 47

Gráfica de Mohr - Esfuerzos totales Calicata C2 (kgf/cm^2*)*



Nota: La figura muestra la gráfica de Mohr de esfuerzos totales en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

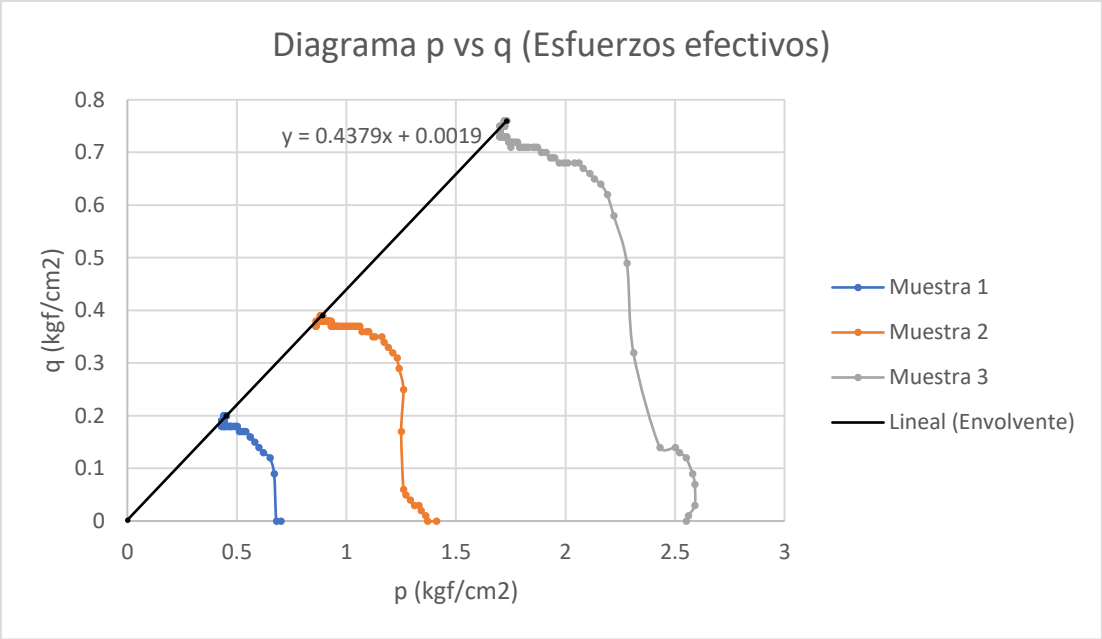
Con los esfuerzos efectivos p y q, se obtiene el diagrama de esfuerzos efectivos p vs q y Círculo de Mohr de esfuerzos efectivos, los cuales se adjuntan a continuación:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 48

Diagrama p vs q (Esfuerzos efectivos) Calicata C2

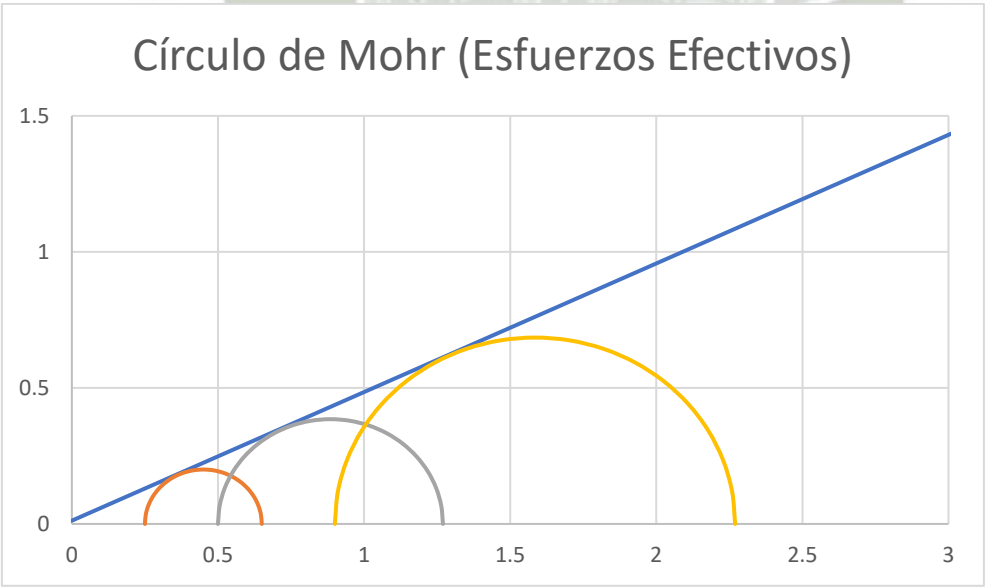


Nota: La figura muestra diagrama p vs q de esfuerzos efectivos en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Figura 49

Gráfica de Mohr - Esfuerzos efectivos Calicata C2 (kgf/cm^2)



Nota: La figura muestra Gráfica de Mohr de esfuerzos efectivos de Calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

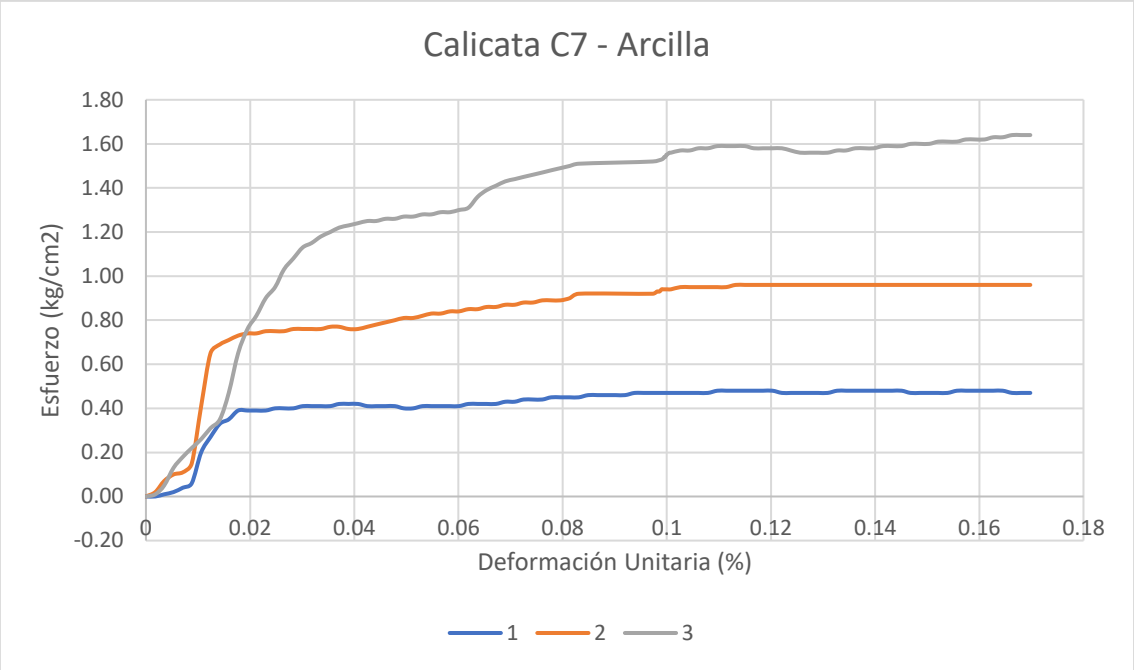
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 50

Curva Esfuerzo vs Deformación Unitaria, Calicata C7



Nota: La figura muestra la curva esfuerzo vs deformación unitaria de arcillas en Calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Para obtener los diagramas del círculo de Mohr, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 29. Datos - Círculo de Mohr de esfuerzos totales Calicata C7 en kgf/cm^2

$\sigma_1 - \sigma_3$	$r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$	Esf. inicial	centro x
1.57	0.785	2.55	3.335
0.82	0.41	1.41	1.82
0.445	0.2225	0.7	0.9225

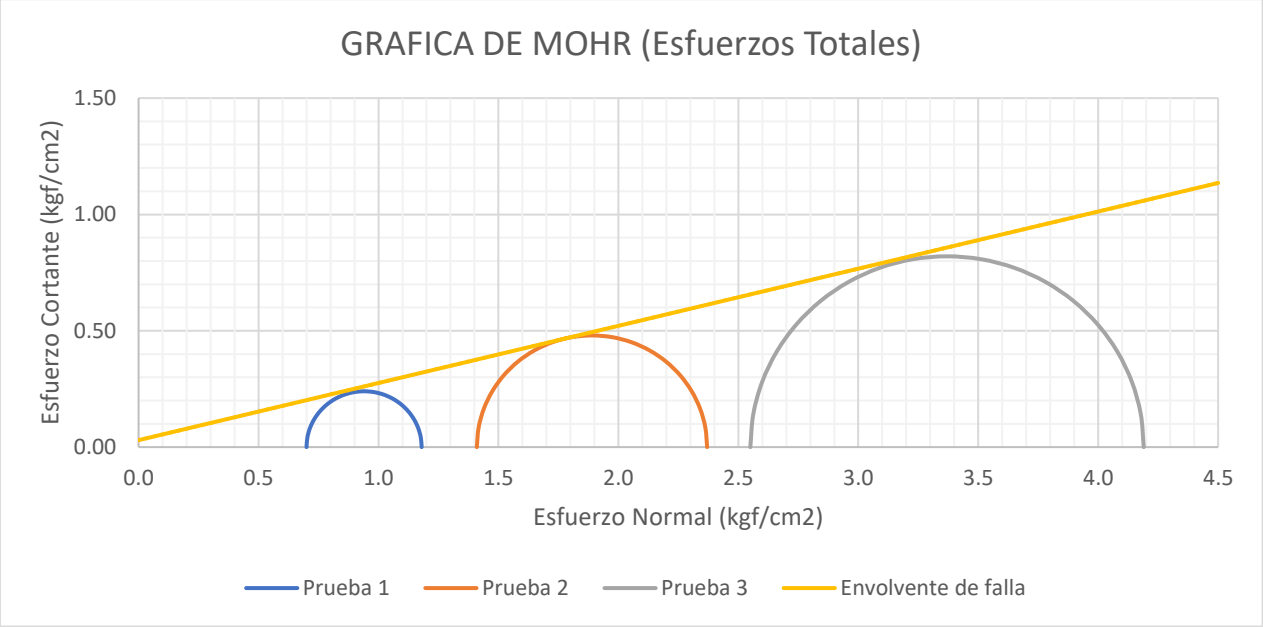
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 51

Gráfica de Mohr - Esfuerzos totales Calicata C7 (kgf/cm^2)



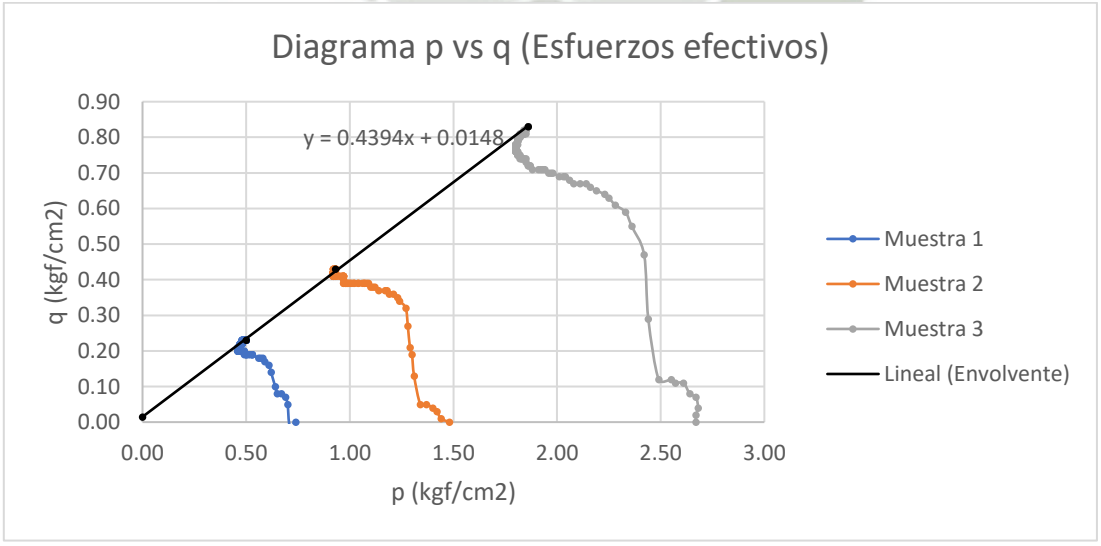
Nota: La figura muestra la gráfica de Mohr de esfuerzos totales en arcillas en calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Con los esfuerzos efectivos p y q, se obtiene el diagrama de esfuerzos efectivos p vs q y Círculo de Mohr de esfuerzos efectivos, los cuales se adjuntan a continuación:

Figura 52

Diagrama p vs q (Esfuerzos efectivos) Calicata C7



Nota: La figura muestra el diagrama p vs q de esfuerzos efectivos en arcillas de calicata C7

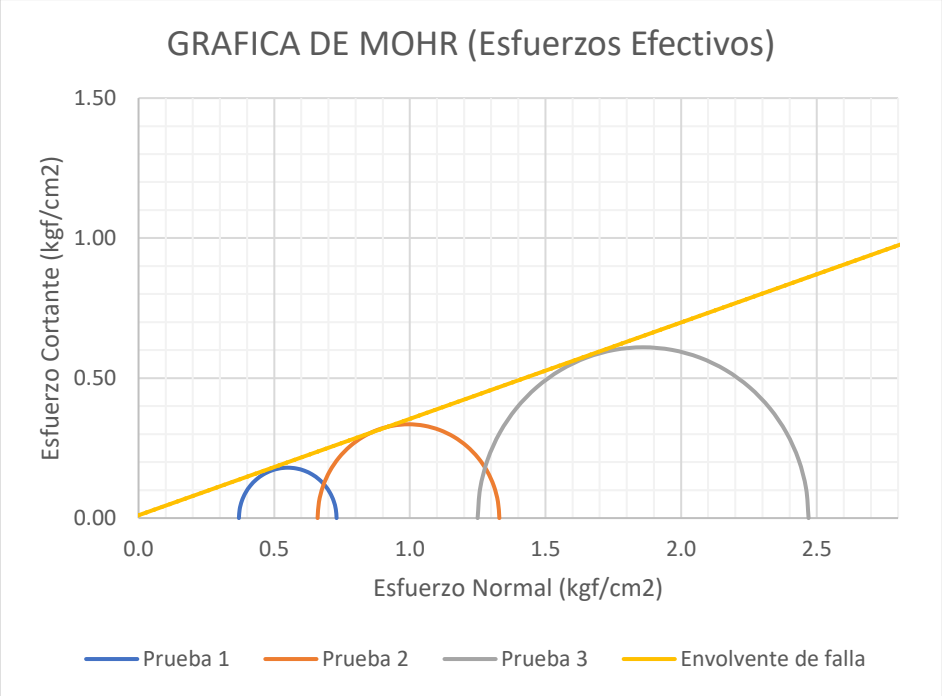
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 53

Gráfica de Mohr - Esfuerzos efectivos Calicata C7 (kgf/cm^2)



Nota: La figura muestra gráficas de Mohr de esfuerzos efectivos de arcillas en Calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Por lo expuesto, los resultados obtenidos son los siguientes:

Tabla 30. Resultados - Ensayo triaxial

Parámetros	Calicata C1	Calicata C2	Calicata C7
Ángulo de fricción (Ø)	23.9º	24.2º	19º
Cohesión (kgf/cm2)	0.0229	0.0000	0.0100

Fuente: Propia

4.2.2.3.3. Ensayo de consolidación Unidimensional de suelos

El análisis se realizó teniendo en cuenta las consideraciones de la norma NTP 339.154. SUELOS. Utilizando un método de prueba estandarizado para las propiedades de consolidación unidimensional de los suelos, se obtuvieron los siguientes resultados:

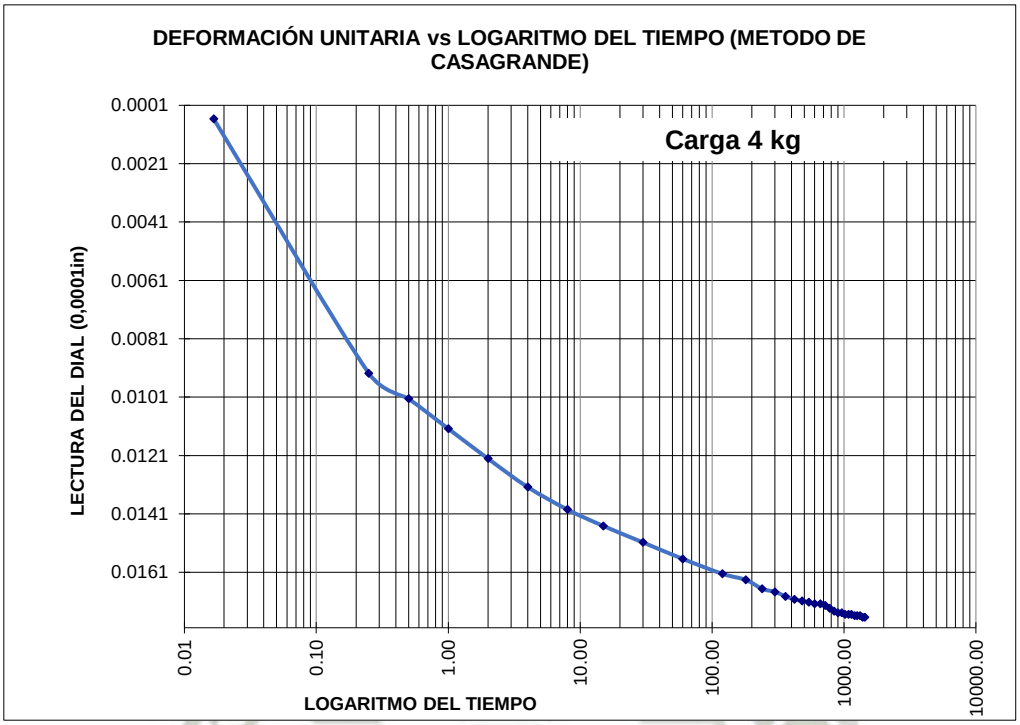
En primer lugar, se muestran las lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (en minutos) para cada aumento de carga. Se adjunta las gráficas para las arcillas encontradas en la unidad de estudio:

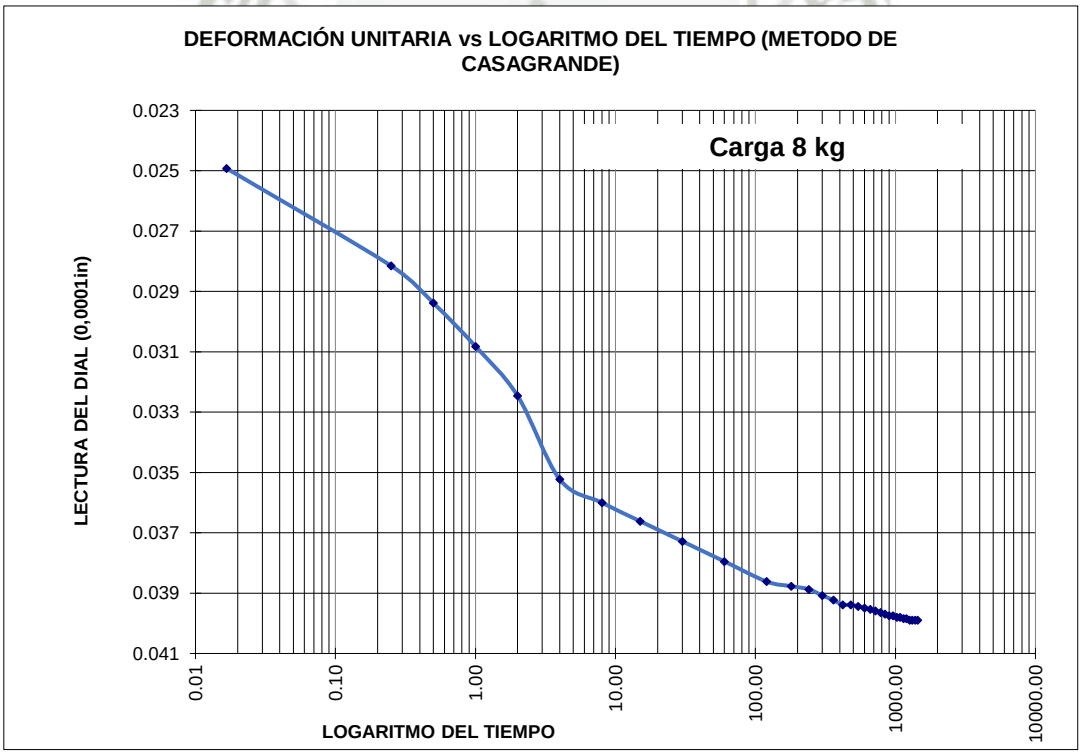
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 54

Curva lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) - Calicata C1

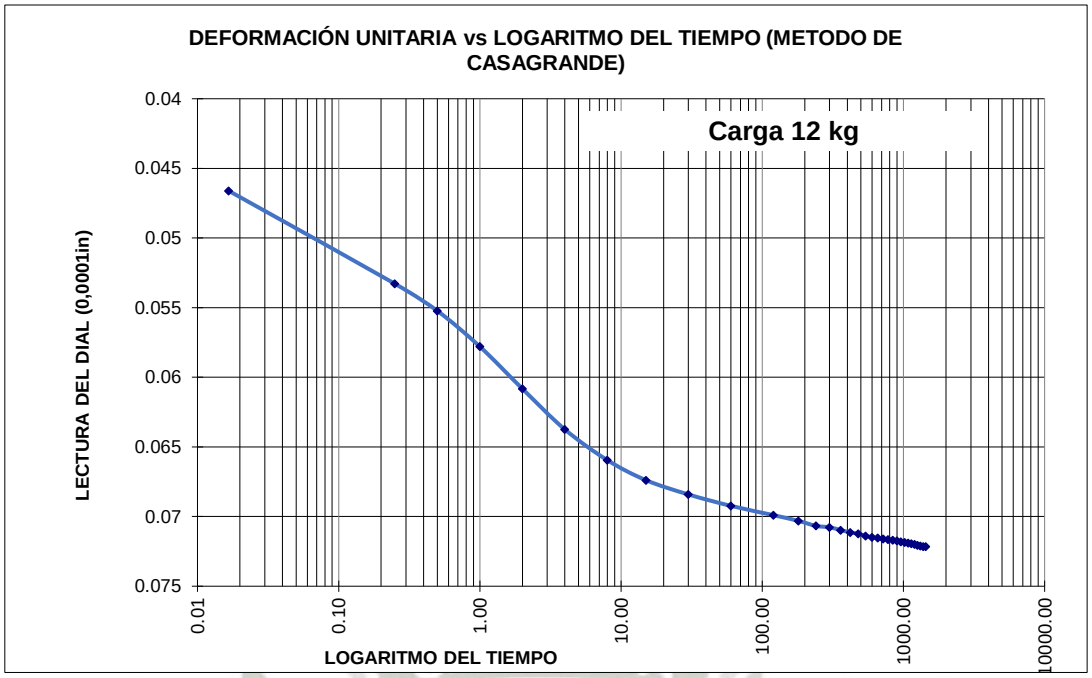




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

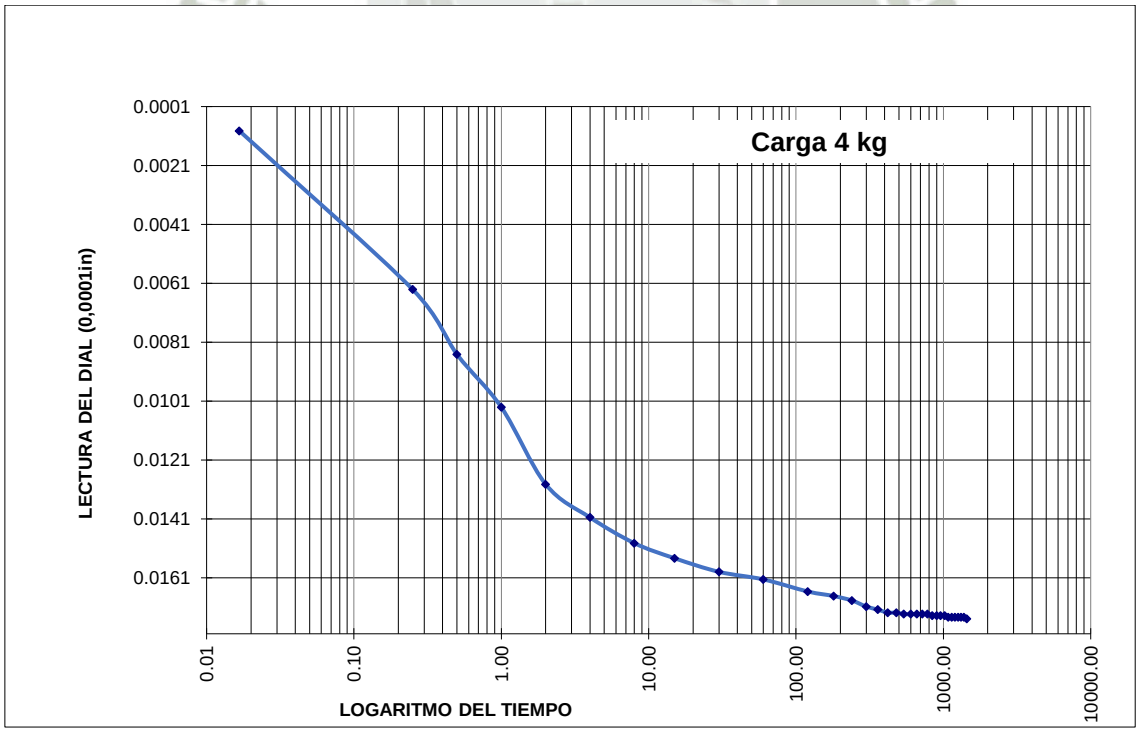


Nota: Las figuras muestran lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) de arcillas en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 55

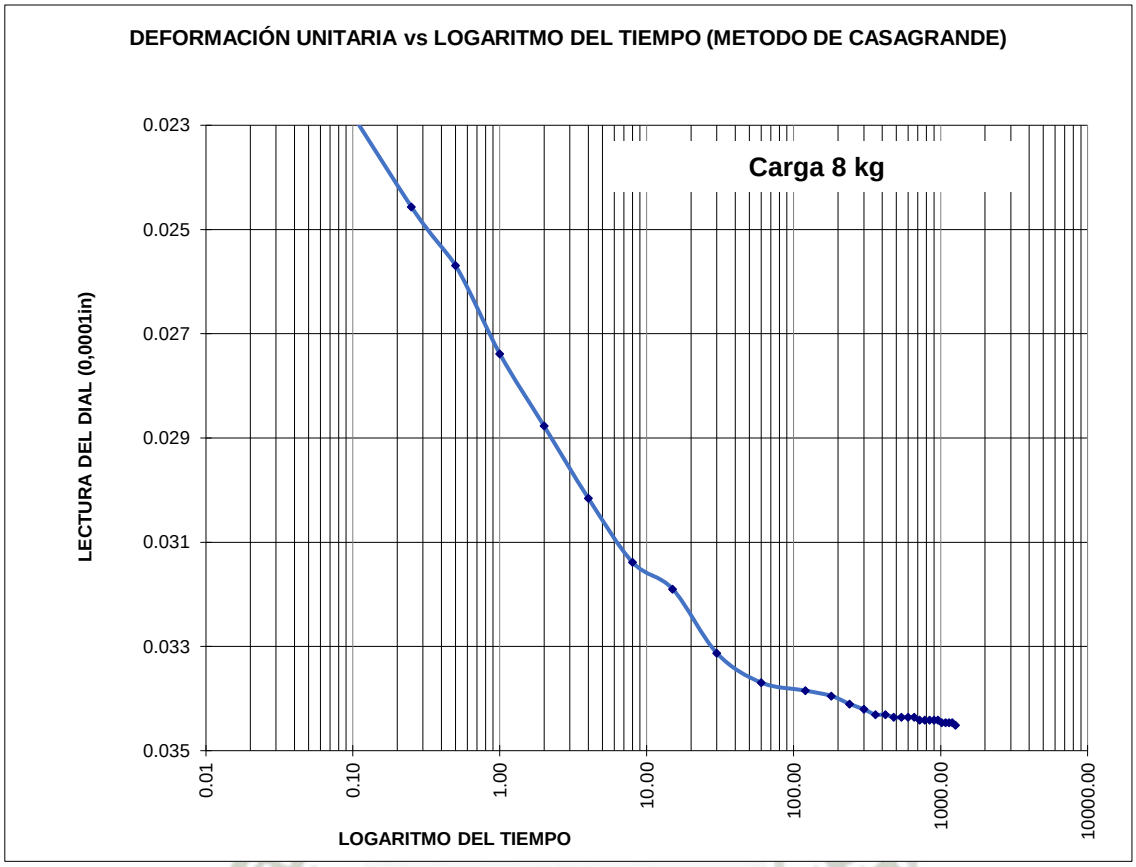
Curva lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) - Calicata C2

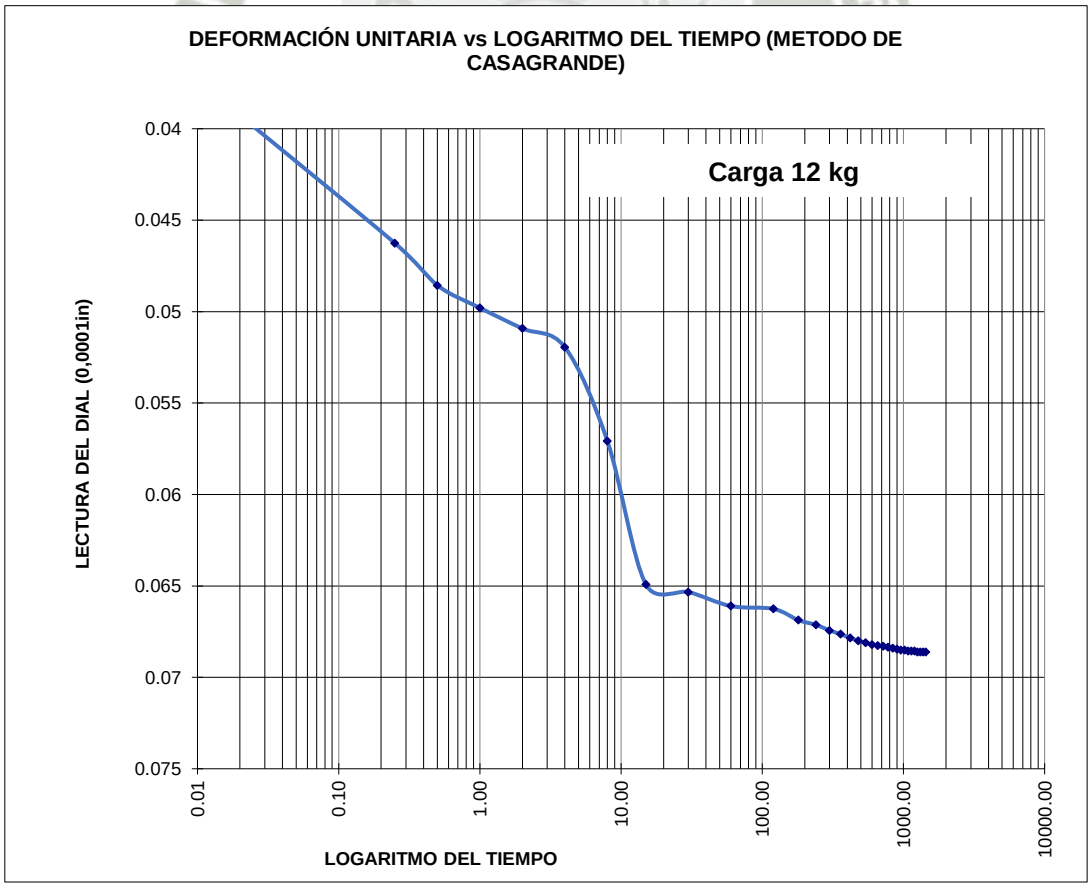


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

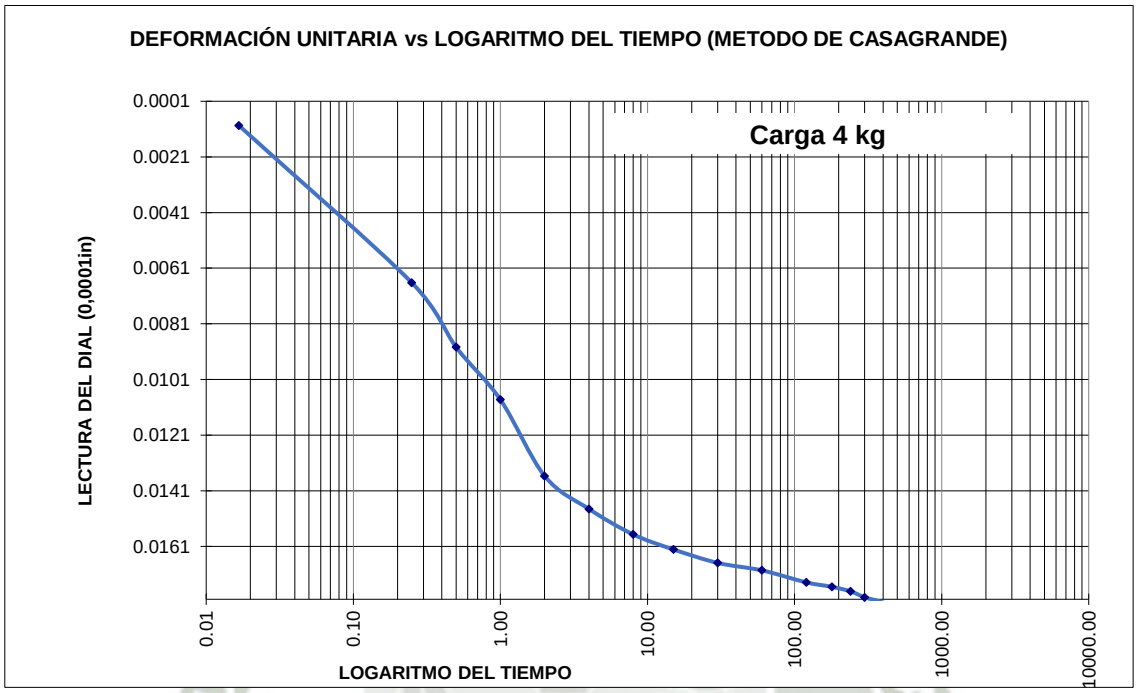
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

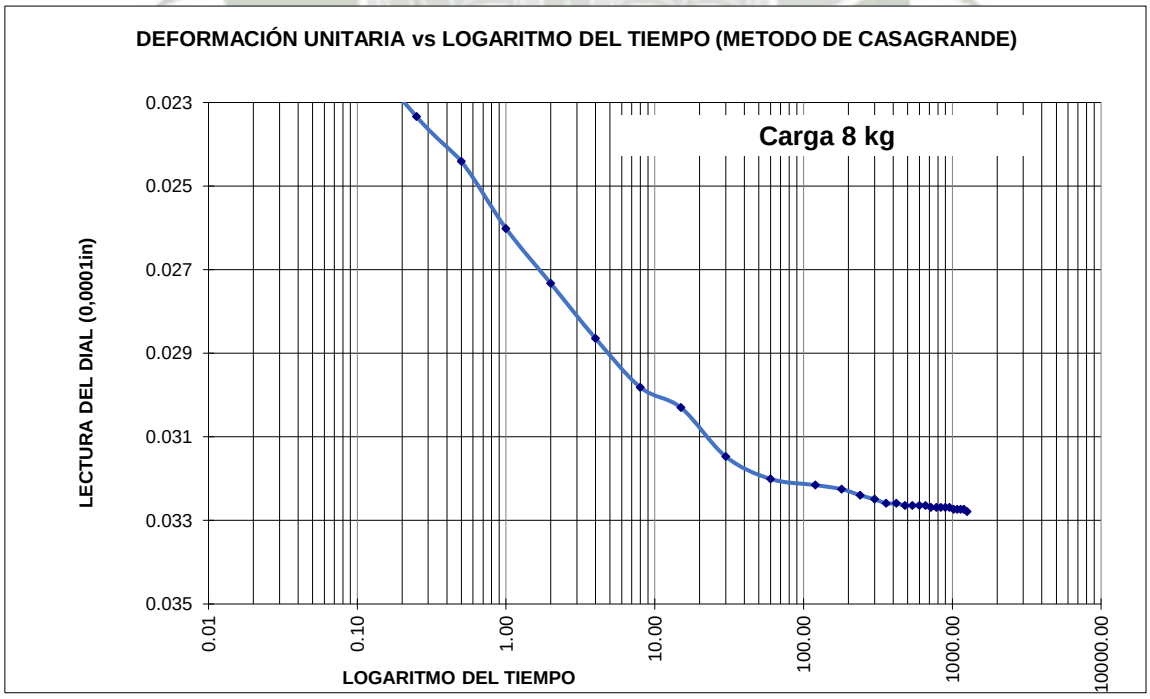
Nota: Las figuras muestran las curvas de deformación (d) vs log de tiempo (min) en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Figura 56

Curva lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) - Calicata C7

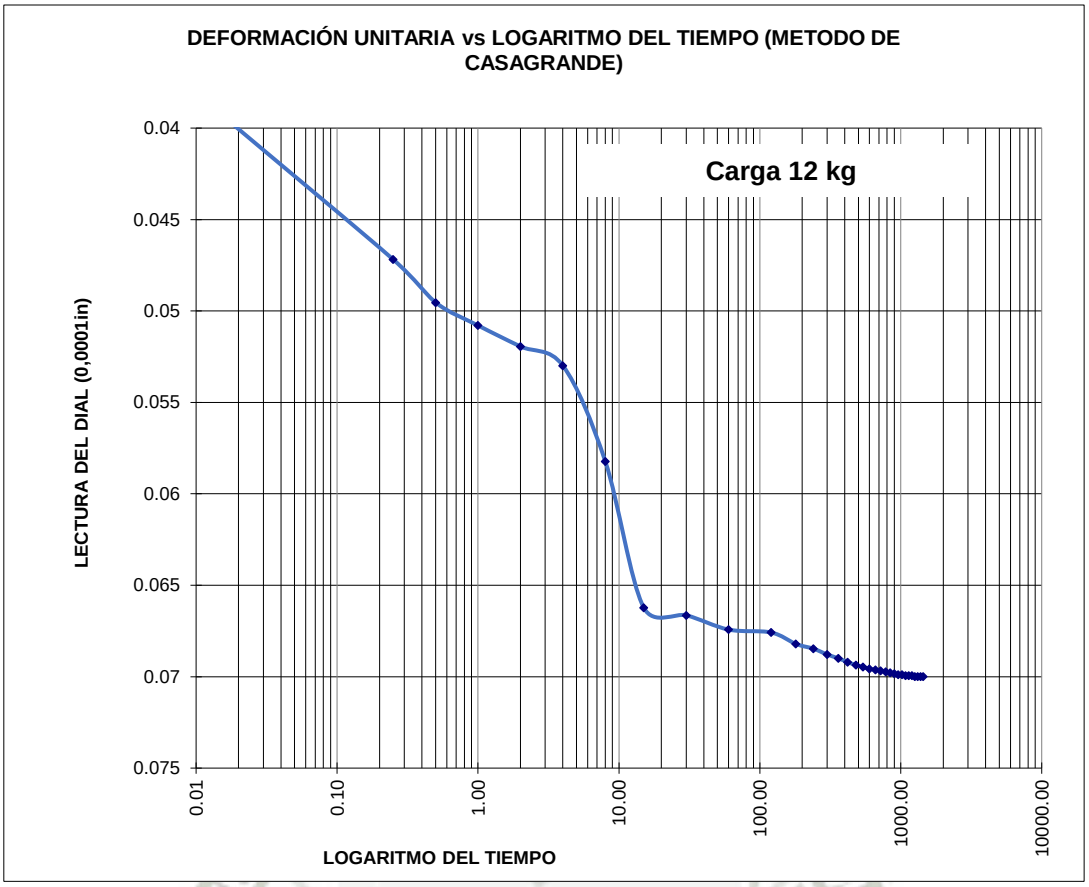




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Nota: La figura muestra curvas de lecturas de deformación (d) vs log de tiempo (min) de arcillas en calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Para obtención de la presión de consolidación, se realizó el método de Taylor, el cual consiste en graficar la raíz del tiempo vs la deformación vertical ε. Se empleó esta metodología ya que, la diferencia entre los dos valores de Cv calculados difieren en menos del 10% (Saldaña Nuñez, 2014).

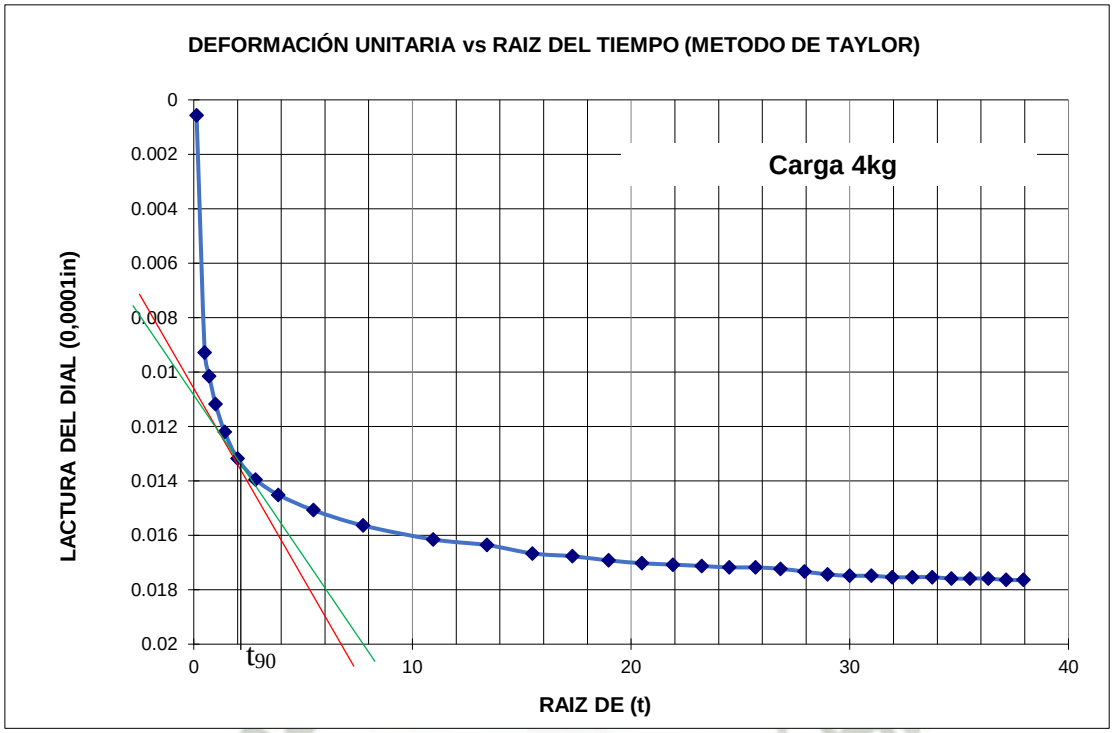
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

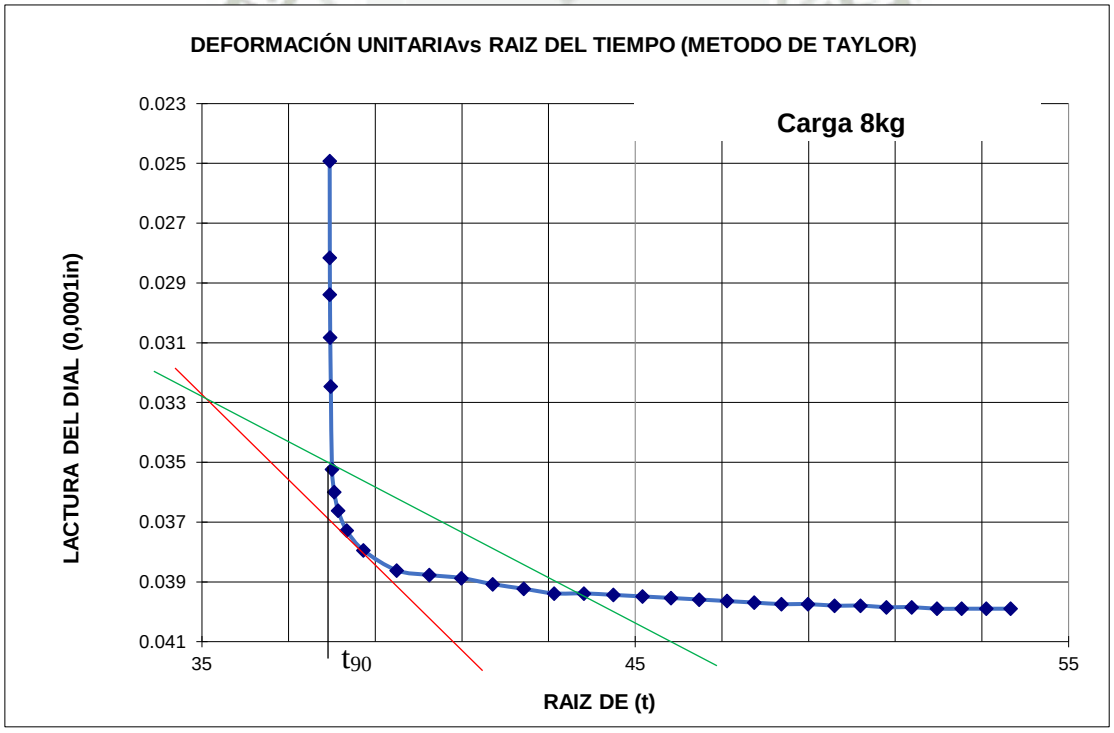
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 57

Coeficiente de Consolidación - Método de Taylor Arcilla de Calicata C1

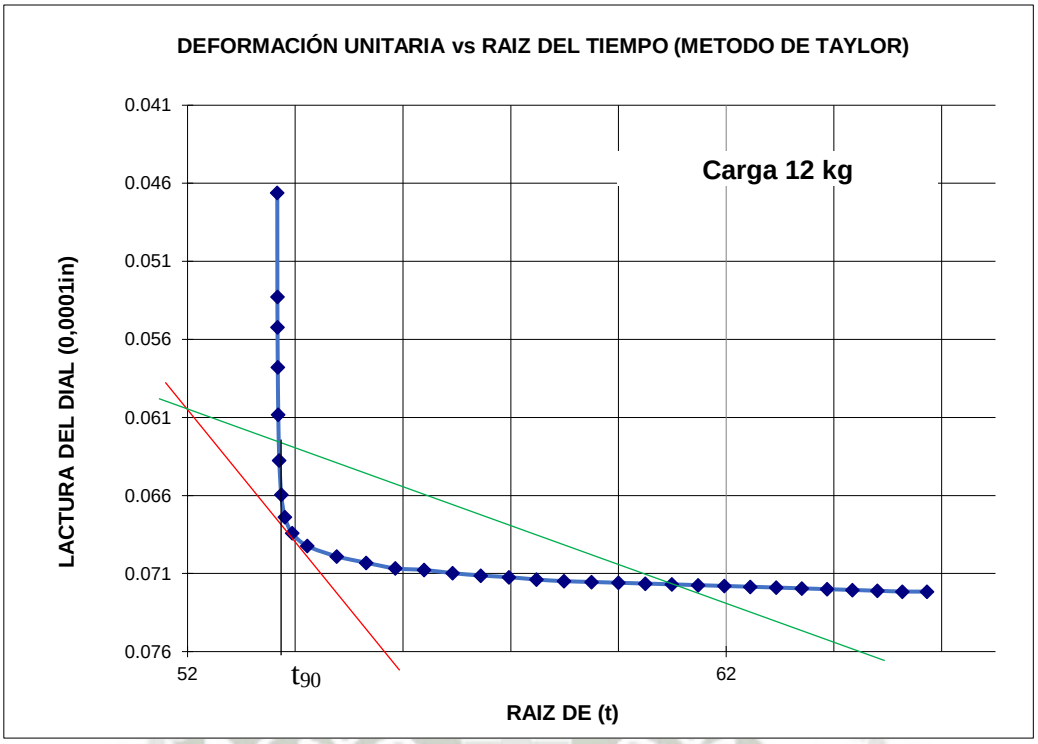




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

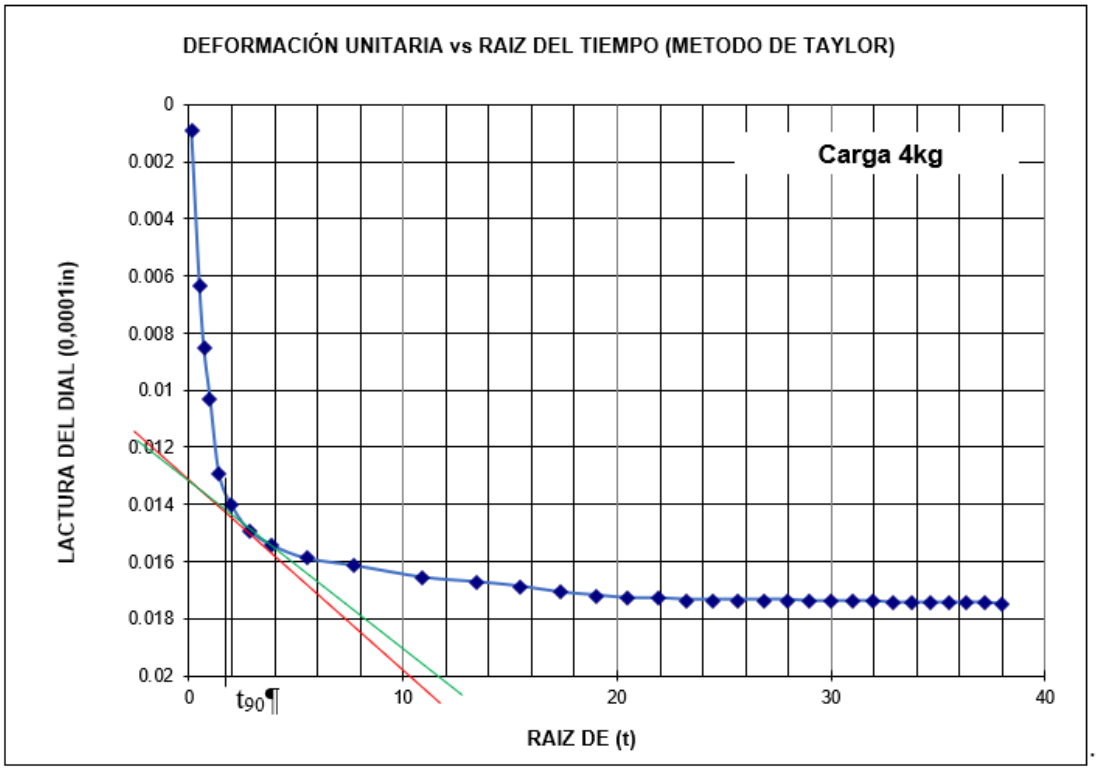


Nota: La figura muestra Curvas de consolidación por el método de Taylor a distintas cargas en arcillas de Calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 58

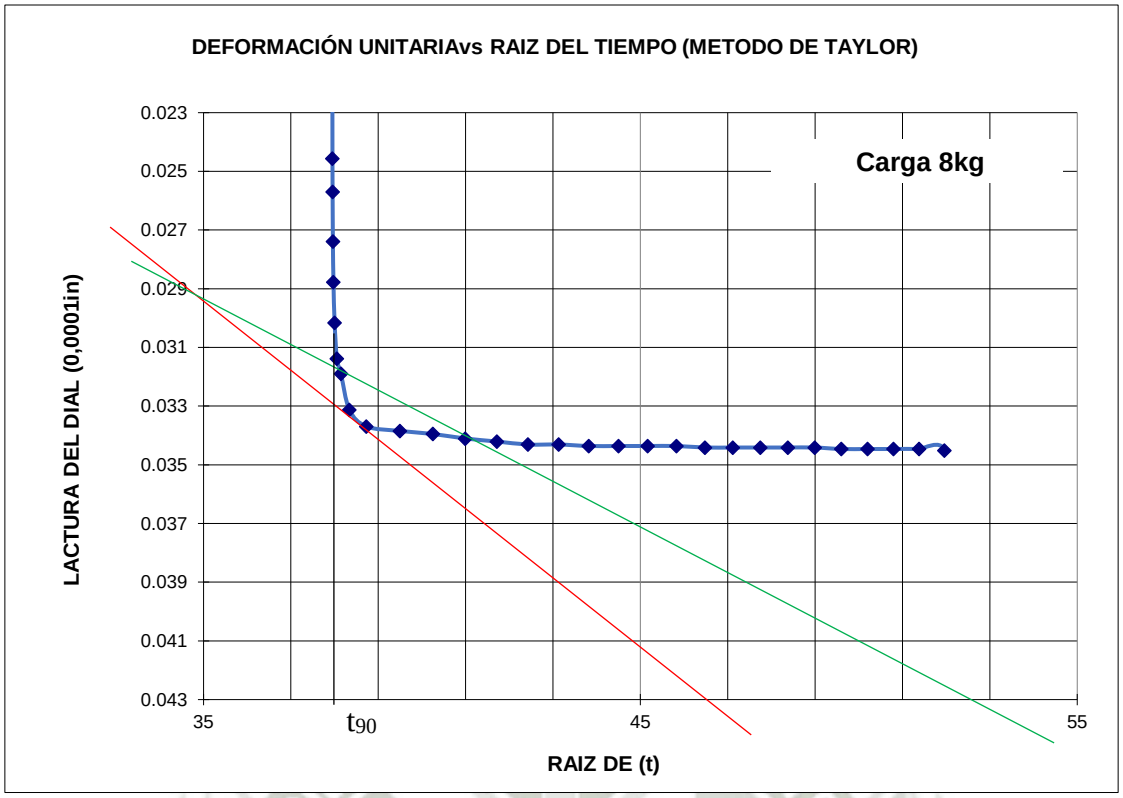
Coeficiente de Consolidación - Método de Taylor Arcilla de Calicata C2

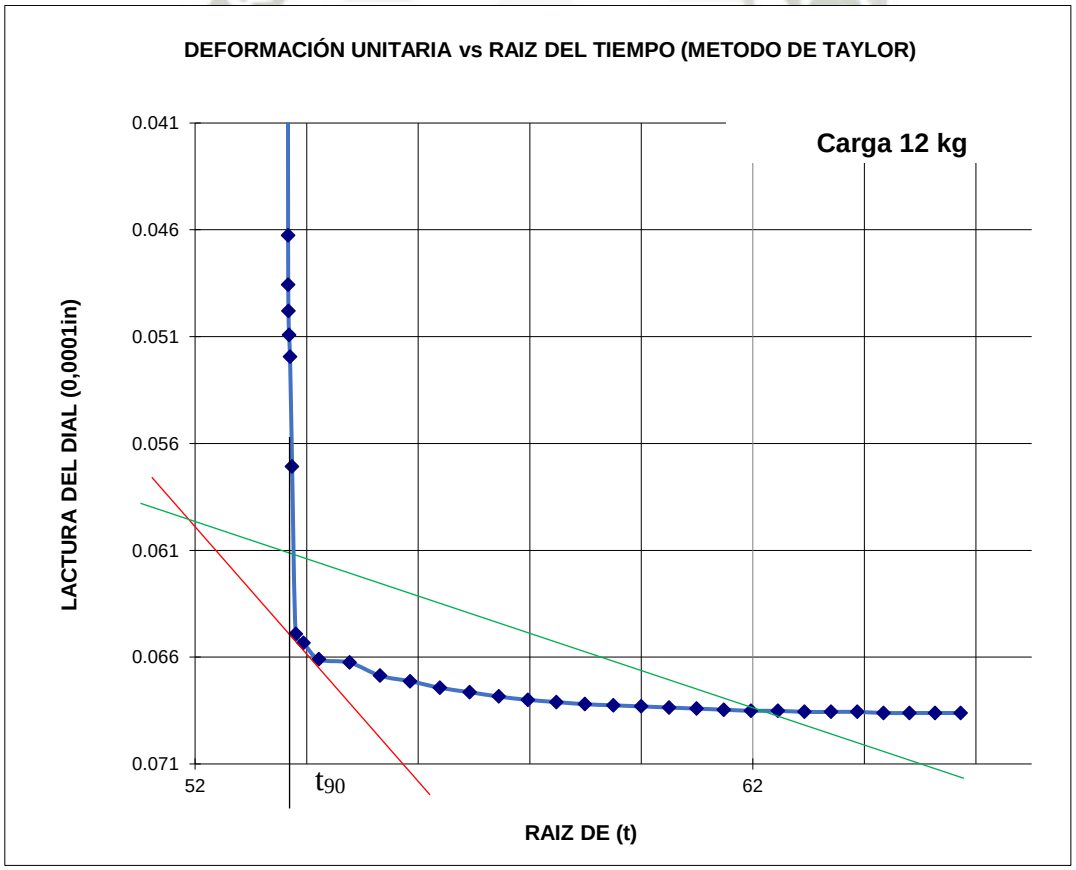


Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA





Nota: La figura muestra Curvas de consolidación por el método de Taylor a distintas cargas en arcillas de Calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

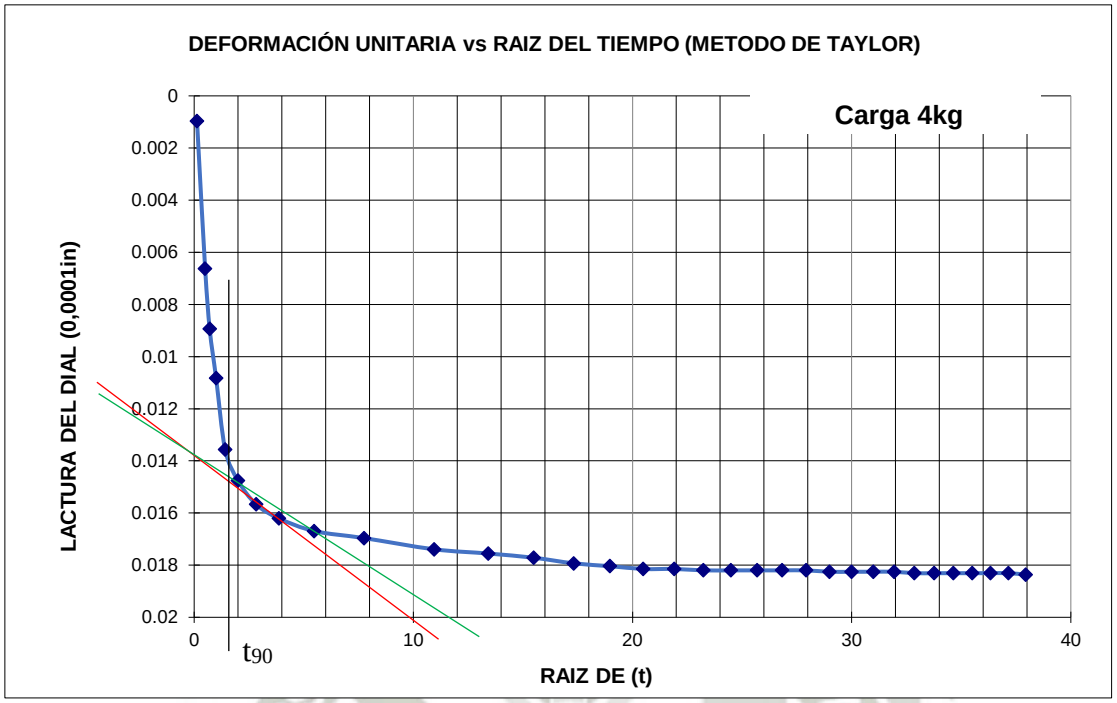
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

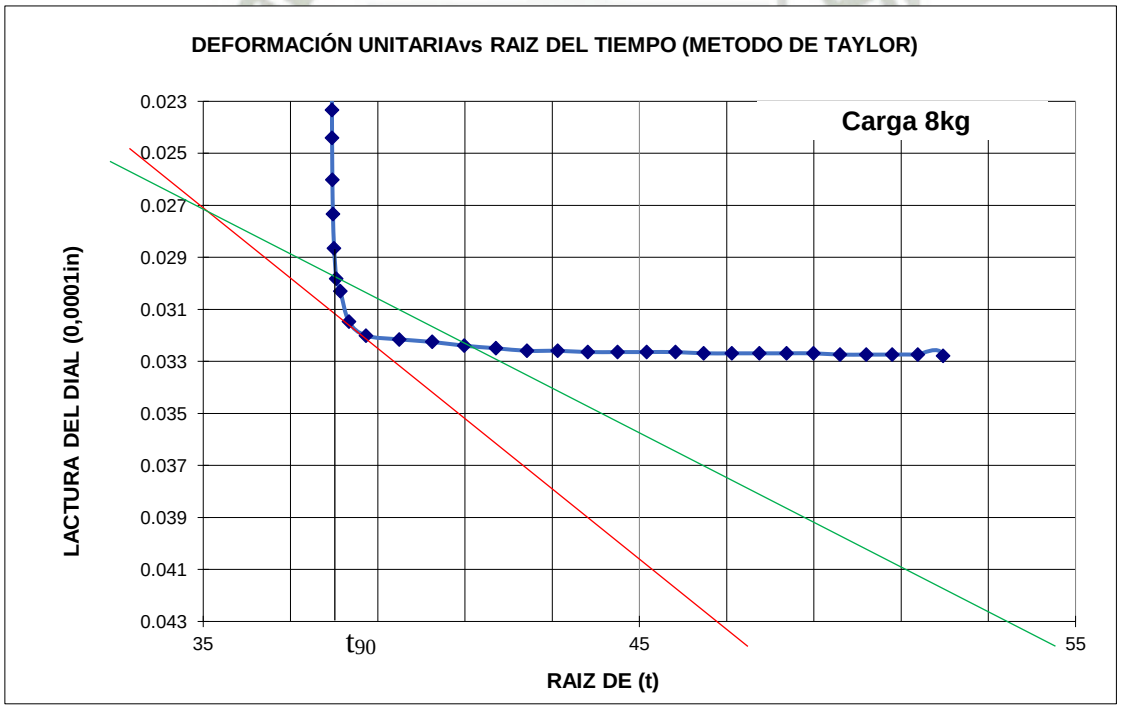
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 59

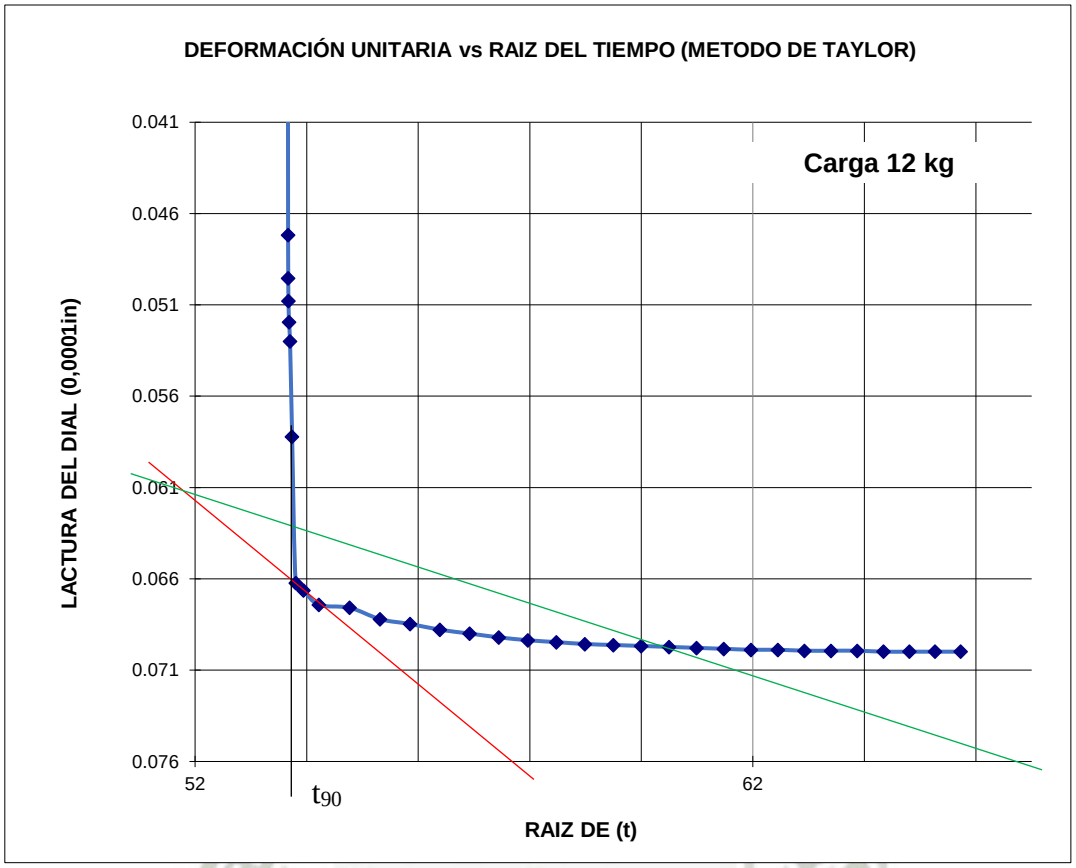
Coeficiente de Consolidación - Método de Taylor Arcilla de Calicata C7





Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Nota: La figura muestra Curvas de consolidación por el método de Taylor a distintas cargas en arcillas de Calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

El coeficiente de consolidación se calculará con la siguiente expresión:

$$C_v = \frac{T_v * H^2}{t_{90}}$$

Donde: Donde: Tv (factor tiempo) y H = ½ de la altura inicial de la muestra (ya que existe doble drenaje).

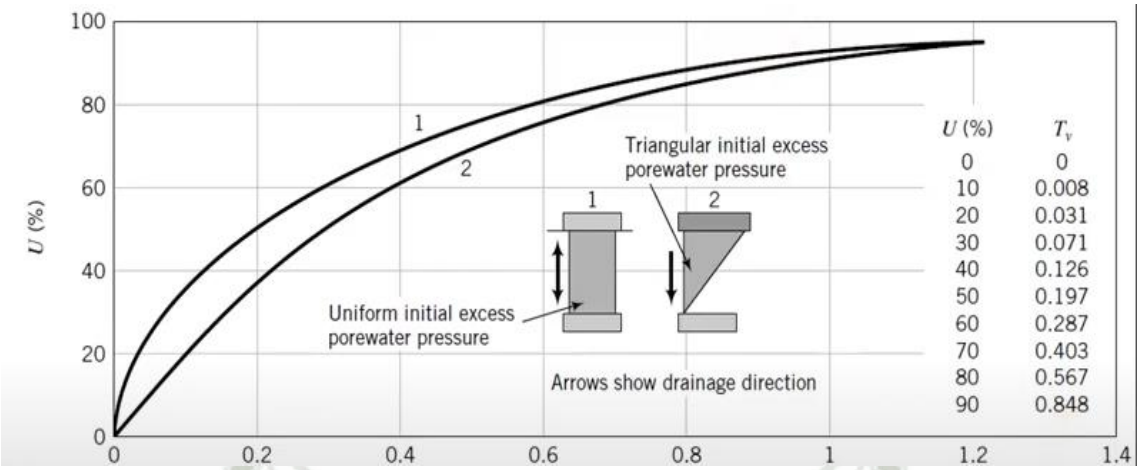
T_v se refiere al drenaje de la muestra en laboratorio para un grado de consolidación del 90%, el cual corresponde a 0.848, según la gráfica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 60

Factor de tiempo Tv para grado de consolidación U (%)



Nota: La figura muestra el factor de Tiempo Tv para distintos grados de consolidación (%)

Fuente: Terzaghi & Peck (s.f.)

Se muestra los resultados del método de Taylor a continuación:

Tabla 31. Método de Taylor - Resultados

		C1	
Curva deformación	4 kg	8 kg	12 kg
x $(\sqrt{t})$	6.45	40.8	55.95
1.15x $(\sqrt{t})$	7.42	46.92	64.34
t90 $(\sqrt{t})$	2.25	37.85	54.40
t90 x t90 (t)	5.0625	1432.6225	2959.36
Tv (s)	0.848	0.848	0.848
Hlab (cm)	0.975	0.975	0.975
Cv	0.159236	0.000563	0.000272
		C2	
Curva deformación	4 kg	8 kg	12 kg
x $(\sqrt{t})$	10	47	56
1.15x $(\sqrt{t})$	11.50	54.05	64.40
t90 $(\sqrt{t})$	1.85	38.00	53.65
t90 x t90 (t)	3.4225	1444	2878.3225
Tv (s)	0.848	0.848	0.848
Hlab (cm)	0.975	0.975	0.975
Cv	0.235538	0.000558	0.000280
		C7	
Curva deformación	4 kg	8 kg	12 kg
x $(\sqrt{t})$	9.98	47.35	57.8
1.15x $(\sqrt{t})$	11.48	54.45	66.47
t90 $(\sqrt{t})$	1.70	38.00	53.75
t90 x t90 (t)	2.89	1444	2889.0625
Tv (s)	0.848	0.848	0.848
Hlab (cm)	0.975	0.975	0.975
Cv	0.278938	0.000558	0.000279

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez obtenido el coeficiente de consolidación, se procede a determinar la presión de preconsolidación, a partir de los siguientes datos y resultados del ensayo, que se adjuntan a continuación:

Tabla 32. Parámetros - Presión de Pre consolidación -Arcilla Calicata C1, C2 y C7

Parámetro	C1	C2	C7
Altura (mm)	19.50	19.50	19.50
Diámetro (mm)	50.00	50.00	50.00
Área (cm2)	19.63	19.63	19.63
Peso inicial de la muestra + anillo (gr)	96.86	94.32	96.23
Peso del anillo (gr)	60.80	60.80	60.80
Peso inicial de la muestra (gr)	36.06	33.52	35.43
Peso final de la muestra + anillo (gr)	111.74	102.31	104.31
Peso final de la muestra (gr)	50.94	41.51	43.51
Peso de sólidos (gr)	33.08	30.75	32.50
Gravedad Específica	2.63	2.63	2.63
Altura de sólidos (cm)	0.64	0.60	0.63
Altura inicial de vacíos (cm)	1.31	1.35	1.32
Relación inicial de vacíos	2.75	2.27	2.09
Relación final de vacíos	2.64	2.16	1.97
Altura final de vacíos	1.70	1.29	1.24
% Humedad	0.09	0.09	0.09
% Saturación inicial	22.76	18.63	21.63
% Saturación final	86.29	79.33	91.27

Fuente: Elaboración Propia

Nota: $Área = \frac{\pi * D^2}{4}$

$$Peso\ inicial\ de\ la\ muestra\ (gr) = Peso\ inicial\ muestra\ y\ anillo\ (gr) - Peso\ anillo(gr)$$

$$Peso\ final\ de\ la\ muestra\ (gr) = Peso\ final\ muestra\ y\ anillo\ (gr) - Peso\ anillo(gr)$$

$$Peso\ de\ sólidos\ (gr) = \frac{Peso\ inicial\ de\ muestra\ (gr)}{1 + \frac{\%Humedad}{100\%}}$$

$$Altura\ de\ sólidos\ (cm) = \frac{Peso\ de\ sólidos\ (gr)}{Gravedad\ Específica * Área\ (cm^2)}$$

$$Altura\ inicial\ de\ vacíos\ (cm) = \frac{Altura\ (mm)}{10 - Altura\ de\ sólidos\ (cm)}$$

$$Relación\ inicial\ de\ vacíos = \frac{Altura\ inicial\ de\ vacíos\ (cm)}{Altura\ de\ sólidos\ (cm)}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$Relación\ final\ de\ vacíos = relación\ de\ vacíos\ bajo\ descarga\ 8\ kgf$$

$$Altura\ final\ de\ vacíos\ (cm) = Relación\ final\ de\ vacíos * Altura\ de\ sólidos\ (cm)$$

$$\%\ Sat.Inicial = \frac{Peso\ Inicial\ de\ muestra\ (gr) - Peso\ de\ sólidos\ (gr)}{Área\ (cm^2) * [Altura\ inicial\ de\ vacíos\ (cm) - Altura\ de\ sólidos\ (cm)]} * 100$$

$$\%\ Sat.Final = \frac{Peso\ final\ de\ muestra\ (gr) - Peso\ de\ sólidos\ (gr)}{Área\ (cm^2) * [Altura\ final\ de\ vacíos\ (cm) - Altura\ de\ sólidos\ (cm)]} * 100$$

Se deberá llenar un registro de las máximas deformaciones verticales (ε) a las distintas cargas testeadas del ensayo de consolidación, en carga y descarga (4kgf, 8kgf, 12kgf, 8 kgf y 4 kgf). Así mismo, se deberá de calcular la relación de vacíos a cada deformación vertical (ε) y carga, con la expresión $e = Relación\ Inicial\ de\ vacíos - \frac{Deformación\ vertical\ (\varepsilon)}{Altura\ de\ sólidos\ (cm)}$. Se adjunta a continuación el registro de deformaciones para cada carga.

Tabla 33. Resultados relación de vacíos a distintas cargas en arcillas

Arcilla	Carga (kgf)	Esfuerzo efectivo vertical (kPa)	Deformación vertical (ε)	Relación de vacíos (e)
	4.00	199.78	0.017641026	2.723
	8.00	399.56	0.039897436	2.688
C1	12.00	599.34	0.072153846	2.638
	8.00	399.56	0.071435897	2.639
	4.00	199.78	0.069282051	2.642
	4.00	199.78	0.017487179	2.239
	8.00	399.56	0.039897436	2.201
C2	12.00	599.34	0.068615385	2.153
	8.00	399.56	0.067179487	2.156
	4.00	199.78	0.066051282	2.158
	4.00	199.78	0.018871795	2.062
	8.00	399.56	0.039897436	2.029
C7	12.00	599.34	0.077076923	1.970
	8.00	399.56	0.075487179	1.972
	4.00	199.78	0.074615385	1.974

Fuente: Elaboración Propia

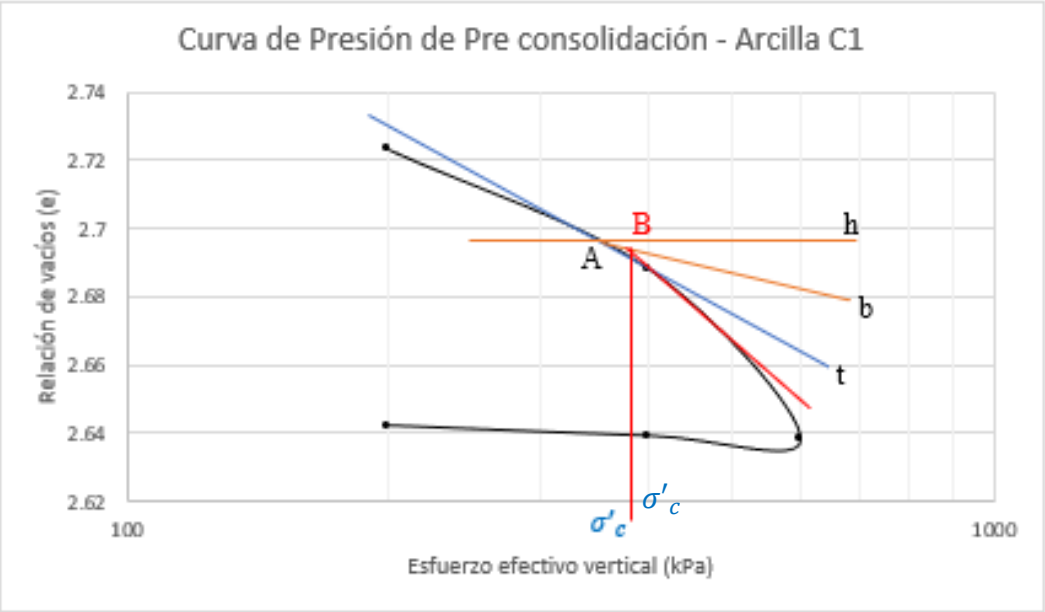
Con esta información, se elabora los diagramas de esfuerzo (kPa) versus relación de vacíos (e).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 61

Curva de presión de pre consolidación - Método Casagrande (Arcilla C1)

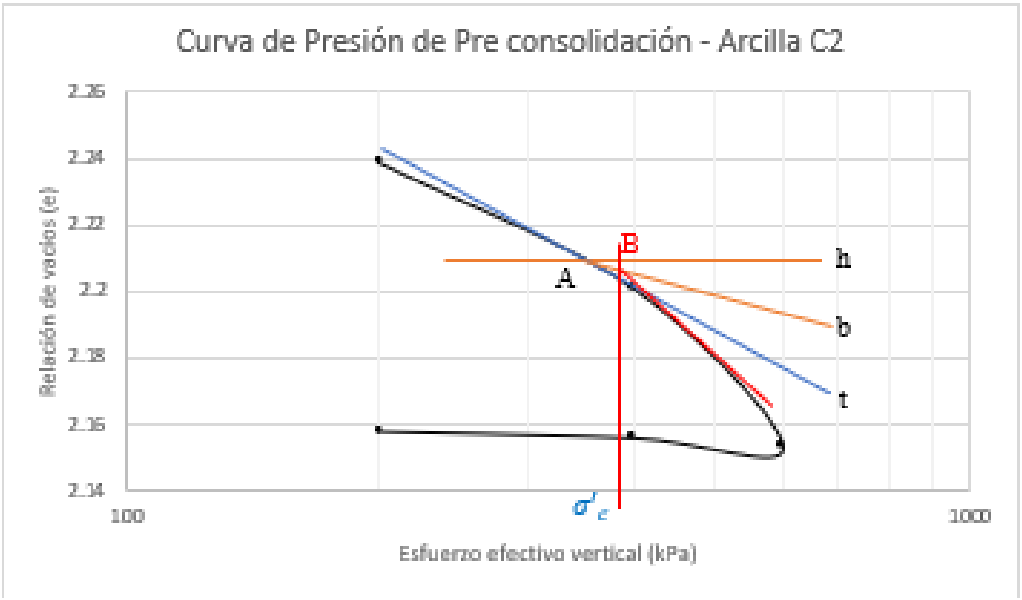


Nota: La figura muestra la curva de presión de pre consolidación por el Método Casagrande en Arcillas de calicata C1

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 62

Curva de presión de pre consolidación - Método Casagrande (Arcilla C2)



Nota: La figura muestra la curva de presión de pre consolidación por el Método Casagrande en Arcillas de calicata C2

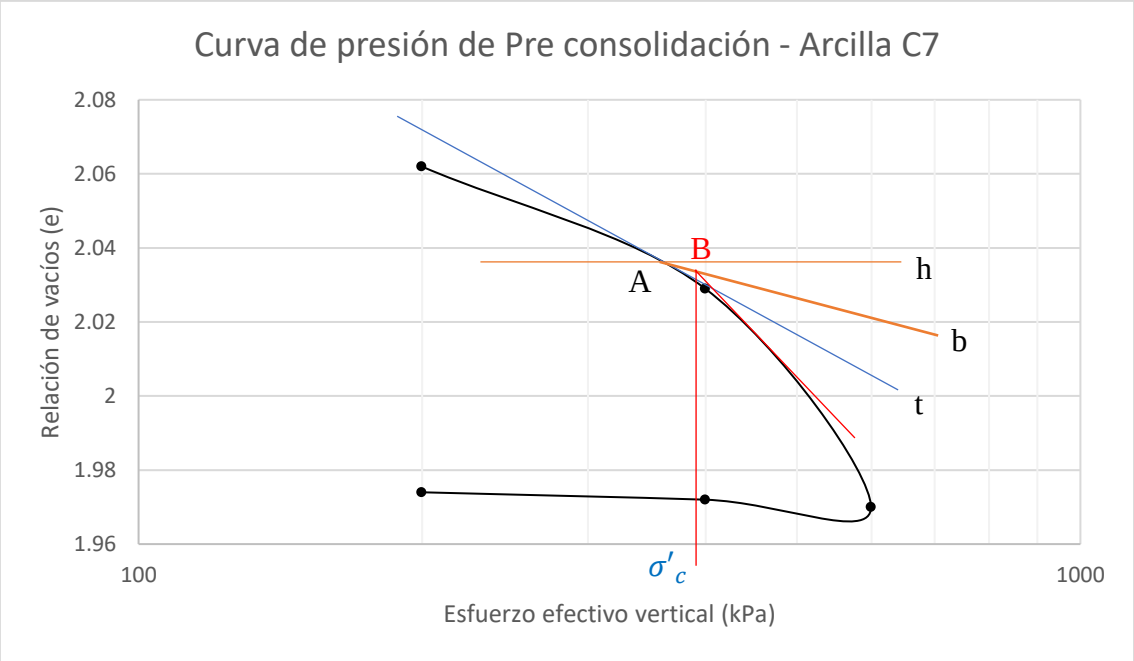
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 63

Curva de presión de pre consolidación - Método Casagrande (Arcilla C7)



Nota: La figura muestra la curva de presión de pre consolidación por el Método Casagrande en Arcillas de calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

De la curva de presión de Pre consolidación, se obtiene las presiones de pre consolidación σ'_c, las cuales son las siguientes:

Tabla 34. Presión de Pre consolidación en arcillas

Arcilla	Presión de pre consolidación	
	kPa	Kg/cm²
C1	168.00	1.713
C2	400.00	4.079
C7	440.00	4.487

Fuente: Elaboración Propia

Para determinar el Índice de Compresibilidad (Cc) y el Índice de Recompresión (Cs), se deberá trazar la curva virgen o curva k. La pendiente de esta recta, corresponderá al Índice de Compresibilidad (Cc). De otra manera, los Índices se calculan de las siguientes expresiones:

$$C_c = \frac{\Delta e}{\Delta log\sigma'} \qquad C_s = \frac{\Delta e}{\Delta log\sigma'}$$

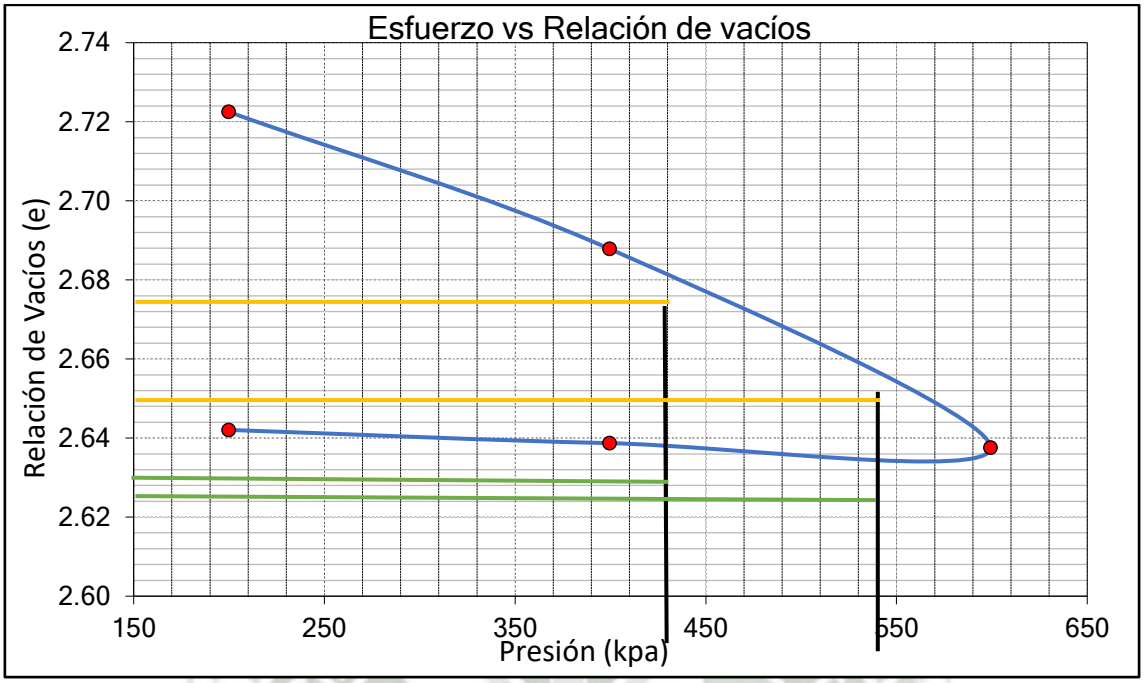
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 64

Curvas K o Virgen - Índice de Compresibilidad - Arcilla 01

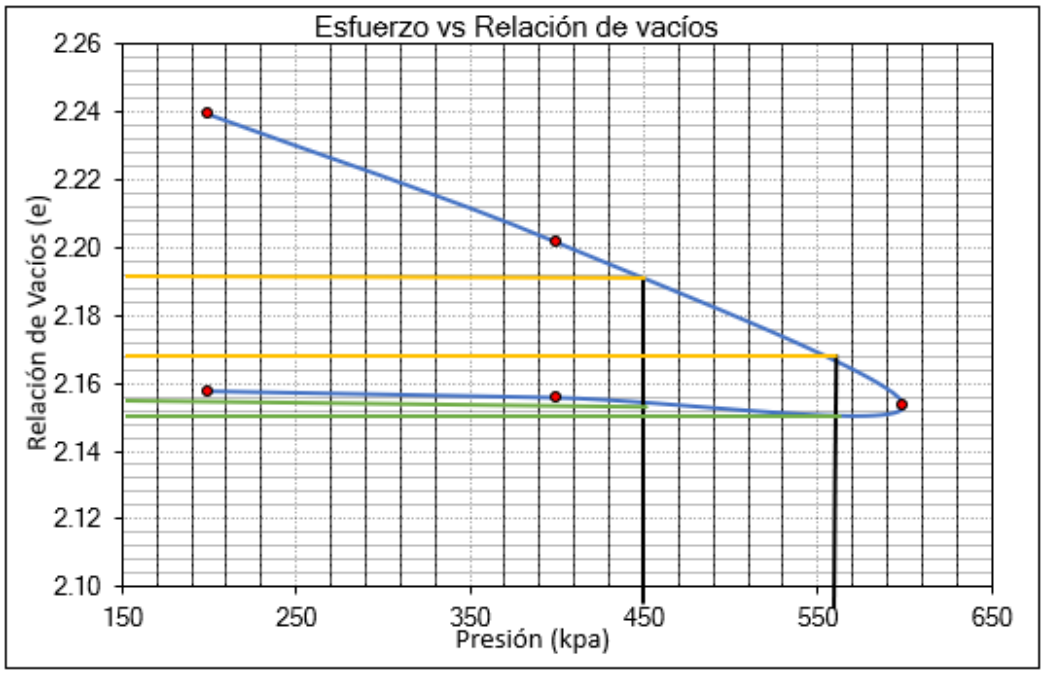


Nota: La figura muestra la curva K o virgen de arcillas en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 65

Curvas K o Virgen - Índice de Compresibilidad - Arcilla 02



Nota: La figura muestra la curva K o virgen de arcillas en calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

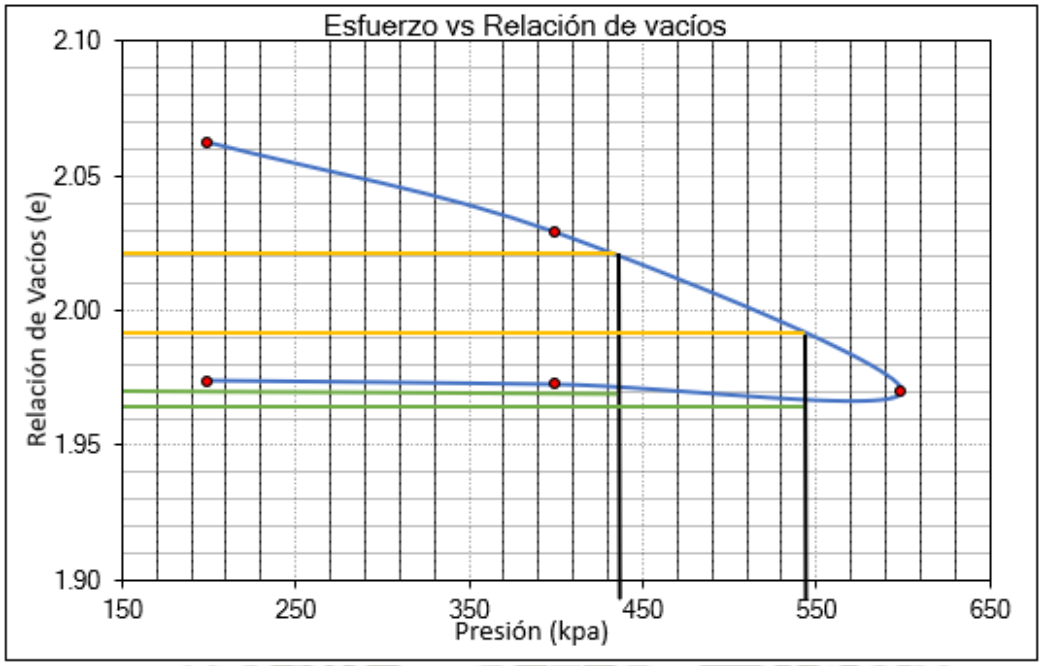
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 66

Curvas K o Virgen - Índice de Compresibilidad - Arcilla 07



Nota: La figura muestra la curva K o virgen de arcillas en calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 35. Resultados ensayo de Consolidación Unidimensional - Arcillas

Parámetros	**Calicata C1**	**Calicata C2**	**Calicata C7**
Coeficiente de Compresibilidad (Cc)	0.229	0.230	0.358
Índice de Recompresión (Cs)	0.034	0.023	0.072
Cs/Cc	0.15	0.10	0.20

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.3.4. Índice de sobre consolidación.

Es la relación entre la tensión vertical efectiva máxima que un suelo ha experimentado en el pasado y su tensión vertical efectiva actual, descrito mediante la ecuación:

$$OCR = \frac{\sigma_1{}'}{\sigma_0{}'}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

σ_1': Presión de Pre consolidación (kg/cm^2), obtenida del ensayo de consolidación unidimensional de suelos

σ_0': Presión actual (kg/cm^2) (Esfuerzo efectivo total del estrato de arcilla)

Importante precisar que, cuando el OCR es igual a 1, se trataría de un suelo normalmente consolidado, el cual se define como "yacimientos en los que sólo ha actuado la carga de consolidación en su historia geostática. Dicho en otras palabras, es la máxima carga que ha soportado el yacimiento" (Universidad de Madrid).

Cuando el OCR es mayor que 1, se trataría de un suelo sobreconsolidado (o preconsolidado), el cual se define como "Yacimientos sometidos a uno o varios ciclos de descarga. En otras palabras, la carga actual no es la máxima que ha actuado sobre ellos." (Universidad de Madrid).

Por lo expuesto, se adjunta los valores de OCR y su determinación para las arcillas encontradas en el estudio:

Tabla 36. Análisis de presión actual - Arcilla C1

Estrato de Análisis: 3			
Estrato	**Clasificación SUCS**	**Potencia (m)**	**Peso Específico (g/cm^3)**
1	SW	1.4	1.62
2	SC	0.3	1.63
	Presión Actual	2.757 g/cm^2	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 37. Cálculo del Índice de Sobreconsolidación OCR - Arcilla C1

Parámetro	**Valor**	**Comentario/ Unidad**
Presión de Preconsolidación (σ_1')	4.589	kg/cm^2
Presión Actual (σ_0')	2.757	kg/cm^2
Índice de Sobreconsolidación (OCR)	**1.6**	**Arcilla Sobre Consolidada**

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 38. Análisis de presión actual - Arcilla C2

Estrato de Análisis: 3			
Estrato	**Clasificación SUCS**	**Potencia (m)**	**Peso Específico (g/cm³)**
1	SW	1.9	1.6
2	SC	0.4	1.63
	Presión Actual	3.692 g/cm²	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 39. Cálculo del Índice de Sobreconsolidación OCR - Arcilla C2

Parámetro	**Valor**	**Comentario/ Unidad**
Presión de Preconsolidación (σ_1')	4.000	kg/cm²
Presión Actual (σ_0')	3.692	kg/cm²
Índice de Sobreconsolidación (OCR)	**1.0**	**Arcilla normalmente Consolidada**

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 40. Análisis de presión actual - Arcilla C7

Estrato de Análisis: 3			
Estrato	**Clasificación SUCS**	**Potencia (m)**	**Peso Específico (g/cm³)**
1	SC	0.8	1.65
2	SW	1.7	1.53
	Presión Actual	3.921 g/cm²	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 41. Cálculo del Índice de Sobreconsolidación OCR - Arcilla C7

Parámetro	**Valor**	**Comentario/ Unidad**
Presión de Preconsolidación (σ_1')	4.487	kg/cm²
Presión Actual (σ_0')	3.921	kg/cm²
Índice de Sobreconsolidación (OCR)	**1.1**	**Arcilla sobre Consolidada**

Fuente: Elaboración Propia

4.2.2.3.5. Análisis de expansividad de Arcillas por el Índice de Actividad

La expansividad de las arcillas se puede caracterizar mediante el Índice de Actividad. Este método mide, de manera indirecta, la actividad eléctrica de la arcilla mediante la expresión:

$$A = \frac{IP}{\% < 2\mu}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Donde:

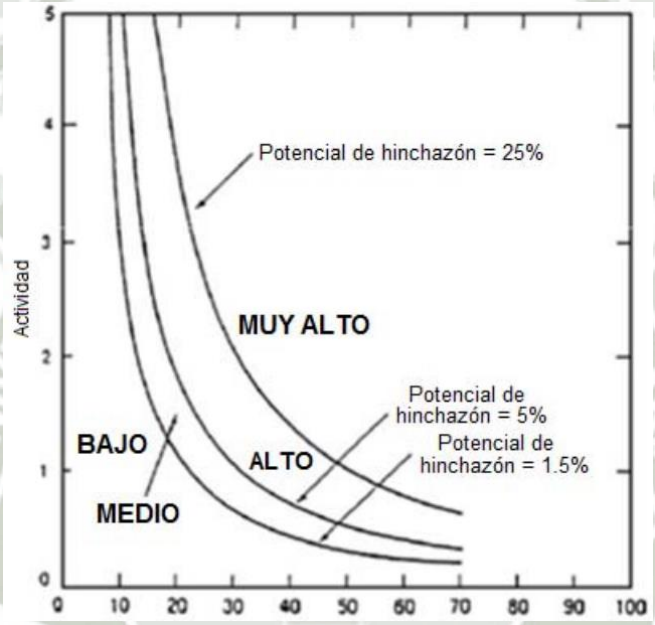
A: Índice de actividad (eléctrica) de la arcilla

IP: Índice de plasticidad

%<2 μ: *Porcentaje de partículas menores a 2* μ

Figura 67

Grados de actividad eléctrica de arcillas



Nota: La figura muestra los grados de actividad eléctrica de arcillas

Fuente: Tomado de (Zapata, Tipos de Suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos, 2018)

Por lo expuesto, se procede a determinar la expansibilidad de las arcillas:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

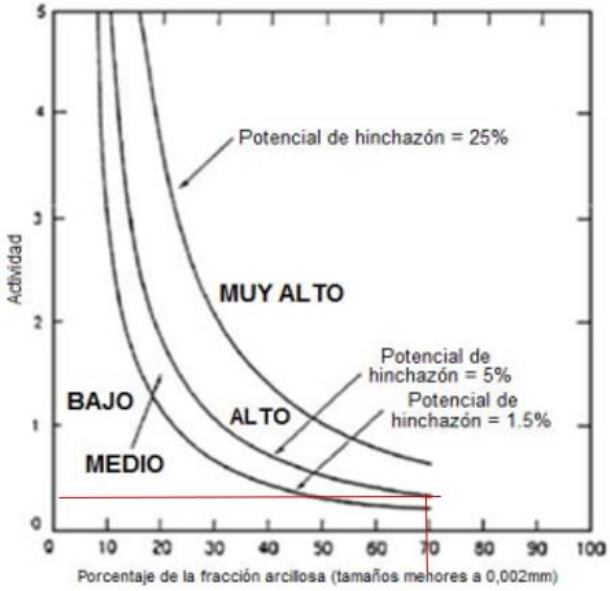
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 68

Análisis de actividad de arcillas - C1

Parámetro	Valor
LL	47.38%
LP	25.42%
IP	21.96%
% < #200:	69.11%
Índice de .	0.32



Expansibilidad Alta

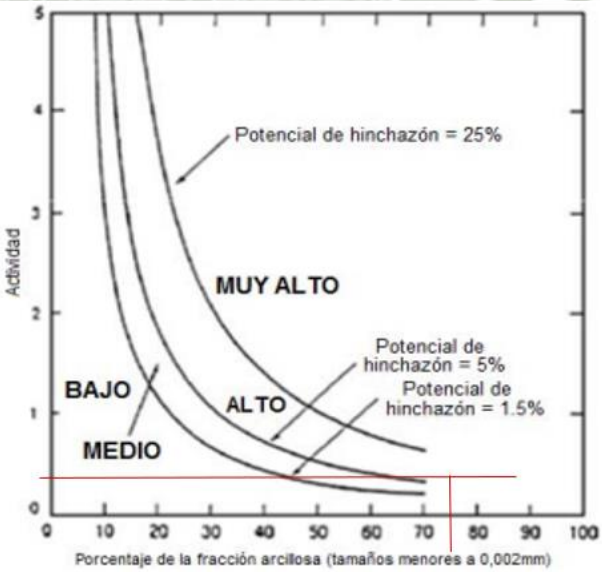
Nota: La figura muestra la actividad de arcillas en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Figura 69

Análisis de actividad de arcillas - C2

Parámetro	Valor
LL	54.2%
LP	29.0%
IP	25.2%
% < #200:	74.59%
Índice de Act	0.34



Expansibilidad Alta

Nota: La figura muestra la actividad de arcillas en calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

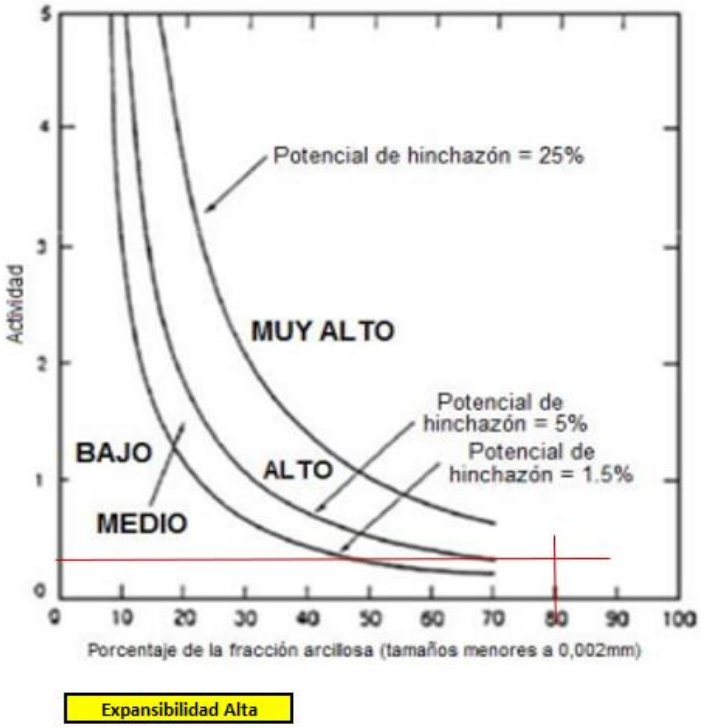
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 70

Análisis de actividad de arcillas - C7

Parámetro	Valor
LL	50.79%
LP	27.19%
IP	23.60%
% < #200:	79.04%
Índice de Act	0.30



Nota: La figura muestra la actividad de arcillas en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO V

5. MODELO CAM CLAY MODIFICADO

5.1. Parámetros Cam Clay Modificado

El modelo Cam Clay Modificado, solicita enlistar ciertos parámetros, los cuales son los siguientes:

$\lambda = \frac{C_c}{\ln 10}$ $\kappa = \frac{C_s}{\ln 10}$

$\kappa = Coeficiente\ de\ hinchamiento$

$\lambda = Coeficiente\ de\ compresión$

$M = Pendiente\ de\ la\ línea\ de\ estado\ crítico$ (parámetro de esfuerzo de corte)

$e_0 = Relación\ de\ vacíos\ inicial$

Se adjunta a continuación los parámetros obtenidos de la Arcillas encontradas:

Tabla 42. Propiedades iniciales del suelo – Arcillas

Parámetro	Valor C1	Valor C2	Valor C7
Parámetro de esfuerzo de corte (M)	0.408	0.4263	0.56604
Coeficiente de Compresibilidad (Cc)	0.22949	0.23041	0.35858
Coeficiente de Recompresión (Cs)	0.03442	0.02304	0.07172
κ	0.01495	0.01001	0.03115
λ	0.09967	0.10007	0.15573
e_0	2.04	2.27	2.09

Fuente: Elaboración Propia

Del ensayo de compresión triaxial, se extrae los siguientes resultados:

Tabla 43. Parámetros - Ensayo de Compresión Triaxial Arcilla 01

Espécimen	Parámetros	Valor	
01	Presión de celda (σ3)	0.80	Módulo de Young (E) = 100.00 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.60	Módulo de Young (E) = 9.807 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.017	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.015	

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Espécimen	Parámetros	Valor	
02	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	24.1	
	Presión de celda (σ3)	0.60	Módulo de Young (E) = 60.61 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.40	Módulo de Young (E) = 5.944 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.0133	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.01	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	24.1	
03	Presión de celda (σ3)	0.32	Módulo de Young (E) = 41.38 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.20	Módulo de Young (E) = 4.058 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.015	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.0121	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	24.1	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 44. Parámetros - Ensayo de Compresión Triaxial Arcilla 02

Espécimen	Parámetros	Valor	
01	Presión de celda (σ3)	1.24	Módulo de Young (E) = 88.00 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.80	Módulo de Young (E) = 8.629 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.02	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.015	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	25.3	
02	Presión de celda (σ3)	0.60	Módulo de Young (E) = 95.2381 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.40	Módulo de Young (E) = 9.340 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.02	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.0179	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	25.3	
03	Presión de celda (σ3)	0.305	Módulo de Young (E) = 21 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.20	Módulo de Young (E) = 2.059 MN/cm^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.015	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.01	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	25.3	

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 45. Parámetros - Ensayo de Compresión Triaxial Arcilla 07

Espécimen	Parámetros	Valor	
01	Presión de celda (σ3)	1.34	Módulo de Young (E) = 154.28 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.80	Módulo de Young (E) = 15.130 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.0177	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.0142	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	19.0º	
02	Presión de celda (σ3)	0.66	Módulo de Young (E) = 77.78 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.38	Módulo de Young (E) = 7.627 MN/m^2
	Deformación vertical inicial (ε1)	0.0142	Tipo de suelo: Arcilla Suave
	Deformación vertical de celda (ε3)	0.0106	
	Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	19.0º	
03	Presión de celda (σ3)	0.25	Módulo de Young (E) = 27.78 kg/cm^2
	Esfuerzo efectivo inicial (σ1)	0.15	Módulo de Young (E) = 2.724 MN/cm^2

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Deformación vertical inicial (ε1)	0.0071	Tipo de suelo: Arcilla Suave
Deformación vertical de celda (ε3)	0.0035	
Ángulo de fricción interna de esf. Efectivos (ϕ) (De ensayo triaxial)	19.0º	

Fuente: Elaboración Propia

Se consideró:

$$Módulo\ de\ Young\ (E) = \frac{(\sigma_3 - \sigma_1)}{\varepsilon}$$

El tipo de suelo, se definió en función al Módulo de Young (en MN/m^2) de la siguiente información:

Tabla 46. Parámetros elásticos para varios suelos

	Módulo de Elasticidad, E_s		
Tipo de suelo	**lb/plg^2**	**MN/m^2**	**Relación de Poisson, μ_s**
Arena suelta	1,500 – 3,500	10.35 – 24.15	0.20 – 0.40
Arena densa media	2,500 – 4,000	17.25 – 27.60	0.25 – 0.40
Arena densa	5,000 – 8,000	34.50 – 55.20	0.30 – 0.45
Arena limosa	1,500 – 2,500	10.35 – 17.25	0.20 – 0.40
Arena y grava	10,000 – 25,000	69.00 – 172.50	0.15 – 0.35
Arcilla suave	600 – 3,000	4.1 – 20.7	
Arcilla media	3,000 – 6,000	20.7 – 41.4	0.20 – 0.50
Arcilla firme	6,000 - 14,000	41.4 – 96.6	

Fuente: Tomado de (Moya Sulca, 2022)

Adicionalmente, se identifica las siguientes propiedades de las arcillas:

Tabla 47. Propiedades iniciales del suelo

	Arcilla C1	**Arcilla C2**	**Arcilla C7**
Módulo de Young Promedio (E_s)	6.60 MN/m^3	6.67 MN/m^3	8.49 MN/m^3
Relación de Poisson (υ)	0.25	0.25	0.25
Límite Líquido (LL) (%) (Arcilla C1)	47.38%	54.20%	50.79%
Límite Plástico (LP) (%) (Arcilla C1)	25.42%	28.96%	27.19%
% Finos	69.11%	74.59%	79.04%
Gs (Gravedad Específica)	2.63	2.62	2.63
K (Permeabilidad)	8 x 10^{-7} (cm/s)	3 x 10^{-6} (cm/s)	1.06 x 10^{-6} (cm/s)
γ (Peso Unitario) (gr/cm^3)	1.8797 gr/cm^3	1.9005 gr/cm^3	1.8907 g/cm^3
SUCS	CL	CH	CH
T pore dissipation (Tiempo de disipación de poros)	38.964 s	9.77 s	21.8 s

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Una vez definidas las propiedades preliminares, se especifica las condiciones de carga para el modelamiento, los resultados son los siguientes:

Tabla 48. Condiciones de carga

Condiciones de carga	Arcilla C1	Arcilla C2	Arcilla C7
Presión de confinamiento antes de cerrar la válvula (Presión de celda ensayo triaxial) (σ_3)	378.54 kPa	378.54 kPa	378.54 kPa
Presión de confinamiento cerrada la válvula (Presión máxima σ_3 de los especímen)	539.37 kPa	519.752 kPa	582.52 kPa
Contra presión (Estándar de espécimen)	309.89 kPa	309.89 kPa	309.89 kPa
a_0 (mitad de la Presión de confinamiento cerrada la válvula)	269.68 kPa	259.87 kPa	291.26 kPa

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se definen las dimensiones del Modelo de arcilla, para su input en software @Abaqus (Acorde a las especificaciones del ensayo triaxial).

Tabla 49. Dimensiones del modelo

Dimensiones del modelo	Valor
Altura (cm)	14.13 cm
Diámetro (cm)	7.16 cm

Fuente: Elaboración Propia

5.2. Modelamiento de arcilla en @Abaqus

Se describe el modelamiento de arcilla para conocer su comportamiento, en el Software @Abaqus

5.2.1. Creación del Modelo

- Seleccionamos “Create part” y escogemos las opciones: “3D”, “Solid” y Type: “Revolution”. En la sección size tipeamos el tamaño de 1 por practicidad al comienzo.

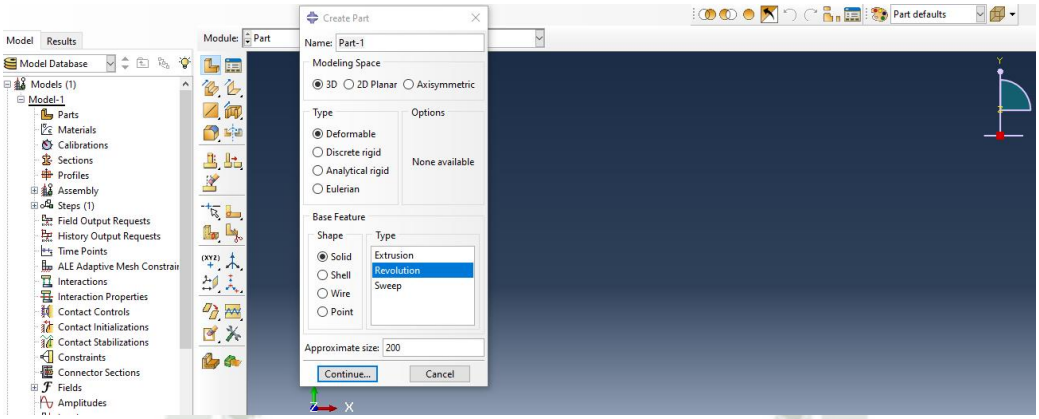
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 71

Configuración de practicidad del modelo



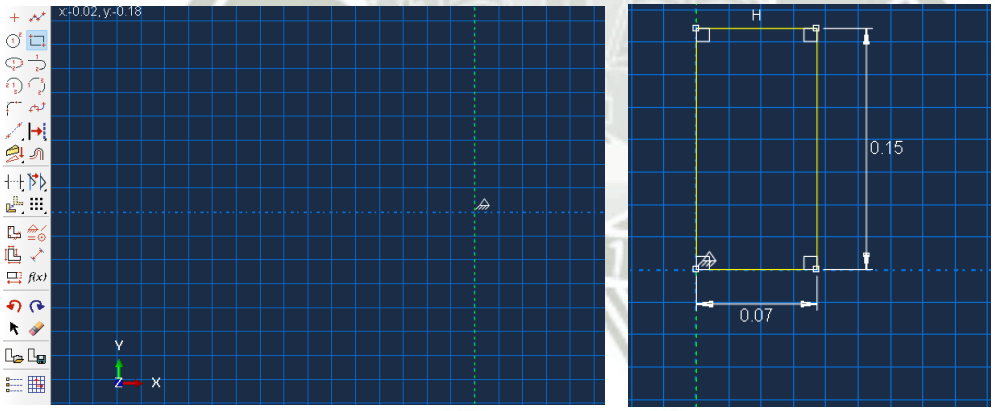
Nota: La figura muestra la configuración preliminar del modelo

Fuente: Elaboración Propia

- Escogemos ahora la opción de crear rectángulo. A continuación, creamos un rectángulo con las medidas del ensayo triaxial realizado: 14.185 cm de altura y 7.46 cm de diámetro.

Figura 72

Generación de dimensiones



Nota: La figura muestra generación de dimensiones

Fuente: Elaboración Propia

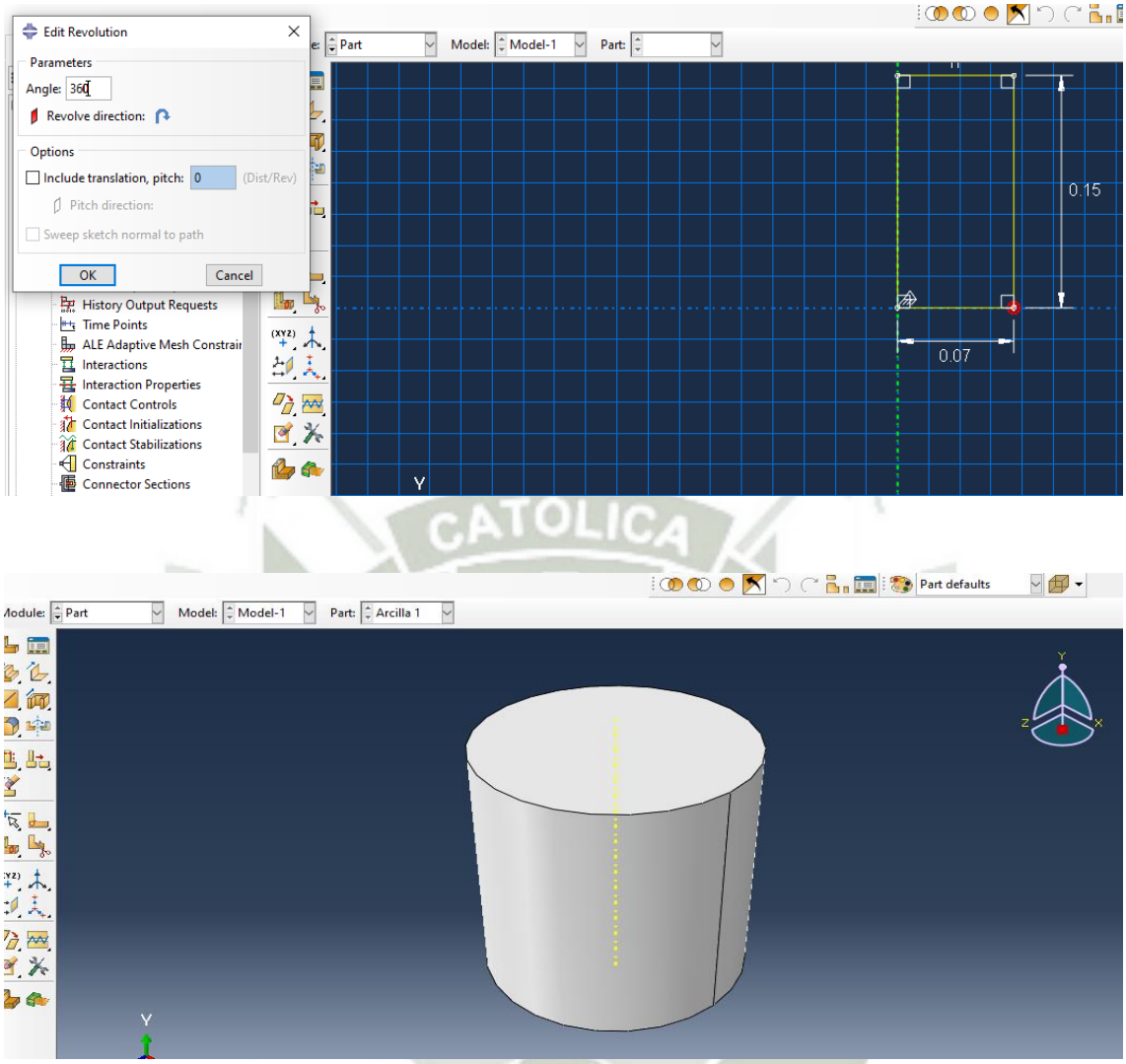
- Una vez hecho el rectángulo que efectuará la revolución elegir el ángulo de revolución (360 grados) y el sólido se formará.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 73

Generación de sólidos



Nota: Las figuras muestran la generación de sólidos

Fuente: Elaboración Propia

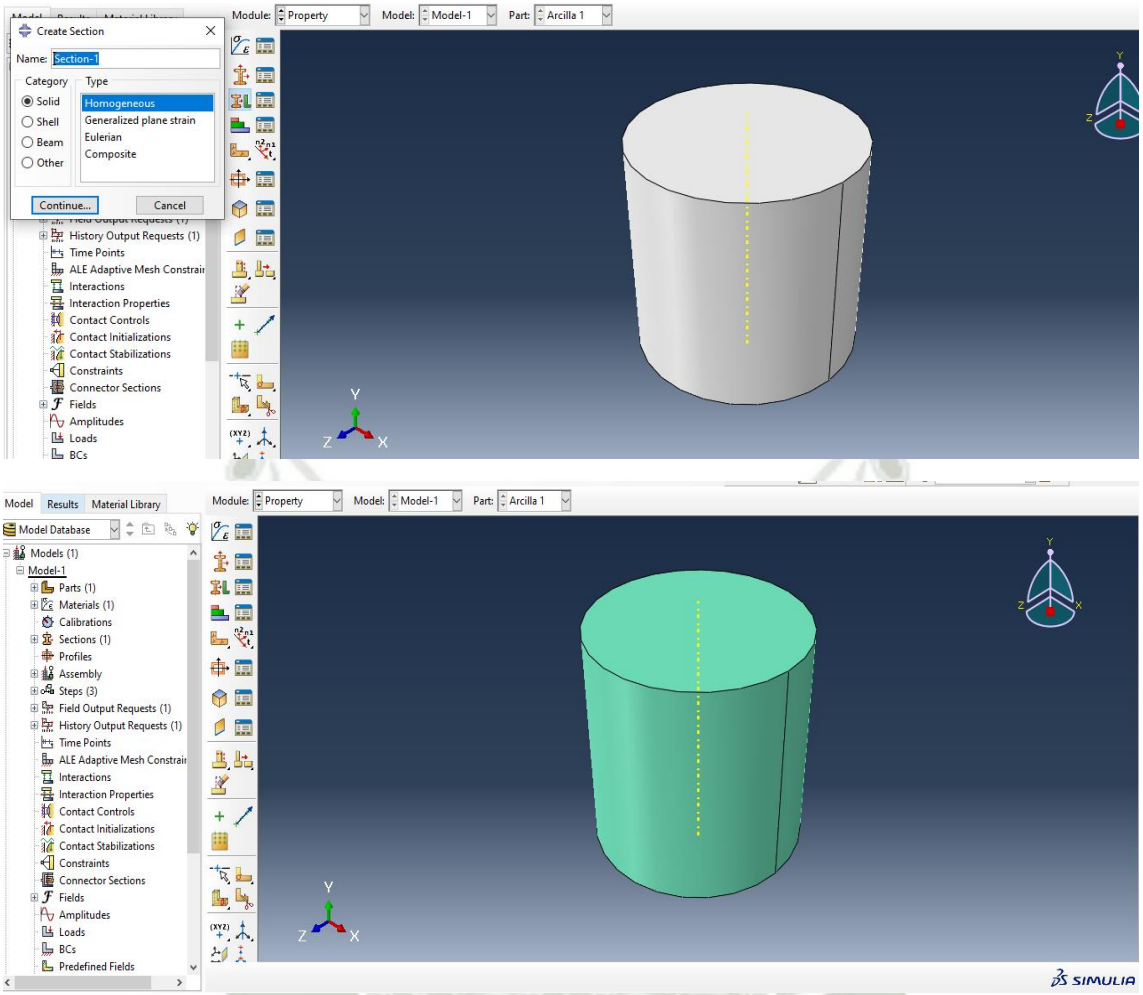
- Seleccionamos: “Create Section”, en type: “Homogeneous” y la asignamos al material.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 74

Asignación de material



Nota: Las figuras muestran asignación de materiales en el software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

5.2.2. Entrada de propiedades iniciales del material

- En el módulo properties escogemos el parámetro General: “Density” para introducir el peso específico hallado de la muestra por medio de ensayos.

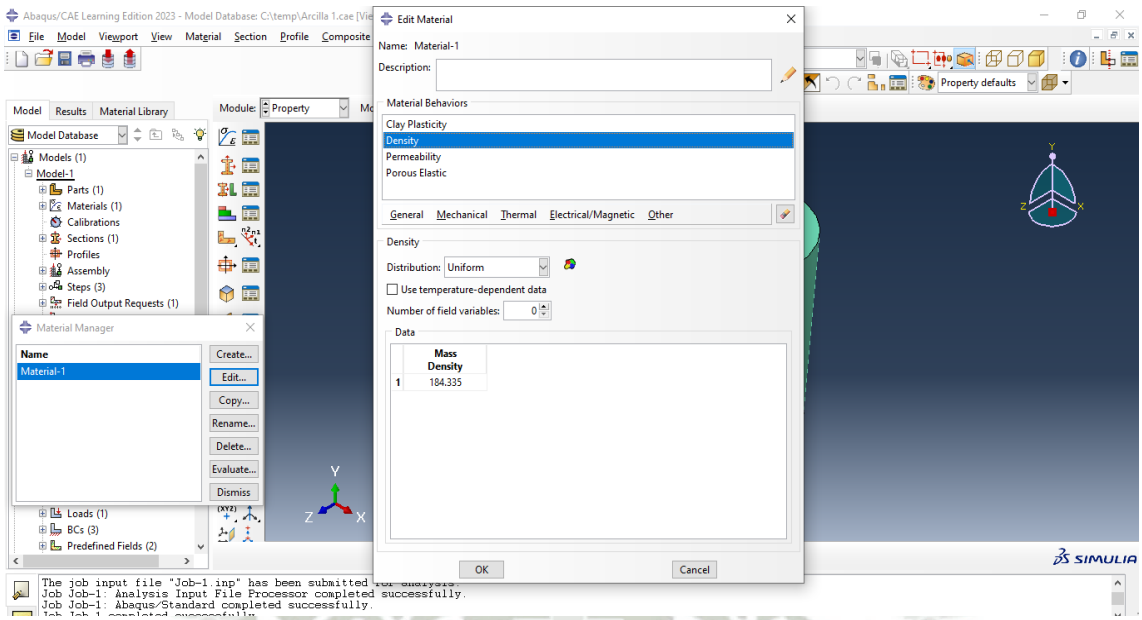
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 75

Asignación de peso específico de la muestra de arcilla



Nota: La figura muestra la asignación de peso específico en arcillas

Fuente: Elaboración Propia

- A continuación, seleccionamos “Mechanical”- “Elasticity” y “Porous Elasticity” ya que este es un material poroso. Llenamos el valor del coeficiente de Poison, la pendiente de la línea de consolidación normal y el límite de esfuerzo de tensión. El límite de tensión (Tensile Limite) es cero debido a que los suelos no ejercen este tipo de esfuerzos.

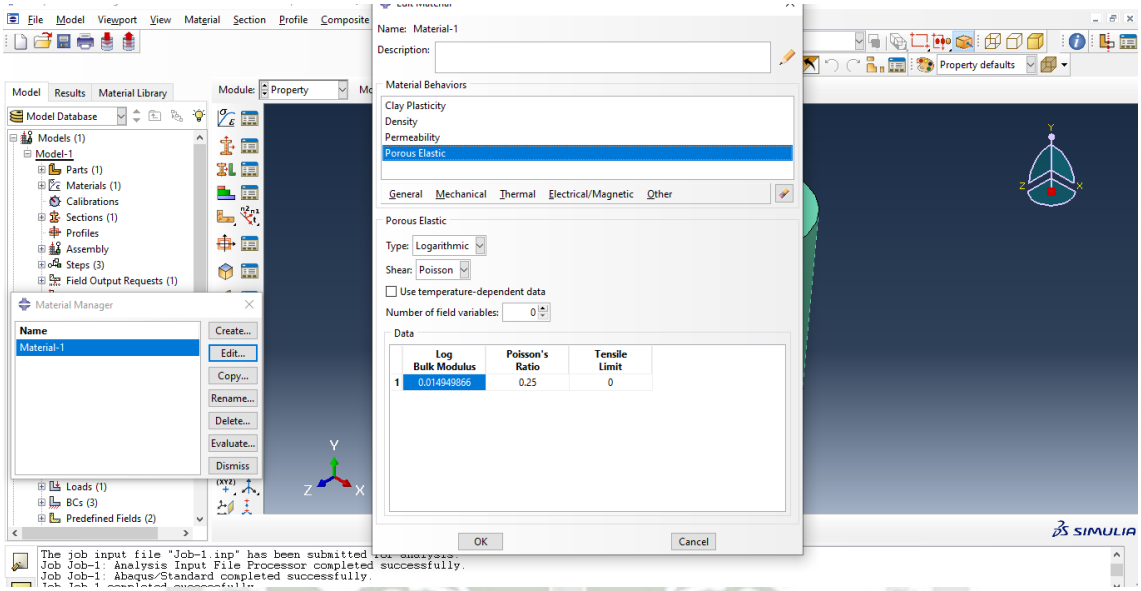
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 76

Asignación de parámetros de arcillas - Cam Clay Modificado



Nota: La figura muestra asignación de parámetros de arcillas del modelo Cam Clay Modificado
Fuente: Elaboración Propia

- Ahora seleccionamos “Mechanical”- “Plasticity” y “Clay Plasticity”, en este punto seleccionaremos los parámetros del estado plástico del suelo, haciendo que se deforme siguiendo el comportamiento no lineal de los suelos cohesivos. Colocamos la pendiente de la línea de consolidación normal (Log Plas Bulk Mod), la relación q/p´ en Stress Ratio y el esfuerzo desviador en (Init Yld Surf Size). El valor de 1 en “Wet Yld Surf Size”, debido al tamaño estándar inicial de la superficie de cedencia estandar y en “Flow Stress Ratio”, el valos de 1 debido a la relación entre el comportamiento de la presión de poros a analizar es el mismo al flujo nominal o de referencia bajo estas condiciones.

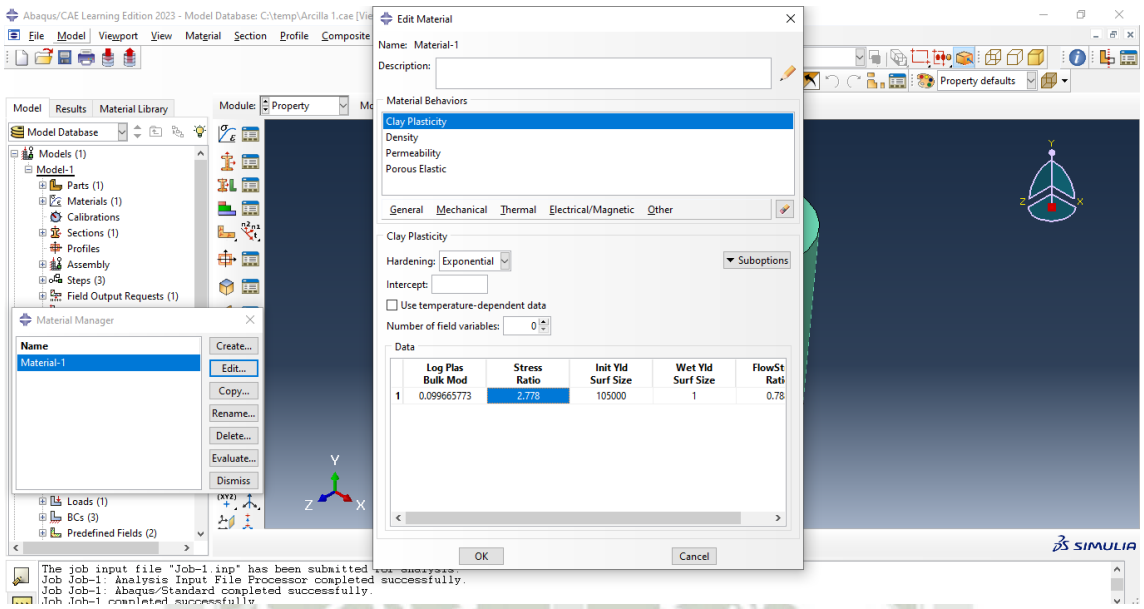
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 77

Asignación de propiedades plásticas de la arcilla



Nota: La figura muestra a asignación de propiedades plásticas de arcillas

Fuente: Elaboración Propia

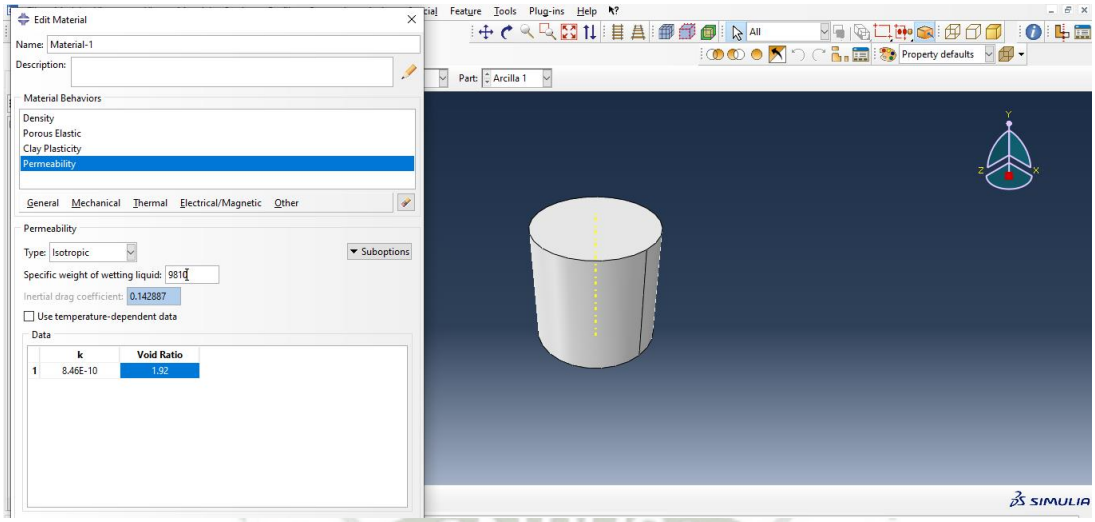
- Por último seleccionamos “Other”- “Pore fluid”- “Permeability” y en type: “isotropic”. En el espacio de “Specific weight of wetting liquid” colocar el valor de 9810 Peso específico del agua). A continuación rellenar la constante de permeabilidad hidráulica y la relación de vacíos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 78

Asignación de propiedades permeables



Nota: La figura muestra asignación de propiedades permeables en arcillas

Fuente: Elaboración Propia

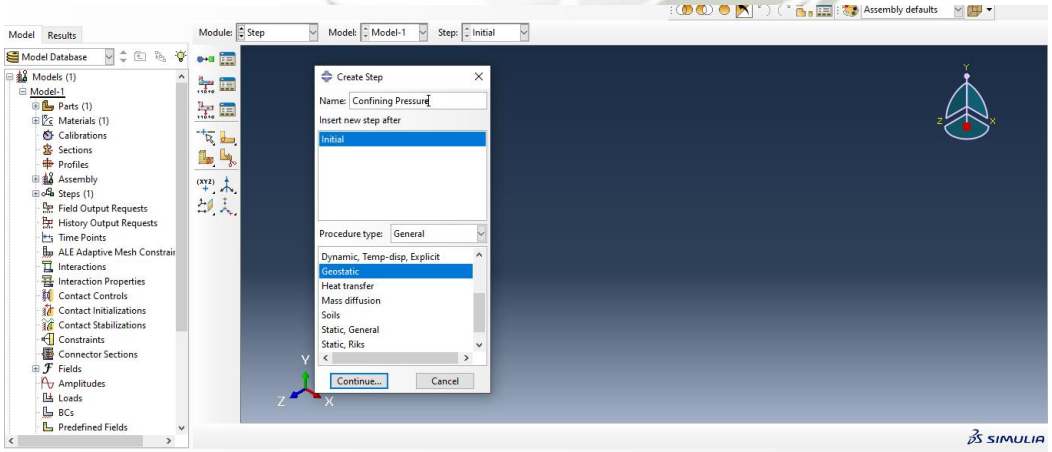
5.2.3. Modelamiento del proceso de análisis

- En el módulo “Step” seleccionar “Create Step”, a continuación modelaremos la presión de confinamiento:

- Escoger el tipo de aplicación de carga: “Geostatic”.

Figura 79

Tipo de aplicación de carga



Nota: La figura muestra el tipo de asignación de cargas en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

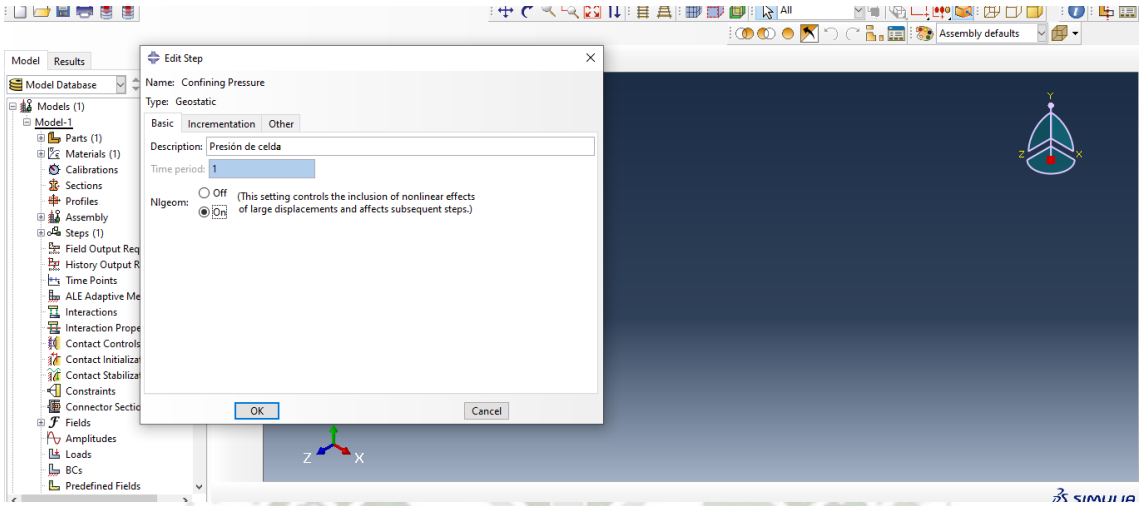
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- En el apartado de edición (Edit Step) seleccionamos la opción de activar los efectos no lineales de los desplazamientos y sus efectos en los pasos subsecuentes.

Figura 80

Efectos no lineales de desplazamientos en arcillas



Nota: La figura muestra los efectos no lineales de desplazamiento de arcillas en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- Seleccionar en el apartado “Incrementation”-“Type”-“Automatic” y las demás configuraciones de incremento las dejamos por defecto

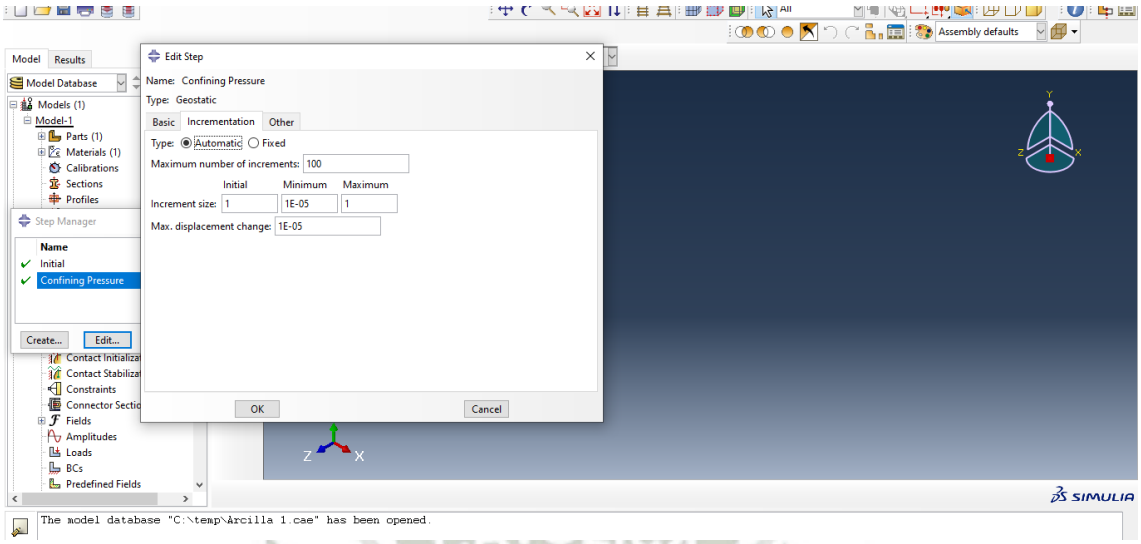
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 81

Configuraciones de incremento



Nota: La figura muestra configuraciones de incremento en software @Abaqus

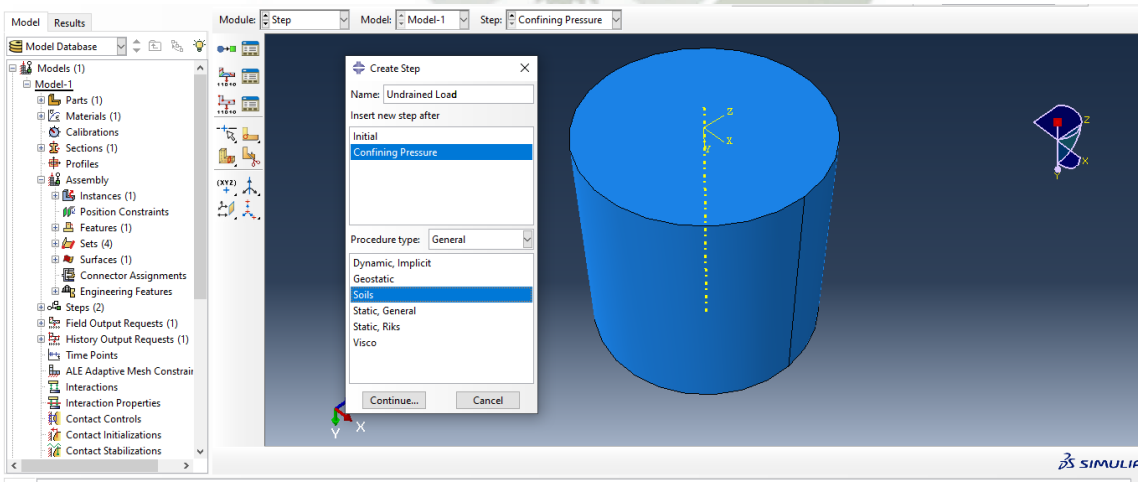
Fuente: Elaboración Propia

- En el módulo Step seleccionar “Create Step”, a continuación modelaremos la carga de no drenada:

- Escoger tipo de aplicación de carga: “Soils”

Figura 82

Selección del tipo de asignación de carga



Nota: La figura muestra la selección del tipo de asignación de carga

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

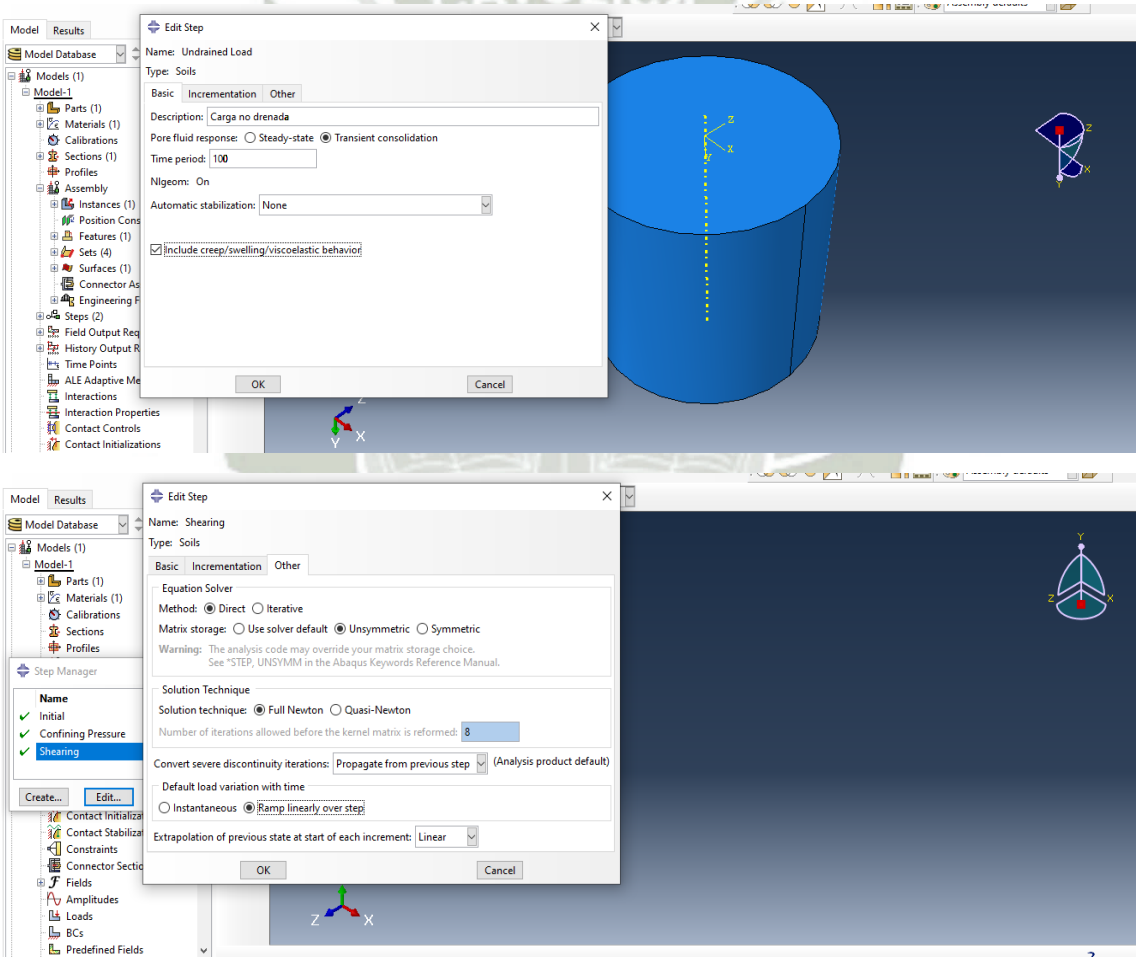
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- La tasa de deformación para la superficie superior se controló para ser de 0.0005 por paso en la dirección vertical, y se generaron 100 subpasos. En los parámetros del siguiente cuadro emergente escoger: “Matrix storage”- “Unsymetric” debido a que las matrices generadas durante un análisis no lineal no son simétricas y “Ramp linearly over step” para que que la carga sea aplicada gradualmente durante el periodo de tiempo que dure el paso para representar un comportamiento mecánico realista.

Figura 83

Generación del comportamiento mecánico realista



Nota: La figura muestra la generación del comportamiento mecánico realista en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

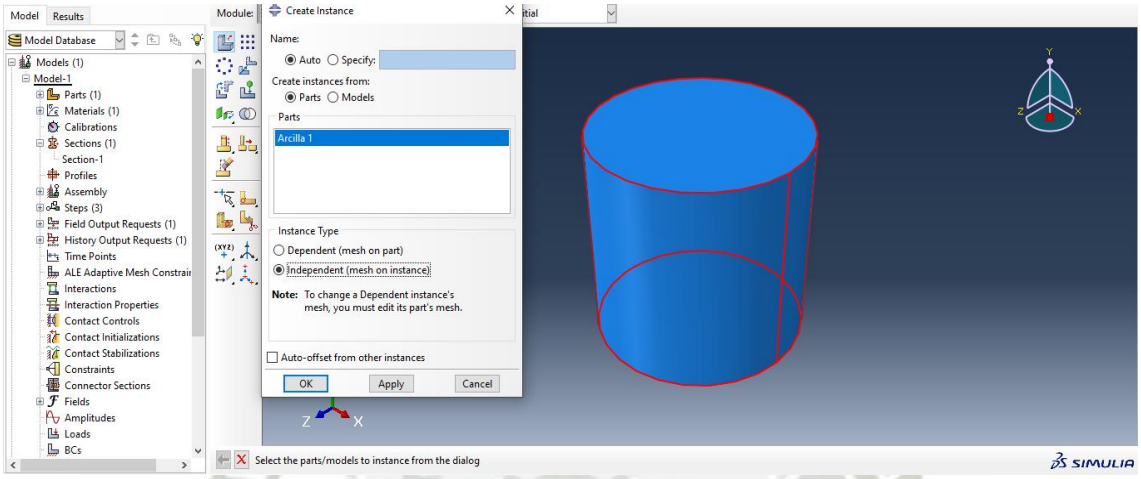
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.2.4. Creación de Instancia

- En el módulo Assembly seleccionar la opción Create Instance y seleccionamos el modelo para la creación. A continuación seleccionamos: “Independent (mesh or instance)”.

Figura 84

Creación de instancia independiente



Nota: La figura muestra la creación de instancia independiente

Fuente: Elaboración Propia

5.2.5. Modelamiento de carga

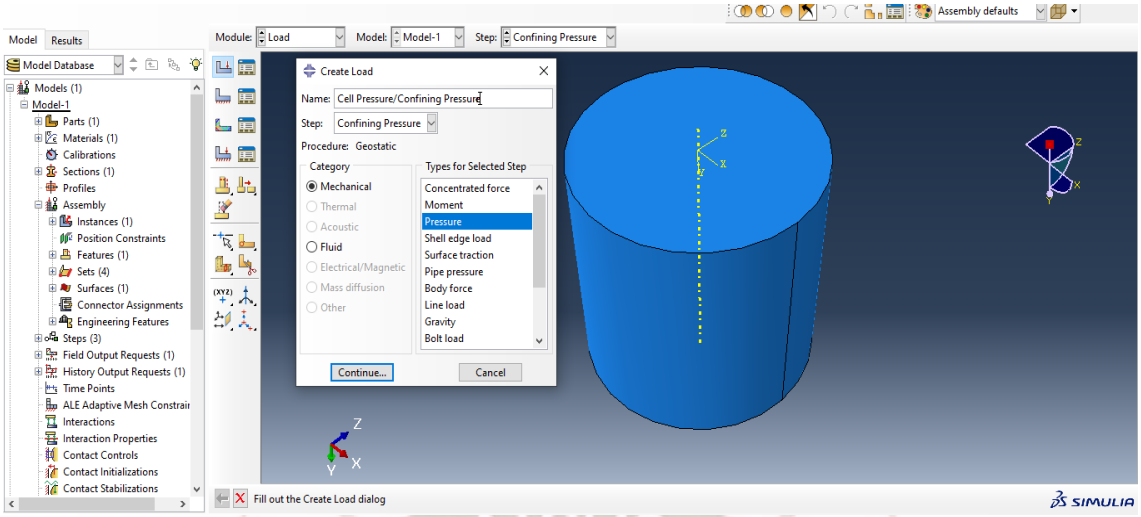
- En el módulo Load, seleccionamos “Create Load” y a continuación modelaremos la presión de confinamiento.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 85

Modelación de presión de confinamiento



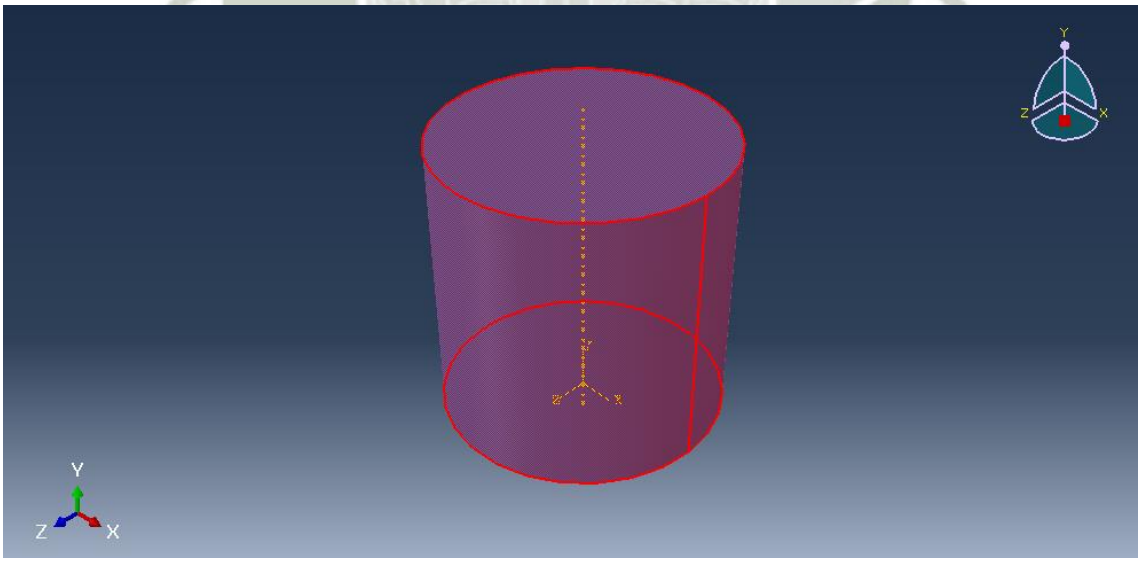
Nota: La figura muestra la modelación de presión de confinamiento en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- Para los puntos de aplicación seleccionamos la superficie y el tope del espécimen

Figura 86

Selección de superficie y topo de espécimen



Nota: La figura muestra la selección de superficie en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

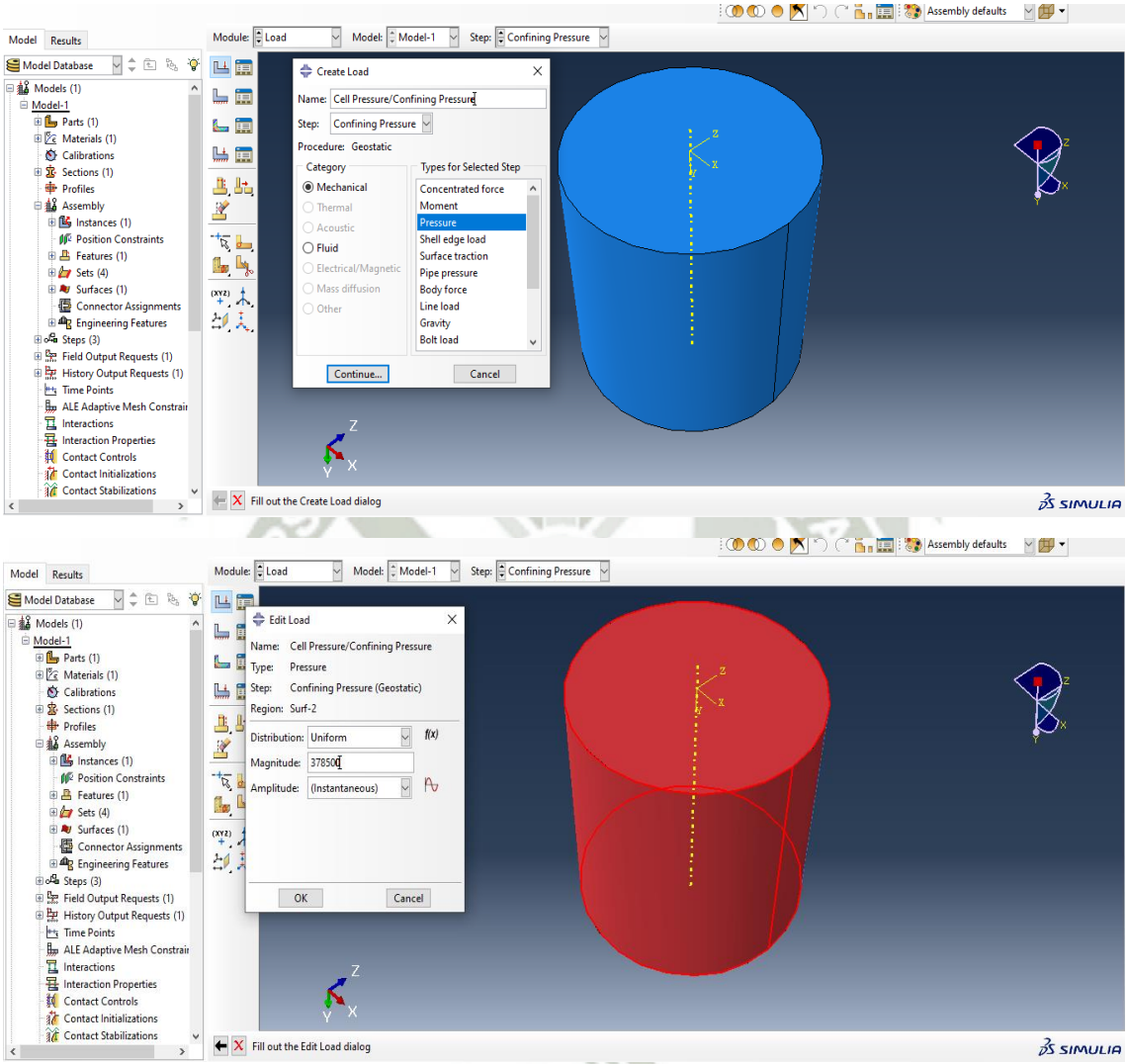
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- A continuación introduciremos el valor de la presión de confinamiento en Pa

y, posteriormente en el cuadro emergente colocamos el valor correspondiente.

Figura 87

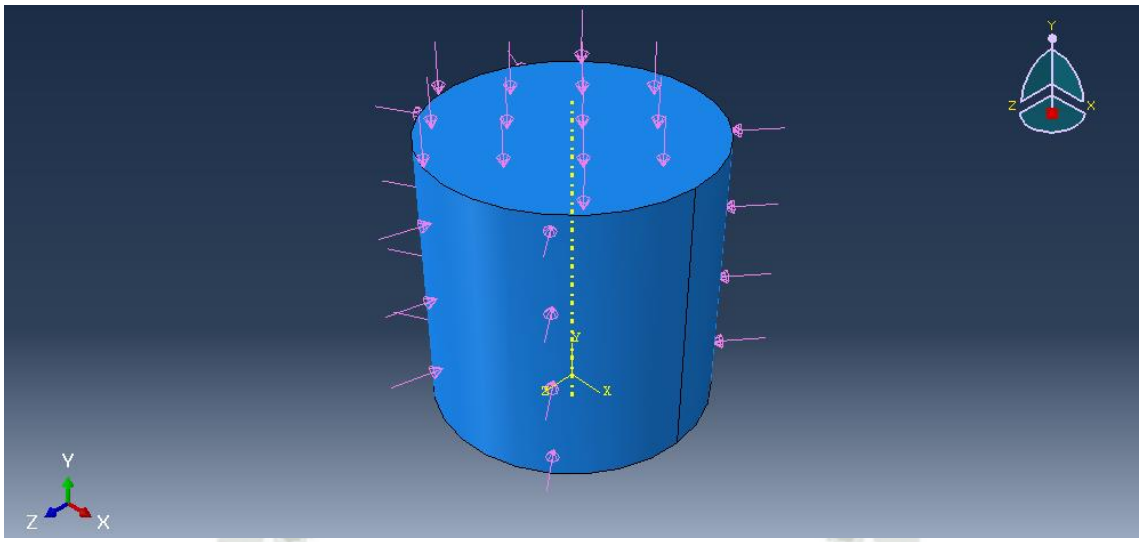
Asignación de presión de confinamiento



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



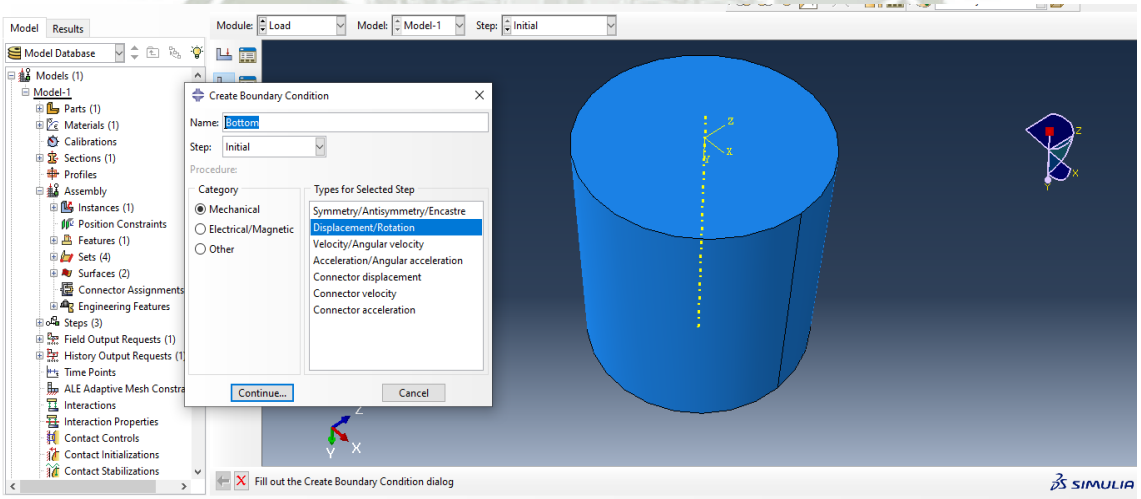
Nota: La figura muestra la asignación de presión de confinamiento en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- Creación de la condición de controno: Seleccionamos “Create Boundary Condition”, en Step seleccionamos> “Initial”. Seguidamente, en types, “Displacement/Rotation”.

Figura 88

Generación de condiciones de contorno



Nota: La figura muestra la generación de condiciones de contorno en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

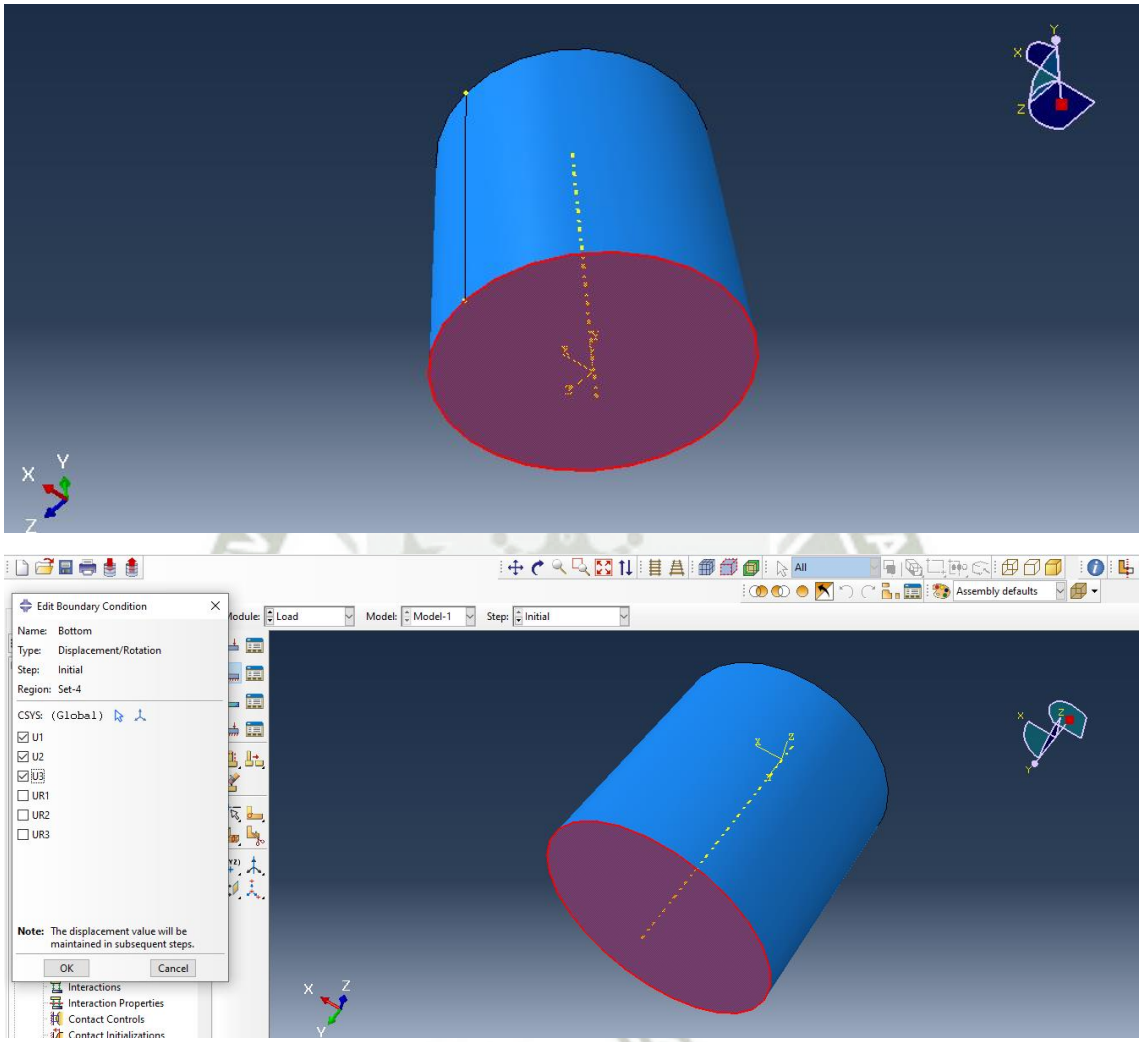
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Seleccionamos la base y en el cuadro de diálogo emergenete seleccionamos los desplazamientos permitidos, los cuales serán traslacionales en los 3 ejes, ya que es un ensayo triaxial:

Figura 89

Disposición de desplazamientos permitidos según ensayo triaxial



Nota: La figura muestra disposición de desplazamiento por ensayo triaxial en arcillas, en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- La presión de poros en el confinamiento debe ser cero en el tope y en el fondo del modelo, ya que en el tope del ensayo triaxial CU, donde se aplica la carga axial, la muestra está sujeta a esfuerzos laterales sin permitir la salida del agua de los poros (condición no drenada). Como resultado, la presión de poros en la parte superior e

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

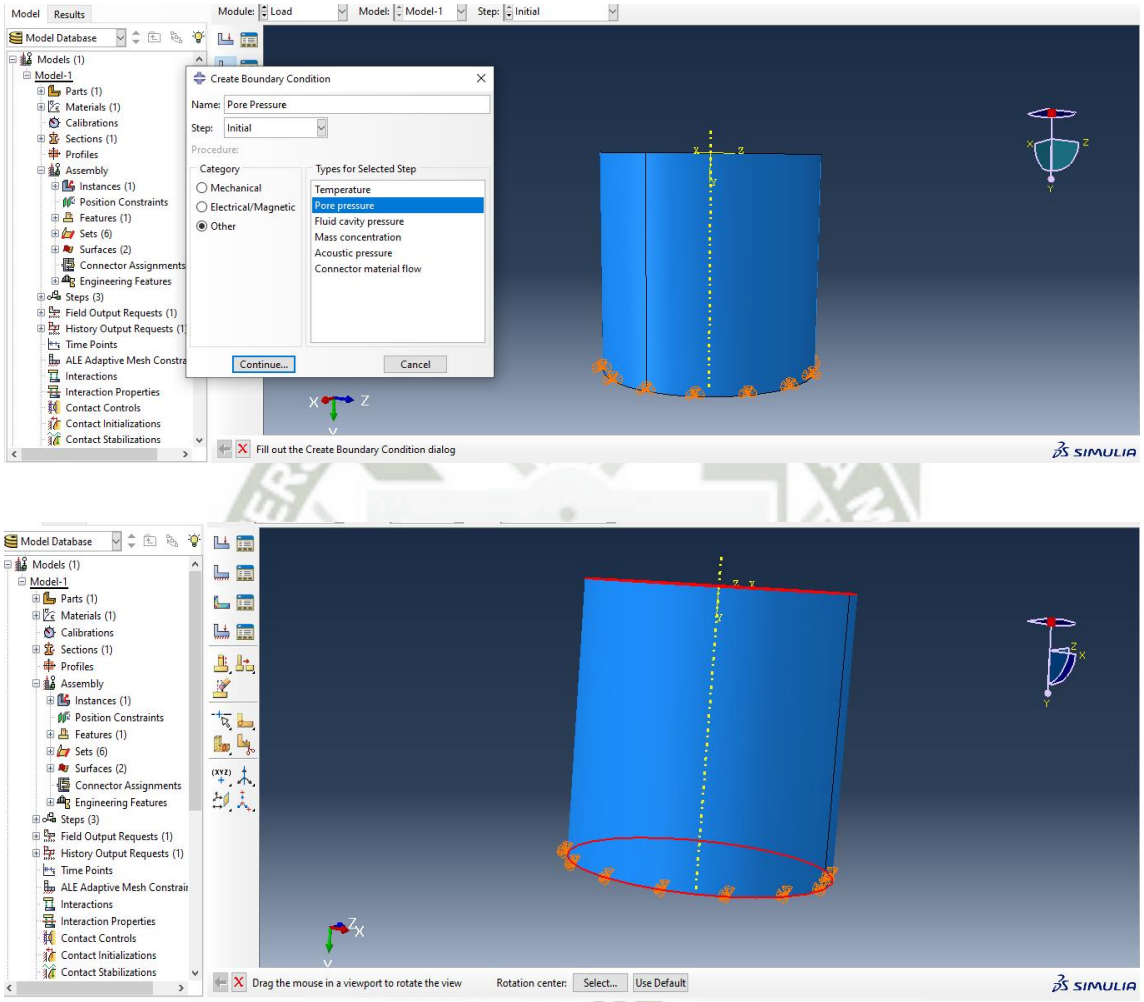
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

inferior de la muestra puede mantenerse constante y estar en equilibrio con la presión de confinamiento. A continuación se muestra el proceso de modelado de la presión de poro; y se seleccionará el tope y el fondo de la muestra como áreas de aplicación.

Figura 90

Proceso de modelado de presión de poros



Nota: La figura muestra el proceso de modelación de presión de poros en software @Abaqus
Fuente: Elaboración Propia

- Durante el paso de corte no drenado, la superficie superior se volvió impermeable y se forzó a desplazarse hacia abajo a una distancia de 0.016 m a una velocidad de 0.00167 mm/s. Aquí se muestra el modelamiento de la etapa del corte no drenado en el tope de la muestra.

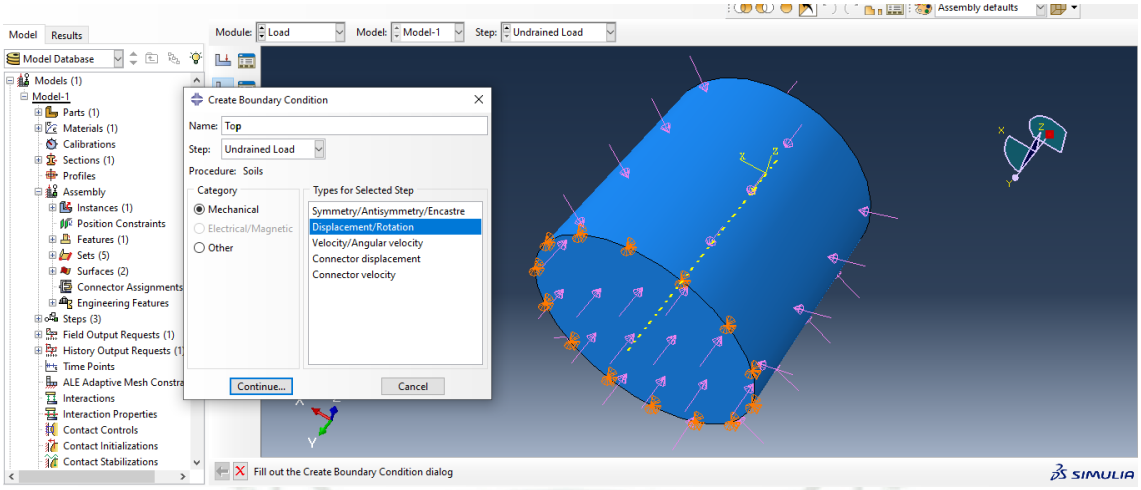
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 91

Flujo etapa de corte no drenado

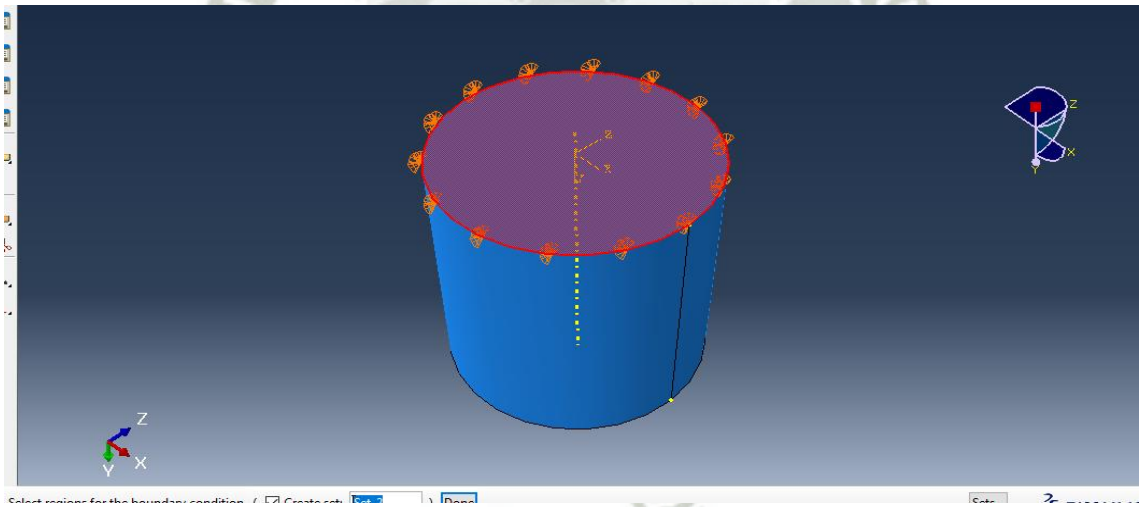


Nota: La figura muestra el flujo en etapa de corte no drenado

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 92

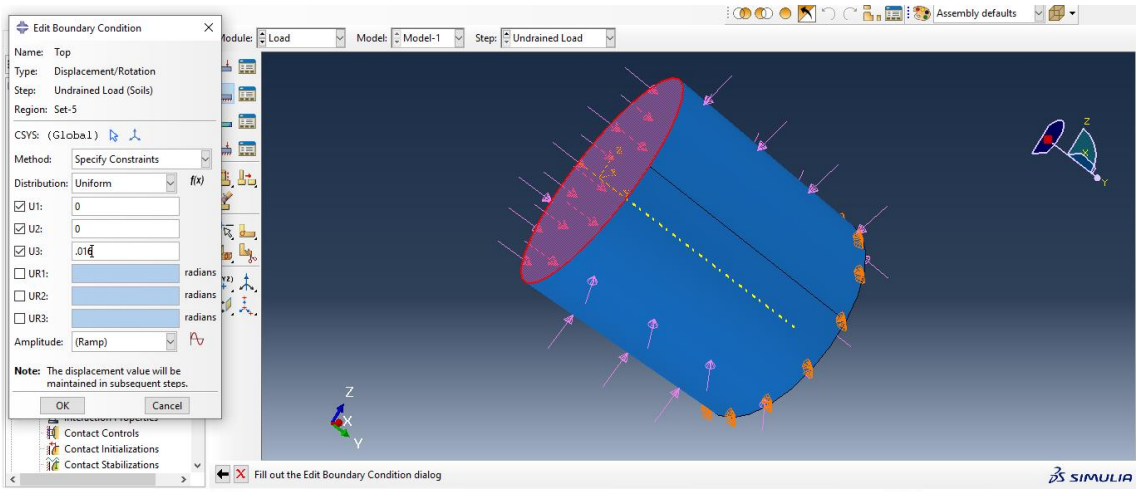
Impermeabilización de capa superior



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Nota: Las figuras muestran la impermeabilización de la capa superior

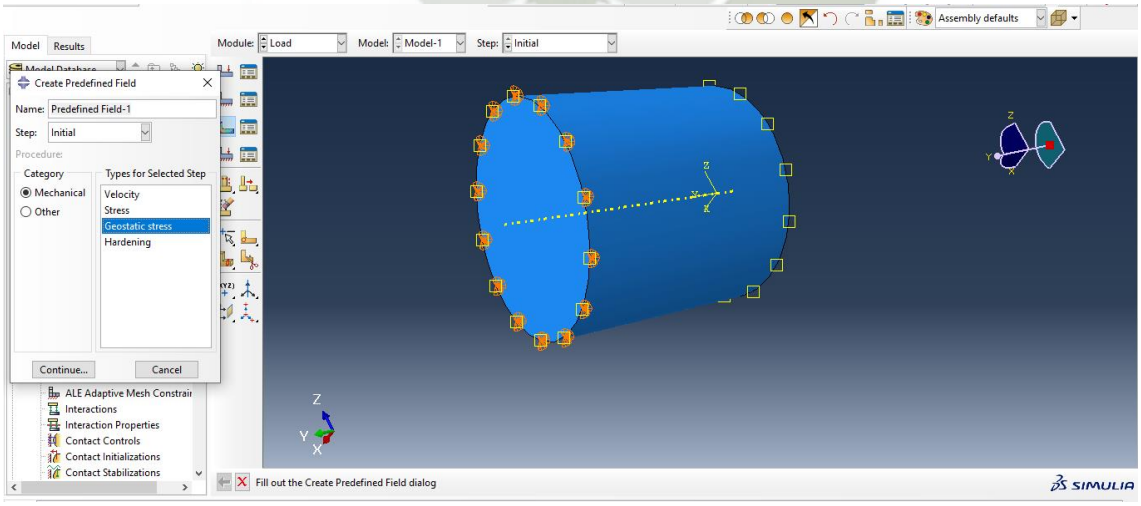
Fuente: Elaboración Propia

- Ahora comenzaremos con el proceso del modelado del campo predefinido:

a. Seleccionamos la opción: “Create Predefined Field” y en su tipo escogemos “Geostatic Stress”. A continuación, seleccionamos todo el modelo. Posteriormente, en el cuadro emergente, introducimos en las magnitudes de los esfuerzos la presión de confinamiento y luego, la altura de nuestro espécimen en la coordenada vertical 1

Figura 93

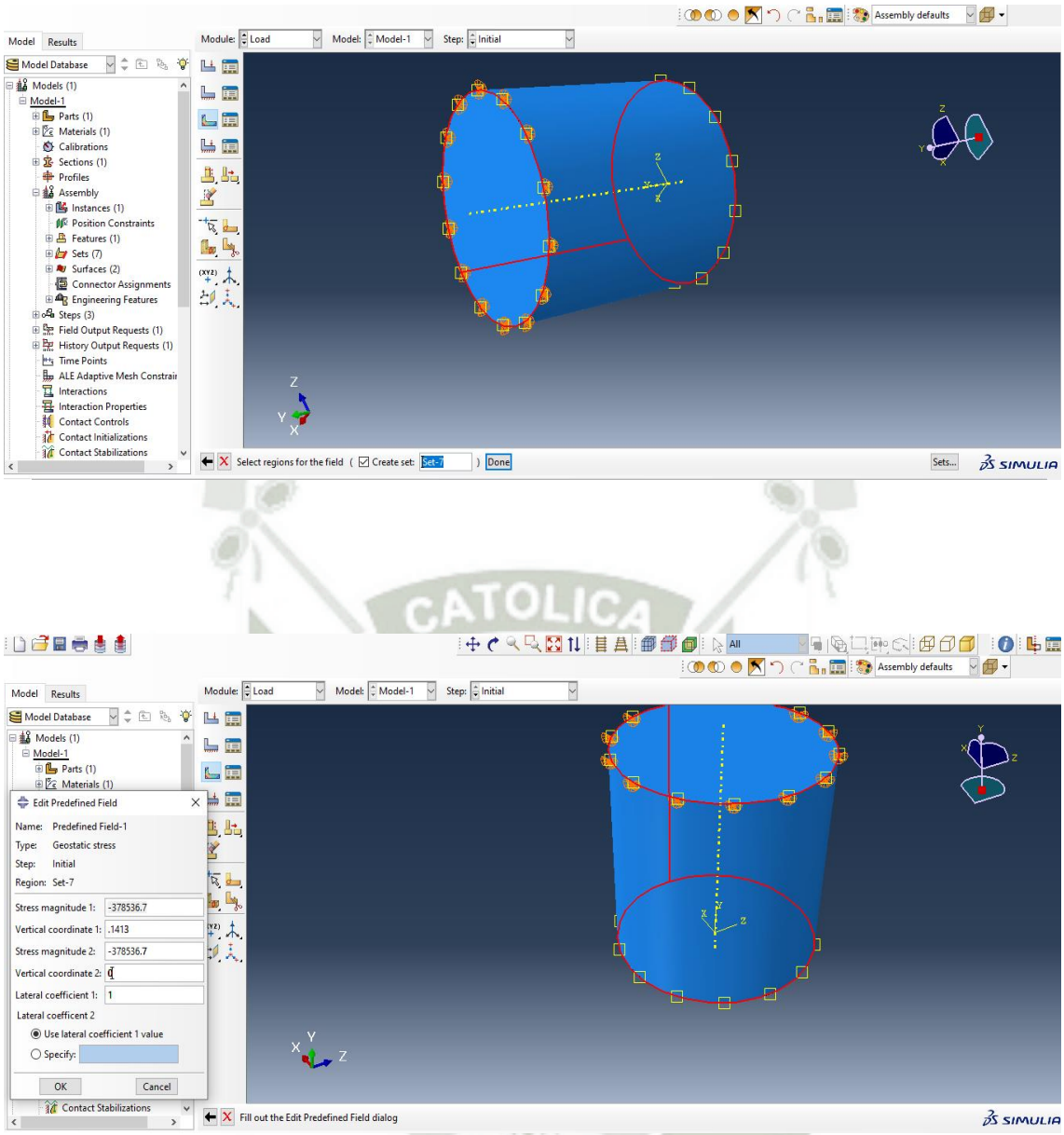
Asignación de esfuerzos de presión de confinamiento



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Nota: Las figuras muestran la asignación de esfuerzos de presión de confinamiento en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

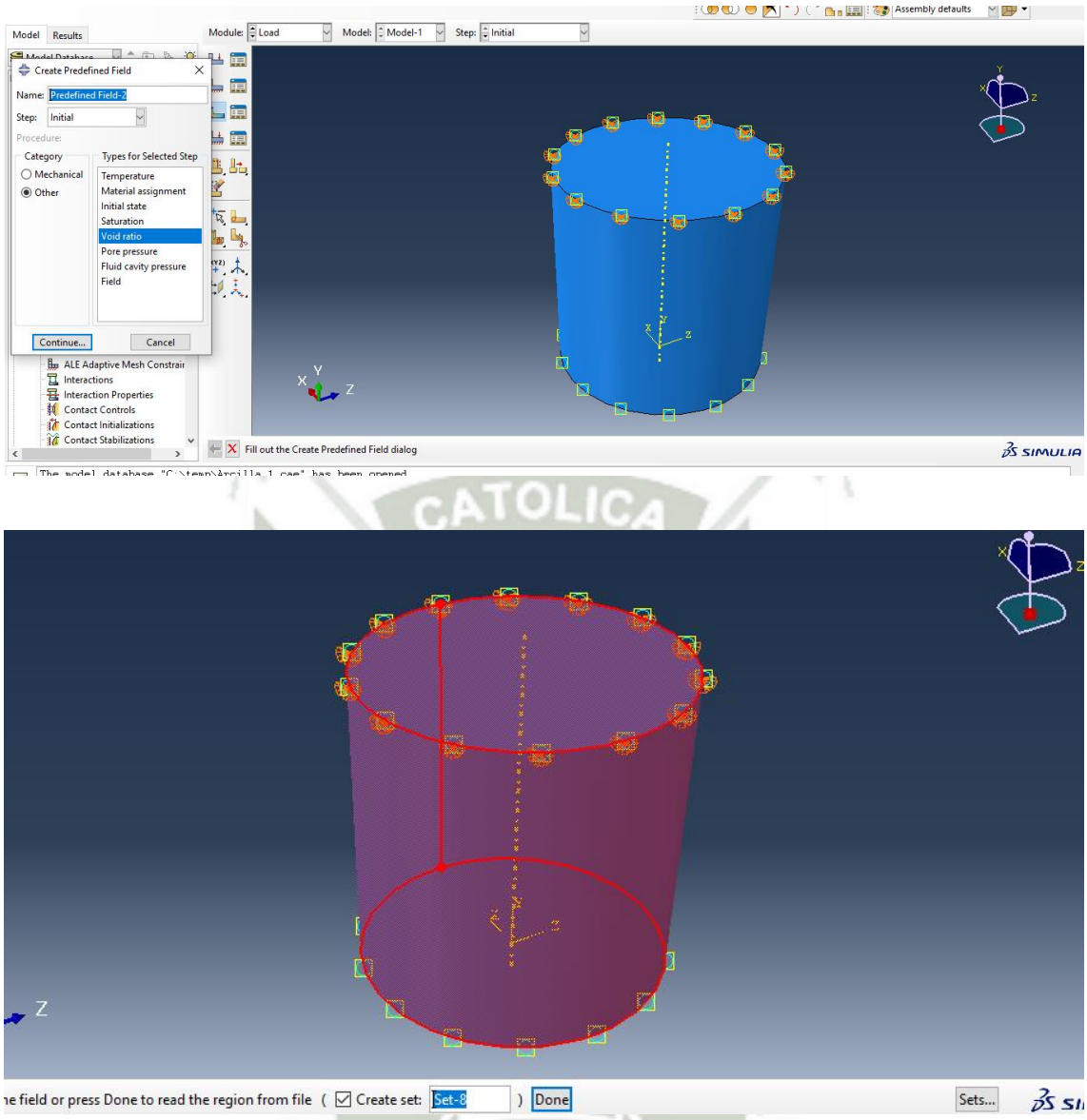
b. Para nuestro segundo campo predefinido, escogeremos en tipo:"Void Ratio" y seleccionamos todo el volumen. Finalmente llenamos la primera relación de vacíos obtenida con la carga en el ensayo de consolidación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 94

Asignación de relación de vacíos



Nota: La figura muestra la asignación de relación de vacíos en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

5.2.6. Configuración de discretización para Modelamiento por Elementos Finitos (MEF)

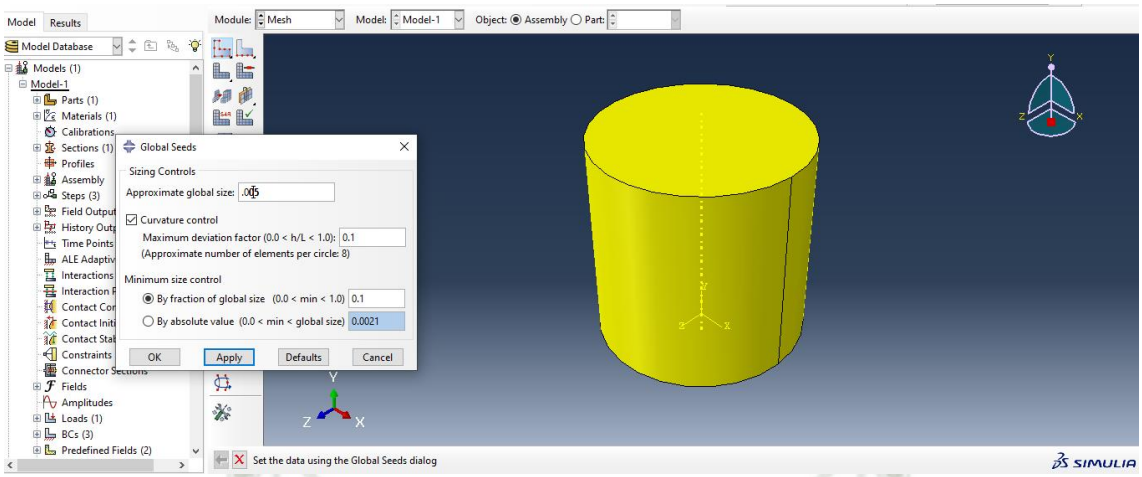
- En el módulo “Mesh” seleccionamos “Create Mesh” e introducimos el valor de 0.005 para el tamaño de cada elemento finito a discretizar en el espacio de “Aproximate Global Size”

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 95

Configuraciones preliminares de elementos finitos



Nota: La figura muestra las configuraciones preliminares de elementos finitos en software @Abaqus

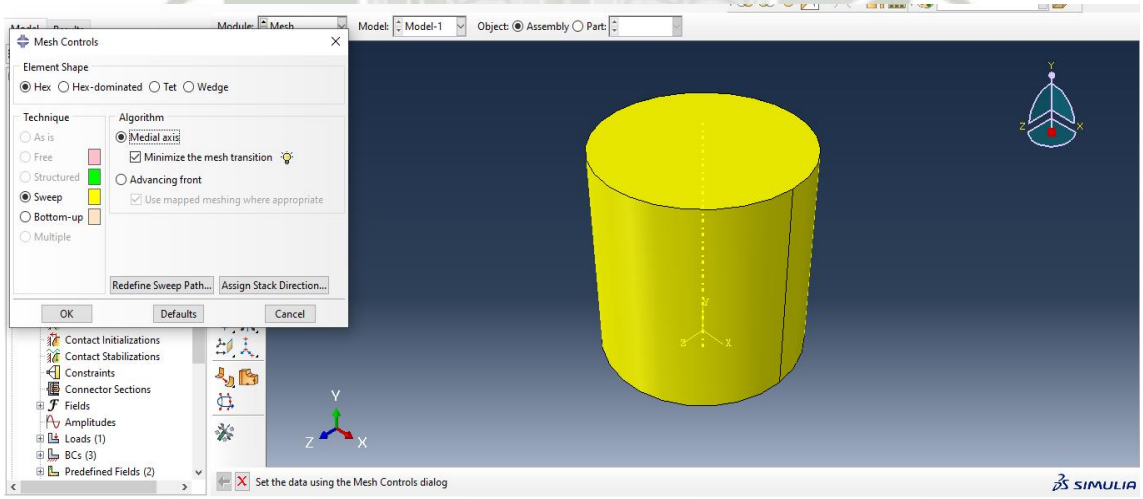
Fuente: Elaboración Propia

- A continuación, seleccionamos “Mesh Controls” y en “Algorithm”

seleccionamos: “Medial axis”

Figura 96

Configuración de controles - Elementos finitos



Nota: La figura muestra configuraciones del modelo elementos finitos en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

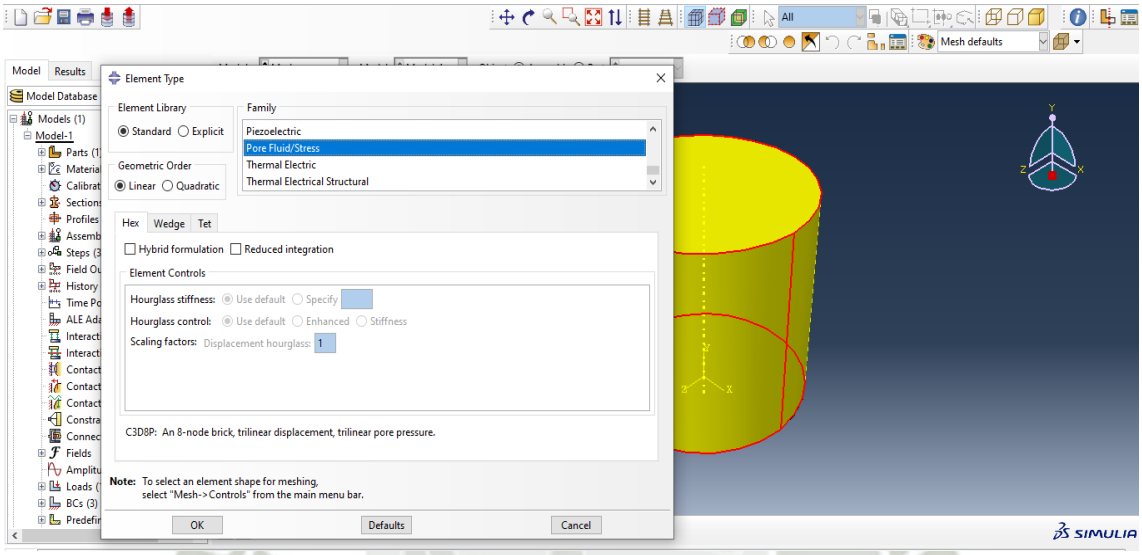
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- El siguiente paso es seleccionar “Element Type” y marcamos todo el elemento. Ahora, en el cuadro emergente, en la lista “Family”, seleccionar “Pore/Fluid Stress”. De este modo, estaremos configurando los elementos como C3D8P: 8-node brick, trilinear displacement, trilinear pore pressure.

Figura 97

Control de poros en Elementos finitos



Nota: La figura muestra el control de poros en elementos finitos en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- Por último, seleccionamos: “Mesh Part Instance” y ya podremos visualizar nuestra malla configurada del modelo para el análisis de elementos finitos. Al verificar la malla podemos ver la creación de 738 nodos y 544 elementos, ya que el valor máximo de elementos que podemos crear con la Learning Edition es 1000 y, debido a la geometría del espécimen, solo serán posibles 738 nodos.

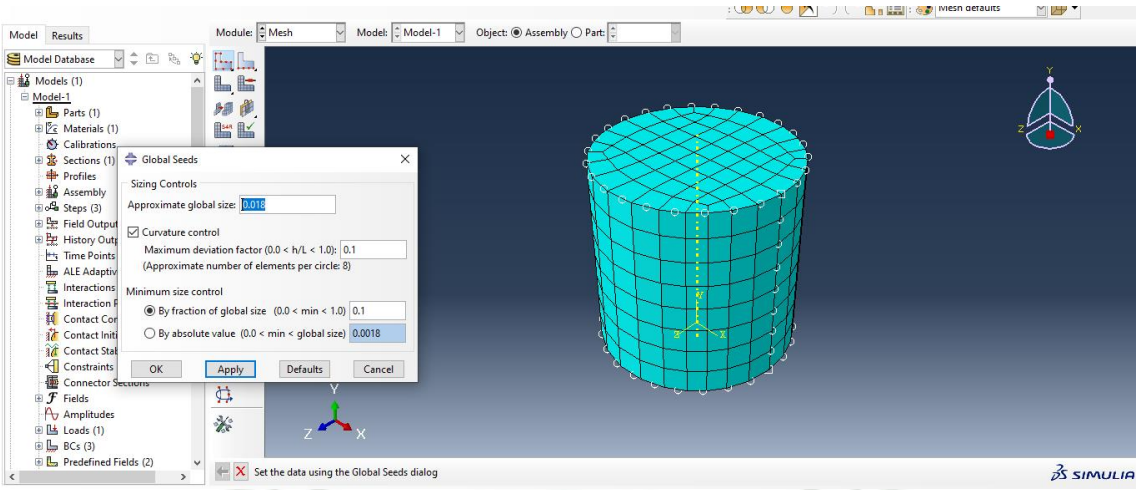
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 98

Visualización de mallas



Nota: La figura muestra la visualización de mallas en software @Abaqus

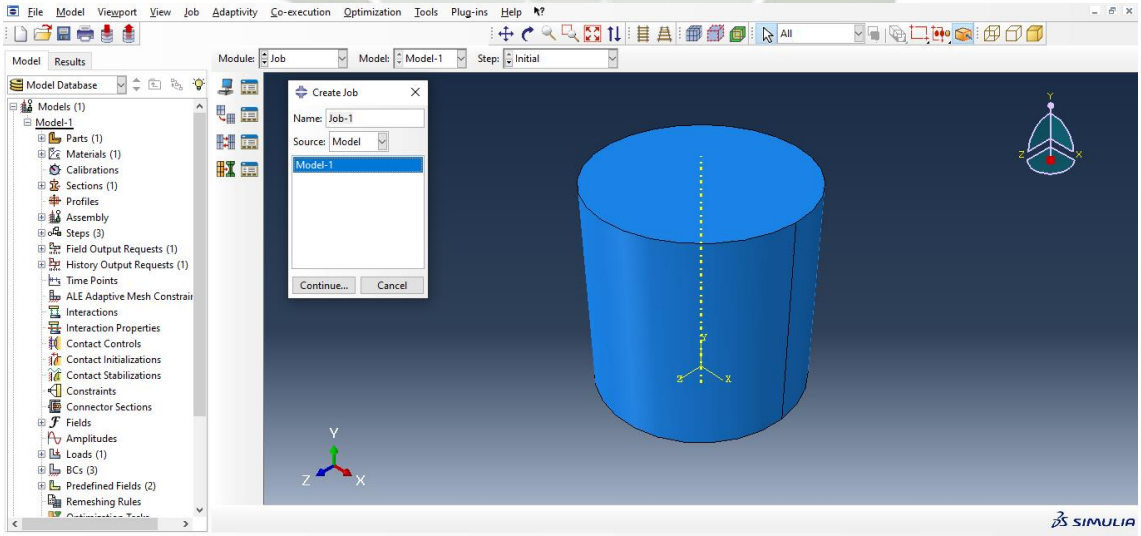
Fuente: Elaboración Propia

5.2.7. Creación de los parámetros y las corridas de análisis

- En el módulo “Job” seleccionamos la opción “Create Job”. Después dar clic en “Continue” en el primer y segundo cuadro emergente.

Figura 99

Generación de trabajos en @Abaqus



Nota: La figura muestra la generación de trabajos en @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

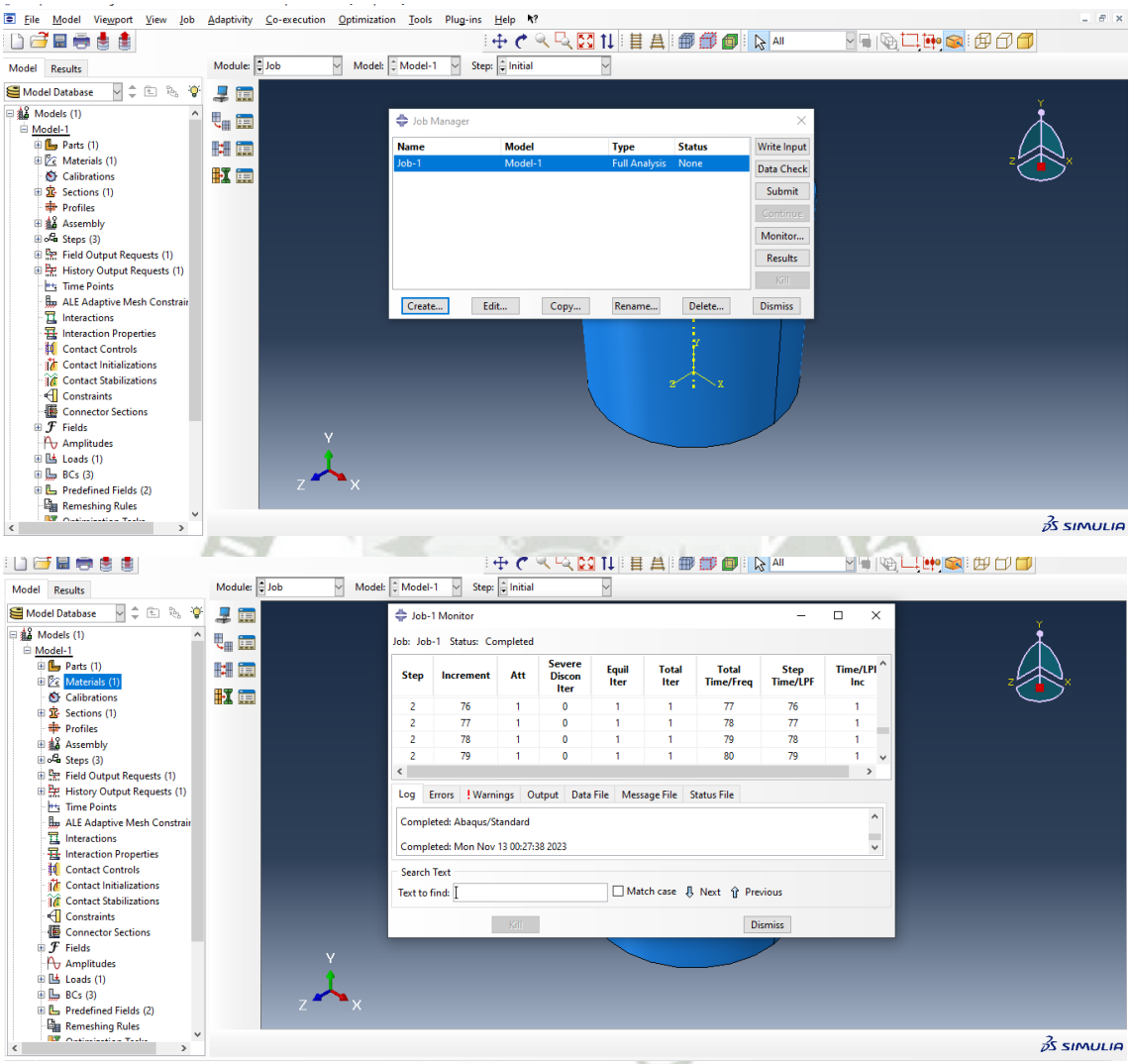
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

- Seleccionamos la opción “Job Manager”, seleccionamos el trabajo y damos clic en “Submit”. Posteriormente hacemos clic en monitor para supervisar el proceso del análisis.

Figura 100

Configuraciones preliminares de supervisión para el análisis



Nota: Las figuras muestran las configuraciones preliminares de supervisión para el análisis, en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

5.2.8. Presentación de Resultados

- Una vez corrido el análisis, en el módulo “Visualizations”, seleccionar la opción “Plot Contours on Deformed Shape”. A continuación, seleccionamos “Create

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

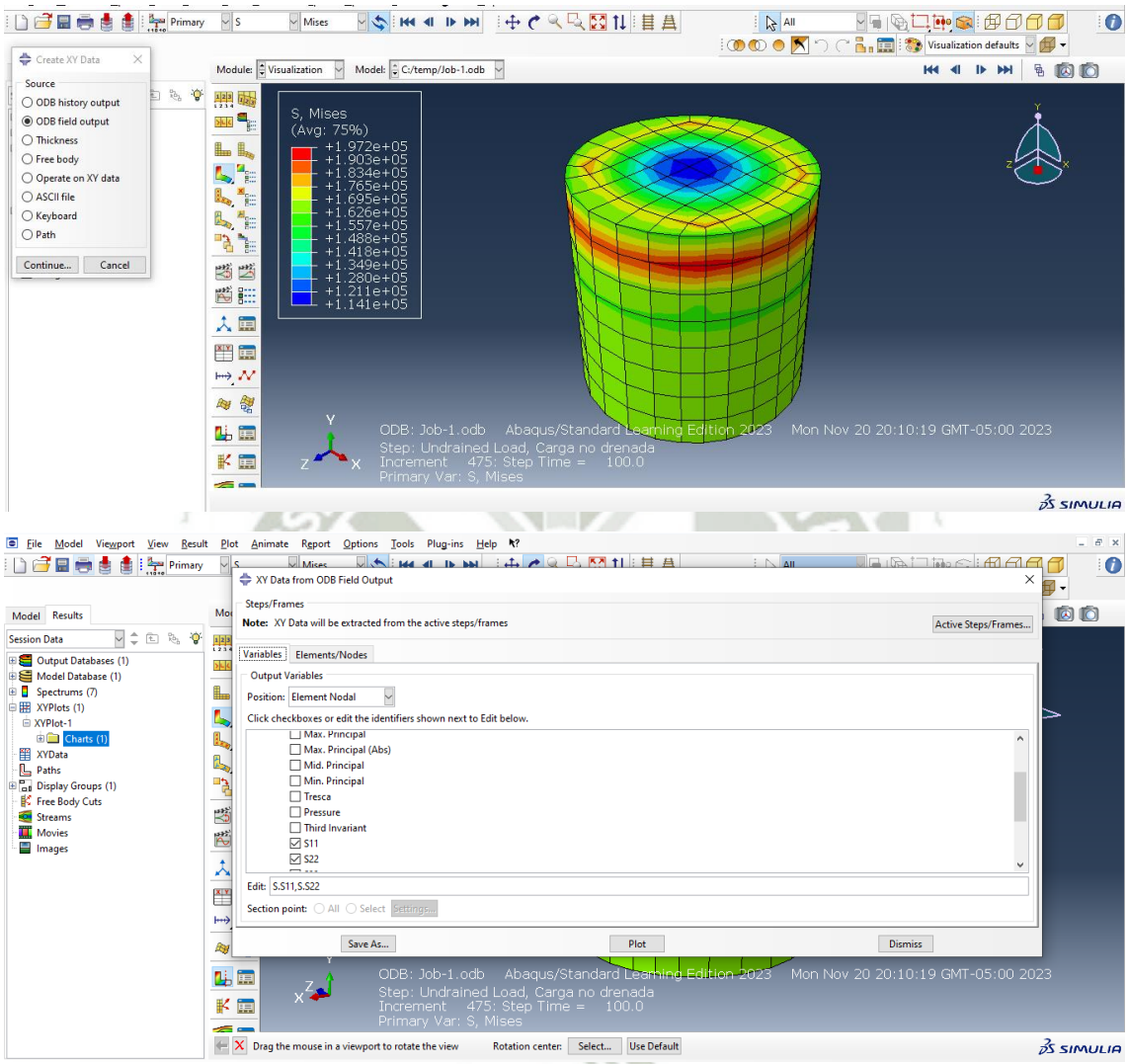
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

XY Data” y seleccionamos “ODB field output”. En el cuadro emergente desplegamos

“S: Stress components” y seleccionamos: “S11”, “S22”

Figura 101

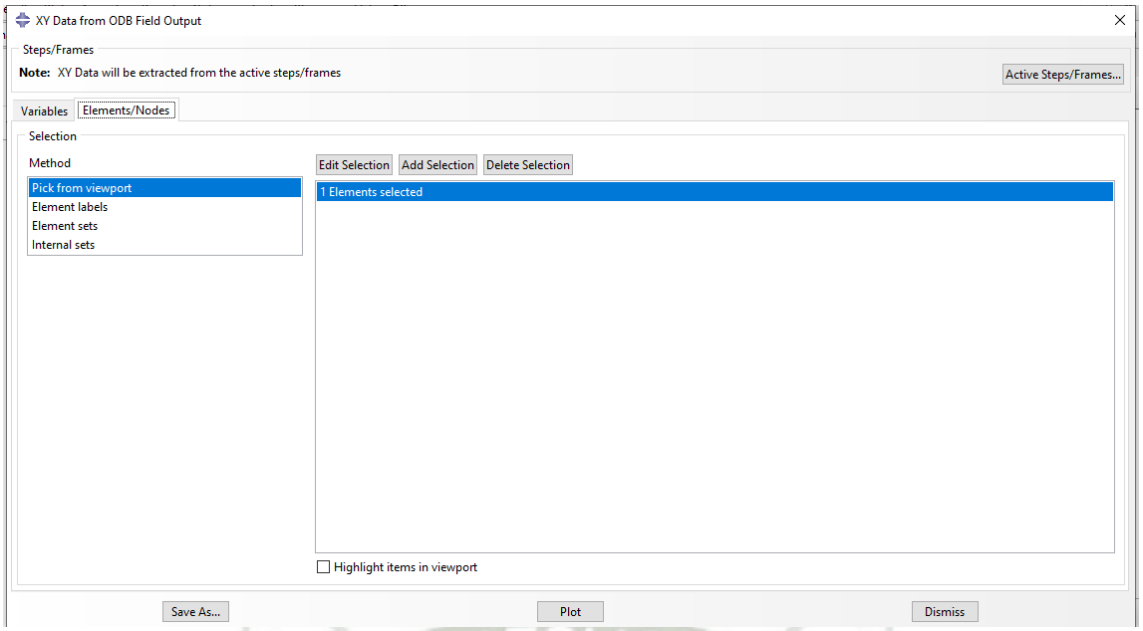
Visualización de deformaciones



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Nota: Las figuras muestran la visualización de deformaciones en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

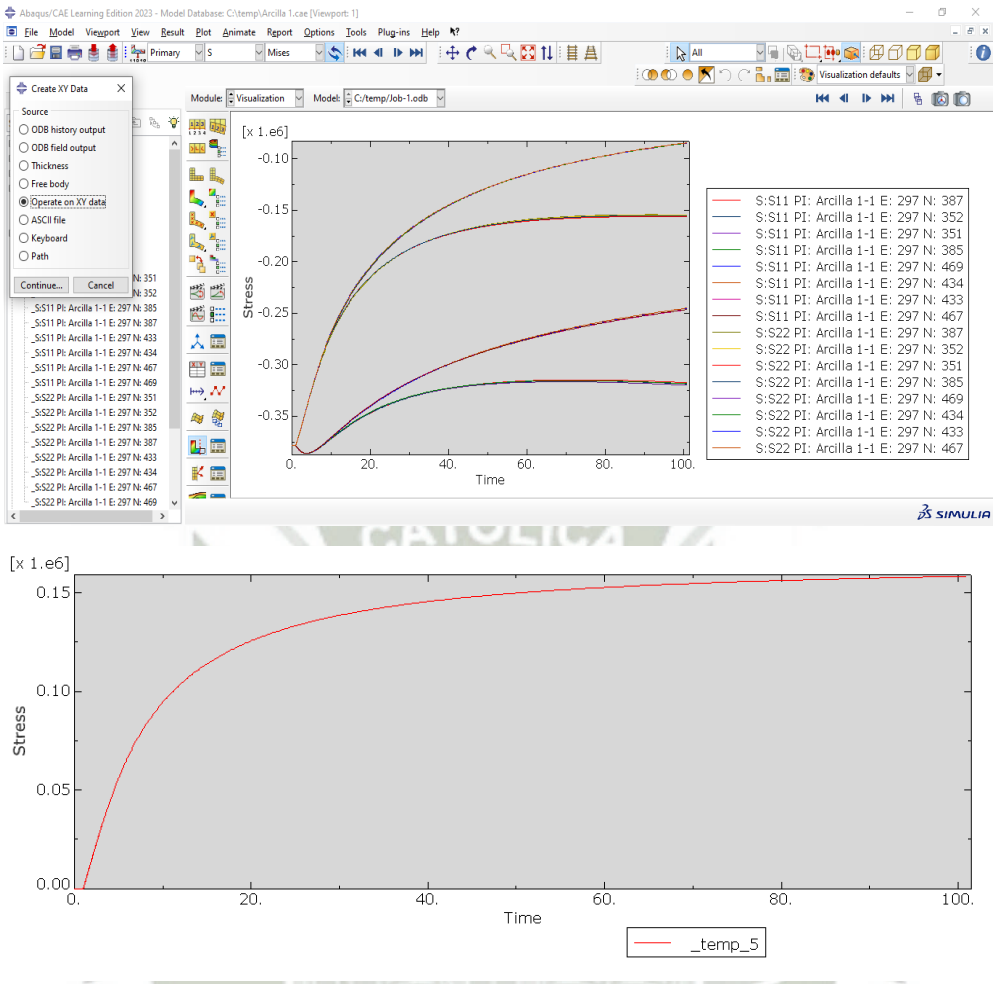
- Ahora resumiremos las curvas de este gráfico en promedios por presión y esfuerzo con la finalidad de tener un gráfico más entendible: Seleccionamos: “Create XY Data” y seleccionamos “Operate on XY data”. A continuación, seleccionamos todos aquellos ítems que digan S11 y S22, que son los referidos al esfuerzo efectivo y al confinamiento Escribimos la fórmula: "ABS (AVERAGE_S: S11"-"AVERAGE_S: S22)" para obtener el esfuerzo desviador. Por último, guardamos la expresión y le damos clic en “Plot”. Por último, hacemos clic de nuevo en “Operate on XY data” y seleccionamos desviator stress (nombre con el que guardamos la operación anterior) y lo dividimos entre mil para que las unidades nos salgan en kPa con la siguiente expresión: “Desviador Stress” /1000”.

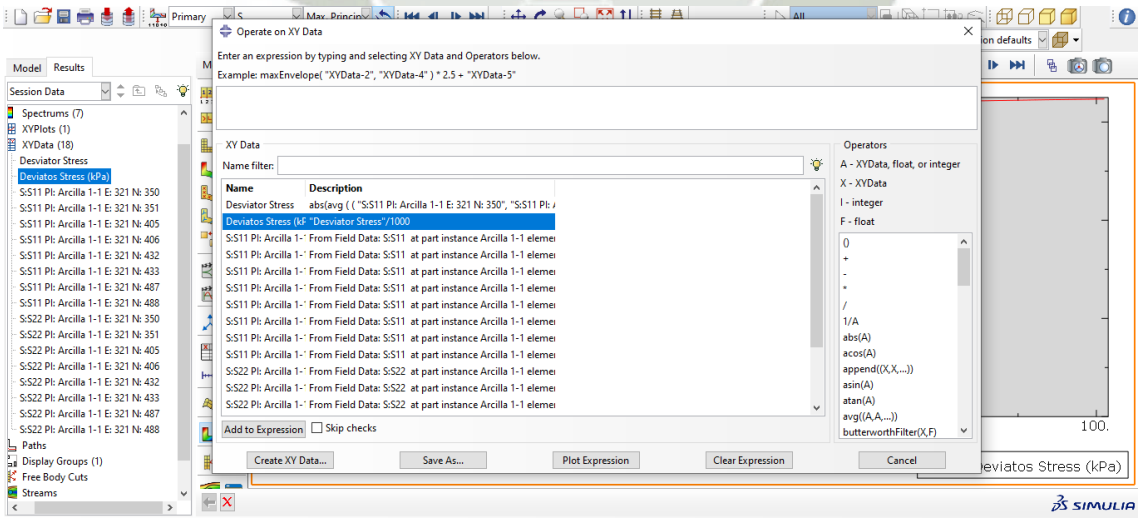
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 102

Generación de gráficas de esfuerzos y presión de confinamiento

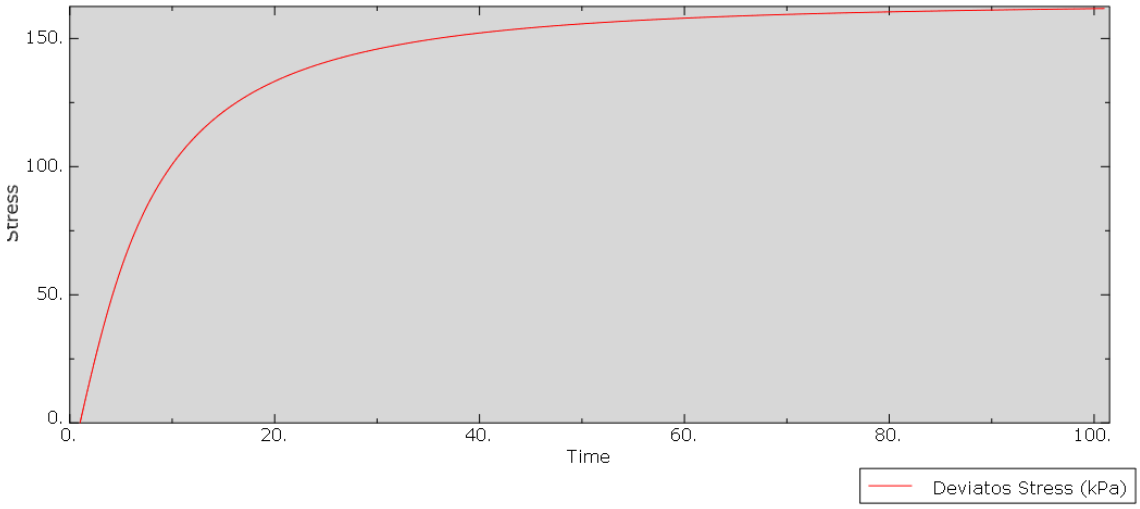




Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Nota: Las figuras muestran la generación de gráficas de esfuerzos y presión de confinamiento de software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- En este paso graficaremos la deformación axial: Seleccionamos de nuevo

"Create XY Data", seguidamente "ODB field output". Seguidamente seleccionamos> "Logarithmic strain components" y elegimos "LE22" (deformación axial en dirección vertical). Luego, seleccionamos "Create XY Data" y después, "Operate on XY data". Ahora colocamos la fórmula: "combine(avg(()),"Desviator Stress (kPa)")", introduciendo dentro de avg() los datos del esfuerzo axial (LE22). Por último, seccionamos "Plot" y "Save as".

Finalmente, en el menú de datos buscamos el gráfico creado ("p-q") y con clic derecho seleccionamos "Edit" para ver las coordenadas obtenidas en nuestro gráfico y poder copiarlas.

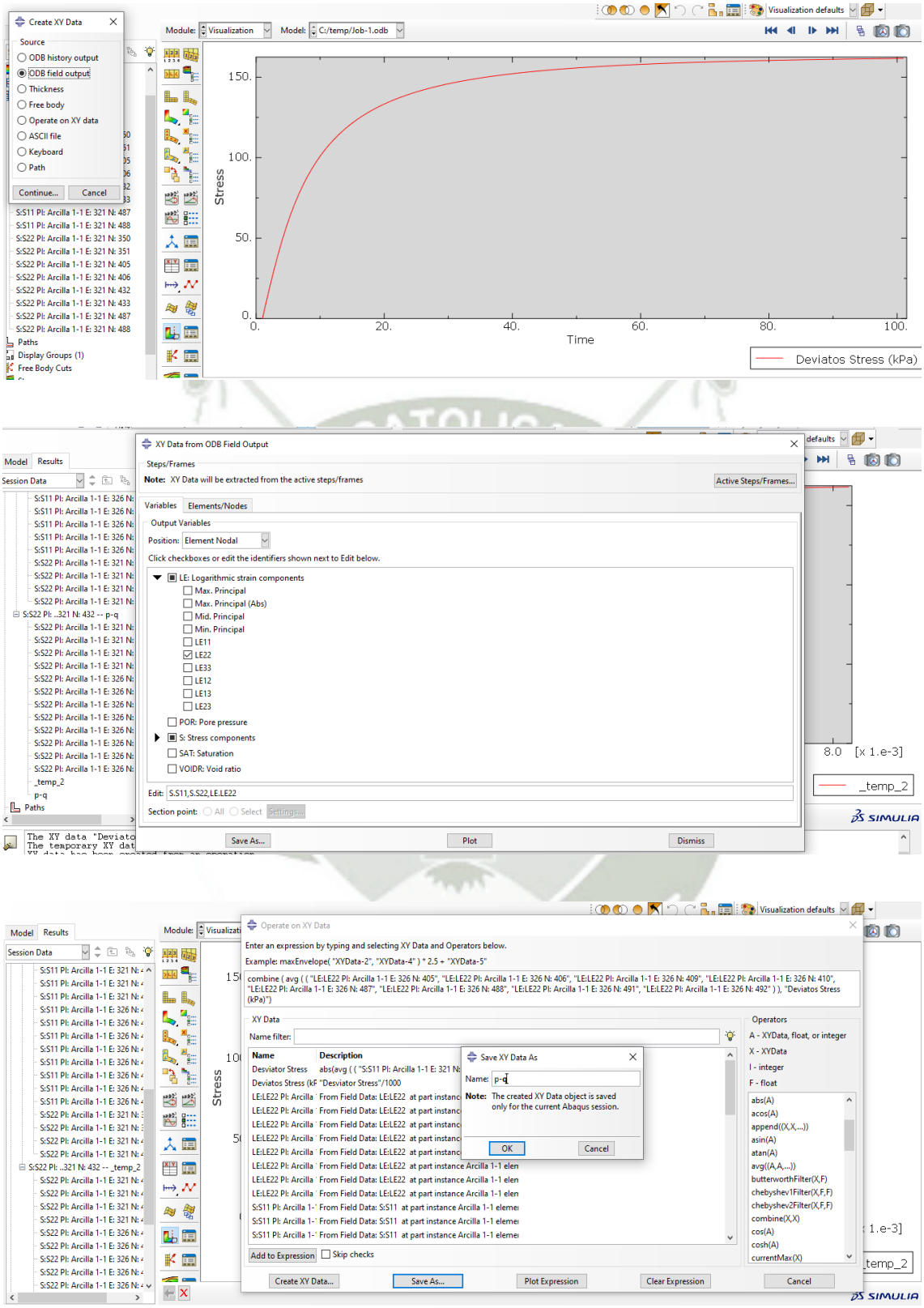
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 103

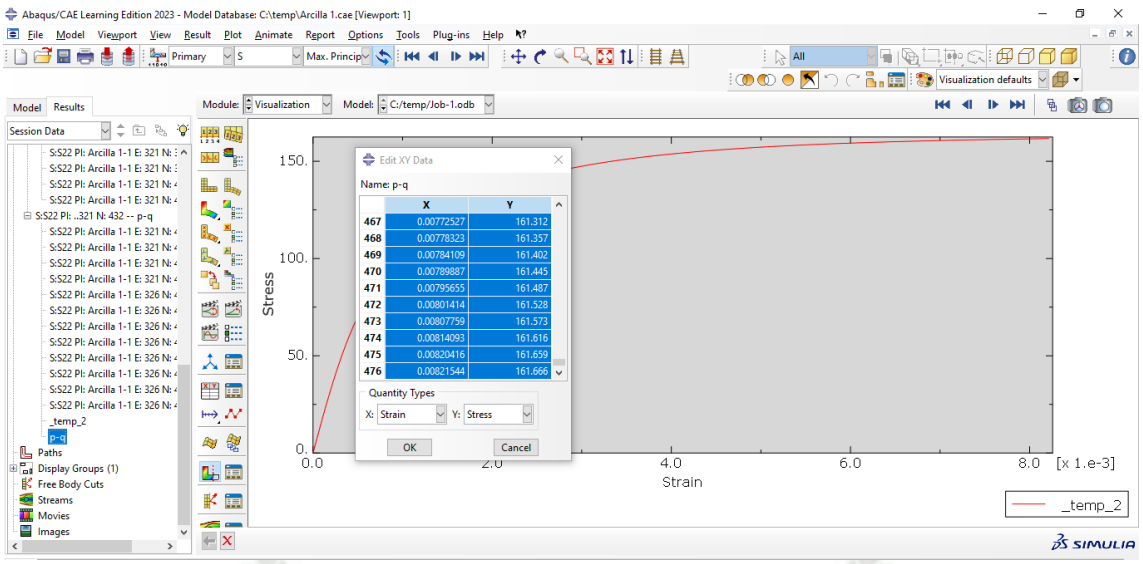
Gráfica de deformación axial



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA



Nota: Las figuras muestran los resultados de la gráfica de deformación axial, en software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

- En este paso graficaremos el exceso de presión de poros en el eje vertical y la deformación axial en el eje horizontal: Seleccionamos de nuevo “Create XY Data”, seguidamente “ODB field output”. En el cuadro emergente seleccionamos “POR”. En la siguiente pestaña seleccionamos el elemento, seleccionamos “Plot” y luego lo guardamos.

- Ahora, seleccionamos “Create XY Data” y después, “Operate on XY data”. Ahora colocamos la fórmula: “avg(())/1000”, en el campo de “avg(())” insertamos los datos de la presión de poros (POR) y luego lo guardaremos con el nombre: “Pore Pressure”.

- Por último, para la deformación axial, seleccionamos de nuevo: “Create XY Data” y después, “Operate on XY data”, pero ahora con la fórmula: combine(avg(()),”Pore Pressure”)”, insertando los datos de la deformación axial (LE22) en el espacio de “avg(())”

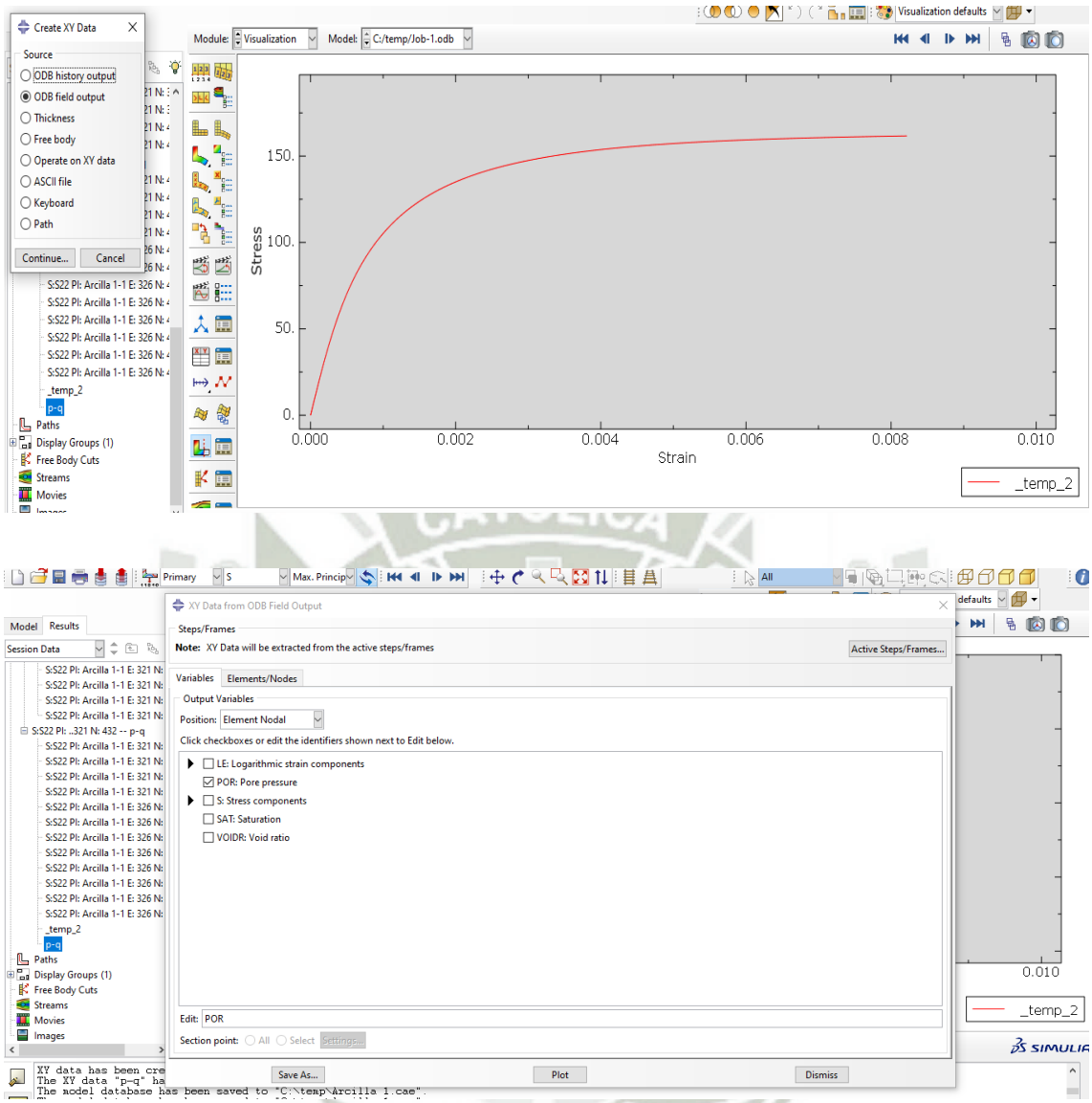
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 104

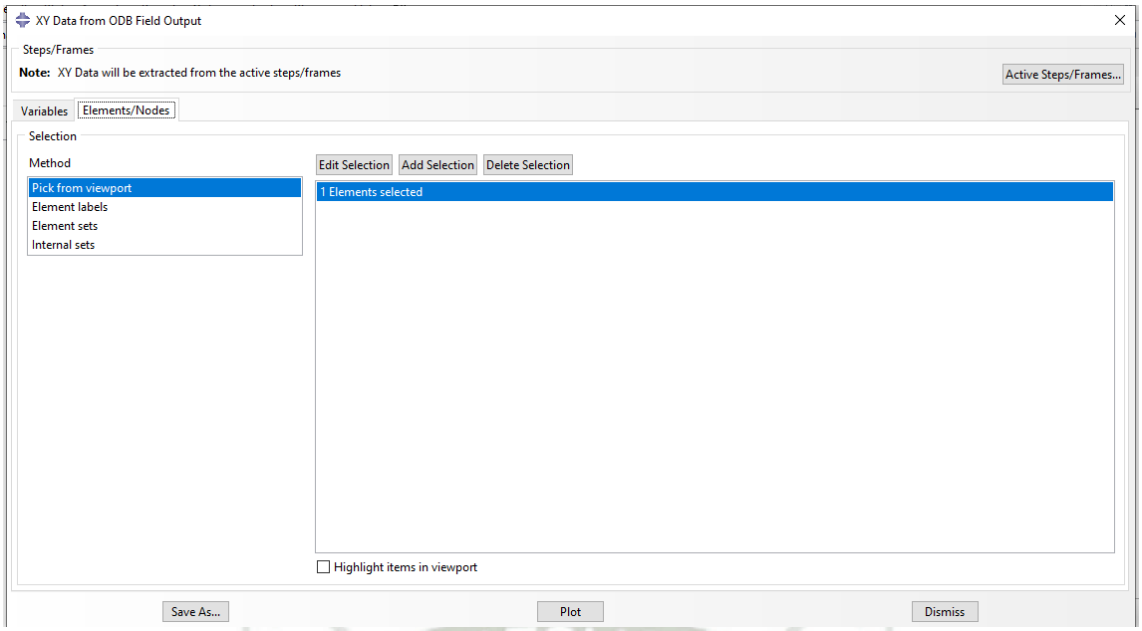
Gráficas de exceso de presión de poros vs deformación axial

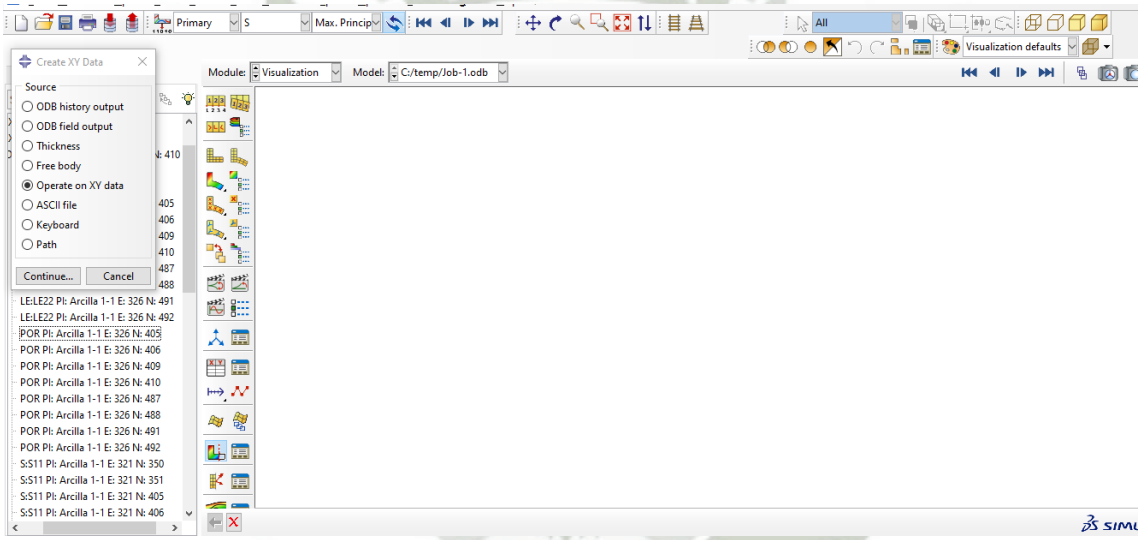


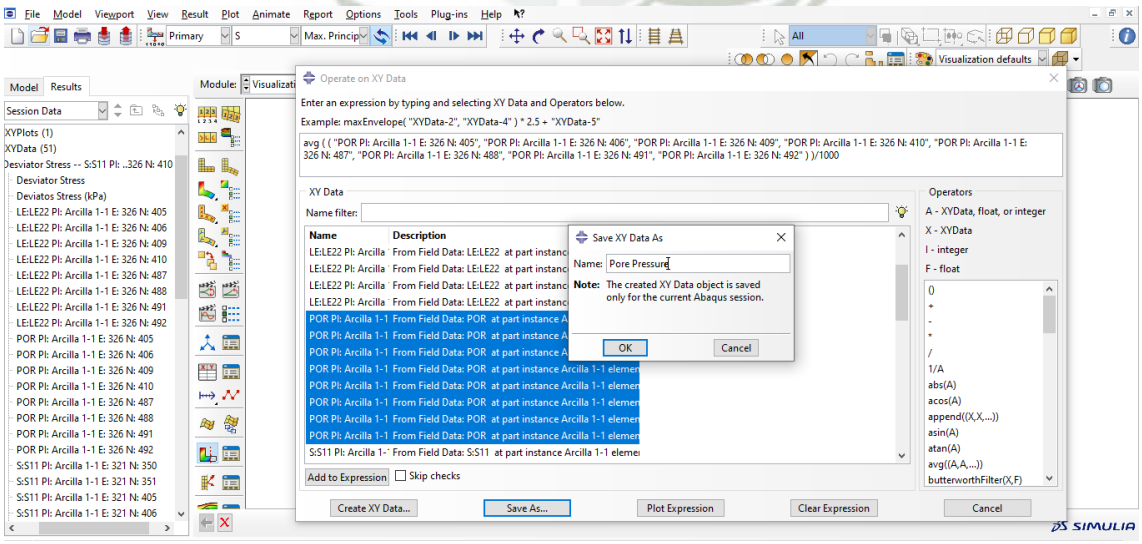
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

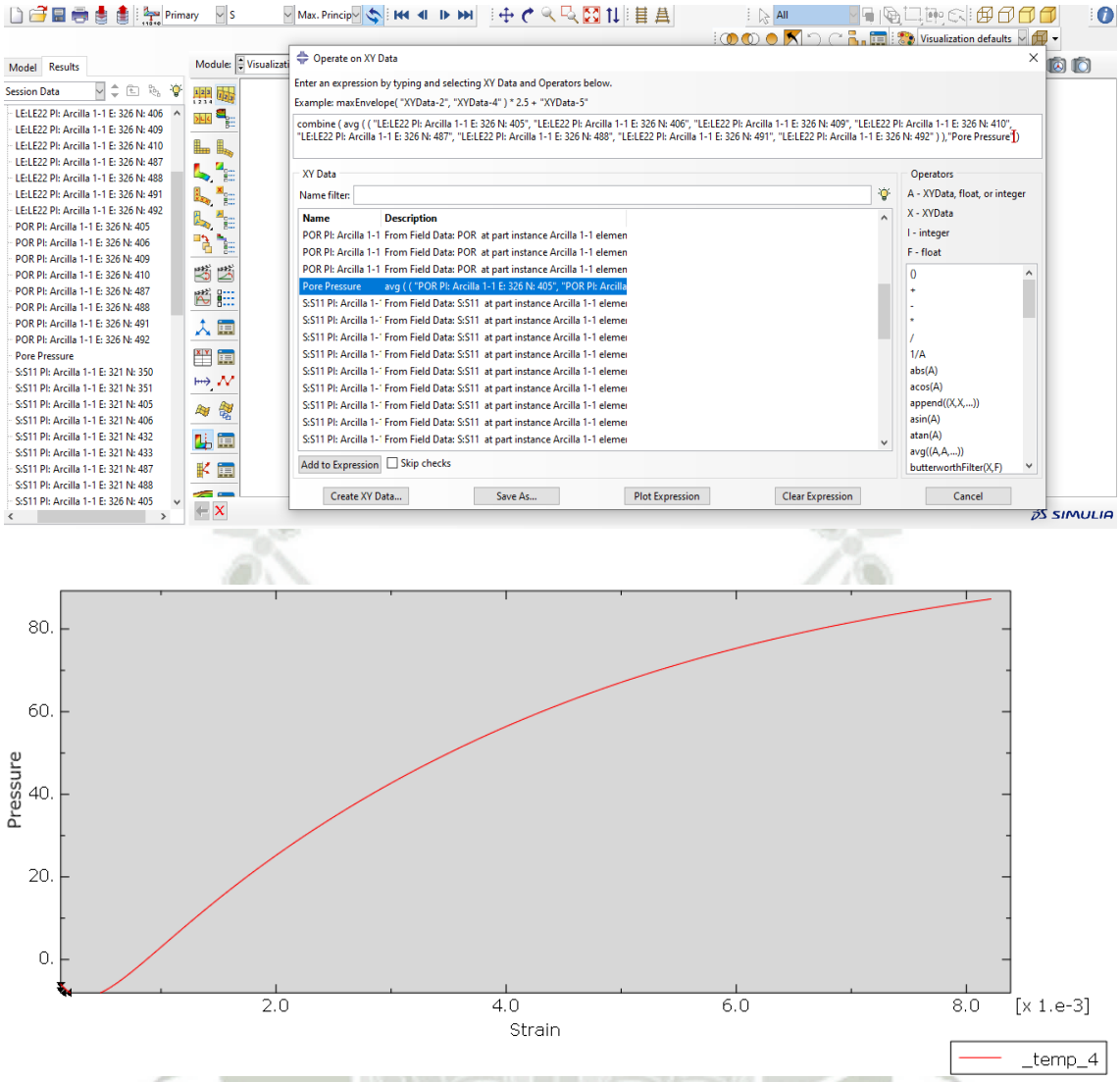






Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



Nota: Las figuras muestran los resultados del exceso de presión de poros vs deformación axial de software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

5.2.8.1. Resultados Arcilla C1

Se adjunta la gráfica Presión de Poros versus Deformación Unitaria de la Arcilla C1.

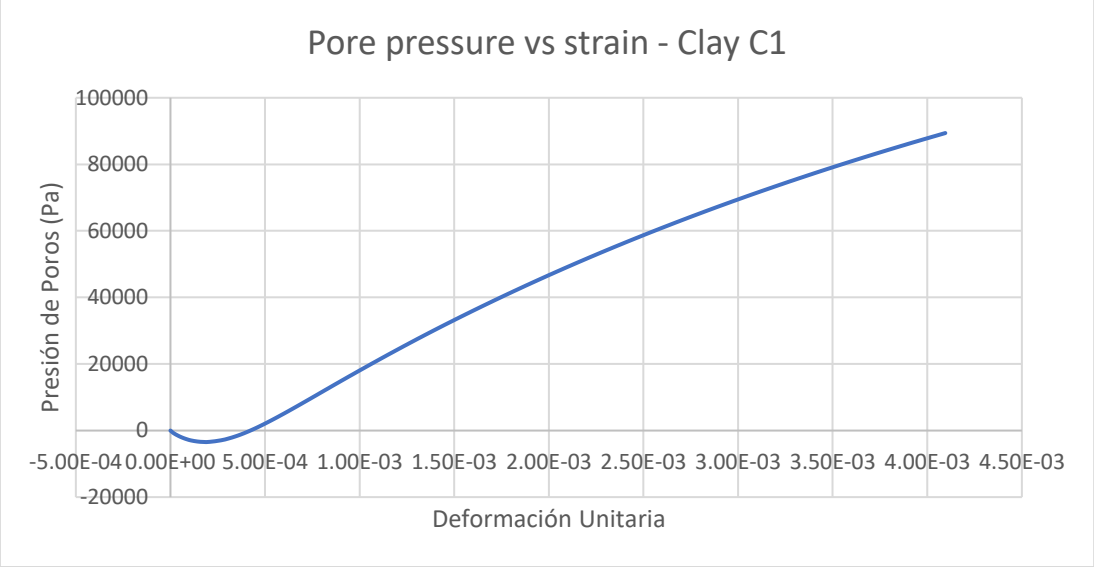
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 105

Gráfica de Presión de poros vs Deformación Unitaria Arcilla C1



Nota: la figura muestra la gráfica de presión de poros vs deformación unitaria de arcillas en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica, se observa el comportamiento exponencial de la relación entre presión de poros y Deformación Unitaria, en arcilla C1.

Se adjunta a continuación las gráficas Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria.

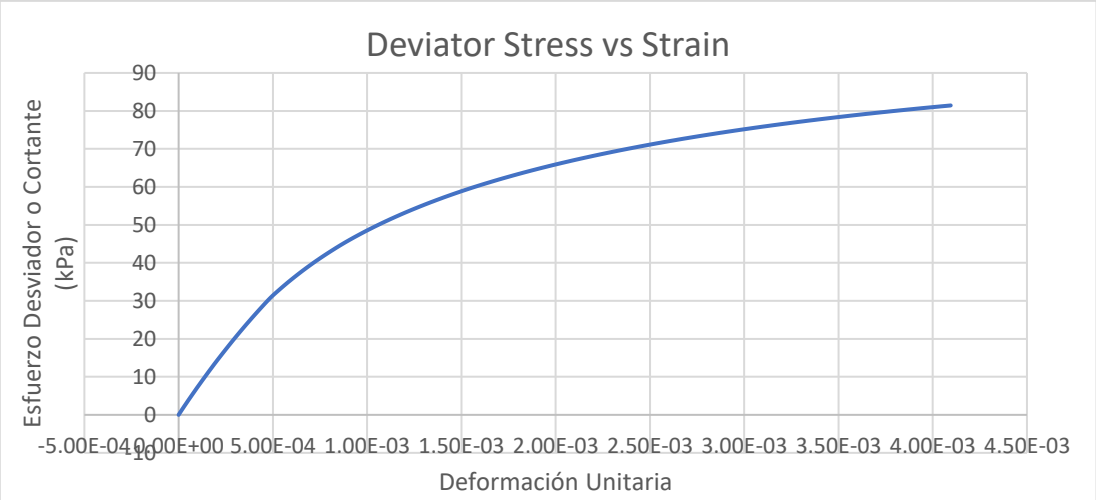
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 106

Gráfica de Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria C1



Nota: La figura muestra la gráfica de esfuerzo desviador vs cortante vs deformación unitaria en arcillas de Calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un crecimiento logarítmico de la relación entre el esfuerzo desviador o cortante y deformación unitaria.

Por última, se adjunta la curva del parámetro A de Skempton versus deformación unitaria.

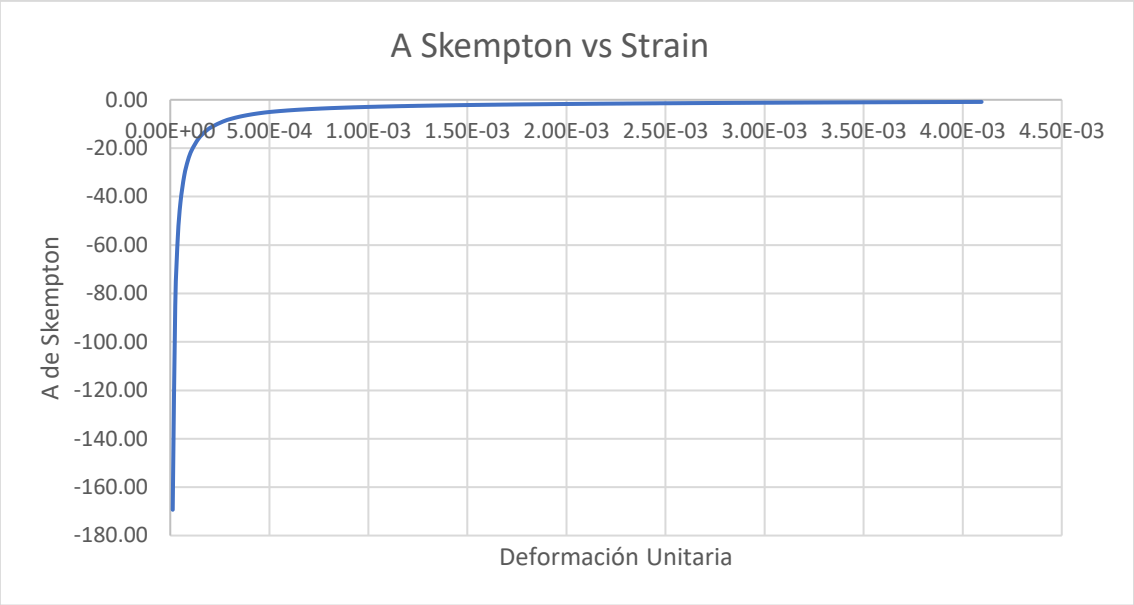
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 107

Curva de deformación unitaria versus A de Skempton - Arcilla C1



Nota: La figura muestra la curva de deformación Unitaria vs parámetro A de Skempton de arcillas en calicata C1

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un comportamiento asintótico de la relación entre la deformación axial y el parámetro A de Skempton.

Esta gráfica se obtiene calculando el parámetro A de Skempton mediante la formulación:

$$A = \frac{(\Delta u - \Delta\sigma_3)}{\Delta\sigma}$$

Δu: Presión de Poros (kPa)

$\Delta\sigma_3$: Presión de confinamiento global luego de cerrada la válvula (kPa)

$\Delta\sigma$: Esfuerzo Desviador (kPa)

Resulta importante calcular el parámetro A o Af de Skempton (de falla) mediante la medición del exceso de presión de poros Δu en la etapa de compresión, de la expresión:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$A_f = \frac{\Delta u - B * \Delta\sigma_3}{\Delta\sigma}$$

Donde:

Δu: Exceso de presión de poros durante la compresión (kPa)

$\Delta\sigma_3$: Presión de confinamiento global luego de cerrada la válvula (kPa)

$\Delta\sigma$: Esfuerzo desviador (kPa)

B: Parámetro de saturación de Skempton (se sugiere como saturación aceptada cuando B ≥ 0.95 (Hurtado Osorio, 2017)

Resulta importante mencionar que:

El valor de Δu refiere al máximo de la presión de poros (en kPa), obtenida de @Abaqus. Por otro lado, $\Delta\sigma_3$ se obtiene al restar la Presión de confinamiento cerrada la válvula (Presión máxima σ_3 de los especímenes) y la Presión de confinamiento antes de cerrar la válvula (Presión de celda ensayo triaxial) (σ_3). Finalmente, el esfuerzo desviador $\Delta\sigma$ (kPa), refiere al valor máximo obtenido de @Abaqus.

Con estas premisas, se obtuvo un Parámetro de Skempton A_f (de falla) igual a:

$$A_f = -0.7784205$$

Skempton (1964) refiere la siguiente categorización de arcillas en función al valor del coeficiente:

Tabla 50. Valores de coeficiente Af

Tipo de Suelo	**A_f**
Arcilla con alta sensibilidad	0.75 a 1.5
Arcillas normalmente consolidadas	0.5 a 1.0
arcillas arenosas compactadas	0.25 a 0.75
arcillas ligeramente sobreconsolidadas	0 a 0.5
gravas arcillosas compactadas	-0.25 a 0.25
arcillas muy sobreconsolidadas	-0.5 a 0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Fuente: Tomado y adaptado de (Fragomeni, 2018)

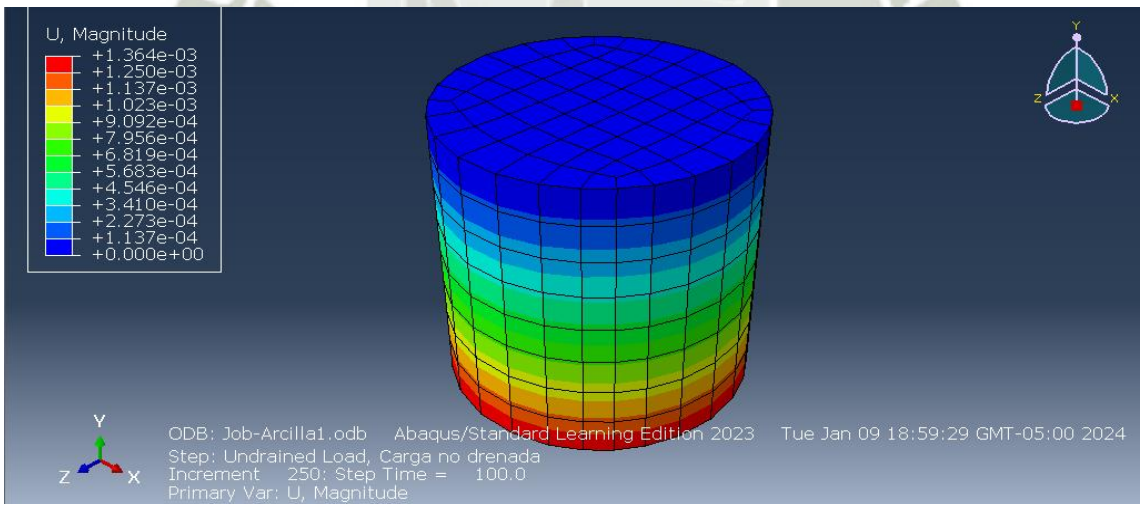
Además, se menciona que: "Una arcilla que normalmente se consolida es contractiva y adquiere un valor positivo de Af, mientras que una arcilla que se sobreconsolida es contractiva y luego se dilata, adoptando un valor negativo de Af". Obispo (1960). Además, "El valor de Af será mayor o más suelto en el suelo, y viceversa, cuanto más denso o menor en el índice de vacíos, el valor de Af será pequeño debido a la dilatancia" (Ingeniería Civil Info, 2011)

Por lo expuesto, la arcilla analizada de la calicata C1, refiere a una arcilla sobre consolidada dilatante. Así mismo, se refiere que el valor del índice de vacíos es menor, por ello resulta más denso.

Se adjunta los modelos en Software @Abaqus de Arcilla C1:

Figura 108

Modelo Arcilla C1 - Software @ Abaqus – Presión de Poros



Nota: La figura muestra el modelo de presión de poros de arcilla en calicata C1, software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

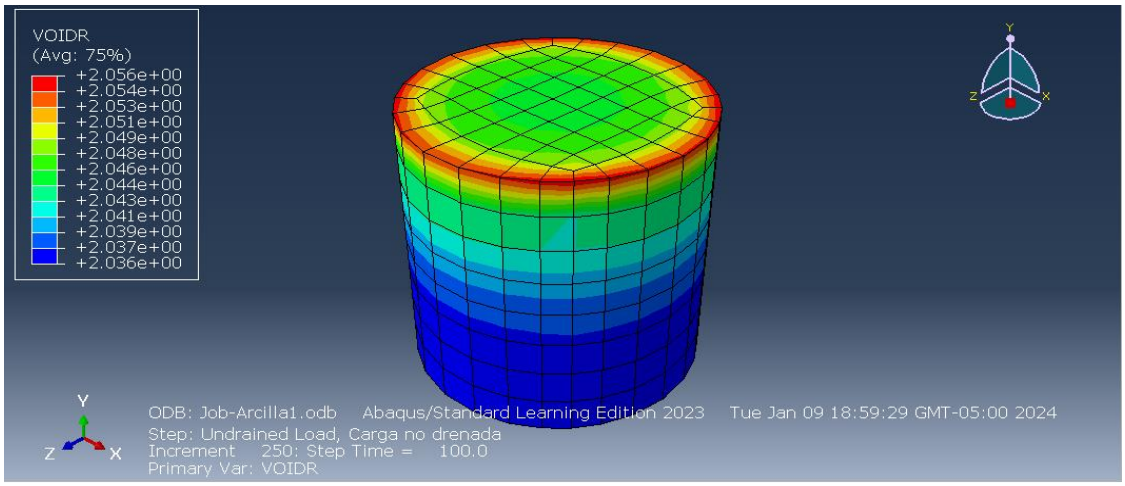
Figura 109

Modelo Arcilla C1 - Software @ Abaqus – Relación de vacíos

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

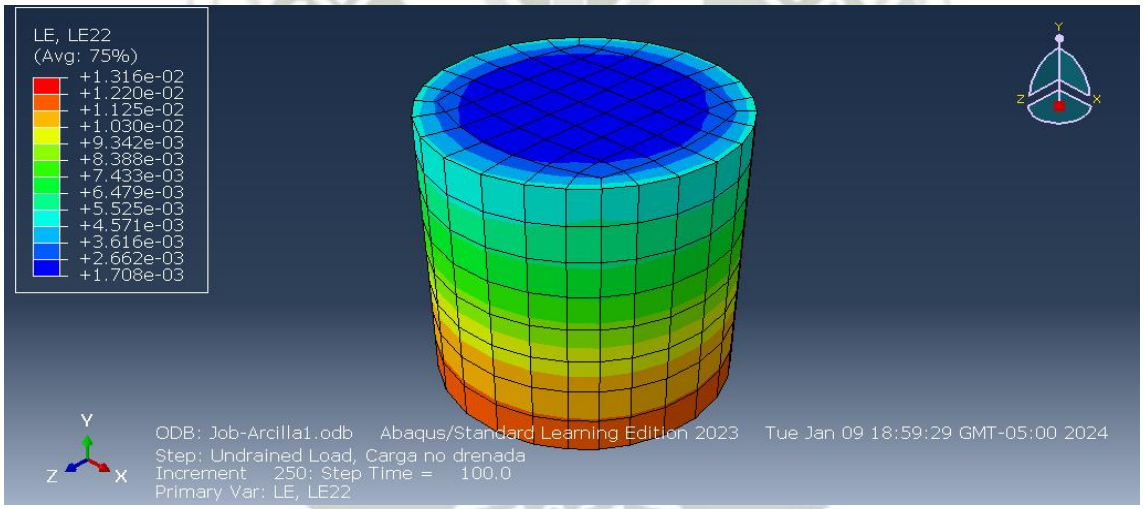


Nota: La figura muestra el modelo de relación de vacíos en arcillas de calicata C1, software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

Figura 110

Modelo Arcilla C1 - Software @ Abaqus – Deformación Axial



Nota: La figura muestra el modelo de deformación axial en arcillas de calicata C1

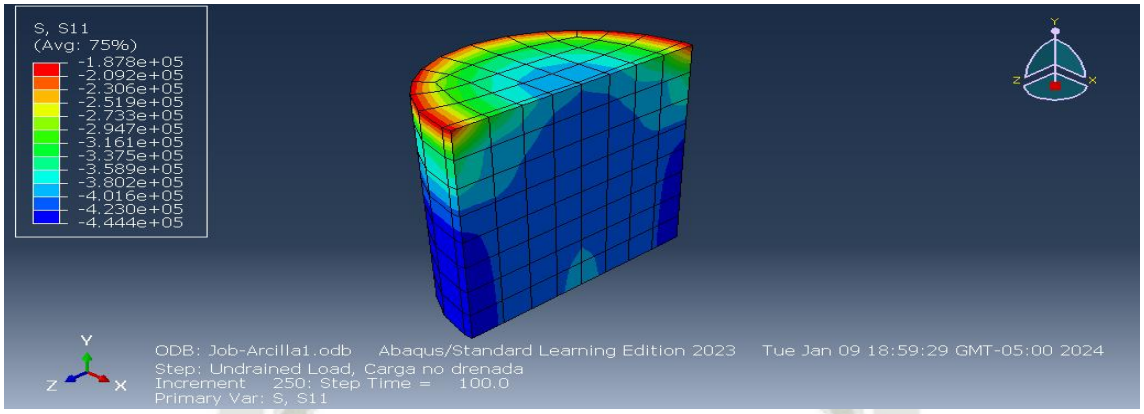
Fuente: Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 111

Modelo Arcilla C1 - Software @ Abaqus – Distribución de esfuerzo principal mayor



Nota: La figura muestra la distribución de esfuerzo principal mayor de arcillas de calicata C1, software @Abaqus

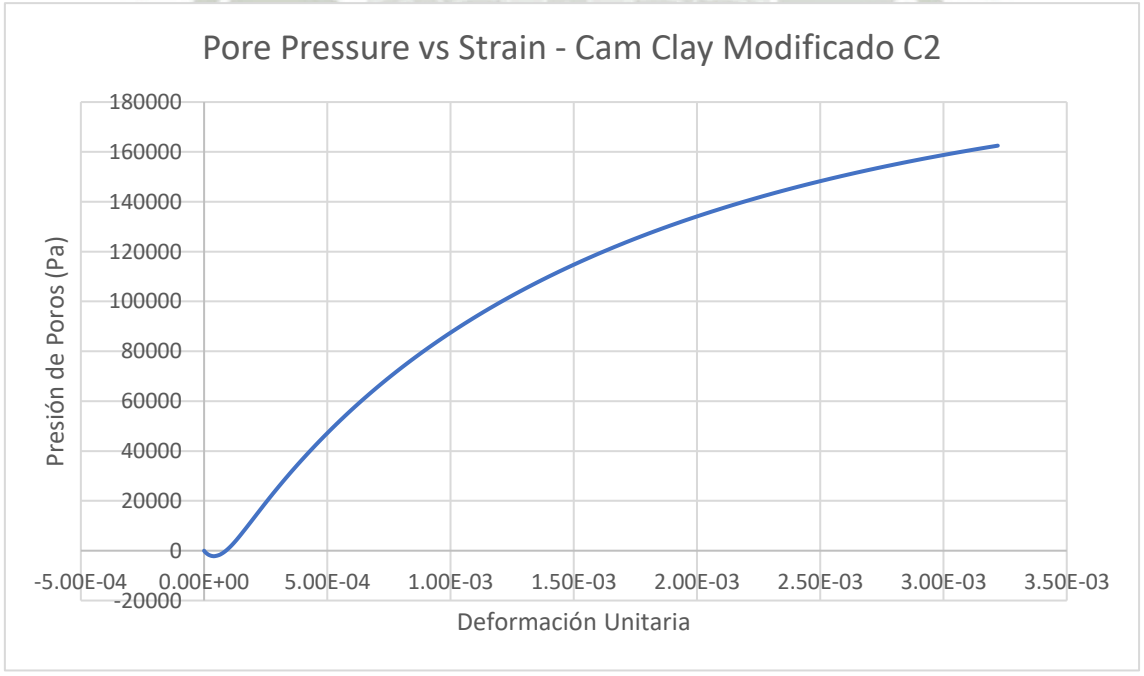
Fuente: Elaboración Propia

5.2.8.2. Resultados Arcilla C2

Se adjunta la gráfica Presión de Poros versus Deformación Unitaria de la Arcilla C2.

Figura 112

Gráfica de Presión de poros vs Deformación Unitaria Arcilla C2



Nota: La figura muestra la presión de poros vs deformación unitaria en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

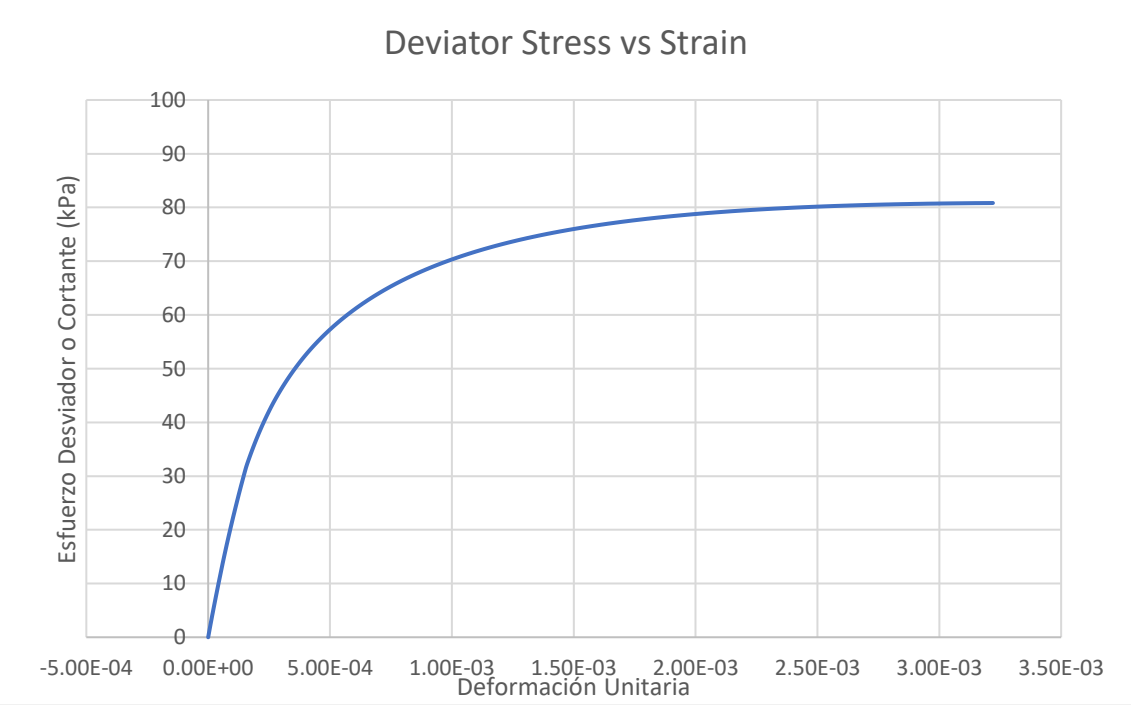
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En la gráfica, se observa el comportamiento exponencial de la relación entre presión de poros y Deformación Unitaria, en arcilla C2.

Se adjunta a continuación las gráficas Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria.

Figura 113

Gráfica de Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria C2



Nota: La figura muestra el esfuerzo desviador vs deformación unitaria en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un crecimiento parabólico de la relación entre el esfuerzo desviador o cortante y deformación unitaria.

Por última, se adjunta la curva del parámetro A de Skempton versus deformación unitaria.

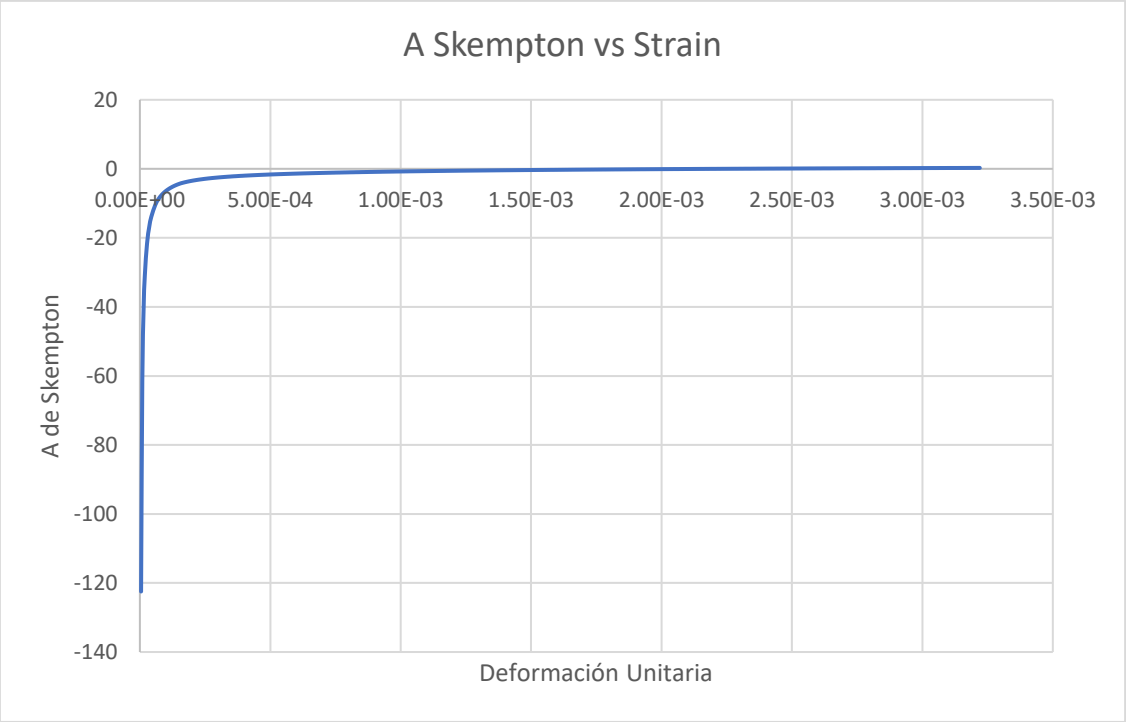
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 114

Curva de deformación unitaria versus A de Skempton - Arcilla C2



Nota: La figura muestra la deformación unitaria vs A de Skempton en arcillas de calicata C2

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un comportamiento asintótico de la relación entre la deformación axial y el parámetro A de Skempton.

Esta gráfica se obtiene calculando el parámetro A de Skempton mediante la formulación:

$$A = \frac{(\Delta u - \Delta\sigma_3)}{\Delta\sigma}$$

Δu: Presión de Poros (kPa)

$\Delta\sigma_3$: Presión de confinamiento global luego de cerrada la válvula (kPa)

$\Delta\sigma$: Esfuerzo Desviador (kPa)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Resulta importante calcular el parámetro A o Af de Skempton (de falla) mediante la medición del exceso de presión de poros Δu en la etapa de compresión, de la expresión:

$$A_f = \frac{\Delta u - B * \Delta\sigma_3}{\Delta\sigma}$$

Donde:

Δu: Exceso de presión de poros durante la compresión (kPa)

$\Delta\sigma_3$: Presión de confinamiento global luego de cerrada la válvula (kPa)

$\Delta\sigma$: Esfuerzo desviador (kPa)

B: Parámetro de saturación de Skempton (se sugiere como saturación aceptada cuando B ≥ 0.95 (Hurtado Osorio, 2017)

Resulta importante mencionar que:

El valor de Δu refiere al máximo de la presión de poros (en kPa), obtenida de @Abaqus. Por otro lado, $\Delta\sigma_3$ se obtiene al restar la Presión de confinamiento cerrada la válvula (Presión máxima σ_3 de los especímenes) y la Presión de confinamiento antes de cerrar la válvula (Presión de celda ensayo triaxial) (σ_3). Finalmente, el esfuerzo desviador $\Delta\sigma$ (kPa), refiere al valor máximo obtenido de @Abaqus.

Con estas premisas, se obtuvo un Parámetro de Skempton A_f (de falla) igual a:

$$A_f = 0.263437$$

Skempton (1964) refiere la siguiente categorización de arcillas en función al valor del coeficiente (Ver tabla 44).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

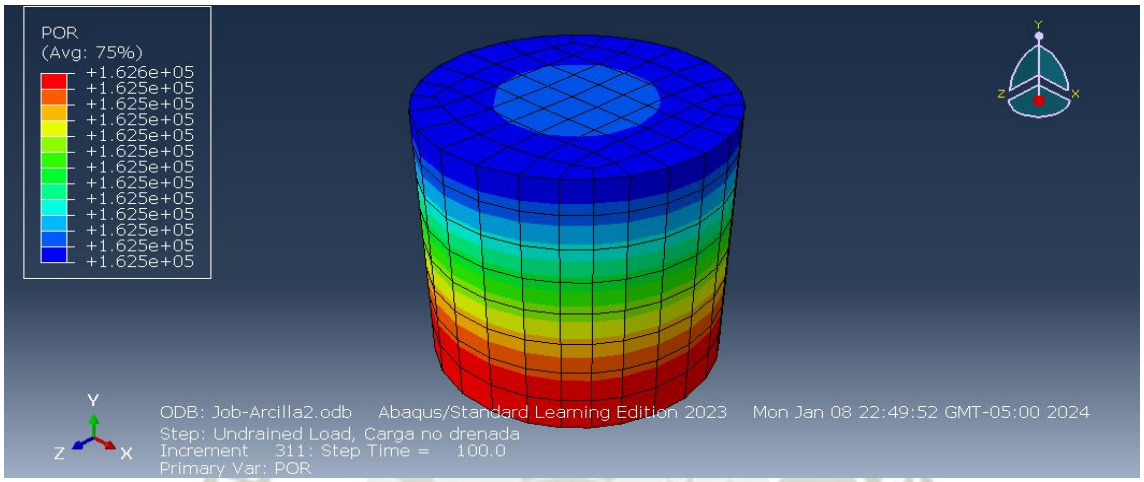
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Por lo expuesto, la arcilla analizada de la calicata C2, refiere a una arcilla normalmente consolidada y contractiva. Así mismo, se refiere que el valor del índice de vacíos es mayor, por ello resulta más suelto.

Se adjunta los modelos en Software @Abaqus de Arcilla C2.

Figura 115

Modelo Arcilla C2 - Software @ Abaqus – Presión de Poros

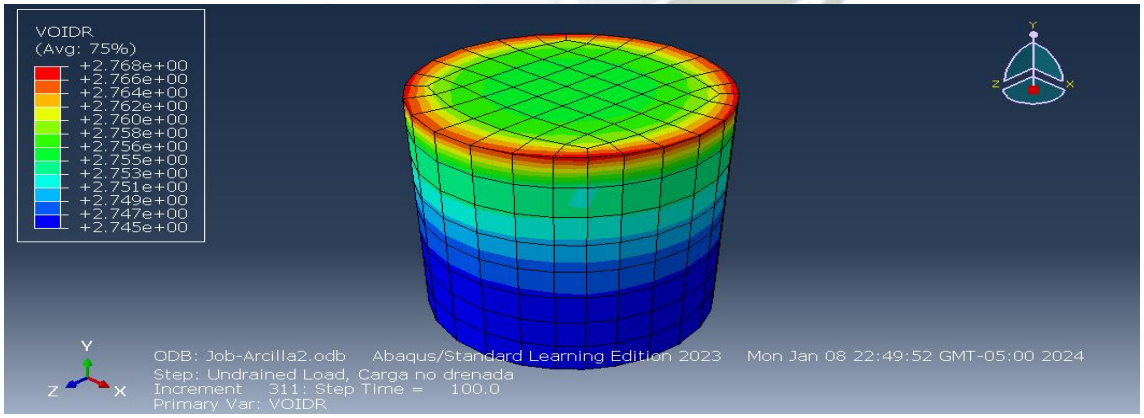


Nota: La figura muestra el modelo de presión de poros en arcillas de calicata C2, software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

Figura 116

Modelo Arcilla C2 - Software @ Abaqus – Relación de vacíos



Nota: La figura muestra el modelo de relación de vacíos en arcillas de calicata C2, software @Abaqus

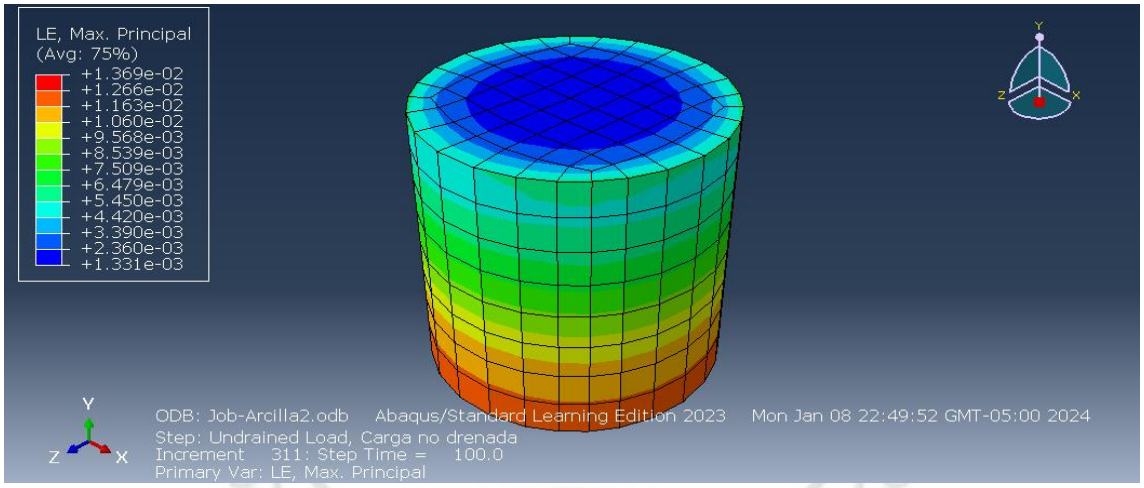
Fuente: Elaboración Propia

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 117

Modelo Arcilla C2 - Software @ Abaqus – Deformación Axial

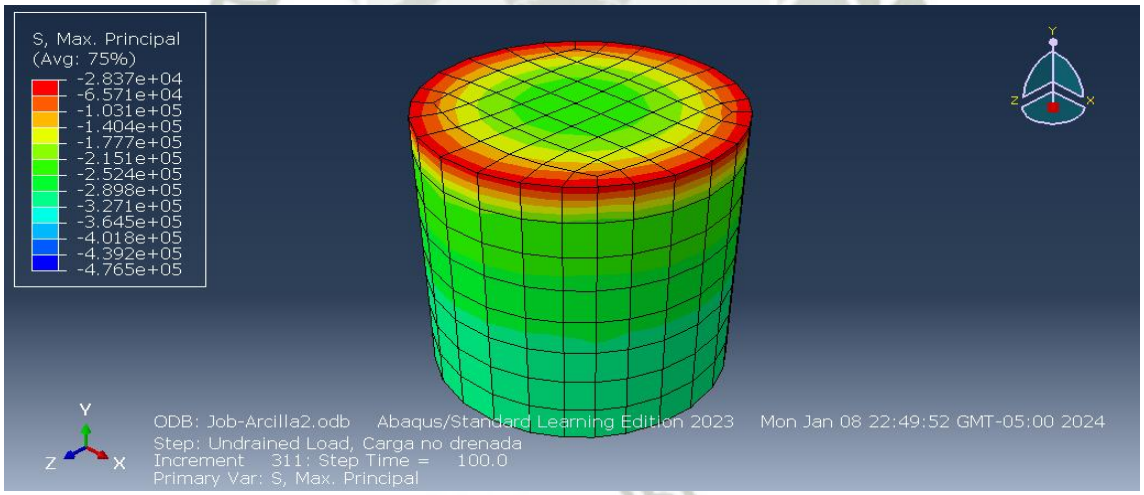


Nota: La figura muestra el modelo de deformación axial en arcillas de calicata C2, software @Abaqus

Fuente: Propia

Figura 118

Modelo Arcilla C2 - Software @ Abaqus – Distribución de esfuerzo principal mayor



Nota: La figura muestra el modelo de distribución de esfuerzo principal mayor en arcillas de calicata C2, software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

5.2.8.3. Resultados Arcilla C7

Se adjunta la gráfica Presión de Poros versus Deformación Unitaria de la Arcilla C7.

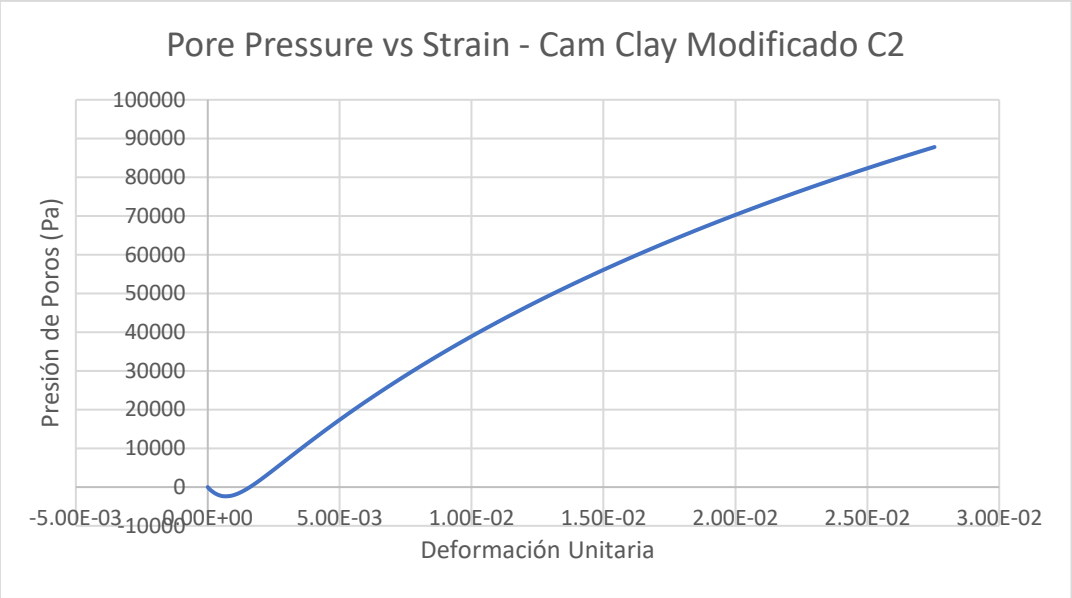
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 119

Gráfica de Presión de poros vs Deformación Unitaria Arcilla C7



Nota: La figura muestra la presión de poros vs deformación unitaria en arcillas de calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

En la gráfica, se observa el comportamiento de crecimiento exponencial con tendencia a la linealidad de la relación entre presión de poros y Deformación Unitaria, en arcilla C7.

Se adjunta a continuación las gráficas Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria.

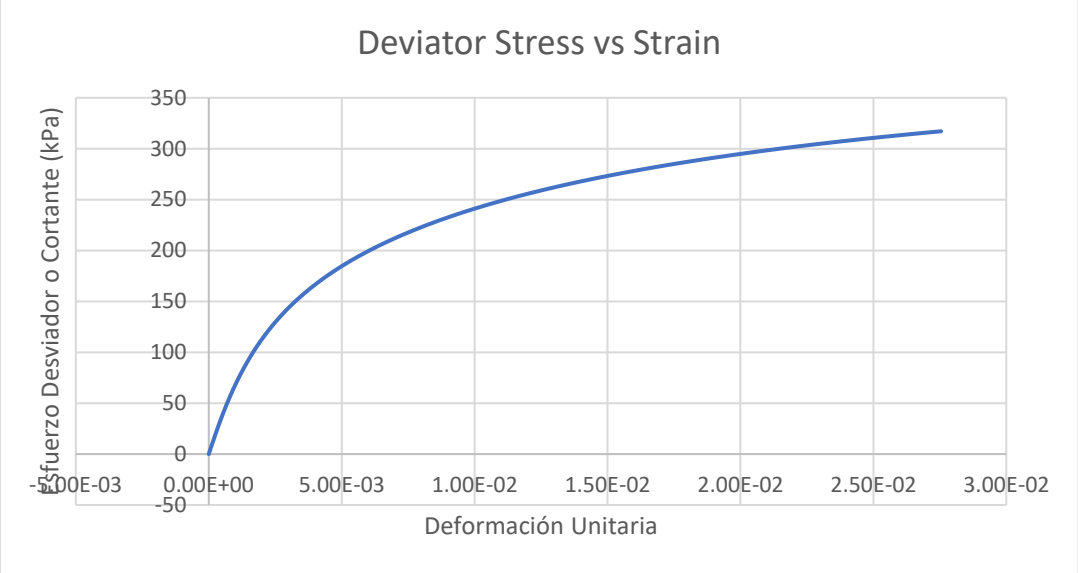
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 120

Gráfica de Esfuerzo Desviador o Cortante versus Deformación Unitaria C7



Nota: La figura muestra el esfuerzo desviador vs deformación unitaria en arcillas de calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un crecimiento parabólico de la relación entre el esfuerzo desviador o cortante y deformación unitaria.

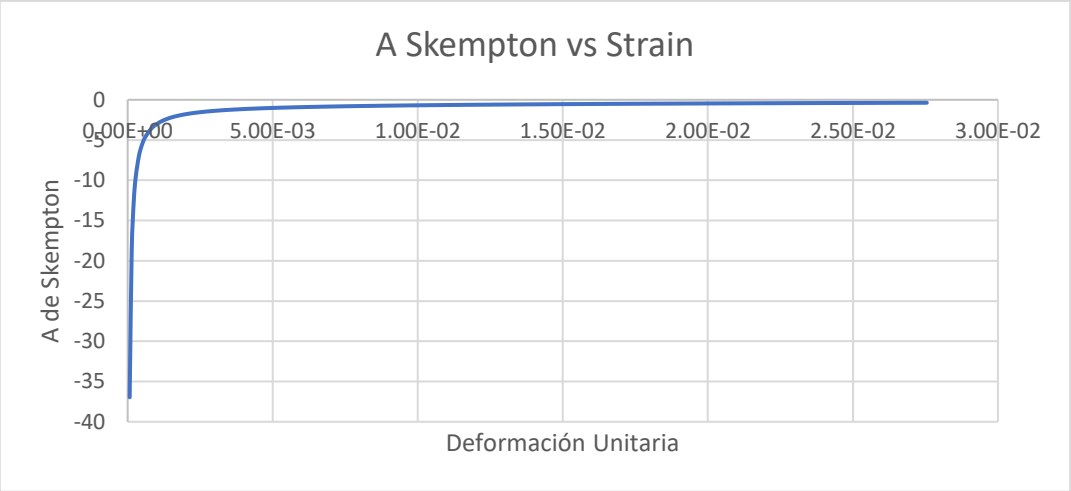
Por última, se adjunta la curva del parámetro A de Skempton versus deformación unitaria.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 121

Curva de deformación unitaria versus A de Skempton - Arcilla C7



Nota: La figura muestra la deformación unitaria vs parámetro A de Skempton de arcillas en calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Se aprecia un comportamiento asintótico de la relación entre la deformación axial y el parámetro A de Skempton.

Esta gráfica se obtiene calculando el parámetro A de Skempton mediante la formulación:

$$A = \frac{(\Delta u - \Delta\sigma_3)}{\Delta\sigma}$$

Δu: Presión de Poros (kPa)

$\Delta\sigma_3$: Presión de confinamiento global luego de cerrada la válvula (kPa)

$\Delta\sigma$: Esfuerzo Desviador (kPa)

Resulta importante calcular el parámetro A o Af de Skempton (de falla) mediante la medición del exceso de presión de poros Δu en la etapa de compresión, de la expresión:

$$A_f = \frac{\Delta u - B * \Delta\sigma_3}{\Delta\sigma}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Donde:

Δu: Exceso de presión de poros durante la compresión (kPa)

$\Delta\sigma_3$: Presión de confinamiento global luego de cerrada la válvula (kPa)

$\Delta\sigma$: Esfuerzo desviador (kPa)

B: Parámetro de saturación de Skempton (se sugiere como saturación aceptada cuando B ≥ 0.95 (Hurtado Osorio, 2017)

Resulta importante mencionar que:

El valor de Δu refiere al máximo de la presión de poros (en kPa), obtenida de @Abacus. Por otro lado, $\Delta\sigma_3$ se obtiene al restar la Presión de confinamiento cerrada la válvula (Presión máxima σ_3 de los especímenes) y la Presión de confinamiento antes de cerrar la válvula (Presión de celda ensayo triaxial) (σ_3). Finalmente, el esfuerzo desviador $\Delta\sigma$ (kPa), refiere al valor máximo obtenido de @Abacus.

Con estas premisas, se obtuvo un Parámetro de Skempton A_f (de falla) igual a:

$$A_f = -0.33425$$

Skempton (1964) refiere la siguiente categorización de arcillas en función al valor del coeficiente (Ver tabla 44).

Por lo expuesto, la arcilla analizada de la calicata C7, refiere a una arcilla sobre consolidada y dilatante. Así mismo, se refiere que el valor del índice de vacíos es menor, por ello resulta más denso.

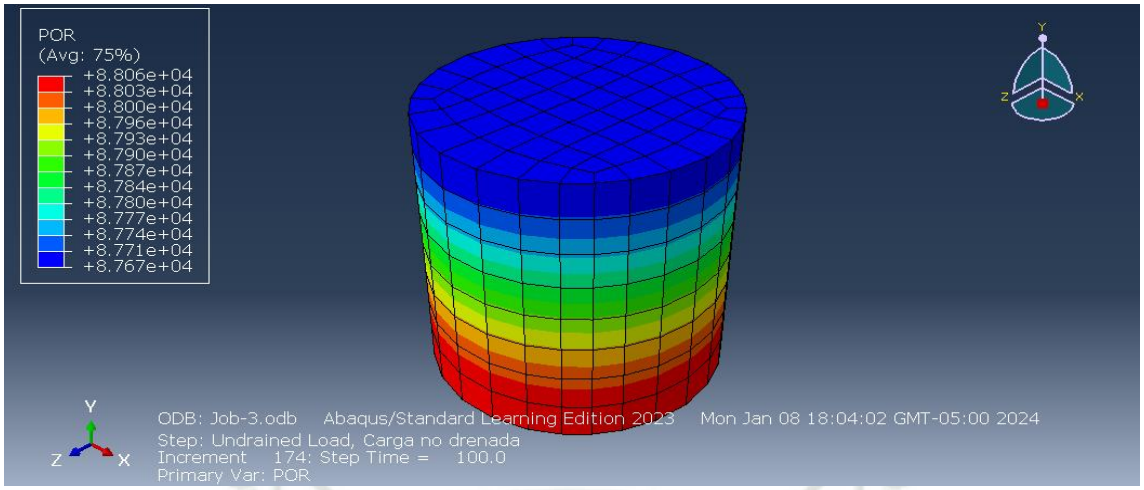
Se adjunta los modelos en Software @Abacus de Arcilla C7.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 122

Modelo Arcilla C7 - Software @ Abaqus – Presión de Poros

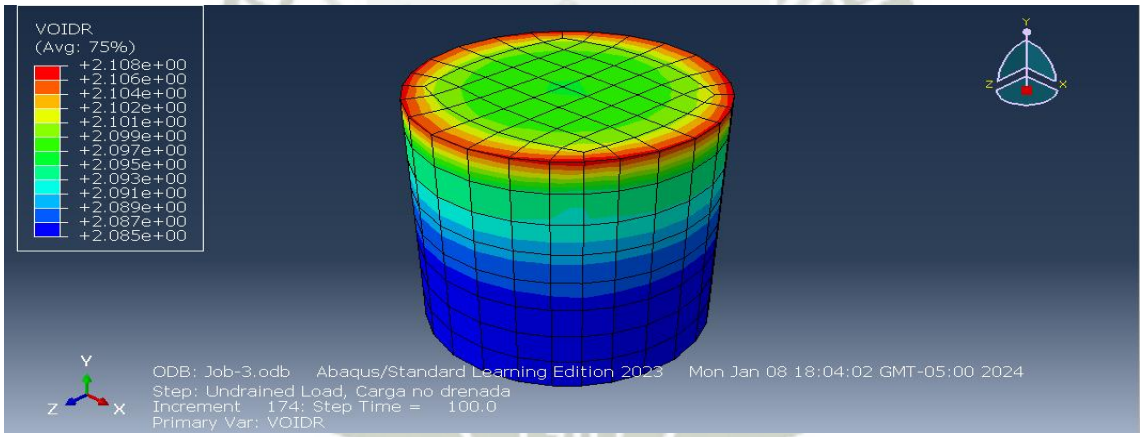


Nota: La figura muestra el modelo de presión de poros en arcillas de calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Figura 123

Modelo Arcilla C7 - Software @ Abaqus – Relación de vacíos



Nota: La figura muestra el modelo de relación de vacíos en arcillas de calicata C7

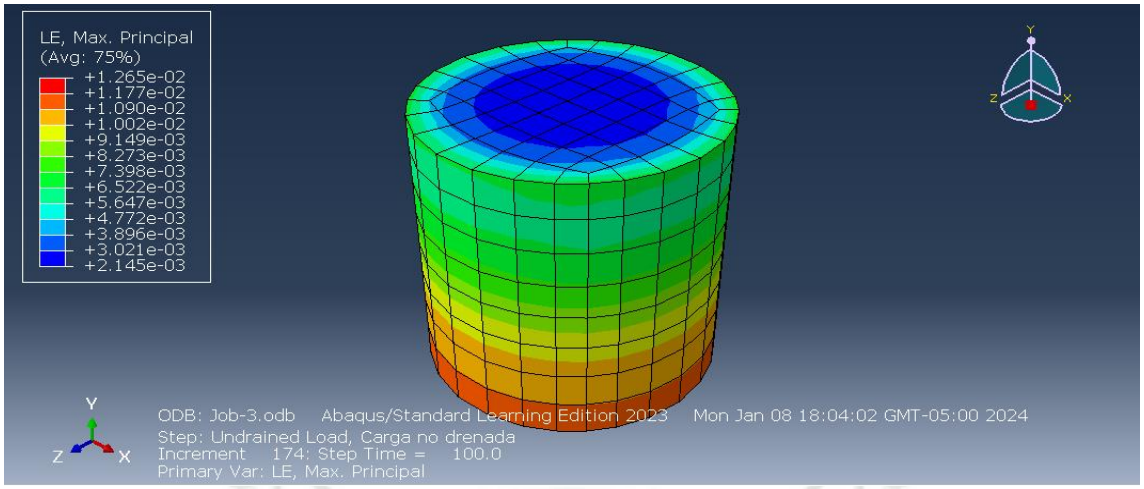
Fuente: Elaboración Propia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 124

Modelo Arcilla C7 - Software @ Abaqus – Deformación Axial

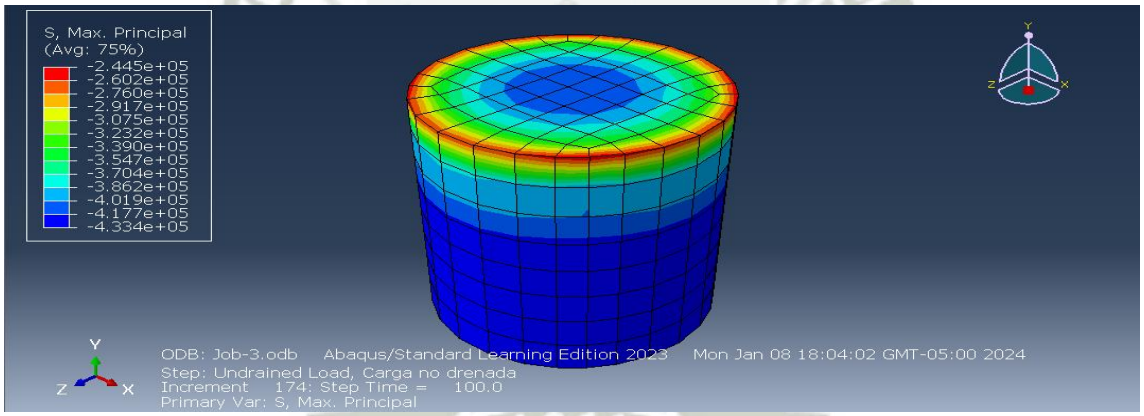


Nota: La figura muestra el modelo de deformación axial en arcillas de calicata C7

Fuente: Elaboración Propia

Figura 125

Modelo Arcilla C7 - Software @ Abaqus – Distribución de esfuerzo principal mayor



Nota: La figura muestra el modelo de distribución de esfuerzo principal mayor en arcillas de calicata C7, software @Abaqus

Fuente: Elaboración Propia

5.3. Zonificación de suelos arcillosos

Habiendo categorizado las arcillas encontradas en el distrito de Yarabamba, se procede a realizar su zonificación en función al parámetro Presión de poro en el momento de falla (Af) (Ver tabla 44 “Valores de coeficiente Af”). Así mismo, es factible zonificar las arcillas según sean contractivas o dilatantes en función al coeficiente A de falla Af.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5.3.1. Puntos a zonificar

Se adjunta la ubicación en coordenadas UTM de los puntos con presencia de arcilla, de la exploración de suelos en el distrito de Yarabamba.

Tabla 51. Puntos con presencia de arcillas

Zona	Punto/ Calicata	Coordenadas	
		Este	Norte
19 K	C1	234917.07 m E	8169055.16 m S
	C2	234822.42 m E	8169089.76 m S
	C7	234955.00 m E	8169031.00 m S

Fuente: Elaboración Propia

Se adjunta en Anexos en Mapa M-01 “Zonificación por parámetro de presión de poro en el momento de falla (Af)” y Mapa M-02 “Zonificación por comportamiento según parámetro de presión de poro en el momento de falla (Af)”.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO VI

6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

6.1. Respecto al Objetivo General

El Objetivo general de la investigación fue determinar la zonificación y comportamiento de los suelos arcillosos mediante modelo Cam – Clay Modificado según metodología de Roscoe Burland en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022.

Con los resultados, se pudo determinar la zonificación y comportamiento de los suelos arcillosos, bajo metodología de Roscoe & Burland del Modelo Cam Clay Modificado, evidenciándose que existen arcillas normalmente consolidadas en sectores más alejados al área de inundación del río Yarabamba, con valores de 1.0 y 0.26 de OCR y Af, respectivamente. Así mismo, en las zonas más cercanas a la mencionada área, se identificó arcillas sobreconsolidadas con valores máximos de hasta -0.77 y 1.1 de OCR y Af, respectivamente.

Los resultados obtenidos coindicen con los resultados expuestos por Chacón P. (2024), el cual refiere que, el Modelo Cam Clay Modificado no es recomendado para modelar proyectos de gran envergadura, debido a que la relación entre esfuerzos y deformaciones no resulta lineal, cambiando completamente la historia de los esfuerzos del suelo. Esto debido a que, el modelo Cam Clay Simplificado presenta deficiencias cuando el suelo se encuentra sobreconsolidado. Por ello, cuando un suelo presenta este comportamiento, el mejor modelo de predicción resulta ser el modelo Cam Clay Modificado (Chacón P., 2024).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

6.2. Respecto a los Objetivos Específicos

- **Respecto al Objetivo Específico Nº 01**:

Respecto al objetivo específico Nº 01, el cual titula o establece Caracterizar el suelo arcilloso del distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa. Se ha verificado del trabajo de Chacón P. (2024) que, es conveniente zonificar el comportamiento de arcillas con el Modelo Cam Clay Modificado, en extensiones diferenciales o pequeñas de terreno, por el comportamiento errático del suelo. Así mismo, debido al alcance del Modelo Cam Clay Modificado, resulta más preciso, a comparación del Modelo Cam Clay Estándar o Simplificado.

Respecto a los resultados obtenido de Rojas V. (2024), es factible determinar el comportamiento mecánico de los suelos arcillosos con otras metodologías, como el modelo constitutivo Hardening – Soil, que implementa ensayos triaxiales Drenados y no Drenados (CD y DU respectivamente).

- **Respecto al Objetivo Específico Nº 02:**

El Objetivo específico Nº 02 establece zonificar la exploración de suelos arcillosos llevada a cabo en el distrito de Yarabamba.

Se zonificó por parámetro de presión de poro en el momento de falla (Af), y por comportamiento de arcillas, según la metodología dispuesta por Roscoe & Burland, obteniéndose valores de 1.0 para arcillas normalmente consolidadas en sectores más alejados al área de inundación del río Yarabamba, arcillas sobre consolidadas con valores de -0.77 en zonas cercanas al área de inundación, concluyéndose que en zonas más cercanas al área de inundación, las arcillas han recibido mayores ciclos de descarga a lo largo de su historia. Por otro lado, las arcillas que se ubican en zonas más alejadas al área

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de inundación del río Yarabamba, se encuentran actualmente sobre su carga máxima de soporte sobre su estrato.

De los resultados obtenidos, se evidencia que se pudo zonificar la exploración de suelos, tomando como referencia los criterios de cantidad de puntos establecidos en la norma E.050 Suelos y Cimentaciones con fines estructurales de vivienda. Así mismo, se consideró los criterios establecidos por Mendoza C. & Otros (2024), sobre la obtención de muestras y determinación de puntos de exploración. Este autor, enfatizó en la realización de ensayos de caracterización de suelos (contenido de humedad, límites de Atterberg, Peso Unitario, Peso Unitario Seco, Peso Específico de sólidos, granulometría y porcentajes de arena, limo y arcilla). Así mismo, ensayos de comportamiento mecánico (ensayos triaxiales en condiciones saturadas, algunos ensayos con cambios en velocidad de deformación, cambio en trayectoria de esfuerzos), para lograr la zonificación con el modelo de comportamiento ya sea Cam Clay, Hipoplasticidad y Subloading Cam Clay o Cam Clay Modificado.

- **Respecto al Objetivo Específico Nº 03:**

El Objetivo específico Nº 03 establece Analizar los resultados aplicando el modelo de comportamiento de suelos arcillosos Cam – Clay Modificado, según metodología de autores Roscoe & Burland.

En los resultados obtenidos, se identificó la presencia de Arcillas contractivas en Calicata C2 con Af igual a 0.26, y arcillas dilatantes en calicatas C1 y C7 con Af igual a -0.78 y -0.33 respectivamente. Por otro lado, se identificó según el parámetro de presión de poro en el momento de falla, arcillas ligeras y muy sobreconsolidadas con OCR igual a 1.6 en arcillas de calicata C1, 1.0 en arcillas de calicata C2 y 1.1 en arcillas de calicata

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

C7. Así mismo, la presencia de arenas y arcillas compactas según el parámetro Af de Skempton y la clasificación SUCS, en calicatas C1, C2, C4, C5 y C7.

El proceso sistemático para el análisis de resultados empleando el modelo de Cam Clay Modificado para comportamiento de suelos arcillosos, se tomó en consideración al procedimiento empleado por Mendoza C. & Otros (2022). El cual establece lo siguiente: Ensayos de laboratorio para determinar las características mecánicas del suelo estudiado, modelos constitutivos estudiados (funcionamiento, implementación y comprobación, simulaciones de los ensayos realizados con cada uno de los modelos, resultado con análisis e implicaciones, y finalmente los elementos del trabajo desarrollado. Este procedimiento ha sido empleado en la investigación, obteniéndose satisfactoriamente los resultados del modelo Cam Clay Modificado, respecto al comportamiento de Arcillas en el distrito de Yarabamba.

- **Respecto al Objetivo de Cierre:**

El objetivo de cierre estableció Identificar los sectores más vulnerables para emplazamiento de edificaciones en el distrito de Yarabamba, según el comportamiento de las arcillas siguiendo los parámetros del Modelo Cam Clay Modificado.

Luego del análisis y obtención de resultados, descritos en los objetivos específicos discutidos líneas arriba, se identificó un sector crítico para emplazamiento de edificaciones de hasta tres niveles, con presencia de arcillas contractivas de compacidad suelta con elevado índice de poros. Cabe precisar que, el mencionado sector se ubica aledaño a zonas agrícolas del sector Bajo Yarabamba del distrito en mención. Por lo cual, a más cercano al área de inundación, la arcilla es crítica para emplazar. Mientras que, a más alejado al área de inundación, la arcilla es más estable, según el parámetro A de Skempton del Modelo Cam Clay Modifcado y OCR del ensayo unidimensional de suelos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Estos resultados van de la mano con lo citado por Chacón P. (2024), el cual refiere que, el modelo Cam – Clay Modificado presentó aciertos cuando el suelo se encuentra sobreconsolidado (como los suelos de Bogotá, que se encuentran expuestos a cambios constantes de clima, permitiendo desecación y humedecimiento en los mismos, además que el contenido de agua sea una variable que afecte de forma directa a los esfuerzos del suelo).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

Conclusión General: Se zonificó mediante el parámetro de Skempton Af y el Índice OCR, arcillas normalmente consolidadas en sectores más alejados al área de inundación del río Yarabamba, con valores de 1.0 y 0.26 de OCR y Af, respectivamente. Así mismo, en las zonas más cercanas a la mencionada área, se identificó arcillas sobreconsolidadas con valores máximos de hasta -0.77 y 1.1 de OCR y Af, respectivamente. De manera complementaria, se determinó el análisis de actividad de arcillas por el método indirecto mediante la determinación del Índice A, obteniéndose que las arcillas encontradas en el emplazamiento, se expansividad alta con valores de 0.32, 0.34 y 0.30 para C1, C2 y C7, respectivamente. Por lo expuesto, se evidencia que, en zonas más cercanas al área de inundación, las arcillas han recibido mayores ciclos de descarga a lo largo de su historia. Por otro lado, las arcillas que se ubican en zonas más alejadas al área de inundación del río Yarabamba, se encuentran actualmente sobre su carga máxima de soporte sobre su estrato.

Conclusión Específica Nº 01: Mediante ensayos de Contenido de Humedad, Gravedad Específica de Sólidos, Peso Unitario, Granulometría por Tamizado y Sedimentación, Límites de Atterberg, Permeabilidad, Ensayo de Compresión Triaxial Consolidado (C) no drenado (U) y Consolidación Unidimensional de Suelos, se logró caracterizar los suelos arcillosos, encontrándose tres estratos a profundidades de 1.70m a 3.30m, Arcillas de Baja Plasticidad (CL) y Arcillas Inorgánicas de Alta Plasticidad (CH), con un comportamiento contractivo y dilatante, respectivamente.

Conclusión Específica Nº 02: Se realizó la zonificación de acuerdo a los parámetros de presión de poro en el momento de falla (Af), y por comportamiento de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

arcillas. Identificando que, en zonas más cercanas al área de inundación, las arcillas han recibido mayores ciclos de descarga a lo largo de su historia. Por otro lado, las arcillas que se ubican en zonas más alejadas al área de inundación del río Yarabamba, se encuentran actualmente sobre su carga máxima de soporte sobre su estrato.

Conclusión Específica Nº 03: Se identificó la presencia de Arcillas contractivas en Calicata C2 con Af igual a 0.26, y arcillas dilatantes en calicatas C1 y C7 con Af igual a -0.78 y -0.33 respectivamente. Adicionalmente, se determinó según el parámetro de presión de poro en el momento de falla, arcillas ligeras y muy sobreconsolidadas con OCR igual a 1.6 en arcillas de calicata C1, 1.0 en arcillas de calicata C2 y 1.1 en arcillas de calicata C7. Además, la presencia de arenas y arcillas compactas según el parámetro Af de Skempton y la clasificación SUCS, en calicatas C1, C2, C4, C5 y C7.

Conclusión de Cierre: De la zonificación se evidencia un sector crítico y vulnerable para emplazamiento de edificaciones de hasta tres niveles, debido a la presencia de arcillas contractivas de compacidad suelta con elevado índice de poros. Cabe precisar además que, el mencionado sector se ubica aledaño a zonas agrícolas del sector Bajo Yarabamba del distrito en mención. Por lo cual, a más cercano al área de inundación, la arcilla es crítica para emplazar edificaciones. Mientras que, a más alejado al área de inundación, la arcilla es más estable, según el parámetro A de Skempton del Modelo Cam Clay Modifcado y OCR del ensayo unidimensional de suelos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

- **Recomendación General:** Ampliar el área de zonificación en el sector Bajo Yarabamba, del distro de Yarabamba, para obtener una recategorización por zonificación más precisa y extensa en el sector del distrito de Yarabamba, mediante el método Cam Clay Modificado. Así mismo, los límites de estudio cuando se requiera poner en valor edificaciones aporticadas, con muros portantes o sistema mixto, para más de 03 niveles, de tal manera que se profundice el emplazamiento y se logre identificar estratos subyacientes en el sector de estudio, según el Modelo Cam Clay Modificado.

- **Recomendación Específica Nº 01:** Complementar el estudio del comportamiento de arcillas bajo un escenario Consolidado Drenado, y comparar resultados, obtenido del ensayo Cam Clay Modificado.

- **Recomendación Específica Nº 02:** Establecer nuevos criterios de zonificación derivados de la metodología de Roscoe & Burland del modelo de comportamiento de arcillas Cam – Clay Modificado, mediante la identificación de diversas tipologías de arcillas emplazadas en el distrito de Yarabamba, categorizadas según el parámetro Af de Skempton y OCR del ensayo consolidación unidimensional de suelos.

- **Recomendación Específica Nº 03:** Analizar el comportamiento y proyectos de contingencia frente al riesgo por emplazamiento en arcillas contractivas o dilatantes como muros de contención y drenajes subyacientes, en el distrito de Yarabamba.

- **Recomendación de cierre:** Realizar una simulación de cimentación de edificación de 03 niveles sobre arcillas contractivas y/o dilatantes en el distrito de Yarabamba, para proponer estructuras y/o procedimientos de mitigación del peligro geotécnico.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS

Abad Guarnizo, C. (2018). *Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Este de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.* Loja.

ANA. (2019). *Suelos y Capacidad de Uso Mayor*. Obtenido de http://www.ana.gob.pe/2019/consejo-de-cuenca/mantaro/OS

Autoridad Nacional del Agua. (23 de Diciembre de 2017). *ana.gob.pe.* Obtenido de https://www.ana.gob.pe/sites/default/files/normatividad/files/28-rd-3609-2017-04.pdf

Cabrera Cárdenas, J., & Delgado Gomezcoello, J. M. (2015). *Identificación de arcillas dispersivas en los suelos de la presa Chojampe 2 del Proyecto Pacalori.* Cuenca.

Camacho Tauta, J., Reyes Ortiz, Ó., & Bueno Pumarejo, P. (13 de Abril de 2004). *Utilización del Modelo Cam - Clay Modificado en suelos cohesivos de la sabana de Bogotá.* Obtenido de https://www.redalyc.org/pdf/911/91101403.pdf

Ccansaya Maldonado, R. (2022). *Análisis comparativo entre los métodos de estabilización por sustitución y por adición de cal de obra, para el mejoramiento de una subrasante arcillosa en la carretera Canta - Huayllay Km 57 - 59.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Cerdán, M. (s.f.). *Arcillas en cosmética natural: origen, tipos, usos y aplicaciones*. Obtenido de mentactiva.com: https://www.mentactiva.com/arcillas-en-cosmetica-natural/

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Chacón P., G. (2004). *Calibración de modelos constitutivos en arcillas de Bogotá.* Bogotá: Universidad de Los Andes.

Condori Quispe, B. (2019). *EL Contenido de humedad en la simulación del comportamiento elastoplastico de los suelos, Huancato en el año 2016.* Huancayo: Universidad Nacional Federico Villareal.

ConstruReyes. (7 de julio de 2017). *Tipos de Cimentaciones * Superficiales y Profundas *.* Obtenido de youtube.com: https://www.youtube.com/watch?v=_tM3USR5dag

Coronel Vallejos, G. J. (2019). *Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales empleados en el modelamiento de una presa de tierra, Lambayeque.* Pimentel.

Dirección de Construcción. (11 de febrero de 2019). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Obtenido de https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366641/51%20E.030%20DISE%C3%91O%20SISMORRESISTENTE%20RM-043-2019-VIVIENDA.pdf

Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. (2018). *Manual de Carreteras_ DIseño Geométrico DG - 2018.* Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Espinosa Rodríguez, M. J. (2021). *Determinación de la presencia de suelso dispersivos en la comuna 16 (Belén) de la ciudad de Medellín.* Envigado.

Fine Software España. (s.f.). *finesoftware.es*. Obtenido de https://www.finesoftware.es/ayuda-en-linea/geo5/es/modelo-cam-clay-modificado-mcc-01/

Fragomeni, C. (2018). *Pore-Pressures Coefficients A and B - Skempton (1954).* Obtenido de studocu.com: https://www.studocu.com/en-us/document/university-of-

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

minnesota-twin-cities/uncertainty-and-decision-analysis-in-civil-engineering/pore-pressures-coefficients-a-and-b-skempton-1954/3776879#

Garay Porteros, H., & Alva Hurtado, J. (s.f.). *Identificación y ensayos en suelos dispersivos*. Lima: CISMID.

Gobierno del Perú. (4 de noviembre de 2021). *Reglamento Nacional de Edificaciones - RNE*. Obtenido de https://www.gob.pe/institucion/vivienda/informes-publicaciones/2309793-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne

Gómez de Santos, C. (2019). *Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas*. Madrid.

Google. (s.f.). *Google Maps*. Obtenido de https://www.google.com/search?q=yarabamba+tama%C3%B1o&oq=yarabamba+tama%C3%B1o&aqs=chrome..69i57j33i160.3967j1j7&sourceid=chrome&ie=UTF-8

Gutierrez Mamani, G. M. (2023). *Evaluación geológica y peligros por deslizamiento para la construcción del puente vía Arequipa-La Joya en el distrito de Uchumayo, provincia de Arequipa, Departamento de Arequipa*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.

Guzmán Domínguez, E. (2009). *Estabilización de un suelo dispersivo mediante zeolita micronizada*. La Habana.

Hernández Ávila, C. E. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *Alerta - Revista científica del Instituto Nacional de Salud*, 1.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Huamaní de la Cruz, J. C. (2022). *Mejoramiento de propiedades mecánicas de suelos arcillosos mediante la incorporación de cenizas de carbón para vías carrozables, Puerto Maldonado, 2022.* Lima: Universidad César Vallejo.

Hurtado Osorio, C. (2017). *Influencia del porcentaje de finos en la permeabilidad de materiales areno - arcillosos.* Colombia: Universidad del Norte.

ICG. (2018). Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones. Lima: Diario El Peruano.

IMPLA. (2016). *Plan de Zonificación.* Arequipa: Municipalidad Provincial de Arequipa.

INDECI. (diciembre de 2020). *Norma E.050 Suelos y CImentaciones.* Lima.

INDECI. (s.f.). *Mapa de Peligros de la ciudad de Puerto Maldonado.* Madre de Dios.

INGEMMET. (2018). *Evaluación geodinámica de peligros geológicos en el cerro Ayamachay e Itapa Ccasa - Tambo.* Obtenido de cdn.www.gob.pe: https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1580611/A6831%20%7C%202018%20%7C%20EVALUACI%C3%93N%20GEODIN%C3%81MICA%20CERRO%20AYAMACHAY%20E%20ITAPA%20CCASA%20TAMBO.pdf

INGEMMET. (2019). *Evaluación de peligros geológicos en el distrito de Punta Hermosa.* Obtenido de sigrid.cenepred.gob.pe: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//6692_informe-tecnico-n0-a6905-evaluacion-de-peligros-geologicos-en-el-distrito-de-punta-hermosa-provincia-lima-lima.pdf

INGEMMET. (2020). *Evaluación de peligros geológicos y geohidrológicos en los sectores de Malvado y Mandahuaz.* Obtenido de sigrid.cenepred.gob.pe: https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca//8770_informe-

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

tecnico-n0-a6992-evaluacion-de-peligros-geologicos-y-geohidrologicos-en-los-sectores-de-malvado-y-mandahuaz-distrito-paramonga-provincia-barra.pdf

INGEMMET. (2021). *Evaluación de poligros geológicos por flujo de tierra y caída de rocas en el sector Pachamalqui.* Obtenido de portal.indeci.gob.pe: https://portal.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/HT-24124-2021-EXPEDIENTE.pdf

Ingeniería Civil Info. (01 de marzo de 2011). *SUELOS: Procedimiento para la Determinacicion de los Coeficientes A y B de la presión de Poros*. Obtenido de ingenierocivilinfo: https://www.ingenierocivilinfo.com/2011/03/suelos-procedimiento-para-la.html

iso.org. (23 de mayo de 2018). *ASTM - American Society for Testing and Materials*. Obtenido de https://es.wikipedia.org/wiki/ASTM

Ledesma, O. (2015). *Calibración del Cam - Clay para suelos del Postpampeano.* Buenos Aires: Universidad de Buenos Aires.

Linares Chávez, R. R. (2019). *Estabilización de suelos arcillosos a nivel de subrasante con adición de bolsas de polietileno fundido, Chachapoyas, 2018.* Chachapoyas: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Llerena Castillo, G. A., & Paredes Chura, M. V. (2019). *Reforzamiento de suelo arcillosos con caucho reciclado para fines de cimentación en el distrito de Yarabamba en la ciudad de Arequipa.* Arequipa: Universidad Católica de Santa María.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Llique Mondragón, R. (2015). *Influencia de la humedad de compactación en el comportamiento volumétrico de los suelos arcillosos.* Trujillo: Universidad Nacional de Trujillo.

López Curay, O. M., & Zapata Fassio, J. C. (2020). *Análisis de trabajos previos de la estabilización de un suelo usando cal a nivel de subrasante. Piura. 2021.* Piura.

López, P. L. (2004). Población Muestra y Muestreo. *Scielo*, 1.

Manual de Carreteras. (2014). *Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos - Sección Suelos y Pavimentos.* Lima: Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.

Martínez Jiménez, V. (2018). *Caracterización del grado de dispersión en arcillas de la zona Sur-Oeste de la cuenca sedimentaria de Loja, para determinar potencial de generación de procesos de piping.* Loja.

Mendiola, & Brack. (1985). *Clasificación de Suelos agrarios*. Obtenido de https://www.midagri.gob.pe/portal/43-sector-agrario/suelo/330-clasificacion

Mendoza, C., Farias, M., & P. da Cunha, R. (2014). Validación de modelos constitutivos avanzados de comportamiento mecánico para la arcilla estructurada de Brasilia. *Scielo*, 19.

Moreno Galindo, E. (5 de diciembre de 2016). *Metodología de Investigación. Pautas para hacer Tesis*. Obtenido de https://tesis-investigacion-cientifica.blogspot.com/2016/12/niveles-de-investigacion-cientifica.html

Moreno-Alcívar, L., Muñoz-Rosado, M., & Ramírez-Palma, R. (2019). *Caracterización mecánica de suelos del Perfil Costero entre Ancón y Anconcito.* Ecuador: Revista Científica UNEMI.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Moya Sulca, S. D. (2022). *Módulo de deformación volumétrica unitaria y módulo de elasticidad en arcillas de plasticidad media y alta.* Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.

Patrone, J., & Prefumo, J. E. (s.f.). *La acción de los suelos expansivos sobre las cimentaciones. Métodos de Prevención y Control.* Montevideo: Universidad de Montevideo.

QuestionPro. (2022). *Diseño de Investigación. Elementos y características*. Obtenido de https://www.questionpro.com/blog/es/diseno-de-investigacion/#:~:text=El%20dise%C3%B1o%20de%20investigaci%C3%B3n%20se,sea%20manejado%20de%20manera%20eficiente.

Revista Científica del Instituto Nacional de Salud. (2019). Introducción a los tipos de muestreo. *ALERTA*.

Rocscience. (s.f.). *Verificación y Teoría del Modelo Cam - Clay y Modelo Cam - Clay Modificado.*

Rojas Chanca, V. (2014). *Simulación del Comportamiento esfuerzo . deformación de suelos cohesivos empleando el modelo constitutivo Hardening - Soil.* Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

SENCICO. (2020). *Reglamento Nacional de Edificaciones Norma E.050 Suelos y CImentaciones.* Lima: SENCICO.

Soil Survey Staff. (1999). *Keys to Soil Taxonomy*. Blacksburg, Virginia: Ed. Pocahontas Press.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tesis y Másters. (2021). *Instrumentos de recolección de datos: Definición, características y tipos*. Obtenido de https://tesisymasters.mx/instrumentos-de-recoleccion-de-datos/

une.org. (s.f.). *Comi´te CTN 77/SC 3 - Suelo*. Obtenido de https://www.une.org/encuentra-tu-norma/comites-tecnicos-de-normalizacion/comite/?c=CTN%2077/SC%203

Universidad de Colima. (2014). *Investigación cuantitativa, cualitativa y mixta*. Obtenido de https://recursos.ucol.mx/tesis/investigacion.php#:~:text=Enfoques%20de%20investigaciones,la%20realidad%20y%20el%20conocimiento.

Universidad La Concordia. (28 de julio de 2020). *Conoce 4 técnicas de investigación ideales* . Obtenido de https://universidadlaconcordia.edu.mx/blog/index.php/tecnicas-de-investigacion/#:~:text=Las%20t%C3%A9cnicas%20de%20investigaci%C3%B3n%20son,conocimiento%20para%20resolver%20nuestras%20preguntas.

USBR. (2013). *Justificaciones presupuestarias e información de rendimiento, año fiscal 2013*. Obtenido de https://en.wikipedia.org/wiki/United_States_Bureau_of_Reclamation#:~:text=The%20United%20States%20Bureau%20of,and%20storage%20projects%20that%20it

Viceministerio de Transportes. (2017). *Manual de Puentes.* Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Wenk, H.-R. (2004). *Minerals: Their Constitution and Origin.*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Zapata, R. (2018). *Tipos de Suelos: Caracterización de suelos arcillosos y limosos.* Rosario: Universidad Nacional de Rosario.

Zuloaga, I. (23 de Setiembre de 2019). *Cam - Clay Modelo Geotécnico Original*. Obtenido de geotecnica online: https://www.geotecnia.online/cam-clay-modelo-geotecnico-original/?reload=813665

Zuluaga Castrillón, D., Henao Arrieta, A., García Palacio, D., Rodríguez, J., Hoyos Machado, A., López, M., & Gómez Álvarez, C. (2016). *Caracterización térmica, química y mineralógica de un tipo de arcilla roja propia de la región andina colombiana, empleada para la producción de ladrillos para construcción.* Bogotá: Grupo de Investigación en Materiales y Recubrimientos Cerámicos GIMACYR.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

ANEXOS

ANEXO 1

SOLICITUD/ PERMISO PARA DESARROLLO DE ENSAYOS EN LABORATORIO

CONSTANCIA

ID-007144

El que suscribe, **Mgter. Ing. ENRIQUE ALFONSO UGARTE CALDERON**, Director de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Católica de Santa María de Arequipa.

HACE CONSTAR

Que el (los) Señor(es) Bachiller(es) en Ingeniería Civil:

FABIAN ERLAND BARREDA DELGADO	**(DNI - 73898239)**
JOSEPH RENE ESPINOZA BARRON	**(DNI - 71862116)**

Ha realizado los ensayos en los Laboratorios de Ingeniería Civil, correspondientes a su trabajo de tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil, con la tesis denominada:

ZONIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE MODELO CAM – CLAY SEGÚN METODOLOGÍA DE ROSCOE Y BURLAND, EN EL DISTRITO DE YARABAMBA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2022

Los ensayos efectuados en el laboratorio se detallan en el Anexo I del presente, se llevaron a cabo el 14/11/2022 al 25/10/2023.

El total resultante según el tarifario 2023 como DERECHO USO LABORATORIO POR TESIS, se categoriza con descuento en la opción "3", de acuerdo a la autorización de la Dirección de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil se dispone:

USO DE EQUIPOS TESIS		TOTAL A PAGAR POR TESIS S/	COMPROBANTE DE PAGO
TOTAL RESULTANTE S/	OPCION "3" SE COBRA EL 35% SEGÚN TOTAL RESULTANTE DE LA TABLA COSTO TESISTAS	679,00	B017-00003077
1940,00	35%		

Se expide la presente constancia para los fines convenientes.

Arequipa, 25 de enero del 2024.

Mgter. Ing. ENRIQUE ALFONSO UGARTE CALDERÓN
Director de la Escuela Profesional de
Ingeniería Civil
Universidad Católica de Santa María

ANEXO 2

ENSAYOS DE GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

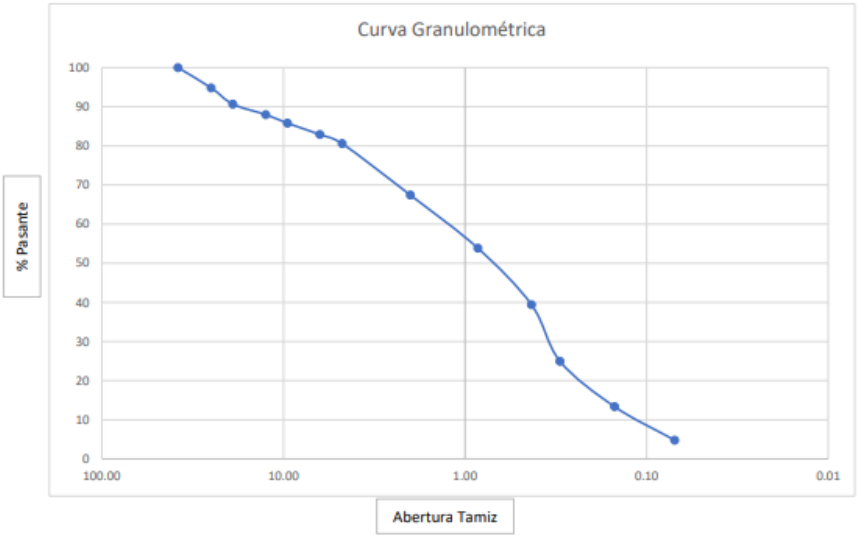
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100
1"	25.00	52.08	5.19	5.19	94.81
3/4"	19.00	41.71	4.15	9.34	90.66
1/2"	12.50	27.10	2.70	12.04	87.96
3/8"	9.50	21.82	2.17	14.21	85.79
1/4"	6.30	29.02	2.89	17.10	82.90
N° 4	4.75	23.35	2.32	19.42	80.58
N° 10	2.00	132.17	13.16	32.58	67.42
N° 20	0.85	136.19	13.56	46.14	53.86
N° 40	0.43	145.33	14.47	60.61	39.39
N° 50	0.30	144.85	14.42	75.04	24.96
N° 100	0.15	116.78	11.63	86.66	13.34
N° 200	0.07	85.98	8.56	95.22	4.78
<200	Fondo	47.96	4.78	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1004.34
Peso de la Fracción	1004.34
D60	1.3661
D30	0.3093
D10	0.149
Cu	9
Cc	0
Lim Liquido (ASTM D4318)	0
Lim Plastico (ASTM D4318)	0
Índice de Plasticidad	0
% Humedad (ASTM D2216)	5.22
GRAVA (%)	19.42
ARENA (%)	75.80
FINOS (%)	4.78



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

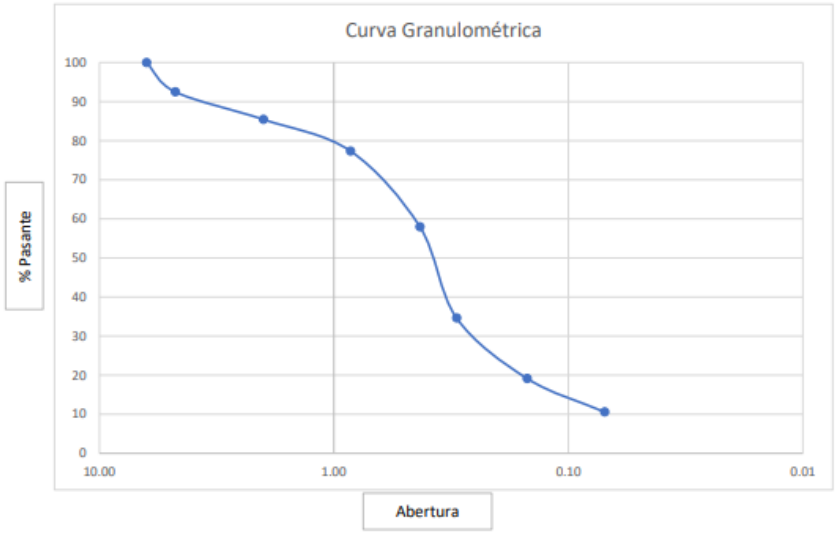
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3''	75.00	0	0	0	0
2 1/2''	63.00	0	0	0	0
2''	50.00	0	0	0	0
1 1/2''	38.10	0	0	0	0
1''	25.00	0	0	0	0
3/4''	19.00	0	0	0	0
1/2''	12.50	0	0	0	0
3/8''	9.50	0	0	0	0
1/4''	6.30	0	0	0	100
N° 4	4.75	144.00	7.52	7.52	92.48
N° 10	2.00	135.00	7.05	14.56	85.44
N° 20	0.85	155.00	8.09	22.65	77.35
N° 40	0.43	371.00	19.36	42.01	57.99
N° 50	0.30	447.00	23.33	65.34	34.66
N° 100	0.15	297.00	15.50	80.85	19.15
N° 200	0.07	164.50	8.59	89.43	10.57
<200	Fondo	202.50	10.57	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SC
Denominación:	Arena Arcillosa
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1916
Peso de la Fracción	1916
D60	0.46
D30	0.22
D10	0.07
Cu	7
Cc	2
Lim Liquido (ASTM D4318)	22.58
Lim Plastico (ASTM D4318)	15.38
Índice de Plasticidad	7.19
% Humedad (ASTM D2216)	4.79
GRAVA (%)	7.52
ARENA (%)	81.92
FINOS (%)	10.57



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

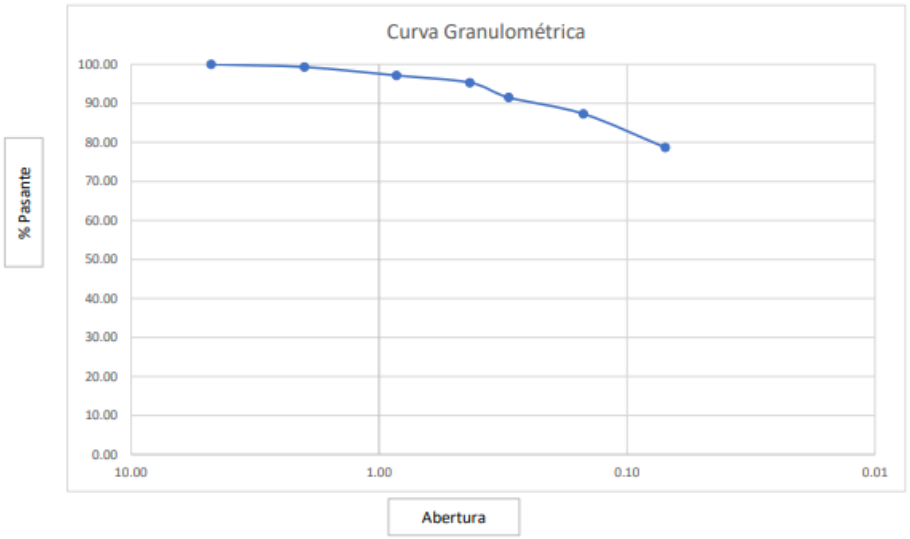
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0.00	0	0	0
3/4"	19.00	0.00	0	0	0
1/2"	12.50	0.00	0	0	0
3/8"	9.50	0.00	0	0	0
1/4"	6.30	35.44	0	0	0
N° 4	4.75	19.86	0	0	100.00
N° 10	2.00	3.47	0.69	0.69	99.31
N° 20	0.85	10.71	2.14	2.84	97.16
N° 40	0.43	9.26	1.85	4.69	95.31
N° 50	0.30	18.95	3.79	8.48	91.52
N° 100	0.15	21.02	4.20	12.68	87.32
N° 200	0.07	43.21	8.64	21.32	78.68
<200	Fondo	393.36	78.68	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	CL
Denominación:	Arcilla de Baja Plasticidad
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	499.98
Peso de la Fracción	499.98
D60	-
D30	-
D10	-
Cu	-
Cc	-
Lim Liquido (ASTM D4318)	54.2
Lim Plastico (ASTM D4318)	28.96
Índice de Plasticidad	25.24
% Humedad (ASTM D2216)	8.37
GRAVA (%)	0.00
ARENA (%)	21.32
FINOS (%)	78.68



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

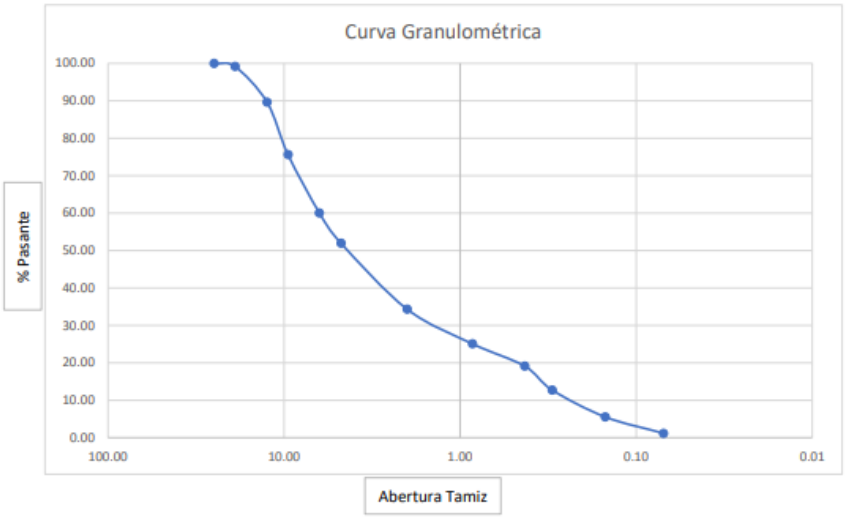
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	10.60	0.83	0.83	99.17
1/2"	12.50	122.00	9.51	10.33	89.67
3/8"	9.50	179.90	14.02	24.36	75.64
1/4"	6.30	200.00	15.59	39.94	60.06
N° 4	4.75	103.80	8.09	48.03	51.97
N° 10	2.00	226.50	17.65	65.68	34.32
N° 20	0.85	118.70	9.25	74.94	25.06
N° 40	0.43	76.20	5.94	80.87	19.13
N° 50	0.30	82.10	6.40	87.27	12.73
N° 100	0.15	92.10	7.18	94.45	5.55
N° 200	0.07	56.20	4.38	98.83	1.17
<200	Fondo	15.00	1.17	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1283.1
Peso de la Fracción	1283.1
D60	6.29
D30	1.46
D10	0.21
Cu	29.70
Cc	1.60
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	6.86
GRAVA (%)	48.03
ARENA (%)	50.80
FINOS (%)	1.17



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

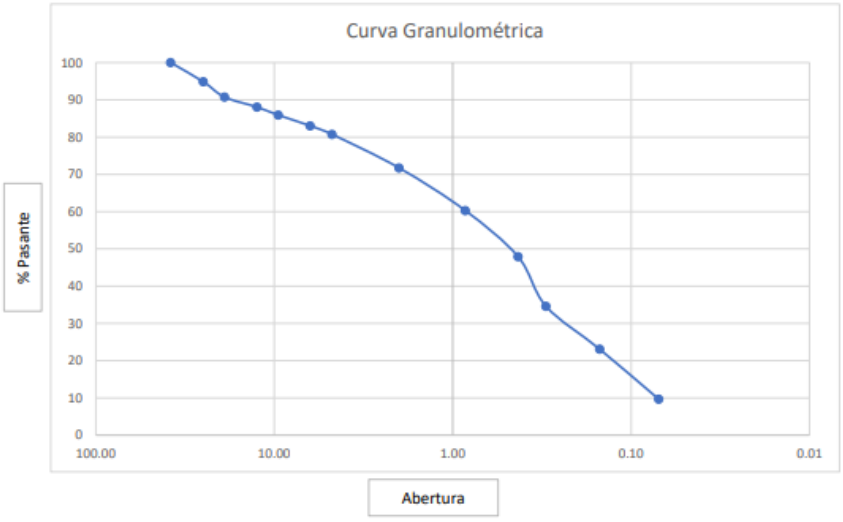
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100
1"	25.00	52.08	5.14	5.14	94.86
3/4"	19.00	41.71	4.12	9.26	90.74
1/2"	12.50	27.10	2.67	11.93	88.07
3/8"	9.50	21.82	2.15	14.08	85.92
1/4"	6.30	29.02	2.86	16.95	83.05
N° 4	4.75	23.35	2.30	19.25	80.75
N° 10	2.00	91.11	8.99	28.24	71.76
N° 20	0.85	116.19	11.47	39.71	60.29
N° 40	0.43	125.33	12.37	52.08	47.92
N° 50	0.30	134.85	13.31	65.39	34.61
N° 100	0.15	116.78	11.52	76.91	23.09
N° 200	0.07	135.98	13.42	90.33	9.67
<200	Fondo	97.96	9.67	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SC
Denominación:	Arena Arcillosa
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1013.28
Peso de la Fracción	1013.28
D60	0.83
D30	0.21
D10	0.08
Cu	11.00
Cc	0.70
Lim Liquido (ASTM D4318)	36.94
Lim Plastico (ASTM D4318)	23.78
Índice de Plasticidad	13.16
% Humedad (ASTM D2216)	4.79
GRAVA (%)	19.25
ARENA (%)	71.08
FINOS (%)	9.67



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

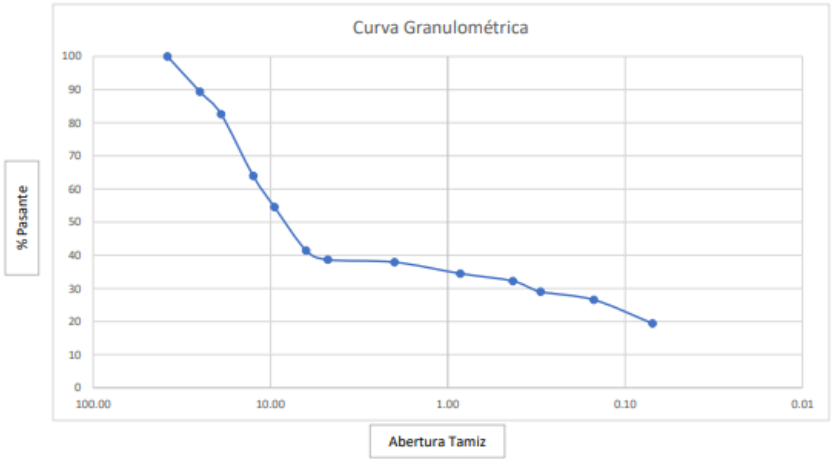
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100
1"	25.00	40.80	10.62	10.62	89.38
3/4"	19.00	26.00	6.77	17.39	82.61
1/2"	12.50	71.70	18.67	36.07	63.93
3/8"	9.50	36.00	9.37	45.44	54.56
1/4"	6.30	50.30	13.10	58.54	41.46
N° 4	4.75	10.77	2.80	61.34	38.66
N° 10	2.00	2.87	0.75	62.09	37.91
N° 20	0.85	13.17	3.43	65.52	34.48
N° 40	0.43	8.68	2.26	67.78	32.22
N° 50	0.30	12.24	3.19	70.97	29.03
N° 100	0.15	9.59	2.50	73.46	26.54
N° 200	0.07	27.31	7.11	80.58	19.42
<200	Fondo	74.59	19.42	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	CH
Denominación:	Arcilla de alta Plasticidaad
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	384.02
Peso de la Fracción	384.02
D60	-
D30	-
D10	-
Cu	-
Cc	-
Lim Liquido (ASTM D4318)	54.20
Lim Plastico (ASTM D4318)	28.96
Índice de Plasticidad	25.24
% Humedad (ASTM D2216)	9.99
GRAVA (%)	61.34
ARENA (%)	19.24
FINOS (%)	19.42



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

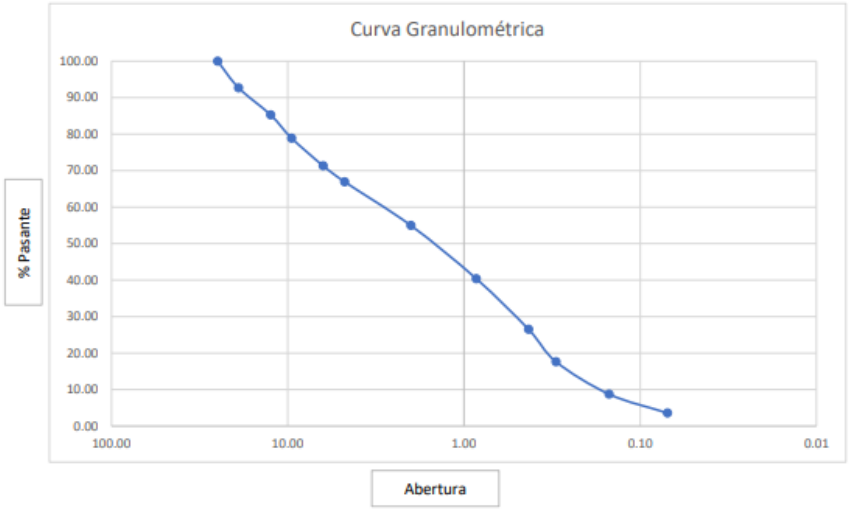
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 3 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	149.70	7.31	7.31	92.69
1/2"	12.50	152.10	7.43	14.74	85.26
3/8"	9.50	130.50	6.37	21.11	78.89
1/4"	6.30	154.90	7.56	28.67	71.33
N° 4	4.75	90.20	4.40	33.08	66.92
N° 10	2.00	244.90	11.96	45.04	54.96
N° 20	0.85	299.00	14.60	59.64	40.36
N° 40	0.43	283.80	13.86	73.50	26.50
N° 50	0.30	182.00	8.89	82.39	17.61
N° 100	0.15	181.70	8.87	91.26	8.74
N° 200	0.07	105.80	5.17	96.43	3.57
<200	Fondo	73.20	3.57	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	2047.8
Peso de la Fracción	2047.8
D60	3.16
D30	0.53
D10	0.16
Cu	19.30
Cc	0.54
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	4.57
GRAVA (%)	33.08
ARENA (%)	63.35
FINOS (%)	3.57



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

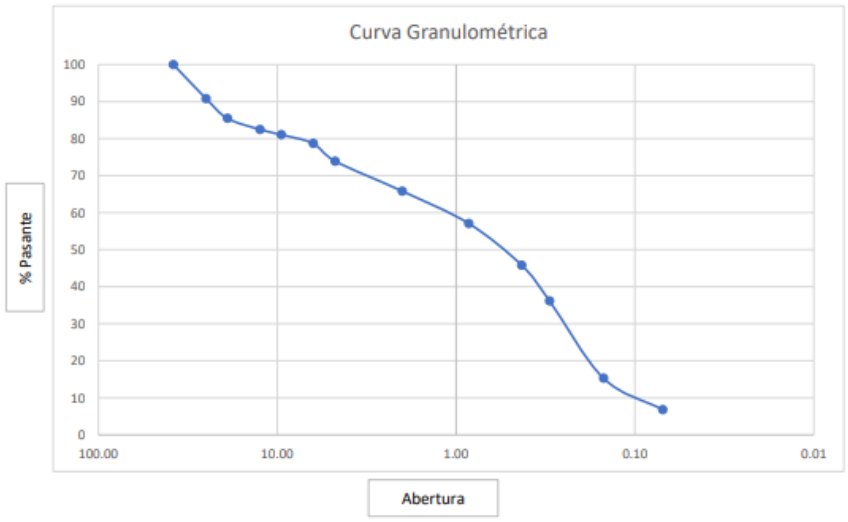
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 4 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100
1"	25.00	146.50	9.18	9.18	90.82
3/4"	19.00	85.20	5.34	14.52	85.48
1/2"	12.50	47.90	3.00	17.53	82.47
3/8"	9.50	22.50	1.41	18.94	81.06
1/4"	6.30	37.30	2.34	21.28	78.72
N° 4	4.75	76.60	4.80	26.08	73.92
N° 10	2.00	129.40	8.11	34.19	65.81
N° 20	0.85	139.10	8.72	42.91	57.09
N° 40	0.43	179.80	11.27	54.18	45.82
N° 50	0.30	154.20	9.67	63.85	36.15
N° 100	0.15	332.60	20.85	84.70	15.30
N° 200	0.07	135.40	8.49	93.19	6.81
<200	Fondo	108.70	6.81	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SC
Denominación:	Arena Arcillosa
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1595.2
Peso de la Fracción	1595.2
D60	1.23
D30	0.22
D10	0.10
Cu	12.00
Cc	0.39
Lim Liquido (ASTM D4318)	23.14
Lim Plastico (ASTM D4318)	12.66
Índice de Plasticidad	10.48
% Humedad (ASTM D2216)	5.44
GRAVA (%)	26.08
ARENA (%)	67.11
FINOS (%)	6.81



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

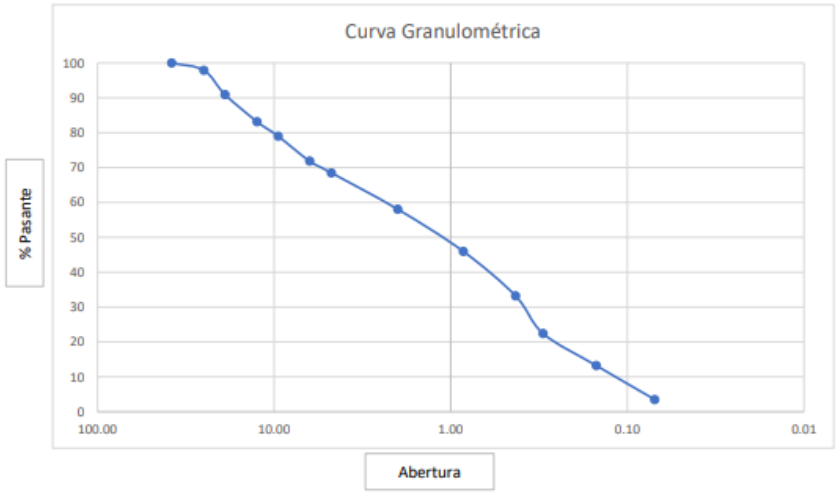
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3''	75.00	0	0	0	0
2 1/2''	63.00	0	0	0	0
2''	50.00	0	0	0	0
1 1/2''	38.10	0	0	0	100
1''	25.00	33.20	2.08	2.08	97.92
3/4''	19.00	111.30	6.96	9.04	90.96
1/2''	12.50	124.30	7.78	16.82	83.18
3/8''	9.50	66.70	4.17	20.99	79.01
1/4''	6.30	114.20	7.14	28.13	71.87
N° 4	4.75	53.60	3.35	31.49	68.51
N° 10	2.00	166.70	10.43	41.91	58.09
N° 20	0.85	193.20	12.09	54.00	46.00
N° 40	0.43	203.80	12.75	66.75	33.25
N° 50	0.30	172.70	10.80	77.55	22.45
N° 100	0.15	147.00	9.20	86.75	13.25
N° 200	0.07	155.60	9.73	96.48	3.52
<200	Fondo	56.20	3.52	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1598.5
Peso de la Fracción	1598.5
D60	2.50
D30	0.37
D10	0.12
Cu	20.20
Cc	0.44
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	4.46
GRAVA (%)	31.49
ARENA (%)	65.00
FINOS (%)	3.52



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

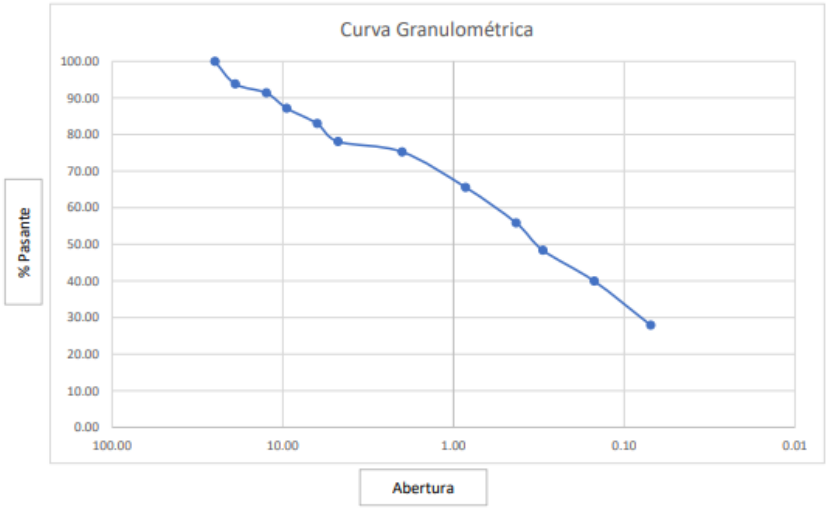
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.00	44.44	6.19	6.19	93.81
1/2"	12.50	17.40	2.43	8.62	91.38
3/8"	9.50	29.98	4.18	12.80	87.20
1/4"	6.30	30.05	4.19	16.99	83.01
N° 4	4.75	35.36	4.93	21.91	78.09
N° 10	2.00	20.28	2.83	24.74	75.26
N° 20	0.85	69.49	9.69	34.43	65.57
N° 40	0.43	69.68	9.71	44.14	55.86
N° 50	0.30	53.58	7.47	51.60	48.40
N° 100	0.15	60.56	8.44	60.05	39.95
N° 200	0.07	86.38	12.04	72.08	27.92
<200	Fondo	118.13	16.46	88.55	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	717.49
Peso de la Fracción	717.49
D60	1.33
D30	0.17
D10	0.22
Cu	30.80
Cc	1.79
Lim Liquido (ASTM D4318)	23.14
Lim Plastico (ASTM D4318)	12.66
Índice de Plasticidad	10.48
% Humedad (ASTM D2216)	10.72
GRAVA (%)	21.91
ARENA (%)	50.17
FINOS (%)	27.92



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

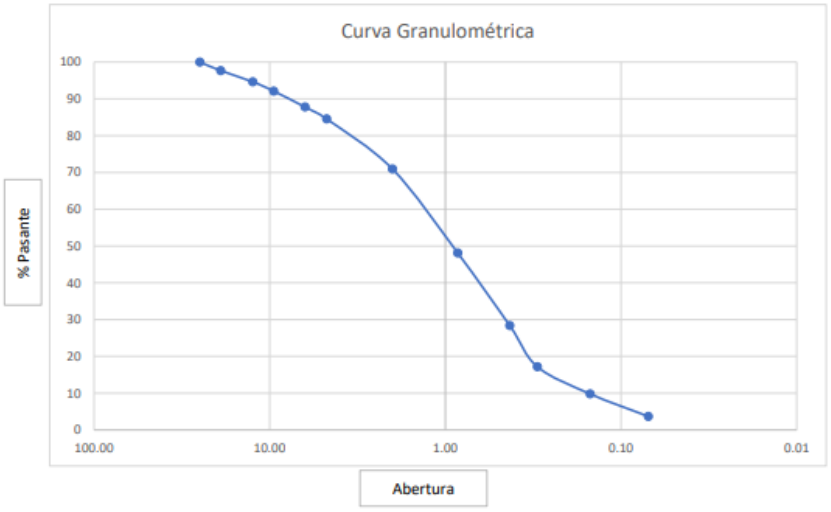
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0	0	0	100
3/4"	19.00	35.30	2.34	2.34	97.66
1/2"	12.50	45.70	3.03	5.37	94.63
3/8"	9.50	38.10	2.52	7.89	92.11
1/4"	6.30	65.40	4.33	12.22	87.78
N° 4	4.75	48.70	3.23	15.45	84.55
N° 10	2.00	205.80	13.63	29.08	70.92
N° 20	0.85	344.50	22.82	51.90	48.10
N° 40	0.43	297.80	19.73	71.62	28.38
N° 50	0.30	168.50	11.16	82.78	17.22
N° 100	0.15	111.80	7.41	90.19	9.81
N° 200	0.07	92.30	6.11	96.30	3.70
<200	Fondo	55.80	3.70	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1509.7
Peso de la Fracción	1509.7
D60	1.45
D30	0.45
D10	0.15
Cu	9.53
Cc	0.94
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	5.52
GRAVA (%)	15.45
ARENA (%)	80.86
FINOS (%)	3.70



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

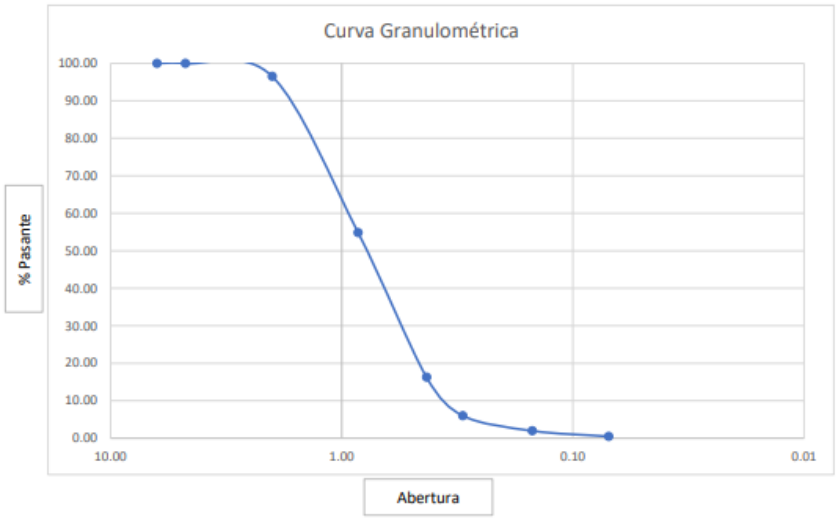
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0	0	0	0
3/4"	19.00	0	0	0	0
1/2"	12.50	0	0	0	0
3/8"	9.50	0	0	0	0
1/4"	6.30	0	0	0	100.00
N° 4	4.75	0.3	0.03	0.03	99.97
N° 10	2.00	36.90	3.45	3.48	96.52
N° 20	0.85	445.10	41.65	45.13	54.87
N° 40	0.43	412.10	38.56	83.70	16.30
N° 50	0.30	109.80	10.28	93.97	6.03
N° 100	0.15	43.30	4.05	98.03	1.97
N° 200	0.07	15.90	1.49	99.51	0.49
<200	Fondo	5.20	0.49	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SP
Denominación:	Arena Mal Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1068.6
Peso de la Fracción	1068.6
D60	0.98
D30	0.57
D10	0.32
Cu	3.12
Cc	1.04
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	4.90
GRAVA (%)	0.03
ARENA (%)	99.49
FINOS (%)	0.49



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

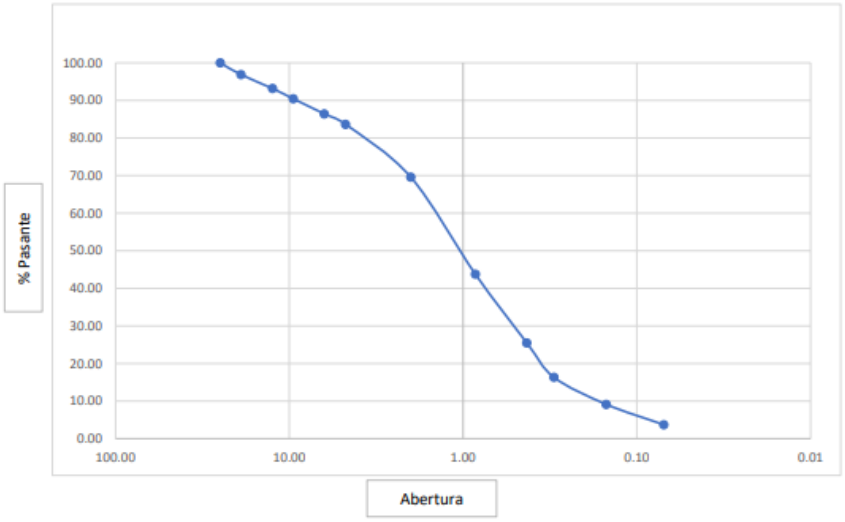
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0	0	0	100.00
3/4"	19.00	51.30	3.11	3.11	96.89
1/2"	12.50	61.10	3.71	6.82	93.18
3/8"	9.50	45.00	2.73	9.55	90.45
1/4"	6.30	66.20	4.02	13.56	86.44
N° 4	4.75	45.80	2.78	16.34	83.66
N° 10	2.00	232.00	14.07	30.42	69.58
N° 20	0.85	425.50	25.81	56.23	43.77
N° 40	0.43	301.00	18.26	74.49	25.51
N° 50	0.30	151.40	9.18	83.68	16.32
N° 100	0.15	118.50	7.19	90.86	9.14
N° 200	0.07	89.50	5.43	96.29	3.71
<200	Fondo	61.10	3.71	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1648.4
Peso de la Fracción	1648.4
D60	1.57
D30	0.52
D10	0.16
Cu	9.74
Cc	1.08
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	4.86
GRAVA (%)	16.34
ARENA (%)	79.95
FINOS (%)	3.71



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

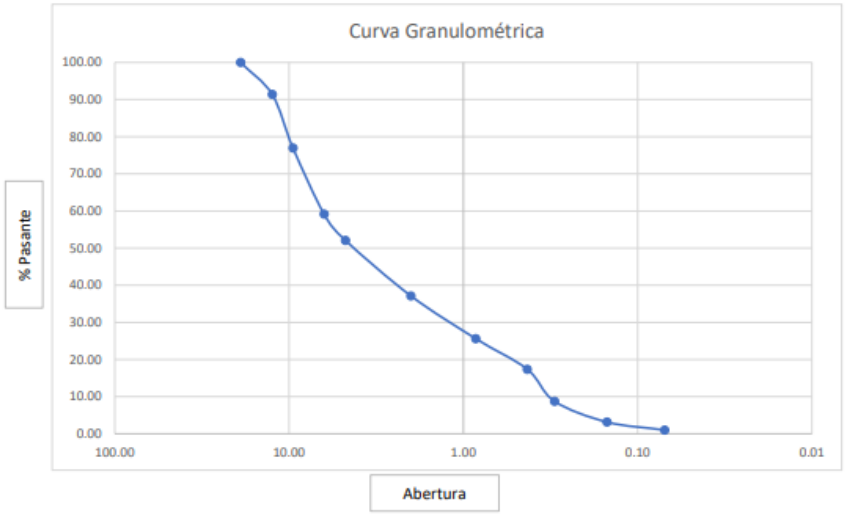
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0	0	0	0
3/4"	19.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.50	94.80	8.63	8.63	91.37
3/8"	9.50	148.20	14.41	23.04	76.96
1/4"	6.30	173.60	17.79	40.84	59.16
N° 4	4.75	113.10	7.07	47.91	52.09
N° 10	2.00	132.30	14.96	62.87	37.13
N° 20	0.85	116.40	11.51	74.37	25.63
N° 40	0.43	101.90	8.24	82.62	17.38
N° 50	0.30	114.80	8.63	91.25	8.75
N° 100	0.15	72.00	5.59	96.84	3.16
N° 200	0.07	26.10	2.14	98.98	1.01
<200	Fondo	7.60	1.01	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1100.8
Peso de la Fracción	1100.8
D60	6.45
D30	1.28
D10	0.27
Cu	23.50
Cc	0.93
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	4.88
GRAVA (%)	47.91
ARENA (%)	51.08
FINOS (%)	1.01



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

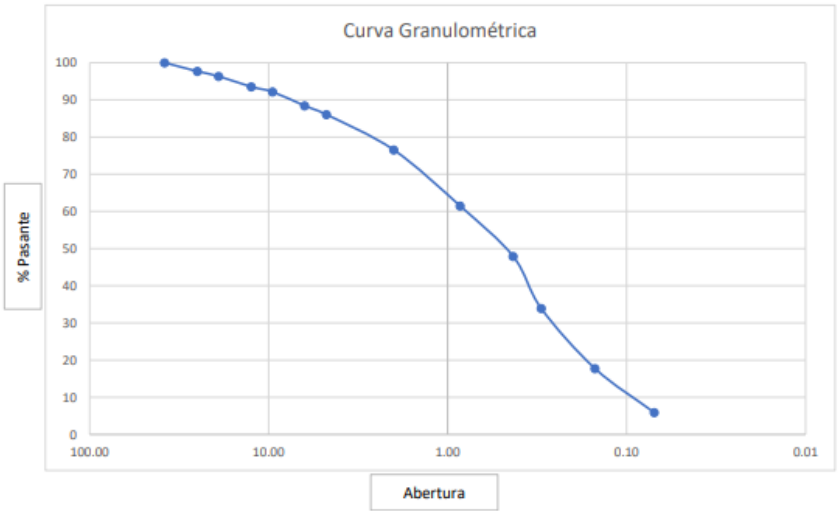
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3''	75.00	0	0	0	0
2 1/2''	63.00	0	0	0	0
2''	50.00	0	0	0	0
1 1/2''	38.10	0	0	0	100
1''	25.00	28.4	2.31	2.31	97.69
3/4''	19.00	16.6	1.35	3.66	96.34
1/2''	12.50	34.70	2.82	6.48	93.52
3/8''	9.50	16.80	1.37	7.85	92.15
1/4''	6.30	45.90	3.73	11.58	88.42
N° 4	4.75	29.10	2.37	13.95	86.05
N° 10	2.00	116.90	9.51	23.46	76.54
N° 20	0.85	185.60	15.10	38.56	61.44
N° 40	0.43	166.60	13.55	52.11	47.89
N° 50	0.30	171.90	13.98	66.09	33.91
N° 100	0.15	199.00	16.19	82.28	17.72
N° 200	0.07	145.60	11.84	94.12	5.88
<200	Fondo	72.30	5.88	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SC
Denominación:	Arena Arcillosa
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1229.4
Peso de la Fracción	1229.4
D60	0.80
D30	0.23
D10	0.10
Cu	7.95
Cc	0.64
Lim Liquido (ASTM D4318)	23.89
Lim Plastico (ASTM D4318)	10.71
Índice de Plasticidad	13.18
% Humedad (ASTM D2216)	5.63
GRAVA (%)	13.95
ARENA (%)	80.17
FINOS (%)	5.88



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

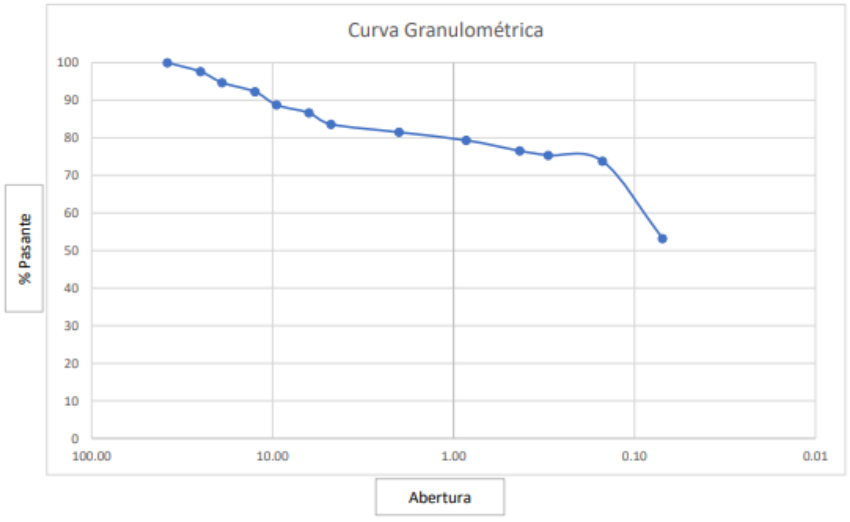
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3''	75.00	0	0	0	0
2 1/2''	63.00	0	0	0	0
2''	50.00	0	0	0	0
1 1/2''	38.10	0	0	0	100
1''	25.00	17.6	2.4	2.4	97.6
3/4''	19.00	21.4	2.92	5.32	94.68
1/2''	12.50	17.86	2.44	7.75	92.25
3/8''	9.50	25.70	3.50	11.26	88.74
1/4''	6.30	15.40	2.10	13.36	86.64
N° 4	4.75	22.34	3.05	16.4	83.6
N° 10	2.00	15.60	2.13	18.53	81.47
N° 20	0.85	15.80	2.15	20.68	79.32
N° 40	0.43	20.52	2.80	23.48	76.52
N° 50	0.30	8.54	1.16	24.65	75.35
N° 100	0.15	11.56	1.58	26.22	73.78
N° 200	0.07	150.84	20.57	46.79	53.21
<200	Fondo	390.25	53.21	100	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	CL
Denominación:	Arcilla de Baja Plasticidad
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	733.41
Peso de la Fracción	-
D60	-
D30	-
D10	-
Cu	-
Cc	-
Lim Liquido (ASTM D4318)	26.32
Lim Plastico (ASTM D4318)	39.00
Índice de Plasticidad	12.68
% Humedad (ASTM D2216)	8.81
GRAVA (%)	16.40
ARENA (%)	30.39
FINOS (%)	53.21



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

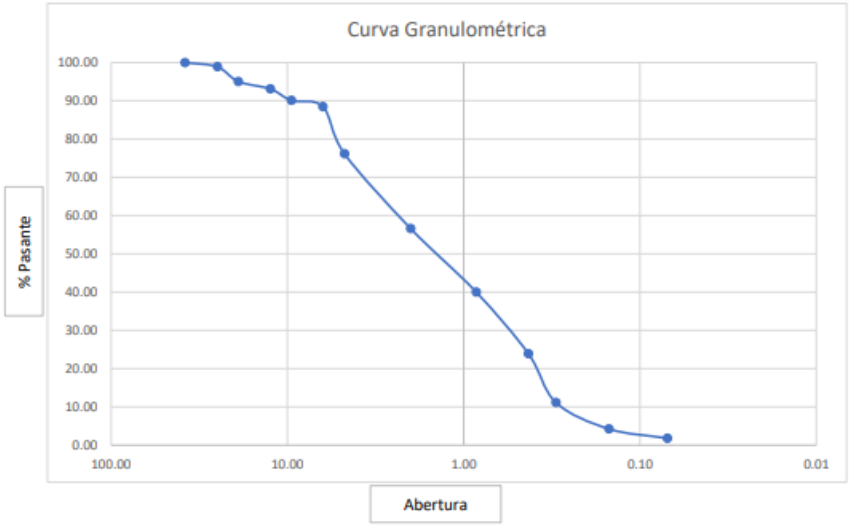
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100.00
1"	25.00	17.60	1.09	1.09	98.91
3/4"	19.00	62.70	3.88	4.97	95.03
1/2"	12.50	30.80	1.91	6.88	93.12
3/8"	9.50	48.70	3.02	9.89	90.11
1/4"	6.30	26.00	1.61	11.50	88.50
N° 4	4.75	199.00	12.32	23.83	76.17
N° 10	2.00	316.00	19.57	43.39	56.61
N° 20	0.85	268.00	16.59	59.98	40.02
N° 40	0.43	260.00	16.10	76.08	23.92
N° 50	0.30	206.50	12.79	88.87	11.13
N° 100	0.15	111.60	6.91	95.78	4.22
N° 200	0.07	39.20	2.43	98.20	1.80
<200	Fondo	29.00	1.80	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1615.1
Peso de la Fracción	1615.1
D60	2.48
D30	0.58
D10	0.23
Cu	10.60
Cc	0.58
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	5.07
GRAVA (%)	23.83
ARENA (%)	74.38
FINOS (%)	1.80



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

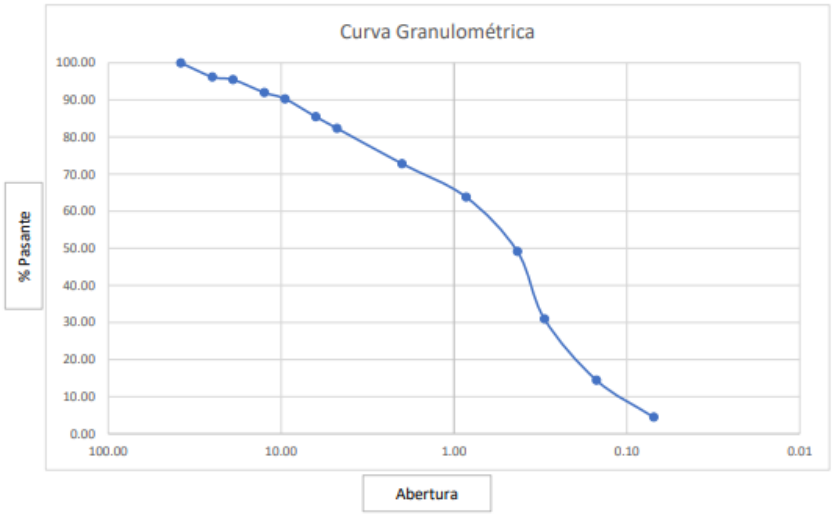
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100.00
1"	25.00	45.38	3.79	3.79	96.21
3/4"	19.00	8.76	0.73	4.52	95.48
1/2"	12.50	41.75	3.49	8.01	91.99
3/8"	9.50	20.40	1.70	9.71	90.29
1/4"	6.30	57.75	4.82	14.53	85.47
N° 4	4.75	37.35	3.12	17.65	82.35
N° 10	2.00	114.25	9.54	27.19	72.81
N° 20	0.85	108.09	9.03	36.22	63.78
N° 40	0.43	175.18	14.63	50.84	49.16
N° 50	0.30	217.83	18.19	69.03	30.97
N° 100	0.15	198.01	16.53	85.56	14.44
N° 200	0.07	119.40	9.97	95.53	4.47
<200	Fondo	53.50	4.47	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1197.65
Peso de la Fracción	1197.65
D60	0.73
D30	0.24
D10	0.12
Cu	6.33
Cc	0.70
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	5.20
GRAVA (%)	17.65
ARENA (%)	77.88
FINOS (%)	4.47



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

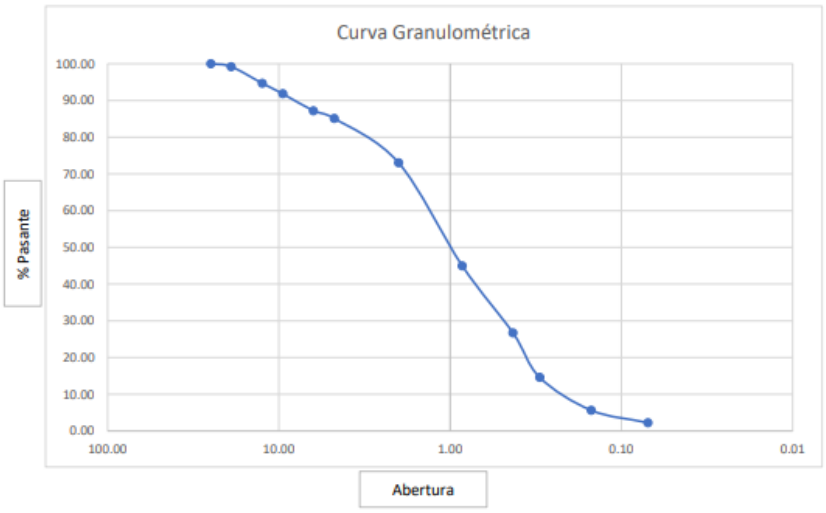
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3''	75.00	0	0	0	0
2 1/2''	63.00	0	0	0	0
2''	50.00	0	0	0	0
1 1/2''	38.10	0	0	0	0
1''	25.00	0	0	0	100.00
3/4''	19.00	11.30	0.79	0.79	99.21
1/2''	12.50	64.90	4.54	5.33	94.67
3/8''	9.50	40.60	2.84	8.17	91.83
1/4''	6.30	66.10	4.62	12.79	87.21
N° 4	4.75	30.00	2.10	14.88	85.12
N° 10	2.00	172.60	12.07	26.95	73.05
N° 20	0.85	401.30	28.06	55.01	44.99
N° 40	0.43	260.90	18.24	73.25	26.75
N° 50	0.30	173.60	12.14	85.38	14.62
N° 100	0.15	128.40	8.98	94.36	5.64
N° 200	0.07	48.30	3.38	97.73	2.27
<200	Fondo	32.40	2.27	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1430.4
Peso de la Fracción	1430.4
D60	1.46
D30	0.49
D10	0.20
Cu	7.38
Cc	0.85
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	5.10
GRAVA (%)	14.88
ARENA (%)	82.85
FINOS (%)	2.27



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

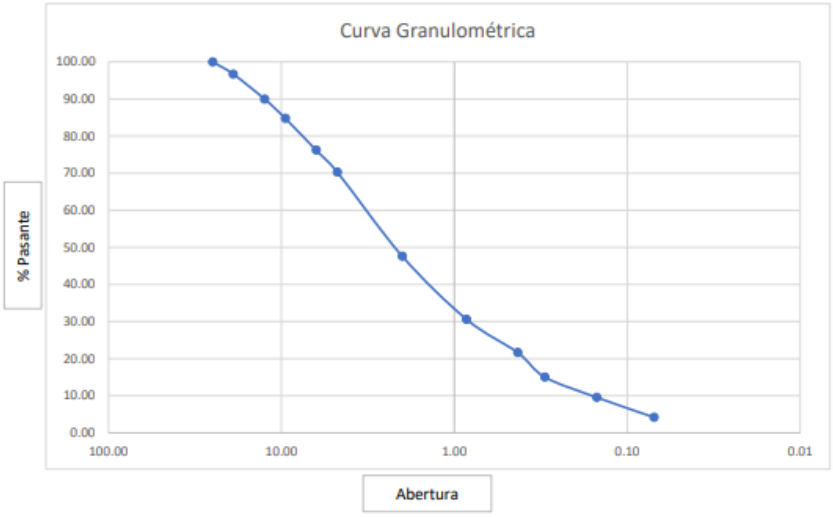
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO** 1
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0	0	0	100.00
3/4"	19.00	51.00	3.29	3.29	96.71
1/2"	12.50	104.70	6.75	10.04	89.96
3/8"	9.50	80.60	5.20	15.24	84.76
1/4"	6.30	132.80	8.56	23.80	76.20
N° 4	4.75	91.90	5.93	29.73	70.27
N° 10	2.00	351.70	22.68	52.41	47.59
N° 20	0.85	263.60	17.00	69.40	30.60
N° 40	0.43	138.90	8.96	78.36	21.64
N° 50	0.30	102.30	6.60	84.96	15.04
N° 100	0.15	85.20	5.49	90.45	9.55
N° 200	0.07	83.20	5.36	95.82	4.18
<200	Fondo	64.90	4.18	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1550.8
Peso de la Fracción	1550.8
D60	3.50
D30	0.81
D10	0.16
Cu	22.30
Cc	1.20
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	3.96
GRAVA (%)	29.73
ARENA (%)	66.09
FINOS (%)	4.18



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

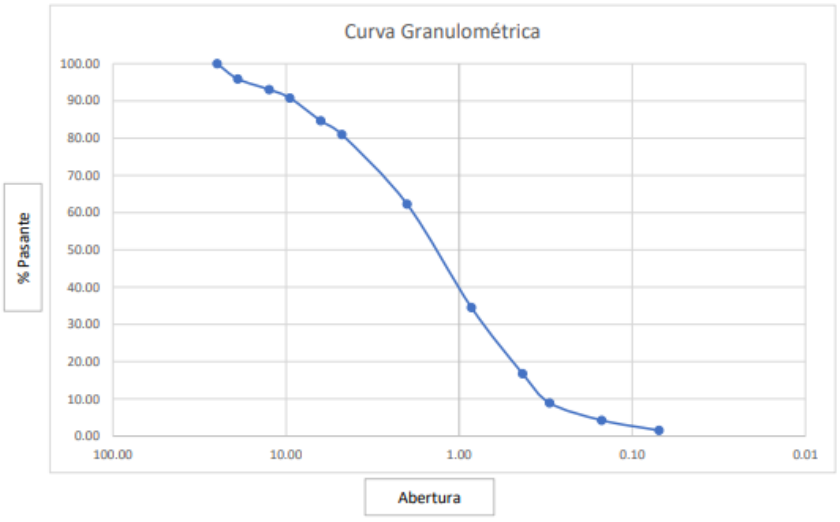
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland / Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO** 2
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

MALLA		PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	0
1"	25.00	0	0	0	100.00
3/4"	19.00	67.50	4.09	4.09	95.91
1/2"	12.50	47.10	2.86	6.95	93.05
3/8"	9.50	37.50	2.27	9.22	90.78
1/4"	6.30	101.00	6.13	15.35	84.65
N° 4	4.75	61.10	3.71	19.06	80.94
N° 10	2.00	307.50	18.65	37.70	62.30
N° 20	0.85	457.50	27.75	65.45	34.55
N° 40	0.43	293.00	17.77	83.22	16.78
N° 50	0.30	129.70	7.87	91.08	8.92
N° 100	0.15	76.90	4.66	95.75	4.25
N° 200	0.07	44.80	2.72	98.47	1.53
<200	Fondo	25.30	1.53	100.00	0.00

CLASIFICACIÓN SUCS (ASTM D2487)	
Símbolo:	SW
Denominación:	Arena Bien Gradada
CLASIFICACIÓN AASHTO (ASTM D3282)	
Símbolo:	
Denominación:	

DATOS DE LA MUESTRA	
Peso Total del Suelo	1648.9
Peso de la Fracción	1648.9
D60	1.90
D30	0.73
D10	0.27
Cu	6.96
Cc	1.03
Lim Liquido (ASTM D4318)	0.00
Lim Plastico (ASTM D4318)	0.00
Índice de Plasticidad	0.00
% Humedad (ASTM D2216)	4.03
GRAVA (%)	19.06
ARENA (%)	79.41
FINOS (%)	1.53



ANEXO 3

GRANULOMETRÍA POR SEDIMENTACIÓN - ARCILLAS

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

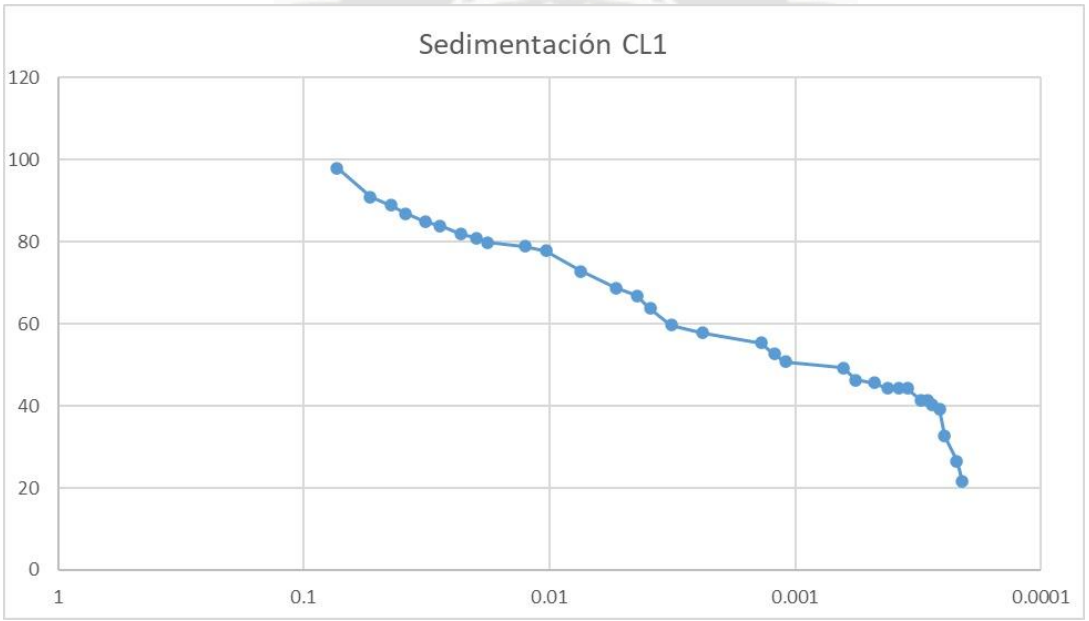
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Tespinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MALLA	ABERTURA	PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00				
2 1/2"	63.00				
2"	50.00				
1 1/2"	38.10				
1"	25.00				
3/4"	19.00				
1/2"	12.50				
3/8"	9.50				
1/4"	6.30				
N° 4	4.75	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 10	2.00	3.47	0.72	0.72	99.28
N° 20	0.85	10.71	2.23	2.95	97.05
N° 40	0.43	9.26	1.92	4.87	95.13
N° 50	0.30	47.85	9.95	14.82	85.18
N° 100	0.15	21.02	4.37	19.19	80.81
N° 200	0.07	43.21	8.98	28.17	71.83
<200	-	345.53	71.83	100.00	0.00
TOTAL		481.05			

Wd	50.00
Gs	2.63
Cd	5.00
a	1.00581
Cm	0.5

Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura Hidrómetro (Rd)	Corrección por temperatura (Ct)	Lectura Corregida (Rc)	% Más Fino	Lectura Corre	L de tabla (cm)	I/t (cm/min)	K	D (mm)
0.25	23.1	53	0.70	48.70	97.96545718	53.5	7.6	30.4	0.0133	0.073331
0.5	23.1	49.5	0.70	45.20	90.92481858	50	8.1	16.2	0.0133	0.053531
0.75	23.1	48.5	0.70	44.20	88.91320755	49	8.3	11.06666667	0.0133	0.044245
1	23.1	47.5	0.70	43.20	86.90159652	48	8.4	8.4	0.0133	0.038547
1.5	23.1	46.5	0.70	42.20	84.88998549	47	8.6	5.733333333	0.0133	0.031846
2	23.1	46	0.70	41.70	83.88417997	46.5	8.8	4.4	0.0133	0.027898
3	23.1	45	0.70	40.70	81.87256894	45.5	8.9	2.966666667	0.0133	0.022908
4	23.1	44.5	0.70	40.20	80.86676343	45	8.9	2.225	0.0133	0.019839
5	23.1	44	0.70	39.70	79.86095791	44.5	9.1	1.82	0.0133	0.017943
10	23.3	43.5	0.70	39.20	78.85515239	44	9.1	0.91	0.0132	0.012592
15	23.3	43	0.70	38.70	77.84934688	43.5	9.2	0.613333333	0.0132	0.010338
30	23.3	40.5	0.70	36.20	72.8203193	41	9.6	0.32	0.0132	0.007467
60	23.3	38.5	0.70	34.20	68.79709724	39	9.9	0.165	0.0132	0.005362
90	23.3	37.5	0.70	33.20	66.78548621	38	10.1	0.112222222	0.0132	0.004422
120	23.3	36	0.70	31.70	63.76806967	36.5	10.4	0.086666667	0.0132	0.003886
183	23.3	34	0.70	29.70	59.74484761	34.5	10.7	0.058469945	0.0132	0.003192
340	21.9	33.5	0.20	28.70	57.73323657	34	10.7	0.031470588	0.0134	0.002377
1140	18	33	-0.50	27.50	55.31930334	33.5	10.9	0.009561404	0.0141	0.001379
1380	21.7	31	0.20	26.20	52.704209	31.5	11.2	0.008115942	0.0135	0.001216
1680	23	29.5	0.70	25.20	50.69259797	30	11.4	0.006785714	0.0133	0.001096
5474	18.6	30	-0.50	24.50	49.28447025	30.5	11.4	0.002082572	0.014	0.000639
6910	20	28	0.00	23.00	46.2670537	28.5	11.7	0.001693198	0.0138	0.000568
9810	19.6	28	-0.30	22.70	45.66357039	28.5	11.7	0.001192661	0.0138	0.000477
11720	24.2	26	1.00	22.00	44.25544267	26.5	12	0.001023891	0.0131	0.000419
15585	20.3	27	0.00	22.00	44.25544267	27.5	11.9	0.000763555	0.0137	0.000379
18442	20.1	27	0.00	22.00	44.25544267	27.5	11.9	0.000645266	0.0138	0.000351
21814	24.7	24.5	1.00	20.50	41.23802612	25	12.2	0.000559274	0.0130	0.000307
27105	20.3	25.5	0.00	20.50	41.23802612	26	12	0.000442723	0.0137	0.000288
29950	20	25	0.00	20.00	40.23222061	25.5	12.2	0.000407346	0.0138	0.000279
31902	24.4	23.5	1.00	19.50	39.22641509	24	12.4	0.00038869	0.0131	0.000258
38663	21.4	21	0.20	16.20	32.58809869	21.5	12.9	0.000333652	0.0135	0.000247
50160	21.3	18	0.20	13.20	26.5532656	18.5	13.3	0.000265152	0.0135	0.00022
56040	23.1	15	0.70	10.70	21.52423803	15.5	13.8	0.000246253	0.0133	0.000209



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

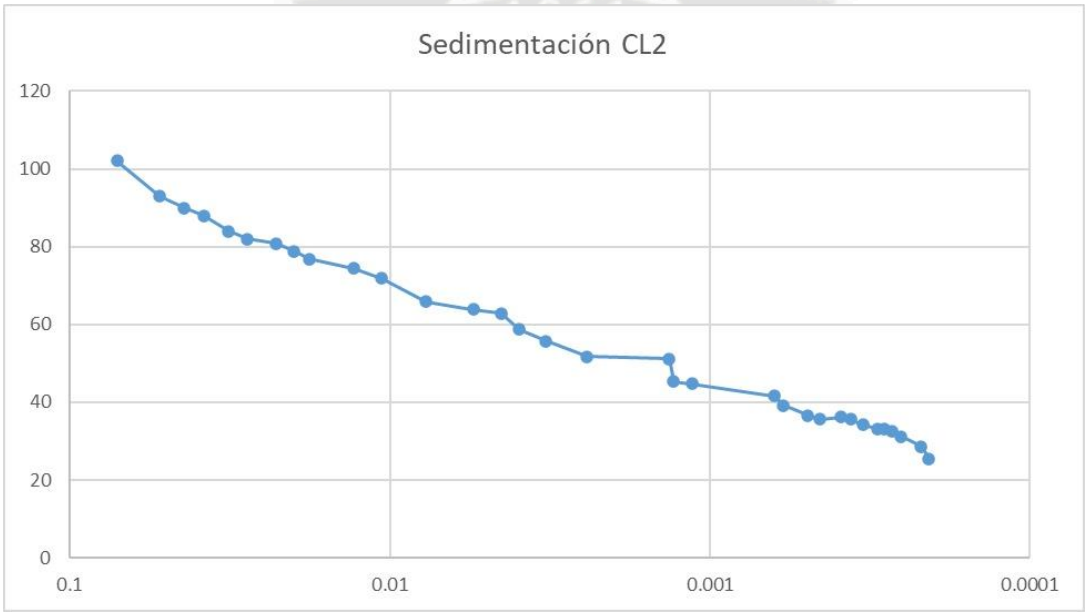
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Tespinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MALLA	ABERTURA	PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00				
2 1/2"	63.00				
2"	50.00				
1 1/2"	38.10	0	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	40.80	6.23	6.23	93.77
3/4"	19.00	26.00	3.97	3.97	96.03
1/2"	12.50	71.70	10.95	10.95	89.05
3/8"	9.50	36.00	5.50	5.50	94.50
1/4"	6.30	50.30	7.68	7.68	92.32
N° 4	4.75	10.77	1.64	1.64	98.36
N° 10	2.00	2.87	0.44	2.08	97.92
N° 20	0.85	13.17	2.01	4.09	95.91
N° 40	0.43	8.68	1.33	5.42	94.58
N° 50	0.30	12.24	1.87	7.29	92.71
N° 100	0.15	9.59	1.46	8.75	91.25
N° 200	0.07	27.31	4.17	12.92	87.08
<200	-	345.53	52.76	65.68	34.32
TOTAL		654.96			

Wd	50.00
Gs	2.62
Cd	5.00
a	1.00628
Cm	0.5

Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura Hidrómetro (Rd)	Corrección por temperatura (Ct)	Lectura Corregida (Rc)	% Más Fino	Lectura Corre	L de tabla (cm)	l/t (cm/min)	K	D (mm)
0.25	23.3	55	0.70	50.70	102.036557	55.5	7.3	29.2	0.0132	0.071329
0.5	23.3	50.5	0.70	46.20	92.9800579	51	7.9	15.8	0.0132	0.052469
0.75	23.3	49	0.70	44.70	89.9612248	49.5	8.3	11.06666667	0.0132	0.043912
1	23.3	48	0.70	43.70	87.9486695	48.5	8.4	8.4	0.0132	0.038257
1.5	23.3	46	0.70	41.70	83.9235587	46.5	8.8	5.866666667	0.0132	0.031972
2	23.3	45	0.70	40.70	81.9110034	45.5	8.9	4.45	0.0132	0.027845
3	23.3	44.5	0.70	40.20	80.9047257	45	8.9	2.966666667	0.0132	0.022736
4	23.3	43.5	0.70	39.20	78.8921703	44	9.1	2.275	0.0132	0.01991
5	23.3	42.5	0.70	38.20	76.879615	43	9.2	1.84	0.0132	0.017905
10	23.3	41.25	0.70	36.95	74.3639208	41.75	9.6	0.96	0.0132	0.012933
15	23.3	40	0.70	35.70	71.8482266	40.5	9.7	0.646666667	0.0132	0.010615
30	23.3	37	0.70	32.70	65.8105605	37.5	10.2	0.34	0.0132	0.007697
60	23.3	36	0.70	31.70	63.7980051	36.5	10.4	0.173333333	0.0132	0.005496
90	23.3	35.5	0.70	31.20	62.7917274	36	10.4	0.115555556	0.0132	0.004487
120	23.3	33.5	0.70	29.20	58.7666167	34	10.7	0.089166667	0.0132	0.003942
183	23.3	32	0.70	27.70	55.7477836	32.5	11.1	0.060655738	0.0132	0.003251
340	23.3	30	0.70	25.70	51.7226729	30.5	11.4	0.033529412	0.0132	0.002417
1140	21.9	30	0.40	25.40	51.1189063	30.5	11.4	0.01	0.0134	0.00134
1380	18	28	-0.50	22.50	45.2824957	28.5	11.7	0.008478261	0.0141	0.001298
1680	21.7	27	0.20	22.20	44.6787291	27.5	11.9	0.007083333	0.0135	0.001136
5474	23	25	0.70	20.70	41.6598961	25.5	12.2	0.002228718	0.0133	0.000628
6910	18.6	25	-0.50	19.50	39.2448296	25.5	12.2	0.001765557	0.014	0.000588
9810	19.3	23.5	-0.30	18.20	36.6285077	24	12.4	0.001264016	0.0139	0.000494
11720	19.4	23	-0.30	17.70	35.62223	23.5	12.5	0.001066553	0.0139	0.000454
15585	20	23	0.00	18.00	36.2259966	23.5	12.5	0.000802053	0.0138	0.000391
18442	19.5	23	-0.30	17.70	35.62223	23.5	12.5	0.000677801	0.0139	0.000362
21814	20.1	22	0.00	17.00	34.2134412	22.5	12.7	0.000582195	0.0138	0.000333
27105	20	21.5	0.00	16.50	33.2071635	22	12.7	0.000468548	0.0138	0.000299
29950	19.9	21.5	0.00	16.50	33.2071635	22	12.7	0.00042404	0.0138	0.000284
31902	21.9	21	0.20	16.20	32.6033969	21.5	12.9	0.000404363	0.0134	0.000269
38663	20	20.5	0.00	15.50	31.1946082	21	12.9	0.000333652	0.0138	0.000252
50160	21.3	19	0.20	14.20	28.5782862	19.5	13.2	0.000263158	0.0135	0.000219
56040	23.1	17	0.70	12.70	25.5594531	17.5	13.5	0.000240899	0.0133	0.000206



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR SEDIMENTACIÓN (ASTM D422/ ASTM D2487/MTC E204)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

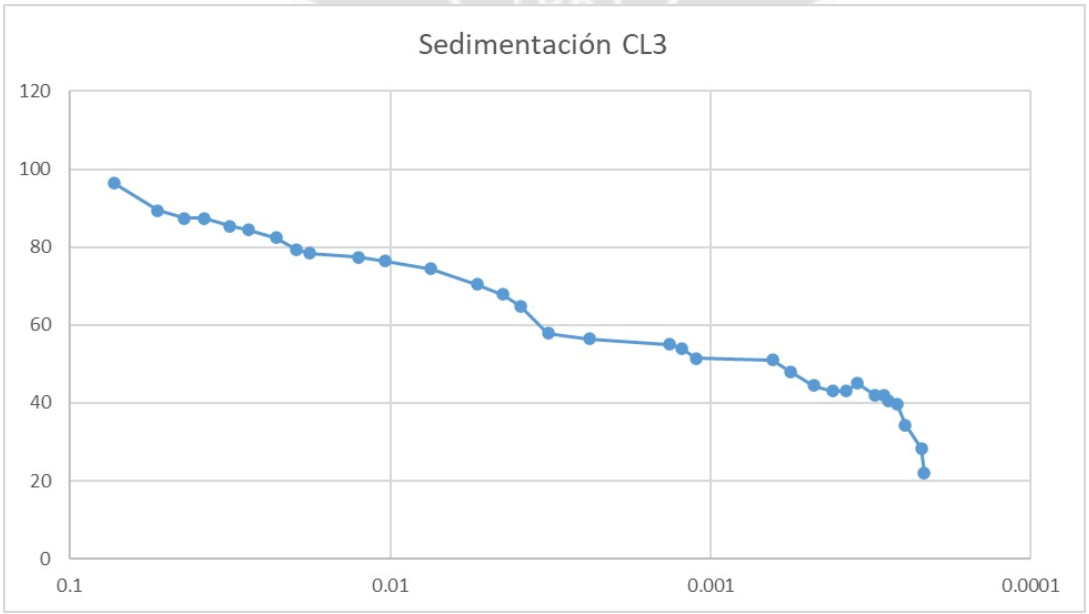
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Tespinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 3
FECHA:

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

MALLA	ABERTURA	PESO	%	%	%
PLG	mm	RETENIDO (g)	RETENIDO	ACUMULADO	PASANTE
3"	75.00	0	0	0	0
2 1/2"	63.00	0	0	0	0
2"	50.00	0	0	0	0
1 1/2"	38.10	0	0	0	100
1"	25.00	17.60	2.40	2.40	94.86
3/4"	19.00	21.40	2.92	5.32	90.74
1/2"	12.50	17.86	2.44	7.75	88.07
3/8"	9.50	25.70	3.50	11.26	85.92
1/4"	6.30	15.40	2.10	13.36	83.05
N° 4	4.75	22.34	3.05	16.40	80.75
N° 10	2.00	15.60	2.13	18.53	71.76
N° 20	0.85	15.80	2.15	20.68	60.29
N° 40	0.43	20.52	2.80	23.48	47.92
N° 50	0.30	8.54	1.16	24.65	34.61
N° 100	0.15	11.56	1.58	26.22	23.09
N° 200	0.07	150.84	20.57	46.79	9.67
<200	-	390.25	53.21	100.00	0.00
TOTAL		733.41			

Wd	50.00
Gs	2.65
Cd	5.00
a	1
Cm	0.5

Tiempo Transcurrido (min)	Temperatura (°C)	Lectura Hidrómetro (Rd)	Corrección por temperatura (Ct)	Lectura Corregida (Rc)	% Más Fino	Lectura Corre	L de tabla (cm)	I/t (cm/min)	K	D (mm)
0.25	23	52.5	0.70	48.20	96.4	53	7.6	30.4	0.0132	0.07278
0.5	23	49	0.70	44.70	89.4	49.5	8.1	16.2	0.0132	0.053129
0.75	23	48	0.70	43.70	87.4	48.5	8.3	11.06666667	0.0132	0.043912
1	23	48	0.70	43.70	87.4	48.5	8.4	8.4	0.0132	0.038257
1.5	23.5	47	0.70	42.70	85.4	47.5	8.6	5.733333333	0.0132	0.031607
2	23	46.5	0.70	42.20	84.4	47	8.8	4.4	0.0132	0.027689
3	23.4	45.5	0.70	41.20	82.4	46	8.9	2.966666667	0.0132	0.022736
4	23.2	44	0.70	39.70	79.4	44.5	8.9	2.225	0.0132	0.01969
5	23	43.5	0.70	39.20	78.4	44	9.1	1.82	0.0132	0.017808
10	23.3	43	0.70	38.70	77.4	43.5	9.1	0.91	0.0132	0.012592
15	23.3	42.5	0.70	38.20	76.4	43	9.2	0.613333333	0.0132	0.010338
30	23.3	41.5	0.70	37.20	74.4	42	9.6	0.32	0.0132	0.007467
60	23.3	39.5	0.70	35.20	70.4	40	9.9	0.165	0.0132	0.005362
90	22.5	38.5	0.40	33.90	67.8	39	10.1	0.112222222	0.0133	0.004455
120	22.4	37	0.40	32.40	64.8	37.5	10.4	0.086666667	0.0133	0.003915
183	22.1	33.5	0.40	28.90	57.8	34	10.7	0.058469945	0.0133	0.003216
340	21.9	33	0.20	28.20	56.4	33.5	10.7	0.031470588	0.0135	0.002395
1140	20	32.5	0.00	27.50	55	33	10.9	0.009561404	0.0137	0.00134
1380	20.5	32	0.00	27.00	54	32.5	11.2	0.008115942	0.0137	0.001234
1680	21	30.5	0.20	25.70	51.4	31	11.4	0.006785714	0.0135	0.001112
5474	18.6	31	-0.50	25.50	51	31.5	11.4	0.002082572	0.014	0.000639
6910	20	29	0.00	24.00	48	29.5	11.7	0.001693198	0.0137	0.000564
9810	19.6	27.5	-0.30	22.20	44.4	28	11.7	0.001192661	0.0138	0.000477
11720	24.2	25.5	1.00	21.50	43	26	12	0.001023891	0.0130	0.000416
15585	20.3	26.5	0.00	21.50	43	27	11.9	0.000763555	0.0137	0.000379
18442	20.1	27.5	0.00	22.50	45	28	11.9	0.000645266	0.0137	0.000348
21814	24.7	25	1.00	21.00	42	25.5	12.2	0.000559274	0.0130	0.000307
27105	20.3	26	0.00	21.00	42	26.5	12	0.000442723	0.0137	0.000288
29950	19.9	25.5	-0.30	20.20	40.4	26	12.2	0.000407346	0.0138	0.000279
31902	22.5	24.5	0.40	19.90	39.8	25	12.4	0.00038869	0.0133	0.000262
38663	21.4	22	0.20	17.20	34.4	22.5	12.9	0.000333652	0.0135	0.000247
50160	21.3	19	0.20	14.20	28.4	19.5	13.3	0.000265152	0.0135	0.00022
56040	20.6	16	0.00	11.00	22	16.5	13.8	0.000246253	0.0137	0.000215



ANEXO 4

ENSAYO DE LÍMITES DE ATTERBERG

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

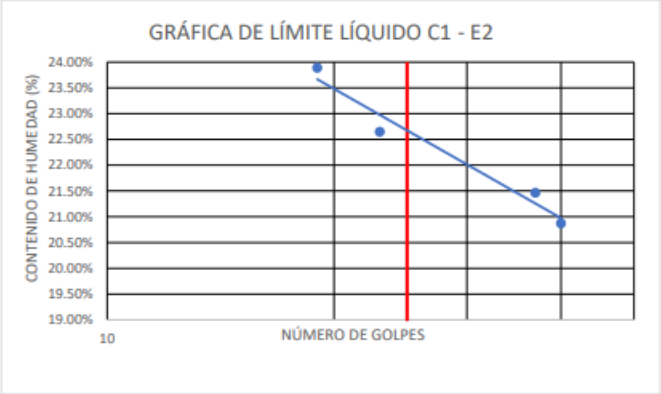
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	7	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	39.53	37.22	35.14	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	32.29	29.87	27.73	
PESO DEL RECIPIENTE	g	10.81	11.61	11.47	
PESO DE AGUA	g	7.24	7.35	7.41	
PESO DEL SUELO SECO	g	21.48	18.26	16.26	
% DE HUMEDAD	%	33.71	40.25	45.57	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

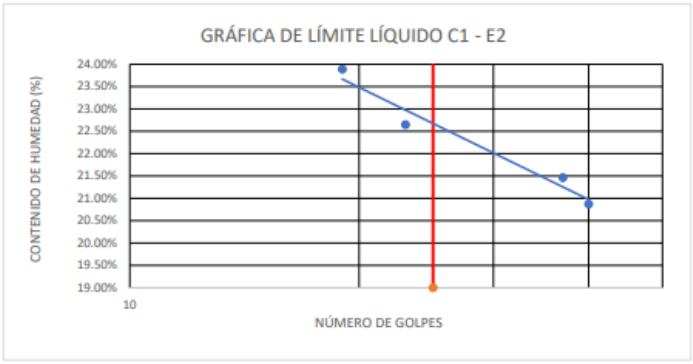
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO				
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	34	31	23	19	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	45.31	41.87	43.10	44.58	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	39.42	36.42	37.20	38.13	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.20	11.03	11.15	11.13	
PESO DE AGUA	g	5.89	5.45	5.90	6.45	
PESO DEL SUELO SECO	g	28.22	25.39	26.05	27.00	
% DE HUMEDAD	%	20.87	21.47	26.65	23.89	

LÍMITE LÍQUIDO
22.71%

LÍMITE PLASTICO						
MUESTRA	N°	M1				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	12.01				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	11.89				
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.11				
PESO DE AGUA	g	0.12				
PESO DEL SUELO SECO	g	0.78				
% DE HUMEDAD	%	15.38				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

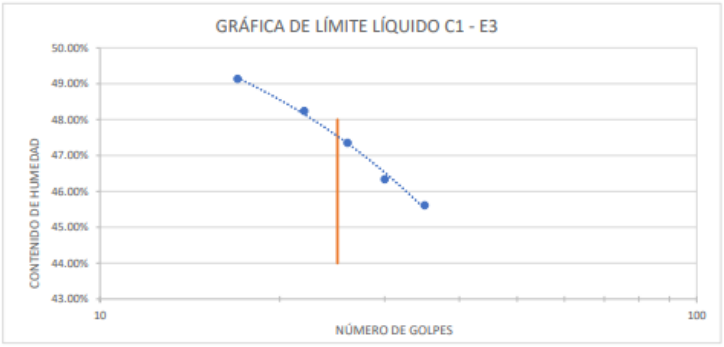
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	M5	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	30	35	22	26	17	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	49.67	47.81	52.90	48.38	47.09	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	42.08	40.48	44.81	41.94	39.97	
PESO DEL RECIPIENTE	g	25.70	24.41	28.04	28.34	25.48	
PESO DE AGUA	g	7.59	7.33	8.09	6.44	7.12	
PESO DEL SUELO SECO	g	16.38	16.07	16.77	13.60	14.49	
% DE HUMEDAD	%	46.34	45.61	48.24	47.35	49.14	

LÍMITE LÍQUIDO
47.50%

LÍMITE PLASTICO							
MUESTRA	N°	M1	M2				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	31.14	31.08				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	27.99	27.86				
PESO DEL RECIPIENTE	g	15.4	15.39				
PESO DE AGUA	g	3.15	3.22				
PESO DEL SUELO SECO	g	12.59	12.47				
% DE HUMEDAD	%	25.02	25.82				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

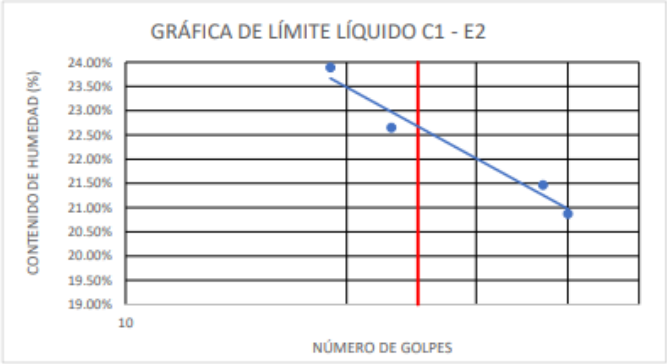
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	9	6	4	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	41.66	38.71	36.45	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	33.81	30.55	27.96	
PESO DEL RECIPIENTE	g	10.91	11.09	11.47	
PESO DE AGUA	g	7.85	8.16	8.49	
PESO DEL SUELO SECO	g	22.90	19.46	16.49	
% DE HUMEDAD	%	34.28	41.93	51.49	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

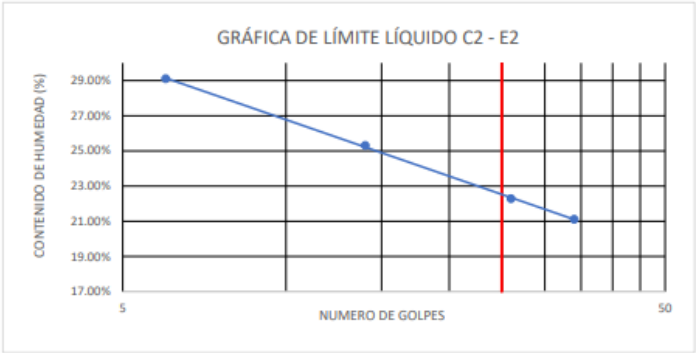
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO				
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	34	26	14	6	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	43.80	34.60	31.20	28.00	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	38.10	30.30	27.10	24.10	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.10	11.00	10.90	10.70	
PESO DE AGUA	g	5.70	4.30	4.10	3.90	
PESO DEL SUELO SECO	g	27.00	19.30	16.20	13.40	
% DE HUMEDAD	%	21.11	22.28	25.31	29.10	

LÍMITE LÍQUIDO
22.64%

LÍMITE PLASTICO						
MUESTRA	N°	M1				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	23.94				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	23.6				
PESO DEL RECIPIENTE	g	22.17				
PESO DE AGUA	g	0.34				
PESO DEL SUELO SECO	g	1.43				
% DE HUMEDAD	%	23.78				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

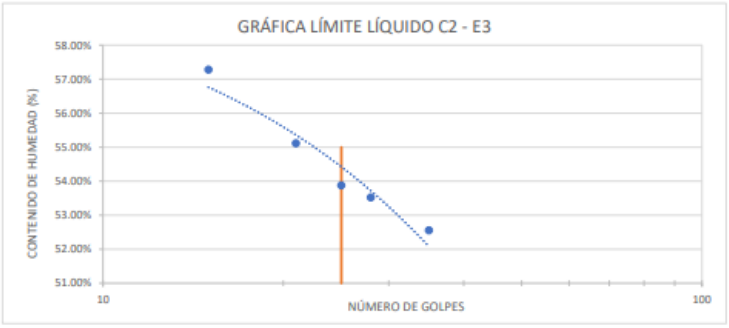
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	M5	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	25	28	35	21	15	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	49.07	53.37	51.53	51.63	53.51	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	40.73	44.86	42.78	42.79	43.08	
PESO DEL RECIPIENTE	g	25.25	28.96	26.13	26.75	24.87	
PESO DE AGUA	g	8.34	8.51	8.75	8.84	10.43	
PESO DEL SUELO SECO	g	15.48	15.90	16.65	16.04	18.21	
% DE HUMEDAD	%	53.88	53.52	52.55	55.11	57.28	

LÍMITE LÍQUIDO
54.50%

LÍMITE PLASTICO							
MUESTRA	N°	M1	M2				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	30.3	30.91				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	26.95	27.46				
PESO DEL RECIPIENTE	g	15.44	15.49				
PESO DE AGUA	g	3.35	3.45				
PESO DEL SUELO SECO	g	11.51	11.97				
% DE HUMEDAD	%	29.11	28.82				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

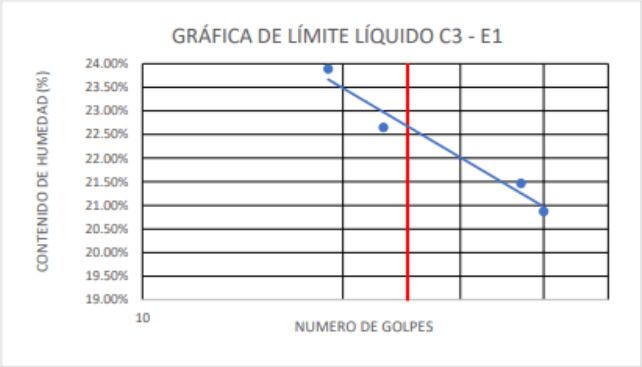
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 3 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	7	5	4	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	43.40	40.34	37.62	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	35.57	32.16	29.13	
PESO DEL RECIPIENTE	g	12.59	13.24	12.65	
PESO DE AGUA	g	7.83	8.18	8.49	
PESO DEL SUELO SECO	g	22.98	18.92	16.48	
% DE HUMEDAD	%	34.07	43.23	51.52	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

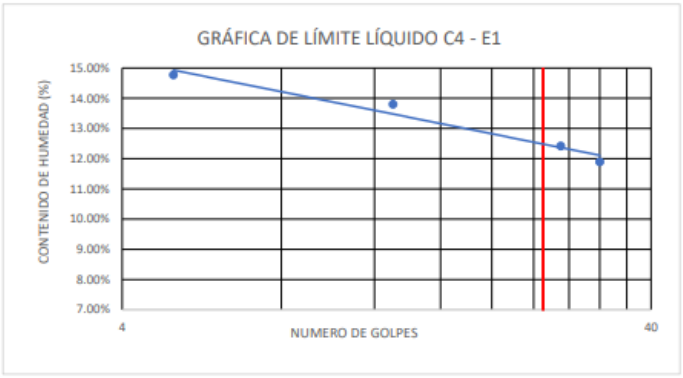
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 4 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO				
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	32	27	13	5	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	39.04	36.54	31.84	35.33	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	37.17	34.79	30.18	33.19	
PESO DEL RECIPIENTE	g	21.45	20.70	18.15	18.70	
PESO DE AGUA	g	1.87	1.75	1.66	2.14	
PESO DEL SUELO SECO	g	15.72	14.09	12.03	14.49	
% DE HUMEDAD	%	11.90	12.42	13.80	14.77	

LÍMITE LÍQUIDO
12.74%

LÍMITE PLASTICO						
MUESTRA	N°	M1				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	12.01				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	11.95				
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.11				
PESO DE AGUA	g	0.06				
PESO DEL SUELO SECO	g	0.84				
% DE HUMEDAD	%	7.14				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

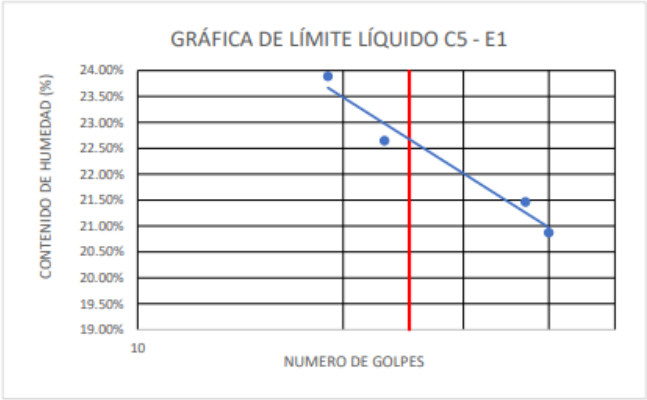
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	8	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	41.10	38.64	36.22	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	35.71	31.24	28.61	
PESO DEL RECIPIENTE	g	10.81	11.03	11.15	
PESO DE AGUA	g	5.39	7.40	7.61	
PESO DEL SUELO SECO	g	24.90	20.21	17.46	
% DE HUMEDAD	%	21.65	36.62	43.59	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

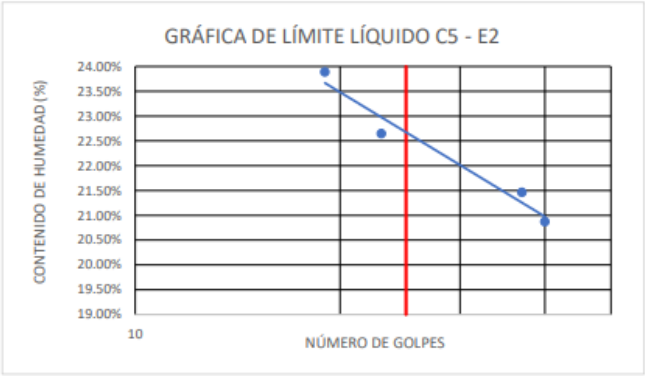
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	9	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	42.13	40.26	39.05	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	34.40	35.20	31.49	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.61	11.20	12.59	
PESO DE AGUA	g	7.73	5.06	7.56	
PESO DEL SUELO SECO	g	22.79	24.00	18.90	
% DE HUMEDAD	%	33.92	21.08	40.00	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

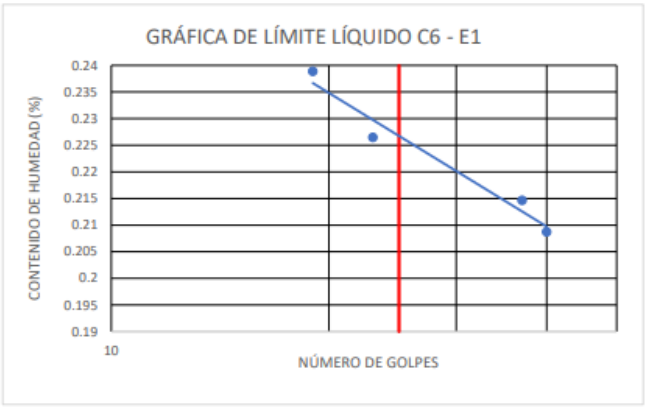
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	9	5	4	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	43.89	40.64	37.51	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	38.44	33.39	29.86	
PESO DEL RECIPIENTE	g	13.38	11.45	11.82	
PESO DE AGUA	g	5.45	7.25	7.65	
PESO DEL SUELO SECO	g	25.06	21.94	18.04	
% DE HUMEDAD	%	21.75	33.04	42.41	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

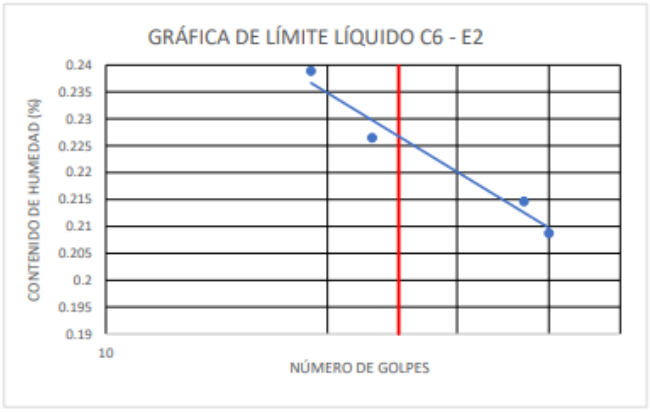
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	9	6	2	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	42.22	39.65	37.59	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	36.77	32.43	28.76	
PESO DEL RECIPIENTE	g	12.05	10.44	10.94	
PESO DE AGUA	g	5.45	7.22	8.83	
PESO DEL SUELO SECO	g	24.72	21.99	17.82	
% DE HUMEDAD	%	22.05	32.83	49.55	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

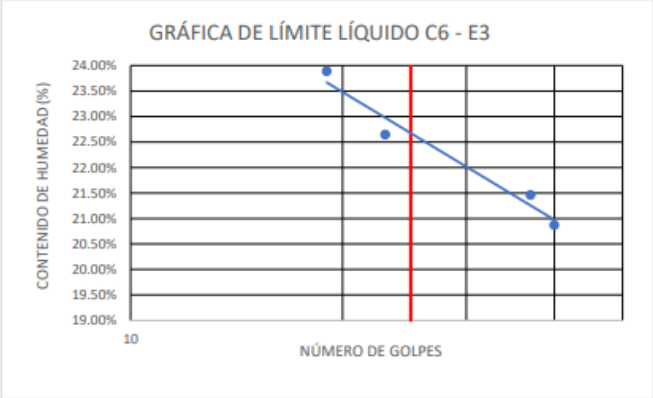
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	8	6	4	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	41.76	38.21	35.89	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	36.34	31.92	27.42	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.68	11.17	9.29	
PESO DE AGUA	g	5.42	6.29	8.47	
PESO DEL SUELO SECO	g	24.66	20.75	18.13	
% DE HUMEDAD	%	21.98	30.31	46.72	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

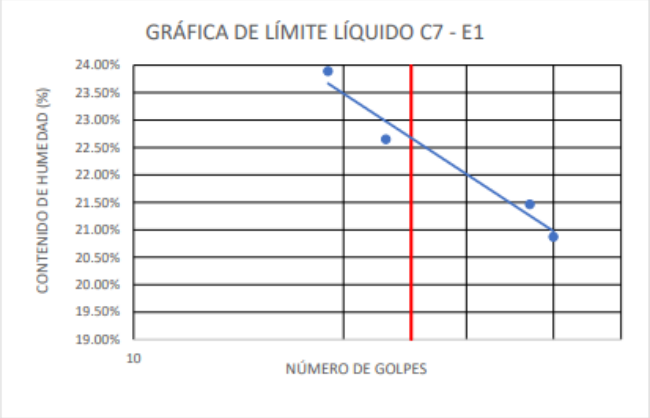
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	7	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	41.60	38.92	36.20	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	36.41	32.99	28.48	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.13	11.10	10.90	
PESO DE AGUA	g	5.19	5.93	7.72	
PESO DEL SUELO SECO	g	25.28	21.89	17.58	
% DE HUMEDAD	%	20.53	27.09	43.91	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

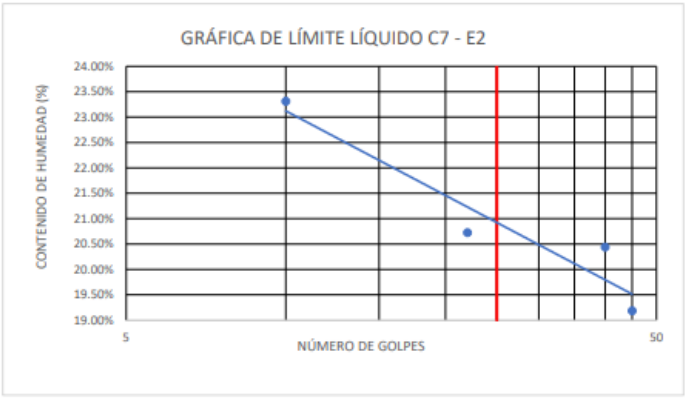
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO				
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	37	30	22	10	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	42.40	40.49	45.38	46.93	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	37.36	35.47	39.48	40.13	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.09	10.91	11.01	10.96	
PESO DE AGUA	g	5.04	5.02	5.90	11.01	
PESO DEL SUELO SECO	g	26.27	24.56	28.47	29.17	
% DE HUMEDAD	%	19.19	20.44	20.72	23.31	

LÍMITE LÍQUIDO
20.91%

LÍMITE PLASTICO						
MUESTRA	N°	M1				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	12.05				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	11.98				
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.16				
PESO DE AGUA	g	0.07				
PESO DEL SUELO SECO	g	0.82				
% DE HUMEDAD	%	8.54				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

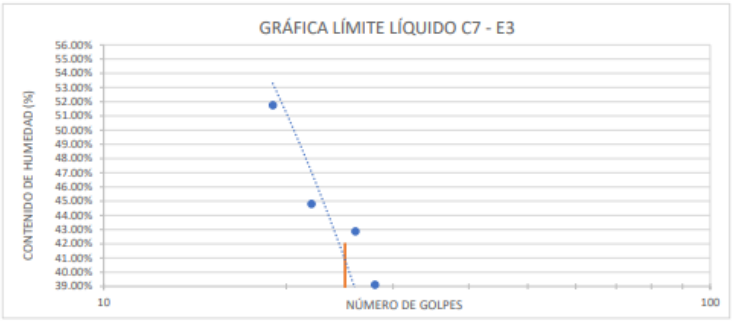
TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	M4	M5	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	26	32	28	22	19	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	49.56	48.65	52.25	48.25	46.90	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	42.40	44.56	44.56	41.78	39.84	
PESO DEL RECIPIENTE	g	25.70	25.60	24.90	27.34	26.20	
PESO DE AGUA	g	7.16	4.09	7.69	6.47	7.06	
PESO DEL SUELO SECO	g	16.70	18.96	19.66	14.44	13.64	
% DE HUMEDAD	%	42.87	21.57	39.11	44.81	51.76	

LÍMITE LÍQUIDO
41.00%

LÍMITE PLASTICO							
MUESTRA	N°	M1	M2				Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	39.8	41				
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	35.5	37.3				
PESO DEL RECIPIENTE	g	24.6	25.8				
PESO DE AGUA	g	4.3	3.7				
PESO DEL SUELO SECO	g	15.2	14.7				
% DE HUMEDAD	%	28.29	25.17				



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

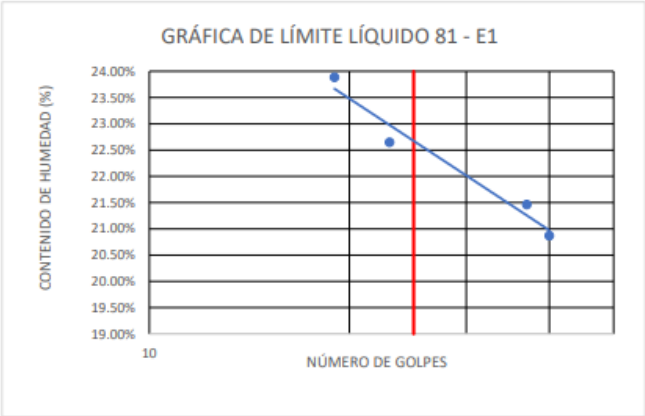
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	7	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	43.14	39.94	36.83	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	36.95	33.01	28.78	
PESO DEL RECIPIENTE	g	10.83	12.59	11.27	
PESO DE AGUA	g	6.19	6.93	8.05	
PESO DEL SUELO SECO	g	26.12	20.42	17.51	
% DE HUMEDAD	%	23.70	33.94	45.97	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

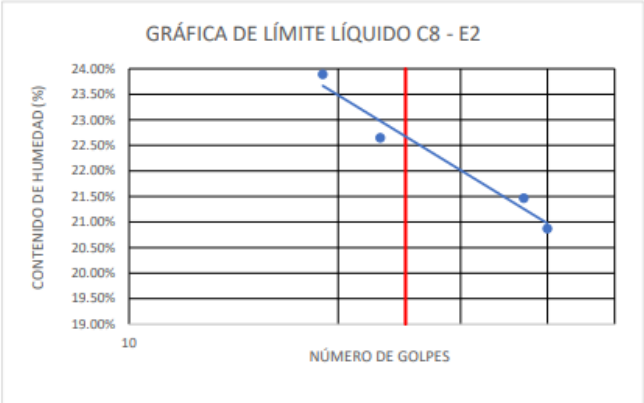
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	7	5	4	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	40.36	38.61	35.86	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	35.17	31.68	29.03	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.09	11.15	12.65	
PESO DE AGUA	g	5.19	6.93	6.83	
PESO DEL SUELO SECO	g	24.08	20.53	16.38	
% DE HUMEDAD	%	21.55	33.76	41.70	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

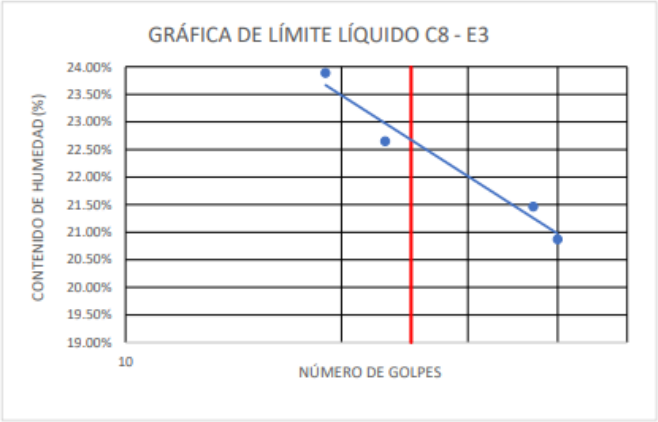
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	8	6	4	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	38.15	37.07	34.75	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	33.46	30.84	28.19	
PESO DEL RECIPIENTE	g	10.94	11.03	11.82	
PESO DE AGUA	g	4.69	6.23	6.56	
PESO DEL SUELO SECO	g	22.52	19.81	16.37	
% DE HUMEDAD	%	20.83	31.45	40.07	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

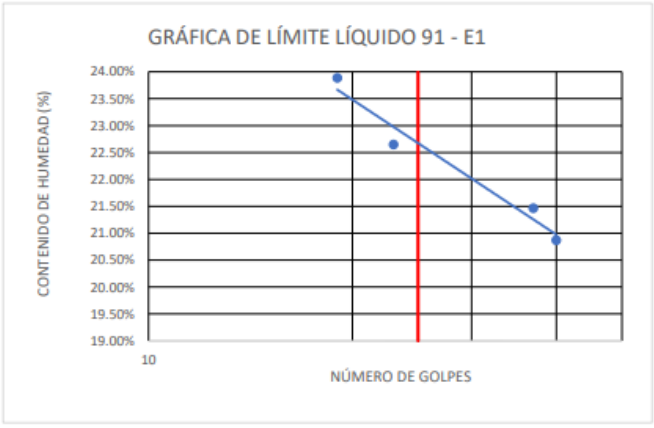
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	9	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	39.75	38.64	35.29	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	34.68	31.71	28.27	
PESO DEL RECIPIENTE	g	10.44	10.91	11.45	
PESO DE AGUA	g	5.07	6.93	7.02	
PESO DEL SUELO SECO	g	24.24	20.80	16.82	
% DE HUMEDAD	%	20.92	33.32	41.74	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

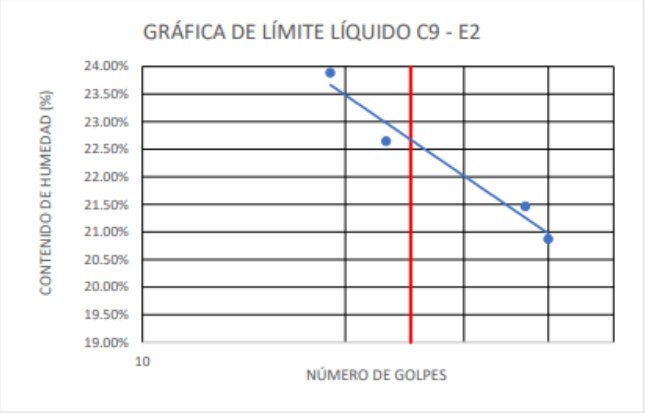
LÍMITES DE CONSISTENCIA (ASTM D4318/ AASHTO T89/MTC E110, 111)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION		LÍMITE LÍQUIDO			
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
N° DE GOLPES	N°	8	5	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	41.42	39.87	35.82	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	36.01	32.87	28.83	
PESO DEL RECIPIENTE	g	11.58	12.21	12.16	
PESO DE AGUA	g	5.41	7.00	6.99	
PESO DEL SUELO SECO	g	24.43	20.66	16.67	
% DE HUMEDAD	%	22.14	33.88	41.93	

LÍMITE PLASTICO					
MUESTRA	N°	M1	M2	M3	Observaciones
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	-	-	-	
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	-	-	-	
PESO DEL RECIPIENTE	g	-	-	-	
PESO DE AGUA	g	-	-	-	
PESO DEL SUELO SECO	g	-	-	-	
% DE HUMEDAD	%	-	-	-	



ANEXO 5

CONTENIDO DE HUMEDAD

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2097.2	2018.5	1876.5	1997.40
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1995.4	1916.3	1774.8	1895.50
PESO DEL RECIPIENTE	g	552.8	474.1	332.4	453.10
PESO DEL AGUA	g	101.8	102.2	101.7	101.90
PESO DEL SUELO SECO	g	1442.6	1442.2	1442.4	1442.40
% DE HUMEDAD	%	5.1	5.1	5.4	5.2

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1835.4	1747.3	1905.4	1829.37
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1748.7	1660.5	1818.3	1742.50
PESO DEL RECIPIENTE	g	432.3	520.5	362.7	438.50
PESO DEL AGUA	g	86.7	86.8	87.1	86.87
PESO DEL SUELO SECO	g	1316.4	1140	1455.6	1304.00
% DE HUMEDAD	%	5.0	5.0	4.6	4.8

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2035.6	1973.1	2016.1	2008.27
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1854	1778.2	1822.5	1818.23
PESO DEL RECIPIENTE	g	453.2	377.4	421.7	411.40
PESO DEL AGUA	g	181.6	194.9	193.6	190.03
PESO DEL SUELO SECO	g	1400.8	1400.8	1400.8	1400.80
% DE HUMEDAD	%	9.8	9.9	9.6	9.8

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1787.1	1896.5	1887	1856.87
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1680.9	1790.2	1780.6	1750.57
PESO DEL RECIPIENTE	g	308.4	417.8	408.3	378.17
PESO DEL AGUA	g	106.2	106.3	106.4	106.30
PESO DEL SUELO SECO	g	1372.5	1372.4	1372.3	1372.40
% DE HUMEDAD	%	6.3	5.6	5.6	5.9

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1709.04	1680.34	1720.84	1703.41
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1634.89	1598.69	1642.89	1625.49
PESO DEL RECIPIENTE	g	405.4	376.7	417.2	411.40
PESO DEL AGUA	g	74.15	81.65	77.95	77.92
PESO DEL SUELO SECO	g	1229.49	1221.99	1225.69	1225.72
% DE HUMEDAD	%	4.5	4.9	4.5	4.6

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1924.94	1910.04	1920.84	1918.61
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1745.79	1705.31	1716.97	1722.69
PESO DEL RECIPIENTE	g	421.3	406.4	417.2	411.40
PESO DEL AGUA	g	179.15	204.73	203.87	195.92
PESO DEL SUELO SECO	g	1324.49	1298.91	1299.77	1307.72
% DE HUMEDAD	%	10.3	10.7	10.6	10.5

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 3 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1985.7	1871.2	1737.3	1864.73
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1897.4	1789.9	1665.1	1784.13
PESO DEL RECIPIENTE	g	552.8	432.3	308.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	88.3	81.3	72.2	80.60
PESO DEL SUELO SECO	g	1344.6	1357.6	1356.7	1352.97
% DE HUMEDAD	%	4.7	4.3	4.2	4.4

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 4 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2046.1	2234.1	2119.1	2133.10
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1944.7	2119.7	2005.7	2023.37
PESO DEL RECIPIENTE	g	332.4	520.4	405.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	101.4	114.4	113.4	109.73
PESO DEL SUELO SECO	g	1612.3	1599.3	1600.3	1603.97
% DE HUMEDAD	%	5.2	5.1	5.4	5.2

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2091	2147.3	2049.9	2096.07
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1991.6	2052.9	1952.5	1999.00
PESO DEL RECIPIENTE	g	417.8	474.1	376.7	411.40
PESO DEL AGUA	g	99.4	94.4	97.4	97.07
PESO DEL SUELO SECO	g	1573.8	1578.8	1575.8	1576.13
% DE HUMEDAD	%	5.0	4.4	4.8	4.7

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2097.3	2173.6	2076.2	2115.70
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	2007.5	2081.8	1979.4	2022.90
PESO DEL RECIPIENTE	g	422.7	388.2	437.8	411.40
PESO DEL AGUA	g	89.8	91.8	96.8	92.80
PESO DEL SUELO SECO	g	1584.8	1693.6	1541.6	1606.67
% DE HUMEDAD	%	4.5	4.2	4.7	4.5

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1945.6	1989	2058.1	1997.57
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1864.1	1904.5	1963.6	1910.73
PESO DEL RECIPIENTE	g	361.4	404.8	473.9	411.40
PESO DEL AGUA	g	81.5	84.5	94.5	86.83
PESO DEL SUELO SECO	g	1502.7	1499.7	1489.7	1497.37
% DE HUMEDAD	%	4.4	4.2	4.6	4.4

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1529.1	1540.9	1432.1	1500.70
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1464.4	1475.8	1365.8	1435.33
PESO DEL RECIPIENTE	g	405.4	417.2	308.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	64.7	65.1	66.3	65.37
PESO DEL SUELO SECO	g	1059	1058.6	1057.4	1058.33
% DE HUMEDAD	%	4.4	4.2	4.6	4.4

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2140.4	2165.7	2139	2148.37
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	2053.3	2067.5	2044.8	2055.20
PESO DEL RECIPIENTE	g	407.8	433.1	406.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	87.1	98.2	94.2	93.17
PESO DEL SUELO SECO	g	1645.5	1634.4	1638.4	1639.43
% DE HUMEDAD	%	4.2	4.5	4.4	4.4

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1776.9	1701.5	1730.2	1736.20
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1657.1	1571.3	1604.8	1611.07
PESO DEL RECIPIENTE	g	474.1	398.7	427.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	119.8	130.2	125.4	125.13
PESO DEL SUELO SECO	g	1183	1172.6	1177.4	1177.67
% DE HUMEDAD	%	7.2	7.7	7.2	7.4

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1621.8	1666.1	1842.2	1710.03
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1553.1	1592.2	1753.3	1632.87
PESO DEL RECIPIENTE	g	332.4	376.7	552.8	411.40
PESO DEL AGUA	g	68.7	73.9	88.9	77.17
PESO DEL SUELO SECO	g	1220.7	1215.5	1200.5	1212.23
% DE HUMEDAD	%	4.4	4.4	4.8	4.6

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1924.94	1910.04	1920.84	1918.61
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1745.79	1705.31	1716.97	1722.69
PESO DEL RECIPIENTE	g	423.8	362.7	308.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	179.15	204.73	203.87	195.92
PESO DEL SUELO SECO	g	1321.99	1342.61	1408.57	1357.72
% DE HUMEDAD	%	10.3	10.7	10.6	10.5

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1915.2	1950.6	2022.7	1962.83
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1838.9	1863.3	1926.4	1876.20
PESO DEL RECIPIENTE	g	313.8	349.2	421.3	411.40
PESO DEL AGUA	g	76.3	87.3	96.3	86.63
PESO DEL SUELO SECO	g	1525.1	1514.1	1505.1	1514.77
% DE HUMEDAD	%	4.1	4.5	4.8	4.5

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1992.5	1967	1997.7	1985.73
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1899.3	1878.1	1903.2	1893.53
PESO DEL RECIPIENTE	g	388.2	376.7	407.4	411.40
PESO DEL AGUA	g	93.2	88.9	94.5	92.20
PESO DEL SUELO SECO	g	1511.1	1501.4	1495.8	1502.77
% DE HUMEDAD	%	4.9	4.5	4.7	4.7

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** 3
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1867.8	1901	2002.1	1923.63
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1781.6	1810.8	1904.3	1832.23
PESO DEL RECIPIENTE	g	370.4	403.6	504.7	411.40
PESO DEL AGUA	g	86.2	90.2	97.8	91.40
PESO DEL SUELO SECO	g	1411.2	1407.2	1399.6	1406.00
% DE HUMEDAD	%	4.8	4.7	4.9	4.8

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO:** 1
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	2196.6	2145.3	2287.1	2209.67
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	2105.3	2047.6	2184.7	2112.53
PESO DEL RECIPIENTE	g	412.7	361.4	503.2	411.40
PESO DEL AGUA	g	91.3	97.7	102.4	97.13
PESO DEL SUELO SECO	g	1692.6	1686.2	1681.5	1686.77
% DE HUMEDAD	%	4.3	4.6	4.5	4.5

OBSERVACIONES

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO:** 2
FECHA:

DESCRIPCION	UND.	MTRA. -1	MTRA. -2	MTRA. -3	PROMEDIO
RECIPIENTE	N°	1	2	3	
RECIPIENTE + SUELO HÚMEDO	g	1936.9	1924.6	1901.8	1921.10
RECIPIENTE + SUELO SECO	g	1849.8	1832.8	1811.4	1831.33
PESO DEL RECIPIENTE	g	412.7	374.2	346.7	411.40
PESO DEL AGUA	g	87.1	91.8	90.4	89.77
PESO DEL SUELO SECO	g	1437.1	1458.6	1464.7	1453.47
% DE HUMEDAD	%	4.7	4.8	4.8	4.7

OBSERVACIONES

ANEXO 6

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 1 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	784.2	784.7	785.4
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	658.8	659.8	658.9
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	1	1	1
Gravedad Específica	-	2.68	2.66	2.72

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.69**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 1 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	782.24	781.73	782.31
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	658.41	657.83	658.67
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.62	2.63	2.62

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.62**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 1 **ESTRATO:** 3

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	796.54	796.66	797.05
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	641.74	641.7	641.74
Masa de suelo seco	g	250.5	250	250.4
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.62	2.63	2.63

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.63**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 2 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	781.88	781.51	781.72
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	657.45	657.52	657.57
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.65	2.63	2.64

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.64**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 2 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	785.13	784.41	784.57
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	659.5	659	659
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.69	2.68	2.69

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 2 **ESTRATO:** 3

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	791.49	791.46	793.05
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	636.77	636.77	636.77
Masa de suelo seco	g	250.2	250	250.4
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.62	2.62	2.66

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.63**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 3 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	784.1	783.3	784.3
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	658.3	658.5	659.1
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.69	2.66	2.67

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 4 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	782.22	781.51	782.64
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	657.45	657.48	657.61
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.66	2.63	2.67

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.65**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **CANTERA:** 1
FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	784.6	783.7	784.8
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	658.5	658.7	659
Masa de suelo seco	g	200.1	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.70	2.67	2.70

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.69**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 5 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	784.4	784.5	784.9
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	658.9	658.6	658.8
Masa de suelo seco	g	200	200.1	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.68	2.70	2.71

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.69**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 6 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.1	782.38	782.74
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	657.47	657.44	657.45
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.69	2.66	2.68

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 6 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	779.88	779.51	779.69
Temperatura	°C	22	22	22
Masa de fiola + agua	g	657.45	657.52	657.49
Masa de suelo seco	g	200	200	200
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.58	2.56	2.57

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.57**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 6 **ESTRATO:** 3

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.10	782.38	782.74
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	657.47	657.44	657.46
Masa de suelo seco	g	200.00	200.00	200.00
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.69	2.66	2.68

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 7 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.30	782.60	782.50
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	659.00	658.80	658.70
Masa de suelo seco	g	200.80	201.10	200.00
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.62	2.60	2.62

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.62**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 7 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	784.00	783.00	785.20
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	658.90	657.00	659.00
Masa de suelo seco	g	201.10	200.60	200.00
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.64	2.69	2.71

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 7 **ESTRATO:** 3

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	782.65	781.32	782.65
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	657.56	657.50	657.45
Masa de suelo seco	g	200.50	200.00	200.40
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.66	2.62	2.66

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.65**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 8 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.80	785.10	784.90
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	659.00	659.50	659.30
Masa de suelo seco	g	200.40	200.50	200.30
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.65	2.68	2.68

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.67**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 8 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.90	783.48	783.55
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	658.14	658.26	657.94
Masa de suelo seco	g	200.35	200.10	200.25
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.68	2.67	2.68

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 8 **ESTRATO:** 3

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.40	783.70	784.90
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	658.00	658.50	659.10
Masa de suelo seco	g	200.00	200.40	200.50
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.68	2.66	2.68

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.68**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 9 **ESTRATO:** 1

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.75	784.45	783.95
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	658.75	659.40	658.95
Masa de suelo seco	g	200.75	200.05	200.25
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.65	2.67	2.66

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.66**

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS SÓLIDOS DEL SUELO (NTP 339.131)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René

UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba

CALICATA: 9 **ESTRATO:** 2

FECHA:

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

Descripción	Unidad	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Volumen de fiola a 20°C	ml	500.00	500.00	500.00
Método de Remoción de aire	-	Ebullición	Ebullición	Ebullición
Masa de fiola + agua + suelo	g	783.27	783.96	784.95
Temperatura	°C	22.00	22.00	22.00
Masa de fiola + agua	g	658.45	658.83	658.55
Masa de suelo seco	g	200.55	200.58	200.75
k (factor de corrección por temperatura)	-	0.99957	0.99957	0.99957
Gravedad Específica	-	2.65	2.66	2.70

Gravedad Específica Promedio (Tx/20°C)	**2.67**

ANEXO 7

ENSAYO DE PERMEABILIDAD

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (ASTM D2434)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRATO:** 3
FECHA:

Dexterior	76.074	cm
Dinterior	7.8	cm
Altura	91.547	cm
Área muestra	47.7836243	cm2
Volumen	4374.44745	cm3
Dbureta	0.5	cm
a	0.19634954	cm2

Donde:
a: Área de la tubería
h1: Carga Inicial
h2: Carga final
t: Tiempo
k: Permeabilidad

$$k = \frac{aL}{At} ln \frac{h1}{h2}$$

h1 (cm)	h2 (cm)	t (s)	k (cm/s)
102.7	97.8	23460	7.83908E-07
102.7	98.2	24000	7.02294E-07
102.7	97.5	24500	7.97803E-07
		Promedio	7.61335E-07 cm/s

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (ASTM D2434)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** 3
FECHA:

Dexterior	76.074	cm
Dinterior	7.8	cm
Altura	91.547	cm
Área muestra	47.7836243	cm2
Volumen	4374.44745	cm3
Dbureta	0.5	cm
a	0.19634954	cm2

Donde:
a: Área de la tubería
h1: Carga Inicial
h2: Carga final
t: Tiempo
k: Permeabilidad

$$k = \frac{aL}{At} ln \frac{h1}{h2}$$

h1 (cm)	h2 (cm)	t (s)	k (cm/s)
102.7	100	23460	4.27201E-07
102.7	99.5	24000	4.96157E-07
102.7	98.7	24500	6.09981E-07
		Promedio	5.11113E-07 cm/s

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

ENSAYO DE PERMEABILIDAD (ASTM D2434)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/ Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** 3
FECHA:

Dexterior	76.074	cm
Dinterior	7.8	cm
Altura	91.547	cm
Área muestra	47.7836243	cm2
Volumen	4374.44745	cm3
Dbureta	0.5	cm
a	0.19634954	cm2

Donde:
a: Área de la tubería
h1: Carga Inicial
h2: Carga final
t: Tiempo
k: Permeabilidad

$$k = \frac{aL}{At} ln \frac{h1}{h2}$$

h1	h2	t	k
102.7	95.2	23460	1.21596E-06
102.7	99.4	24000	5.11917E-07
102.7	97.5	24500	7.97803E-07
		Promedio	8.41895E-07 cm/s

ANEXO 8

PESO UNITARIO DE SUELOS

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 1 **ESTRADO:** todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C1 - E1	164.5	649.8	364.5	789.9	1.62	0.9996	1.62	-
C1 - E2	164.5	651.5	364.5	791.9	1.63	0.9996	1.63	-
C1 - E3	164.5	679.3	364.5	849.9	1.88	0.9996	1.88	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 2 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C2 - E1	164.5	648.7	364.5	785.2	1.60	0.9996	1.60	-
C2 - E2	164.5	651.5	364.5	791.9	1.63	0.9996	1.63	-
C2 - E3	164.5	682.2	364.5	846.4	1.82	0.9996	1.82	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 3 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C3 - E1	164.5	652.7	364.5	785.7	1.57	0.9996	1.57	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 4 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C4 - E1	164.5	649.2	364.5	793.3	1.65	0.9996	1.65	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 5 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C5 - E1	164.5	657.3	364.5	786.7	1.55	0.9996	1.55	-
C5 - E2	164.5	653.7	364.5	787.1	1.58	0.9996	1.58	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: re
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 6 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C6 - E1	164.5	657.3	364.5	786.7	1.55	0.9996	1.55	-
C6 - E2	164.5	657.5	364.5	779.9	1.51	0.9996	1.51	-
C6 - E3	164.5	657.4	364.5	788.4	1.56	0.9996	1.56	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 7 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C7 - E1	164.5	649.7	364.5	793.5	1.65	0.9996	1.65	-
C7 - E2	164.5	658.4	364.5	785.2	1.53	0.9996	1.53	-
C7 - E2	164.5	680.8	364.5	852.9	1.89	0.9996	1.89	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 8 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C8 - E1	164.5	659.3	364.5	785.7	1.53	0.9996	1.53	-
C8 - E2	164.5	656.4	364.5	782.8	1.53	0.9996	1.53	-
C8 - E3	164.5	657.2	364.5	782.1	1.52	0.9996	1.52	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS

PESO UNITARIO DE SUELOS (NTP 339.131.2014)

TÍTULO: "Zonificación y Análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam - Clay Modificado según metodología de Roscoe & Burland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022"

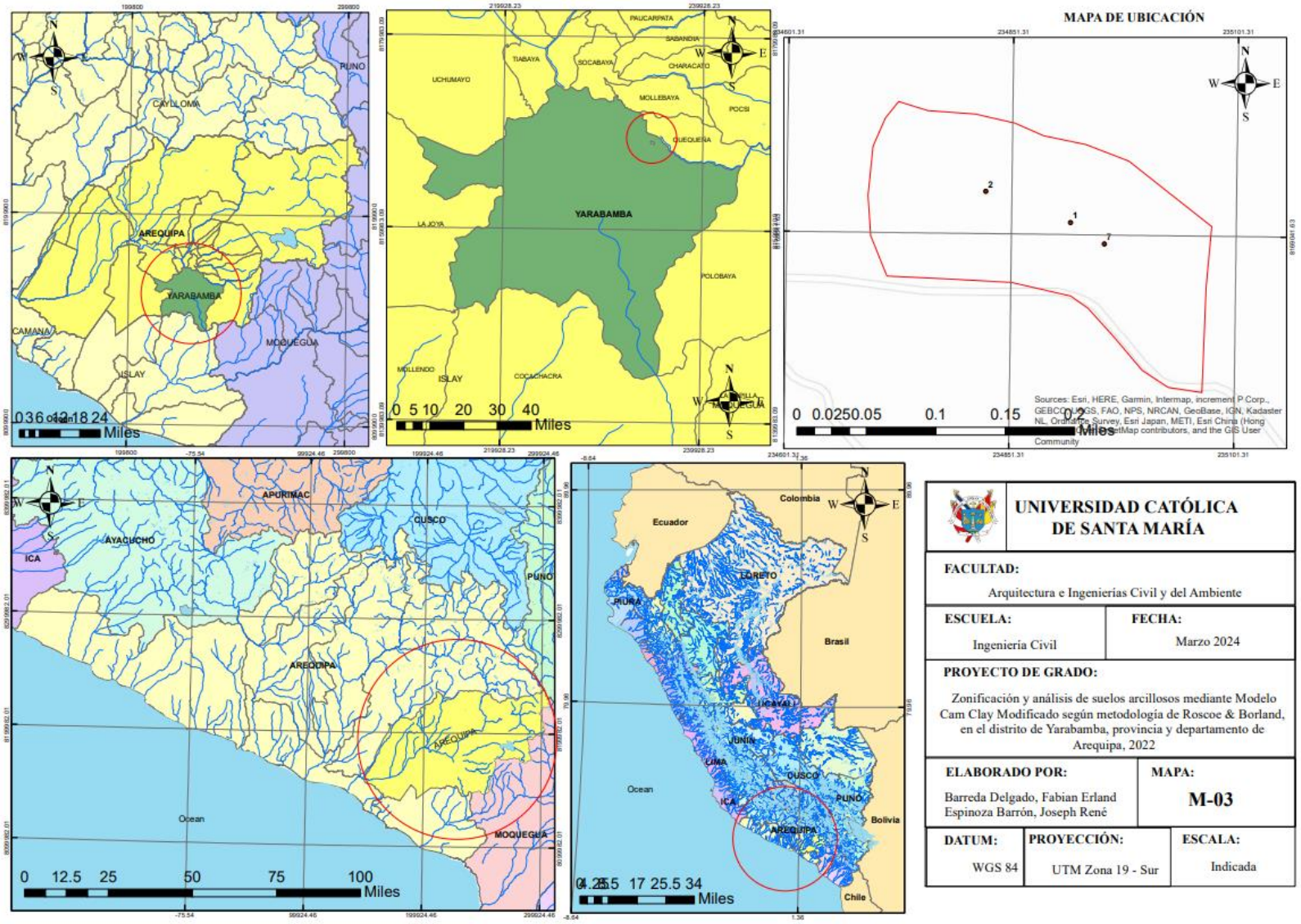
ELABORADO: Barreda Delgado, Fabian Erland/Espinoza Barrón, Joseph René
UBICACIÓN: Departamento de Arequipa, Provincia de Arequipa, Distrito de Yarabamba
CALICATA: 9 **ESTRATO:** Todos
FECHA:

Perforación o Calicata	Masa del picnómetro (gr)	Ma	Mo	Mb	Peso Específico (Tx/20°C)	Factor k (20 °C)	Peso Específico (Tx/20°C) (gr/cm3)	Peso Específico del estrato (gr/cm3)
C9 - E1	164.50	657.82	364.50	784.23	1.53	0.9996	1.53	-
C9 - E2	164.50	656.16	364.50	782.39	1.53	0.9996	1.53	-

Densidad del agua Tx20°C (g/cm3)	0.9978019
Gravedad (m/s2)	9.81010673
Peso específico del agua Tx20°C (kN/m3)	9.79
Peso específico del Agua Tx20°C (g/cm3)	0.9983020

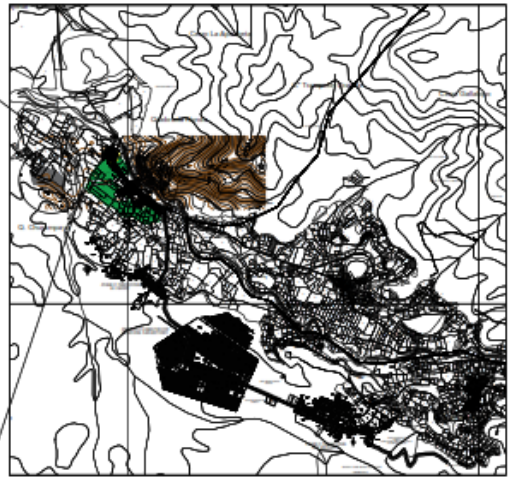
ANEXO 10

INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN PLANOS Y MAPAS



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	
FACULTAD: Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente	
ESCUELA: Ingeniería Civil	**FECHA:** Marzo 2024
PROYECTO DE GRADO: Zonificación y análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam Clay Modificado según metodología de Roscoe & Borland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022	
ELABORADO POR: Barreda Delgado, Fabian Erland Espinoza Barrón, Joseph René	**MAPA:** M-03
DATUM: WGS 84	**PROYECCIÓN:** UTM Zona 19 - Sur / **ESCALA:** Indicada





ESQUEMA DE LOCALIZACION

ESC 1/1200000

ZONIFICACIÓN : RDM-1 (ZONA RESIDENCIAL DENSIDAD MEDIA TIPO 1)

SECTOR :

DEPARTAMENTO	: AREQUIPA
PROVINCIA	: AREQUIPA
DISTRITO	: YARABAMBA
AA.HH.	:
SECTOR	: BAJO YARABAMBA
MANZANA	:
LOTE	:
SUBLOTE	: -------
PROPIETARIOS	

CUADRO NORMATIVO

PARAMETROS	RNC	PROYECTO
ZONIFICACION		
AREA DE ESTRUCTURACION URBANA		
USOS		
DENSIDAD NETA		
COEF. DE EDIFICACION		
AREA LIBRE		
ALTURA MAXIMA		
RETIRO MINIMO FRONTAL		
ESTACIONAMIENTO		

CUADRO DE AREAS (m2)

PISOS	AREAS DECLARADAS					
	Existente	Demolición	Nueva	Amp./Rem.	Parcial	Total

AREA TOTAL	72704.00 m2
AREA CEDIDA A VIA	900.58 m2
AREA DE TERRENO UTIL ACTUAL	71803.42 m2
PERIMETRO UTIL	1185.00 ml

FIRMA PROP: FIRMA Y SELLO PROY:

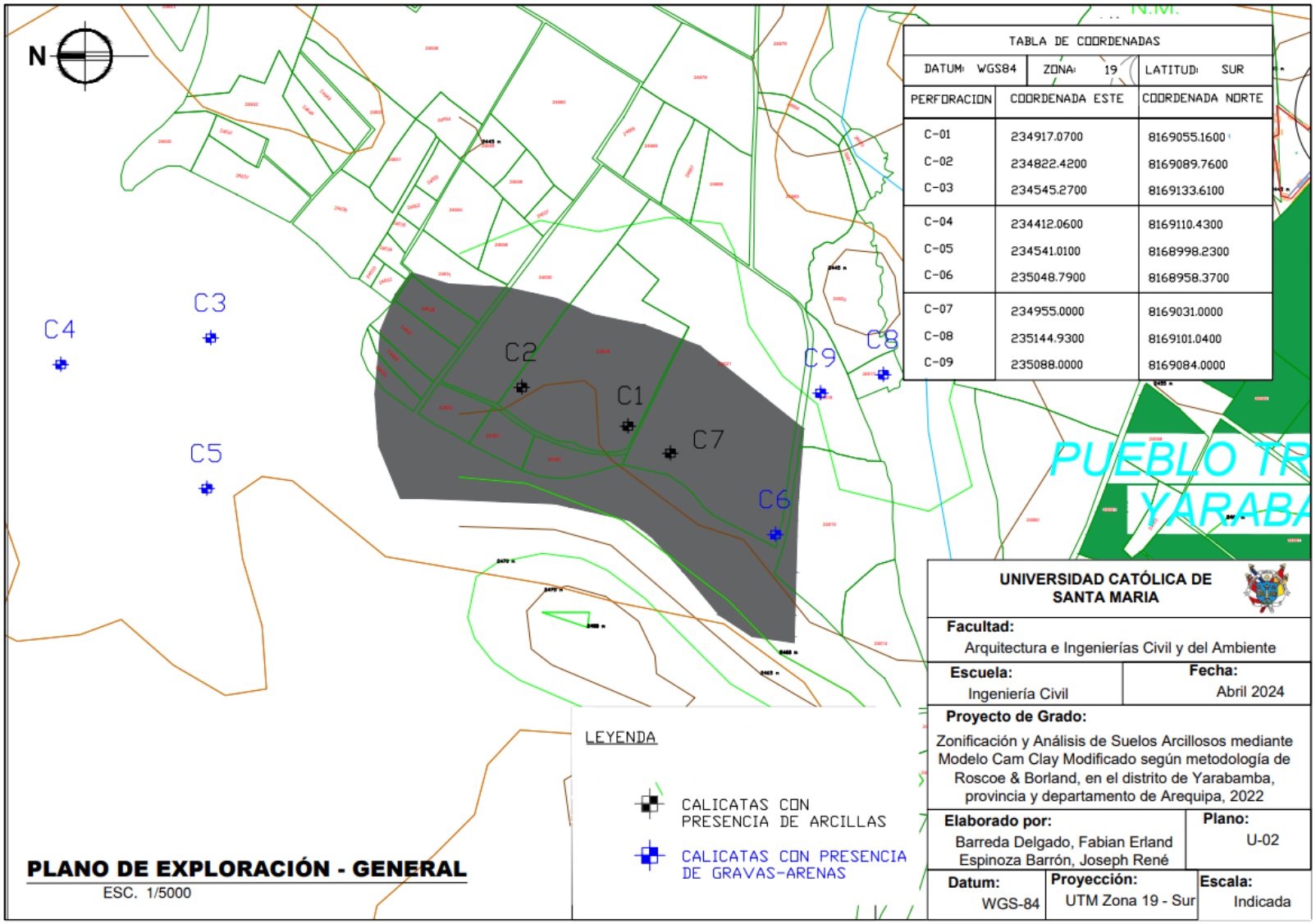
PROYECTO:

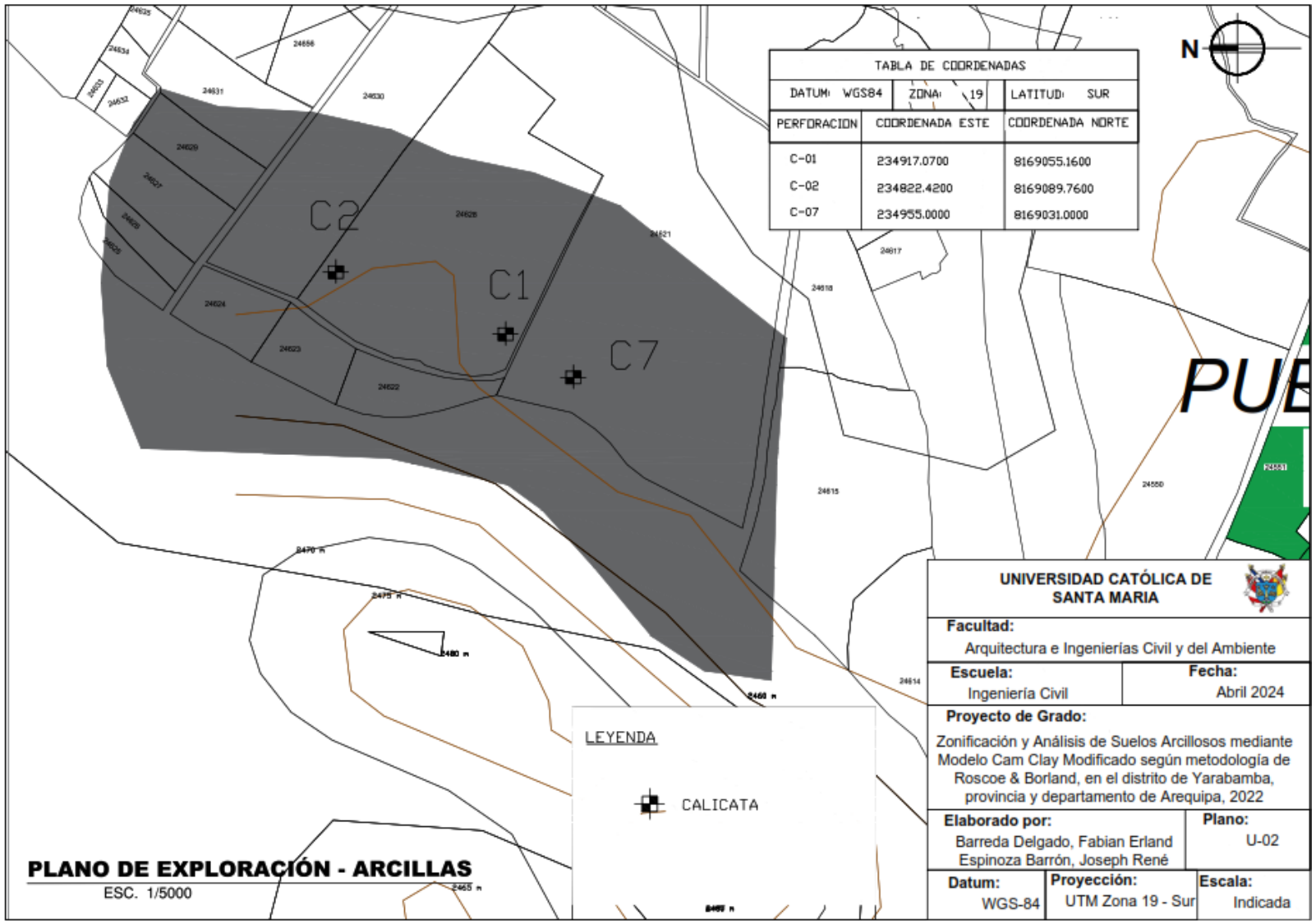
ZONIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE MODELO CAM-CLAY MODIFICADO SEGÚN METODOLOGÍA DE ROSCOE & BORLAND, EN EL DISTRITO DE YARABAMBA, PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA, 2022

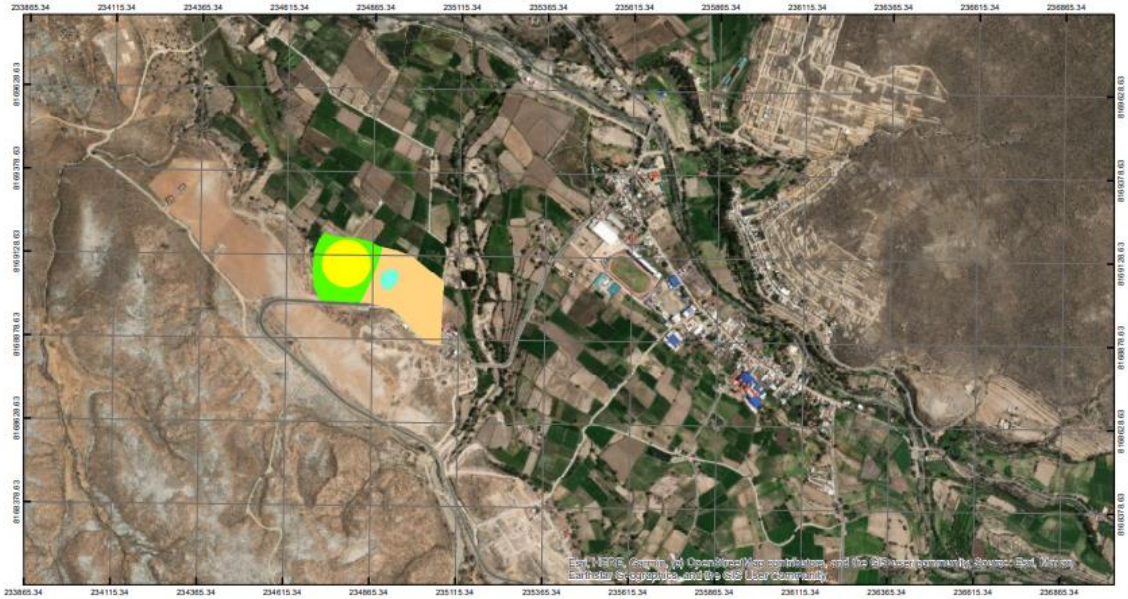
PLANO:

UBICACION Y LOCALIZACION

ESCALA	FECHA	LAMINA
INDICADA	MARZO 2024	U-01


N
C1
C2
C3
C4
C5
C6
C7
C8
C9
PUEBLO TR
YARABA
TABLA DE COORDENADAS
DATUM: WGS84 ZONA: 19 LATITUD: SUR
PERFORACION | COORDENADA ESTE | COORDENADA NORTE
C-01 234917.0700 8169055.1600
C-02 234822.4200 8169089.7600
C-03 234545.2700 8169133.6100
C-04 234412.0600 8169110.4300
C-05 234541.0100 8168998.2300
C-06 235048.7900 8168958.3700
C-07 234955.0000 8169031.0000
C-08 235144.9300 8169101.0400
C-09 235088.0000 8169084.0000
LEYENDA
CALICATAS CON PRESENCIA DE ARCILLAS
CALICATAS CON PRESENCIA DE GRAVAS-ARENAS
PLANO DE EXPLORACIÓN - GENERAL
ESC. 1/5000
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA
Facultad: Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela: Ingeniería Civil
Fecha: Abril 2024
Proyecto de Grado: Zonificación y Análisis de Suelos Arcillosos mediante Modelo Cam Clay Modificado según metodología de Roscoe & Borland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022
Elaborado por: Barreda Delgado, Fabian Erland
Espinoza Barrón, Joseph René
Plano: U-02
Datum: WGS-84
Proyección: UTM Zona 19 - Sur
Escala: Indicada


TABLA DE COORDENADAS
DATUM: WGS84 ZONA: 19 LATITUD: SUR
PERFORACION | COORDENADA ESTE | COORDENADA NORTE
C-01 | 234917.0700 | 8169055.1600
C-02 | 234822.4200 | 8169089.7600
C-07 | 234955.0000 | 8169031.0000
N
C2
C1
C7
LEYENDA
CALICATA
PLANO DE EXPLORACIÓN - ARCILLAS
ESC. 1/5000
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARIA
Facultad:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela:
Ingeniería Civil
Fecha:
Abril 2024
Proyecto de Grado:
Zonificación y Análisis de Suelos Arcillosos mediante Modelo Cam Clay Modificado según metodología de Roscoe & Borland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022
Elaborado por:
Barreda Delgado, Fabian Erland
Espinoza Barrón, Joseph René
Plano:
U-02
Datum:
WGS-84
Proyección:
UTM Zona 19 - Sur
Escala:
Indicada

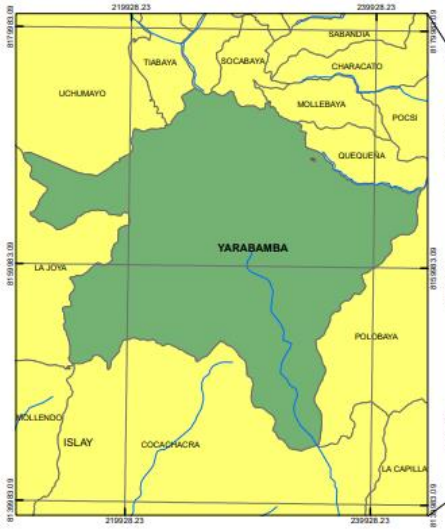


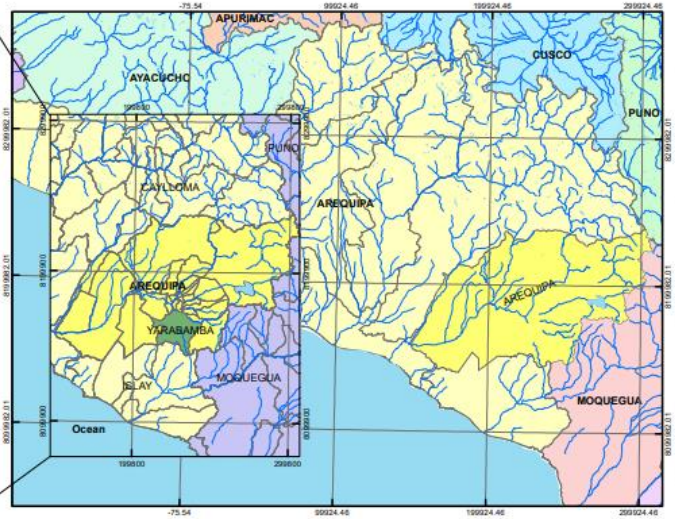
ANÁLISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE CAM CLAY MODIFICADO SEGÚN ROSCOE & BORLAND

Zonificación por parámetro de presión de poro en el momento de falla (Af)

Tipo de Suelo	Af	Símbolo
Arcillas arenosas compactadas	0.25 a 0.75	
Arcillas ligeramente sobreconsolidadas	0 a 0.5	
Gravas arcillosas compactadas	-0.25 a 0.25	
Arcillas muy sobreconsolidadas	-0.5 a 0	

Fragomeni (2018): "Valores de Coeficiente Af"





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD:
Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente

ESCUELA: Ingeniería Civil

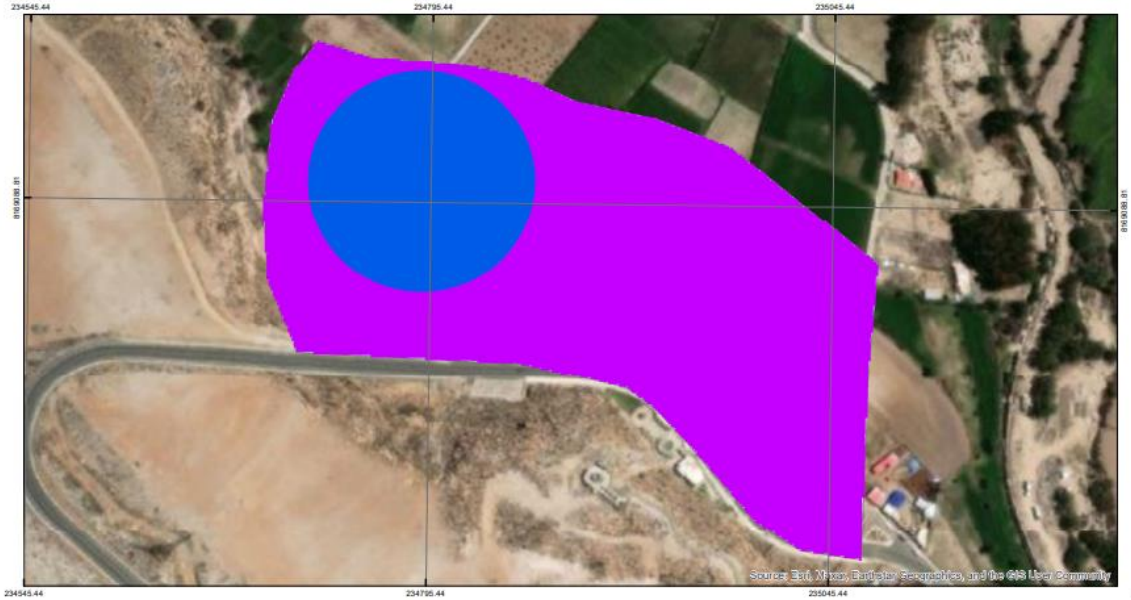
FECHA: Marzo 2024

PROYECTO DE GRADO:
Zonificación y análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam Clay Modificado según metodología de Roscoe & Borland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022

ELABORADO POR:
Barreda Delgado, Fabian Erland
Espinoza Barrón, Joseph René

MAPA: M-01

DATUM:	PROYECCIÓN:	ESCALA:
WGS 84	UTM Zona 19 - Sur	Indicada

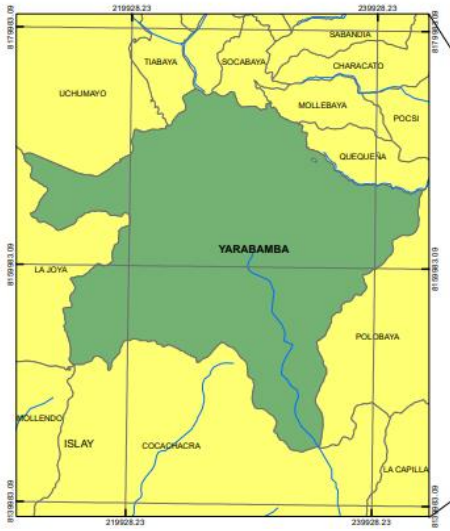


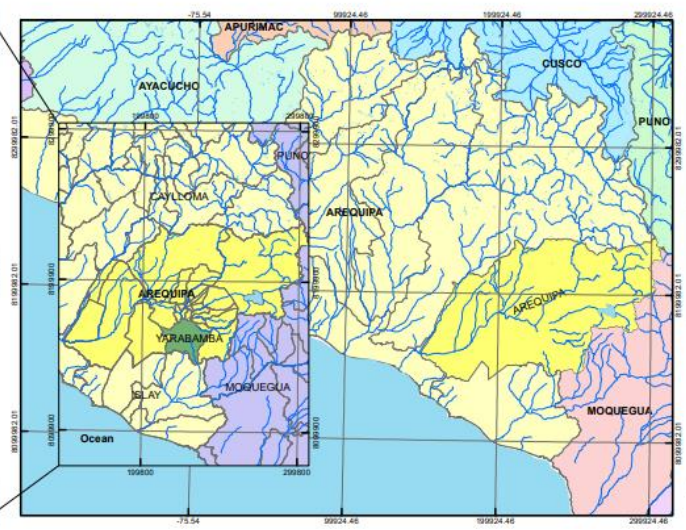
ANÁLISIS DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE CAM CLAY MODIFICADO SEGÚN ROSCOE & BORLAND

Zonificación por comportamiento según parámetro de presión de poro en el momento de falla (Af)

Tipo de Suelo	Af	Símbolo
Arcillas Contractivas	Valor Positivo	
Arcillas dilatantes	Valor Negativo	

Fragomeni (2018): "Valores de Coeficiente Af"





UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA	
FACULTAD: Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente	
ESCUELA: Ingeniería Civil	**FECHA:** Marzo 2024
PROYECTO DE GRADO: Zonificación y análisis de suelos arcillosos mediante Modelo Cam Clay Modificado según metodología de Roscoe & Borland, en el distrito de Yarabamba, provincia y departamento de Arequipa, 2022	
ELABORADO POR: Barreda Delgado, Fabian Erland Espinoza Barrón, Joseph René	**MAPA:** M-02
DATUM: WGS 84	**PROYECCIÓN:** UTM Zona 19 - Sur / **ESCALA:** Indicada

PANEL FOTOGRÁFICO



Foto Nº 01: Excavación Calicata C1



Foto Nº 02: Excavación Calicata C2



Foto Nº 03: Excavación Calicata C3



Foto Nº 04: Excavación Calicata C4



Foto Nº 05: Excavación Calicata C5



Foto Nº 06: Excavación Calicata C6



Foto Nº 07: Excavación Calicata C7



Foto Nº 08: Excavación Calicata C8



Foto Nº 09: Excavación Calicata C9



Foto Nº 10: Desarrollo del ensayo de compresión triaxial



Foto Nº 11: Verificación de presiones - ensayo de permeabilidad de carga variable



Foto Nº 12: Ensayo de sedimentación con arcillas

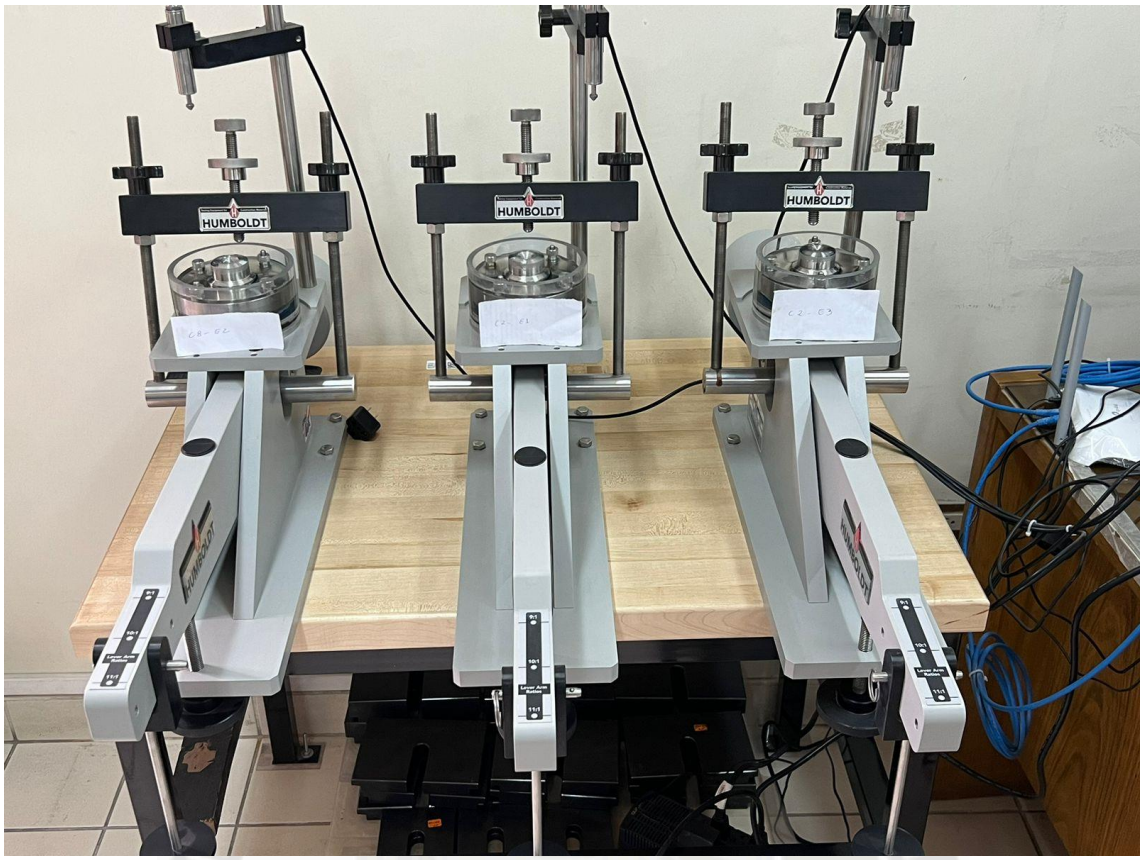


Foto Nº 13: Ensayo de consolidación unidimensional



Foto Nº 14: Muestra de arcilla – Límites de Atterberg



Foto Nº 15: Peso de muestra para ensayo de contenido de humedad



Foto Nº 16: Picnómetro + agua + suelo – Ensayo de Peso Unitario de Suelos