TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"Mejoramiento de la resistencia cortante de suelos arenosos mediante la inclusión de 2.5%, 5% y 10% de cemento portland tipo hs (mh) (r) en el distrito de Villa El Salvador"

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Presentado por:

Alcides Yoel Salinas García (0009-0006-4956-5485)

Asesor:

Gregorio Villacorta Alegría (0009-0000-8558-0531)

Lima – Perú

2026

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ANEXO 19: ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Lima, 28 de setiembre de 2026

Los integrantes del jurado de tesis
Presidente: Mag. Ing. Violeta Zarela Quevedo Porras
Miembro: Mag. Ing. Rosario Ccansaya Maldonado
Miembro: Dr. Ing. Anwar Julio Yarin Achachagua

Se reúnen para evaluar la tesis titulada:

MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARENOSOS MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE 2.5%, 5% Y 10% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS (MH) (R) EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR
con el código de registro **PRE-112-2025-00825**

Presentada por el estudiante o egresado/bachiller:
- Alcides Yoel Salinas Garcia

Para optar el Título Profesional de INGENIERO CIVIL

Asesorado por: Mag. Ing. Gregorio Villacorta Alegría

Luego de haber evaluado el informe final de tesis y evaluado el desempeño de los estudiante o egresados de la carrera de Ingeniería Civil en la sustentación, concluyen de manera unánime ( ) por mayoría simple ( ) calificar a:

Tesista: Alcides Yoel Salinas Garcia			Nota (en letras): Dieciseis
Aprobado ( )	Aprobado - Muy buena (X)	Aprobado - Sobresaliente ( )	Desaprobado ( )

Los miembros del jurado firman en señal de conformidad.

Mag. Ing. Violeta Zarela Quevedo Porras Presidente(a) del Jurado	Mag. Ing. Gregorio Villacorta Alegría Asesor(a)
Mag. Ing. Rosario Ccansaya Maldonado Miembro del Jurado	Dr. Ing. Anwar Julio Yarin Achachagua Miembro del Jurado

ANEXO: FORMATO DE DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DE INFORME FINAL DE TESIS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD DE CONTENIDO DEL INFORME FINAL DE TESIS

Lima, 06 de Octubre del 2026

Señor,
Vicerrector de Investigación
Universidad Científica del Sur
Presente. –

De nuestra consideración,

Los abajo firmantes – Alcides Yoel Salinas García, egresado del Programa académico de Ingeniería Civil de la Universidad Científica del Sur, y el asesor Gregorio Villacorta Alegría – declaramos que este informe final de tesis titulado "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARENOSOS MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE 2.5%, 5% Y 10% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS (MH) (R) EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR", que presentamos para optar el título profesional de Ingeniero Civil, es original.

En consecuencia, declaramos que el informe no contiene plagio ni total ni parcial; que, cuando se utilizó información de fuentes externas, se reconoció su autoría mediante la citación correspondiente; y que los resultados obtenidos son producto íntegro de nuestra investigación y no han sido falseados ni fabricados. Todo ello en cumplimiento del Código de ética en la Investigación, Reglamento de Disciplina de Pregrado y Posgrado, Reglamento de Propiedad Intelectual, Normas y procedimientos de los trabajos de investigación para la obtención de títulos profesionales y grados académicos [1], que afirmamos conocer en su totalidad.

Declaramos, además, que no se han utilizado herramientas de inteligencia artificial (IA), ni generativas ni de ningún otro tipo, en ninguna fase del desarrollo de la investigación ni en la redacción del informe final de tesis/trabajo de investigación. Todo el material contenido en este informe fue elaborado íntegramente por el autor, sin asistencia de herramienta alguna de IA.

Por ello, en caso de identificarse alguna situación de plagio, falsificación o fabricación de resultados, uso indebido de IA generativa o uso no declarado de IA, nos sometemos al proceso de investigación que establezca la Universidad y aceptamos las sanciones que pudieran corresponder. También declaramos conocer las normativas institucionales que regulan las sanciones aplicables en estos casos, incluido el de la compra y venta de tesis.

Firmamos en conformidad con lo declarado,



Firma tesista
DNI: 71611789



Firma del asesor de tesis
DNI: 41623888

[1] Los documentos están en: https://repositorio.cientifica.edu.pe/handle/20.500.12805/3652

INFORME DE REVISIÓN DE ORIGINALIDAD

Título del documento evaluado. Mejoramiento de la resistencia cortante de suelos arenosos mediante la inclusión de 2.5%, 5% y 10% de cemento Portland tipo HS (MH) (R) en el distrito de Villa El Salvador.

Autores. Alcides Yoel Salinas Garcia.

Mecanismo de revisión de originalidad. Evaluación con Turnitin (ID 3068422842).

Código de registro. PRE-112-2025-00825.

Resultado de la evaluación. 9%.

Revisado por. Jorge André Layza Diaz.

Comentarios sobre la revisión. Filtros usados: excluir fuentes de menos de 12 palabras.

INFORME DE ORIGINALIDAD

9%	9%	5%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	www.scribd.com Fuente de Internet	<1%
2	repositorio.ugto.mx Fuente de Internet	<1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
4	Submitted to Universidad Tecnologica de los Andes Trabajo del estudiante	<1%
5	Submitted to Universidad Industrial de Santander UIS Trabajo del estudiante	<1%
6	Submitted to Universidad Tecnologica del Peru Trabajo del estudiante	<1%
7	Submitted to Universidad Alas Peruanas Trabajo del estudiante	<1%
8	Submitted to Universidad Andina Nestor Caceres Velasquez Trabajo del estudiante	<1%
9	dspace.ueb.edu.ec Fuente de Internet	<1%
10	ri.ues.edu.sv Fuente de Internet	<1%
11	www.researchgate.net Fuente de Internet	<1%

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo, en primer lugar, a Dios, por haberme brindado la vida, la sabiduría y la fortaleza necesarias para superar cada desafío y permitirme culminar esta importante etapa de mi formación profesional. Su guía y bendición han sido fundamentales a lo largo de este camino.

A mis padres, por su amor incondicional, sacrificio y apoyo constante durante toda mi carrera universitaria. Gracias por ser mi motivación diaria, por confiar en mí y por enseñarme con su ejemplo el valor del esfuerzo, la perseverancia y la responsabilidad.

A mis hermanos, quienes me acompañaron y brindaron su apoyo en los momentos más importantes, motivándome a seguir adelante y alcanzar mis metas. Su comprensión, ánimo y confianza fueron parte fundamental para lograr este objetivo.

Finalmente, dedico este logro a mi familia, quienes han sido el pilar fundamental en mi vida y la razón principal para seguir creciendo personal y profesionalmente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

AGRADECIMIENTOS

Expreso mi más sincero agradecimiento a todas las personas que formaron parte de mi formación académica y profesional a lo largo de la carrera de Ingeniería Civil. A mi familia, por su apoyo incondicional, comprensión y motivación constante durante cada etapa de este camino, brindándome la fortaleza necesaria para superar los retos y alcanzar esta importante meta.

Asimismo, agradezco de manera especial a mi asesor de tesis, por su orientación, paciencia y valiosos aportes durante el desarrollo de esta investigación. Su experiencia y compromiso académico fueron fundamentales para la culminación satisfactoria del presente trabajo.

De igual manera, expreso mi reconocimiento a los docentes que contribuyeron a mi formación profesional, quienes, a través de sus enseñanzas, conocimientos y experiencias compartidas, fortalecieron mis competencias y despertaron el interés por la investigación en el área de la ingeniería geotécnica.

Finalmente, agradezco a todas aquellas personas que, de una u otra manera, me acompañaron durante mi formación universitaria y contribuyeron al desarrollo de esta investigación, brindándome apoyo, motivación y confianza para culminar con éxito esta etapa académica.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

INDICE GENERAL

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 10

1.1. Formulación del problema 15

1.2. Justificación 15

1.3. Antecedentes de la investigación 18

II. MARCO TEÓRICO 23

2.1. Mejoramiento de la resistencia cortante de suelos arenosos 23

2.2. Inclusión de 2.5%, 5% y 10% de cemento portland Tipo HS 33

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS 33

3.1. Objetivos 33

3.2. Hipótesis 34

IV. METODOLOGÍA 35

4.1. Variables 35

4.2. Tipo y nivel de investigación 37

4.3. Población y muestra 44

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos 47

4.5. Procedimiento de recolección de datos 48

4.6. Alcances y limitaciones 65

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS 67

VI. DISCUSIÓN 103

VII. CONCLUSIONES 110

VIII. RECOMENDACIONES 113

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 116

X. ANEXOS 124

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Índice de Figuras

Figura 1. Mapa *de microzonificación distrito de Villa El Salvador, Lima* 10

Figura 2. Resultado de ensayo geofísico MASWR-06 Villa El Salvador, Lima 13

Figura 3. Diagrama de un arreglo de prueba de corte directo (Das, 2012, p. 233) 30

Figura 4. Parámetros obtenidos en los ensayos de caracterización física. 42

Figura 5. Esquema de parámetros en ensayos de resistencia mecánica 44

Figura 6. Ubicación de zona de calicatas 46

Figura 7. Diagrama de flujo general - Programa experimental 50

Figura 8. Estratigrafía de calicatas C-1, C-2 y C-3 51

Figura 9. Procedimiento de cuarteo en un espacio limpio 52

Figura 10. Proceso de pesaje inicial y secado en horno 53

Figura 11. Tamices N° 3/8" - N°200 (incluye base) 54

Figura 12. Proceso del ensayo Proctor estándar: **(a)** preparación de muestra, **(b)** compactación, **(c)** Peso. 55

Figura 13. Mezclado de muestras suelo – cemento en porcentajes 2.5%, 5% y 10%... 56

Figura 14. Moldeo de probetas en moldes cilíndricos 57

Figura 15. Moldeo de probetas de suelo natural en moldes de divisores (molde triaxial) 58

Figura 16. Moldeo de especímenes para ensayo de CD en moldes de 6 cm × 6 cm × 2.5 cm. 59

Figura 17. Proceso: **a)** Desmoldeo, **b)** reposo y **c)** colocación de especímenes en la máquina de ensayo de compresión simple. 61

Figura 18. Evaluación del comportamiento del suelo SP mediante aplicación de carga constante y observación de la falla. 62

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 19. Ensayo de compresión simple (Qu) y modo de falla de especímenes con 2.5 %, ... 63

Figura 20 Identificación de especímenes para el ensayo de corte directo. 64

Figura 21. Ejecución del ensayo de corte directo y registro de resultados mediante software. 65

Figura 22. Curvas granulométricas de calicatas 69

Figura 23. Curvas de compactación Proctor estándar para las mezclas con cemento Tipo HS (MH) (R). 72

Figura 24. Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – Suelo Natural 76

Figura 25. Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – 2.5 % de cemento tipo HS (MH) (R) 77

Figura 26. Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – 5 % de cemento tipo HS (MH) (R) 78

Figura 27. Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – 10 % de cemento tipo HS (MH) (R) 80

Figura 28. Envolvente de falla suelo (SP) – Suelo Natural 82

Figura 29. Envolvente de falla suelo (SP) – 2.5 % de cemento tipo HS (MH) (R)..... 83

Figura 30. Envolvente de falla suelo (SP) – 5 % de cemento tipo HS (MH) (R)..... 84

Figura 31. Envolvente de falla suelo (SP) – 10 % de cemento tipo HS (MH) (R)..... 85

Figura 32. Comparaciones de resistencia axial entre diferentes porcentajes. 91

Figura 33. Análisis comparativo de resultados de compresión simple. 95

Figura 34. Modelo de predicción de compresión simple 97

Figura 35. Modelo de predicción de cohesión 100

Figura 36. Modelo de predicción de ángulo de fricción..... 102

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Índice de Tablas

Tabla 1. Leyenda de microzonificación geotécnica, distrito de Villa El Salvador, Lima 11

Tabla 2. Características estratigráficas de calicatas seleccionadas en la zona IV de Villa El Salvador 12

Tabla 3. Caracterización de resultados de ensayos SPT seleccionados en la zona IV de Villa El Salvador 13

Tabla 4. Comparación de antecedentes internacionales y nacionales con la presente investigación 22

Tabla 5. Clasificación de suelos por tamaño de partículas según la NTP 339.128:201428

Tabla 6. Programa experimental en ensayos de resistencia mecánica 39

Tabla 7. Número mínimo de calicatas según el área del terreno 46

Tabla 8. Resultados del análisis granulométrico y clasificación SUCS de muestras por calicatas 70

Tabla 9. Determinación del contenido de humedad del suelo natural 71

Tabla 10. Resultados del ensayo Proctor estándar para suelos arenosos con adición de cemento Tipo HS (MH) (R) 73

Tabla 11. Valores de cohesión y ángulo de fricción interna 86

Tabla 12. Compresión simple en suelo natural (SP) – 14 días 87

Tabla 13. Compresión simple con 2.5%, 5% Y 10% de Cemento HS (MH) (R) – 14 días. 88

Tabla 14. Compresión simple con 2.5%, 5% Y 10% de Cemento HS (MH) (R) – 21 días 90

Tabla 15. Compresión simple con 2.5%, 5% Y 10% de Cemento HS (MH) (R) – 28 días 94

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Índice de Anexos

Anexo 1. Carta de validación de envío del proyecto de tesis Universidad Científica del Sur..... 124

Anexo 2. Matriz de consistencia 125

Anexo 3. Esquema AQP -CCA..... 125

Anexo 4. Ficha de granulometría por tamizado calicata C - 1 126

Anexo 5. Ficha de granulometría por tamizado calicata C – 2..... 127

Anexo 6. Ficha de granulometría por tamizado calicata C – 3..... 128

Anexo 7. Ficha de contenido de humedad natural..... 129

Anexo 8. Ficha de ensayo Proctor estándar – 0% de cemento portland tipo HS 130

Anexo 9. Ficha de ensayo Proctor estándar – 2.5% de cemento portland tipo HS 131

Anexo 10. Ficha de ensayo Proctor estándar – 5% de cemento portland tipo HS 131

Anexo 11. Ficha de ensayo Proctor estándar – 10% de cemento portland tipo HS 132

Anexo 12. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (0% cemento HS (MH) (R)) 133

Anexo 13. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (2.5% cemento HS (MH) (R)) 141

Anexo 14. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (5% cemento HS (MH) (R)) 148

Anexo 15. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (10% cemento HS (MH) (R)) 155

Anexo 16. Ficha de compresión simple no confinada..... 162

Anexo 17. Ubicación de sondajes, Villa el Salvador, octubre – 2022, (Riveros Soto, 2022)..... 164

Anexo 18. Perfil estratigráfico de calicatas cr – 16 y cr - 36, (Riveros Soto, 2022).... 165

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 19. Perfil estratigráfico de sptr, sptr – 20, sptr -21 y sptr – 22, (Riveros Soto, 2022). 167

Anexo 20. Ubicación de perfiles sísmicos, octubre del 2022, Villa el Salvador, (Riveros Soto, 2022). 170

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

RESUMEN

La presente investigación aborda la problemática de los suelos arenosos predominantes en el distrito de Villa El Salvador, Lima, los cuales presentan baja resistencia cortante, alta compresibilidad y escasa cohesión, generando dificultades en el diseño de cimentaciones y aumentando la vulnerabilidad estructural de las edificaciones. En este contexto, el propósito fue evaluar la influencia de la adición de cemento Portland Tipo HS en proporciones de 2.5 %, 5 % y 10 %, así como del tiempo de curado, sobre la resistencia cortante y el comportamiento mecánico de suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador, además de desarrollar modelos de predicción para estimar la resistencia a compresión simple y los parámetros de resistencia al corte. La metodología correspondió a una investigación aplicada de enfoque cuantitativo y diseño experimental, realizándose ensayos de caracterización física, granulometría, contenido de humedad y compactación Proctor estándar, así como ensayos de corte directo y compresión simple a 14, 21 y 28 días, sobre 41 muestras obtenidas de calicatas ubicadas en la zona de Lomo de Corvina. Los resultados mostraron que el suelo natural corresponde a una arena mal gradada (SP), con bajo contenido de humedad promedio de 1.51 % y baja densidad seca máxima de 1.19 g/cm³, evidenciando su limitada capacidad resistente; sin embargo, la adición de cemento incrementó significativamente la resistencia cortante, donde la cohesión aumentó de 2.06 kPa hasta 39.78 kPa y el ángulo de fricción interna de 18° a 39.18°. Asimismo, la resistencia a la compresión simple aumentó hasta 51.08 kg/cm² con 10 % de cemento a 28 días. Además, se desarrollaron modelos de predicción con coeficientes de determinación superiores a 0.99. Se concluye que la estabilización con cemento Portland Tipo HS mejora significativamente la resistencia mecánica del suelo arenoso, constituyendo una alternativa técnica viable y eficiente para su aplicación en suelos similares de Villa El Salvador.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Palabras clave: Estabilización del suelo, Resistencia al corte, Resistencia a la compresión no confinada, Suelo arenoso, Cemento Portland tipo Hs, Modelos predictivos.

ABSTRACT

This research addresses the problem of sandy soils predominant in the district of Villa El Salvador, Lima, which present low shear strength, high compressibility, and low cohesion, generating difficulties in foundation design and increasing structural vulnerability. The objective was to evaluate the influence of Portland Type HS cement addition at 2.5%, 5%, and 10%, as well as curing time, on the shear strength and mechanical behavior of sandy soils from Zone IV of Villa El Salvador, and to develop prediction models for unconfined compressive strength and shear strength parameters. The methodology followed a quantitative applied research with experimental design, including physical characterization tests such as grain size distribution, moisture content, and Standard Proctor compaction, as well as direct shear and unconfined compression tests at 14, 21, and 28 days, using 41 samples obtained from test pits located in the Lomo de Corvina area. Results showed that the natural soil corresponds to poorly graded sand (SP) with low strength; however, cement addition significantly increased shear strength, with cohesion increasing from 2.06 kPa to 39.78 kPa and friction angle from 18° to 39.18°. Likewise, unconfined compressive strength increased up to 51.08 kg/cm² with 10% cement at 28 days. Additionally, prediction models with coefficients of determination greater than 0.99 were developed. It is concluded that stabilization with Portland Type HS cement significantly improves the mechanical strength of sandy soils, representing a viable and efficient technical alternative for similar soils in Villa El Salvador. **Keywords:** Soil stabilization, Shear Strength, Unconfined Compressive Strength, Sandy soil, Type Hs Portland Cement, Predictive models.

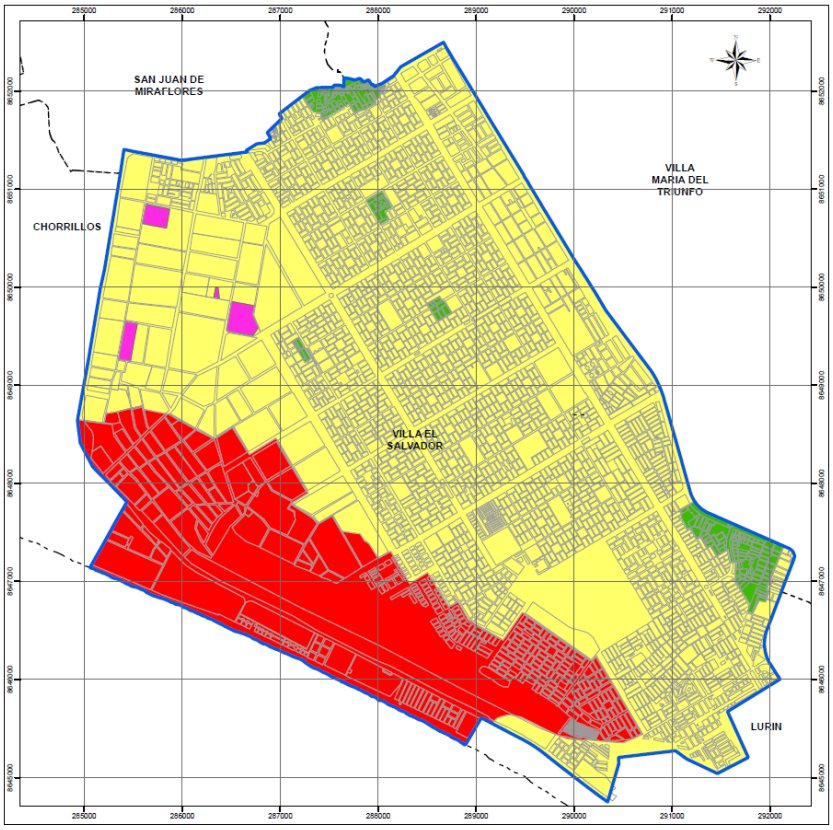
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En diversas zonas de Lima Metropolitana, particularmente en distritos como Villa El Salvador, los suelos arenosos constituyen un desafío significativo para la seguridad estructural. Estudios iniciales (INDECI, 2010; CISMID, 2011) señalaron que estos suelos presentan baja resistencia cortante y alta compresibilidad, condiciones que dificultan el diseño de cimentaciones y aumentan el riesgo de fallas en edificaciones. Estas características limitan el desarrollo urbano seguro y sostenible en sectores residenciales, industriales y de servicios.

Figura 1

Mapa *de microzonificación distrito de Villa El Salvador, Lima*



Nota. (Riveros Soto, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 1

Leyenda de microzonificación geotécnica, distrito de Villa El Salvador, Lima

ZONA	DESCRIPCIÓN	AREA (Ha)	AREA (%)
ZONA I:	Zonas de afloramiento de roca con diferentes grados de fracturación y depósitos de gravas de compacidad media a densa.	74.31	2.19
ZONA II:	Depósitos de arenas limosas de compacidad media a densa, con espesores profundos.	2512.31	74.05
ZONA IV:	Depósitos de arenas eólicas de compacidad suelta a media con espesores profundos.	787.71	23.22
ZONA V:	Rellenos no controlados.	18.34	0.54
	Total:	3392.67	100.00

Nota. (Riveros Soto, 2022).

En el marco de la microzonificación geotécnica, (Riveros Soto, 2022; CISMID, 2011) delimitaron el distrito en varias zonas geotécnicas, destacando la Zona IV, correspondiente al Lomo de Corvina y playas adyacentes, Ver **Figura N° 01.** Esta área se caracteriza por suelos sueltos, baja rigidez y condiciones desfavorables frente a movimientos sísmicos. La interacción entre estas propiedades y la amenaza sísmica de Lima convierte a la zona en un sector crítico donde se requiere la implementación de técnicas de mejoramiento de suelos. Estudios geotécnicos más recientes confirman la presencia predominante de arenas mal gradadas y sueltas, que condicionan una alta vulnerabilidad sísmica. Riveros Soto (2022) reportó, a través de calicatas y ensayos SPT distribuidos en gran parte de dicho distrito, que la caracterización de exploraciones realizadas mayormente son arenas mal gradadas (SP).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Con la finalidad de presentar de manera más clara los resultados de algunas exploraciones realizadas en la zona IV de Villa El Salvador cerca al sitio de estudio actual, se resumen en la **Tabla N° 01** las principales características estratigráficas y geotécnicas obtenidas de las calicatas CR-36 y CR-16, así como en la **Tabla N° 02** se presenta la caracterización estratigráfica de los ensayos SPT SPTR-20, SPTR-21 y SPTR-22. Esta sistematización permite identificar la prevalencia de arenas mal gradadas con bajo contenido de finos, presencia de rellenos superficiales y niveles freáticos someros, condiciones que refuerzan la necesidad de considerar técnicas de estabilización del suelo para mejorar su comportamiento estructural. A fin de complementar esta caracterización, se utilizaron resultados de estudios geofísicos cercanos, entre ellos el MASWR-06, que refuerzan la clasificación del subsuelo de la zona IV como depósitos de arena poco competentes ante solicitaciones dinámicas.

Tabla 2

Características estratigráficas de calicatas seleccionadas en la zona IV de Villa El Salvador

Calicata	Estrato (m)	Clasificación SUCS	Observaciones
CR-16	0.0 – 14.0	SP (Arena pobremente gradada)	Sin nivel freático
	14.0 – 15.0	SP (Arena pobremente gradada)	—
	15.0 – 16.0	SP (Arena pobremente gradada)	—
CR-36	0.0 – 0.8	Relleno / Arena fina a gruesa	Nivel freático a 2.0 m
	0.8 – 2.5	SP (Arena fina mal gradada)	—

Nota. Adaptado de Microzonificación sísmica del distrito de Villa El Salvador (Riveros Soto, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 3

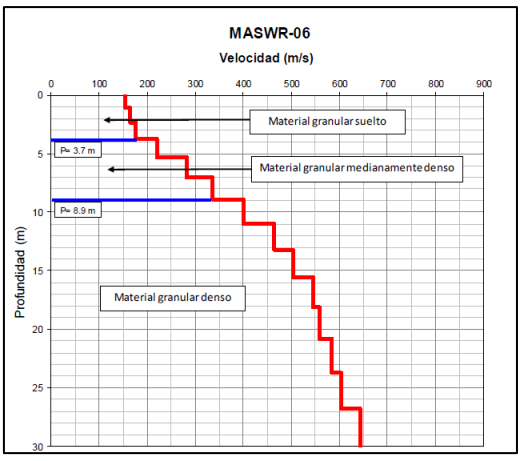
Caracterización de resultados de ensayos SPT seleccionados en la zona IV de Villa El Salvador

Ensayo	Estrato (m)	Clasificación SUCS
SPTR-20	0.0 – 0.5	Relleno / Arena fina contaminada
	0.5 – 1.0	SP-SM
	1.0 – 3.0	SM
	3.0 – 4.5	SP-SM
SPTR-21	0.0 – 1.0	SP-SM
	1.0 – 3.0	SM
	3.0 – 4.0	SP-SM
SPTR-22	0.0 – 2.0	SP
	2.0 – 5.5	SP

Nota. Adaptado del anexo 19, donde se describe la estratigrafía mediante un estudio de microzonificación sísmica del distrito de Villa El Salvador (Riveros Soto, 2022).

Figura 2

Resultado de ensayo geofísico MASWR-06 Villa El Salvador, Lima



Nota. Adaptado de Microzonificación sísmica del distrito de Villa El Salvador (Riveros Soto, 2022).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Estos valores reflejan condiciones del subsuelo poco favorables, y permiten inferir que las propiedades físico-mecánicas del suelo como la resistencia al corte, compresión vertical y la rigidez son bajas, lo que compromete su comportamiento ante cargas estructurales si no se implementan medidas de mejora. Asimismo, diversos estudios geotécnicos realizados en Villa El Salvador reportan que los depósitos arenosos de la zona presentan ángulos de fricción interna comprendidos generalmente entre 26° y 30°, valores asociados a arenas de compacidad media a densa (Paredes, 2019; Riveros Soto, 2022). Sin embargo, en sectores donde predominan arenas sueltas, la resistencia movilizada por fricción puede disminuir significativamente debido al menor grado de interbloqueo entre partículas. Dado que el ángulo de fricción interna constituye uno de los principales parámetros que controlan la resistencia al corte de los suelos granulares, resulta de interés evaluar el efecto de la estabilización con cemento Portland tipo HS sobre este parámetro, así como sobre la cohesión efectiva, con el propósito de determinar el grado de mejoramiento mecánico que puede alcanzarse en los suelos arenosos de la zona de estudio.

En este contexto, la estabilización de suelos arenosos mediante la adición de cemento surge como una alternativa técnica viable. Este procedimiento mejora la resistencia cortante, reduce la deformabilidad y aumenta la rigidez del material, contribuyendo a garantizar la seguridad estructural de las edificaciones. Así, la necesidad de estabilización se justifica no solo por las limitaciones geotécnicas actuales, sino también por el alto nivel de riesgo sísmico que enfrenta Villa El Salvador, según lo señalado en los planes de microzonificación más recientes (CISMID, 2011). La investigación permitirá mejorar los parámetros de resistencia

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

al corte del suelo, contribuyendo al conocimiento del comportamiento mecánico de suelos arenosos estabilizados con cemento.

1.1. Formulación del problema

Problema general

¿Cómo influye la adición de diferentes proporciones de cemento Tipo HS (2.5%, 5% y 10%) y el tiempo de curado en la resistencia cortante y el comportamiento mecánico de los suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador?

Problemas específicos

- ✓ ¿De qué manera varían los parámetros de resistencia cortante (cohesión y ángulo de fricción interna) de los suelos arenosos estabilizados con cemento Tipo HS, en función del contenido de cemento, mediante ensayos de corte directo?
- ✓ ¿Cómo varía la resistencia a la compresión simple de los suelos arenosos estabilizados con cemento Tipo HS, considerando distintos porcentajes y tiempos de curado.
- ✓ ¿De qué manera pueden establecerse modelos de predicción de la resistencia a compresión simple (q_u) y los parámetros de resistencia al corte (c' y ϕ') en función del contenido de cemento, para su predicción en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o de características similares?

1.2. Justificación

a. Justificación técnica

Según el Programa de Gestión Territorial del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS, 2010), el distrito de Villa El Salvador,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

especialmente la Zona IV, presenta depósitos conformados predominantemente por arenas eólicas sueltas y sedimentos marinos. Debido a su baja cohesión y limitada resistencia al corte en estado natural, estos materiales presentan condiciones geotécnicas que pueden restringir su desempeño mecánico frente a la aplicación de cargas. Ante esta situación, la estabilización de suelos mediante agentes cementantes constituye una alternativa técnica ampliamente empleada para mejorar las propiedades resistentes de los materiales granulares.

En este contexto, el cemento Portland tipo HS adquiere especial importancia debido a su elevada resistencia al ataque de sulfatos y su capacidad para generar compuestos cementantes que favorecen la unión entre partículas del suelo (NPCA, 2020). Sin embargo, en el ámbito local existe una limitada cantidad de investigaciones experimentales orientadas a evaluar la influencia de diferentes porcentajes de cemento Portland tipo HS sobre la resistencia cortante de los suelos arenosos de Villa El Salvador. Por ello, la presente investigación busca generar información técnica que contribuya al conocimiento del comportamiento mecánico de estos suelos estabilizados, mediante la evaluación de los parámetros de cohesión efectiva y ángulo de fricción interna obtenidos a través de ensayos de corte directo.

b. Justificación social

La población de Villa El Salvador se encuentra asentada sobre depósitos predominantemente arenosos, cuyas características geotécnicas influyen directamente en el comportamiento mecánico del terreno frente a las cargas transmitidas por las estructuras. En este contexto, resulta necesario generar conocimiento técnico sobre alternativas de estabilización que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

contribuyan a mejorar las propiedades resistentes del suelo. El presente estudio aporta evidencia experimental sobre el efecto de la adición de cemento Portland tipo HS en la resistencia cortante de los suelos arenosos, proporcionando información útil para profesionales, investigadores y entidades vinculadas al sector construcción. Asimismo, los resultados obtenidos contribuirán a una mejor comprensión del comportamiento geotécnico de los suelos estabilizados, favoreciendo la toma de decisiones técnicas en futuros proyectos de infraestructura y edificación en zonas con características similares.

c. Justificación económica

La estabilización de suelos arenosos mediante la incorporación de cemento Portland tipo HS constituye una alternativa técnicamente viable para mejorar las propiedades mecánicas del suelo. La determinación experimental del comportamiento de mezclas con diferentes porcentajes de cemento permitirá identificar el contenido más adecuado para incrementar la resistencia cortante, evitando el uso excesivo de material estabilizante. En este sentido, los resultados de la investigación podrán servir como referencia técnica para futuros estudios y proyectos que requieran optimizar el uso de cemento en procesos de estabilización de suelos.

Asimismo, el conocimiento generado contribuirá a una mejor selección de dosificaciones en aplicaciones geotécnicas similares, favoreciendo el uso eficiente de los recursos y proporcionando información útil para la toma de decisiones en proyectos de ingeniería civil desarrollados sobre suelos arenosos.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

1.3. Antecedentes de la investigación

a. Internacionales

El-Hanafy y AbdelAziz (2021) evaluaron la eficacia de la mezcla de arena con cemento bajo cimentaciones tipo strip footing. Utilizaron porcentajes de cemento del 3%, 5%, 7%, 10% y 15% en peso seco, y realizaron ensayos de compactación y corte directo para analizar cohesión, fricción interna y módulo de Young. Aunque el 15% aplicado es mayor que los de la presente investigación (2.5%, 5% y 10%), existe similitud metodológica en el uso de ensayos de corte directo y en la búsqueda de la mejora de la resistencia y rigidez del suelo.

Rohmatun, Suparma, Rifa'i y Rochmadi (2024) estudiaron suelos arenosos-limosos estabilizados con 3%, 5%, 8% y 10% de cemento, considerando diferentes pH del agua de remojo y tiempos de curado de 3, 7, 14 y 28 días. Se aplicó principalmente el ensayo de compresión no confinada (UCS). En este caso, la similitud con el presente trabajo radica en el uso de UCS y en la inclusión de porcentajes de 5% y 10%, lo que aporta un contraste interesante en la búsqueda de mejoras con adiciones similares de cemento aplicado a suelos arenosos de Villa el Salvador.

En un programa experimental realizado por Salunkhe, Adethya, Gobinath, Prasanth y Karthikeyan (2022) realizaron ensayos de compresión no confinada y corte directo en suelos arenosos con porcentajes de 1%, 2% y 3% de cemento Portland, considerando tiempos de curado de 7 y 21 días. Este antecedente guarda una relación directa con la presente investigación, tanto en la metodología (ensayos UCS y corte directo), como en la tendencia del resultado entre 2% y 3% lo cual permite establecer un marco comparativo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

sólido respecto a la influencia del contenido de cemento y el tiempo de curado en la resistencia mecánica de los suelos arenosos.

La investigación de Jafary Shalkoohy, Fallah y Eshghi (2025) evidenció que la sustitución parcial del cemento por zeolita, en combinación con fibras de acero, constituye una alternativa sostenible y eficiente para mejorar las propiedades mecánicas de suelos arenosos. Los ensayos de compresión simple y de flexión mostraron que reemplazar un 25% del cemento por zeolita incrementa notablemente la resistencia a la compresión y la ductilidad del material, mientras que la adición de fibras de acero contribuye a una mayor deformabilidad sin pérdida de estabilidad. De este modo, se concluyó que el uso de aditivos minerales y fibras constituye un enfoque viable para reforzar suelos cementados, tanto en términos estructurales como ambientales.

Por otra parte, en un estudio orientado al comportamiento de suelos tratados con cemento, Nguyen et al. (2023) analizaron la resistencia cortante e interfase bajo condiciones drenadas y consolidadas en suelos de alta plasticidad. Los resultados demostraron que un incremento en el contenido de cemento (entre 3% y 10%) genera un aumento sustancial de la resistencia al corte, alcanzando una mejora promedio de hasta 2,4 veces después de 28 días de curado. Además, se propusieron modelos empíricos capaces de predecir el desarrollo de la resistencia en función de la relación agua/cemento y el tiempo de curado, aportando herramientas útiles para la ingeniería geotécnica en el diseño de estructuras cimentadas sobre suelos tratados.

Finalmente, de manera complementaria, Park, Woo y Nguyen (2025) presentaron un enfoque innovador para la determinación de parámetros de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

resistencia en arenas cementadas, integrando ensayos de compresión simple con tecnología de visión por cámara. Este método permitió estimar parámetros como cohesión e índice de fricción interna de forma más eficiente y confiable en comparación con los tradicionales ensayos triaxiales. Los resultados confirmaron que la resistencia y rigidez del suelo cementado dependen en gran medida del índice de vacíos, pero mantienen estabilidad en el ángulo de fricción. De este modo, se valida que los métodos simplificados pueden constituir alternativas viables para caracterizar la resistencia cortante de suelos arenosos cementados, asegurando precisión y reduciendo los costos de laboratorio.

En los antecedentes internacionales, los estudios se enfocan en ensayos de corte directo y compresión no confinada (UCS). Por ejemplo, El-Hanafy y AbdelAziz (2021) emplearon compactación y corte directo, mientras que Rohmatun et al. (2024) aplicaron principalmente UCS en suelos arenosos-limosos. En contraste, Salunkhe et al. (2022) utilizaron tanto UCS como corte directo en arena con adiciones bajas de cemento (1-3%), lo que se asemeja directamente a la presente investigación.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

b. Nacionales

En el ámbito peruano, Dávila (2021) analizó suelos arenosos estabilizados con cemento Portland en proporciones de 1%, 2% y 3%. Los resultados mostraron incrementos significativos en el valor de soporte (CBR), con aumentos de 34.39%, 43.54% y 50.80%, respectivamente. Este estudio es directamente comparable con la presente investigación, ya que se emplean porcentajes de adición entre los (2% y 3%) y se orienta a la mejora del comportamiento mecánico de los suelos.

Por otro lado, Jave Heras y Sánchez Ramos (2023) evaluaron suelos arcillosos, arenosos y afirmados, aplicando 3% y 6% de cemento, y utilizando ensayos de UCS y CBR. Determinaron que el 6% de adición fue óptimo para cumplir con la normativa del MTC. A diferencia de la presente investigación, los porcentajes son mayores, aunque existe similitud en la metodología experimental y en la evaluación de la resistencia a compresión.

En los antecedentes nacionales, se evidencia un predominio del ensayo UCS y CBR. Dávila (2021) empleó CBR en suelos arenosos estabilizados con 1%, 2% y 3% de cemento, mientras que Jave Heras y Sánchez Ramos (2023) realizaron ensayos de UCS y CBR en suelos de diferente naturaleza (arcilla, arena y afirmado) con 3% y 6% de cemento. Por lo tanto, la diferencia metodológica central es que los estudios nacionales se enfocan en UCS y CBR, mientras que los internacionales incluyen con mayor frecuencia el corte directo además del UCS.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 4

Comparación de antecedentes internacionales y nacionales con la presente investigación

Criterio	Internacionales	Nacionales	Estudio experimental
Porcentajes de cemento	Rangos amplios: 1% - 15%. - **El-Hanafy & AbdelAziz (2021):** 3%, 5%, 7%, 10%, 15%. - **Rohmatun et al. (2024):** 3%, 5%, 8%, 10%. - Salunkhe et al. (2022): 1%, 2%, 3%, directamente comparables.	Valores entre 1%-6%. - **Dávila (2021):** 1%, 2%, 3%, coinciden con este estudio. - **Jave Heras & Sánchez Ramos (2023):** 3% y 6%, superiores a los aplicados aquí.	Se emplean 2.5 %, 5% y 10%, valores intermedios dentro de los rangos explorados internacional y nacionalmente.
Tiempos de curado	Rangos amplios. - **Rohmatun et al. (2024):** 3, 7, 14 y 28 días. - **Salunkhe et al. (2022):** 7 y 21 días.	Más limitados. - **Jave Heras & Sánchez Ramos (2023):** típicamente 7 días, acorde a normativa peruana. - **Dávila (2021**) prioriza la evaluación inicial sin detallar intervalos extendidos.	Se sigue tendencia de curados controlados en intervalos específicos, más cercano a Salunkhe et al. (2022).
Ensayos empleados	Ensayos de Corte directo, compactación y UCS. **El-Hanafy & AbdelAziz (2021)** (compactación y corte directo). - **Rohmatun et al. (2024)** (UCS). - **Salunkhe et al. (2022)** (UCS y corte directo).	Predominio de UCS y CBR. - **Dávila (2021):** CBR. - Jave **Heras & Sánchez Ramos (2023):** UCS y CBR.	Se aplican Q_u y corte directo y compresión triaxial, metodología vinculada directamente con Salunkhe et al. (2022); además; el ensayo de compresión triaxial (CD), es la diferencia frente a los estudios citados.

Nota. La tabla muestras las comparaciones entre los antecedentes (internacionales y naciones) y como estos se relacionan con el estudio experimental.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Mejoramiento de la resistencia cortante de suelos arenosos

a. Suelo

Los suelos pueden entenderse, en términos de ingeniería geotécnica, como un agregado no consolidado de partículas minerales y materia orgánica en descomposición, que ocupa el espacio con fases líquidas (agua) y gaseosas (aire). Esta configuración trifásica es fundamental, ya que las interacciones entre sólidos, líquidos y gases dan lugar a las propiedades mecánicas esenciales del suelo, tales como su permeabilidad, compresibilidad, densidad y resistencia al corte. En proyectos de ingeniería, comprender estas características es crucial para diseñar cimentaciones, estructuras de contención, terraplenes y otros elementos constructivos (Das & Sobhan, 2018).

b. Suelo arenoso

Los suelos arenosos son aquellos con una alta proporción de partículas de arena, lo que les otorga una estructura suelta, baja cohesión y gran porosidad. Estas características hacen que el agua infiltre rápidamente, pero también se pierda con facilidad. Andrade y Lara (2022) explican que este tipo de suelos se seca con rapidez y requiere una constante reposición de humedad, por lo que son conocidos como “suelos hambrientos”, ya que no retienen el agua por mucho tiempo. En la misma línea, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2006) señala que los suelos arenosos tienen escasa retención de humedad, alta permeabilidad y una estructura débil, lo que afecta directamente su estabilidad si no se tratan adecuadamente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

c. Resistencia a la compresión simple:

La resistencia a la compresión simple Qu, (Unconfined Compressive Strength, UCS) es la tensión axial máxima que una probeta de suelo cohesivo puede soportar sin confinamiento lateral hasta alcanzar la falla o deformaciones límite. La norma ASTM D2166/D2166M-24 especifica que el método corresponde a suelos cohesivos y describe el procedimiento para determinar la UCS en materiales intactos, reconstituidos o remoldeados; por tanto, no es adecuado para ensayar directamente suelos granulados sin estabilización, que carecen de la cohesión necesaria para mantener la probeta íntegra (ASTM International, 2024). Estudios experimentales confirman que la falta de cohesión en arenas se resuelve mediante estabilización (por ejemplo, adición de arcilla, cemento o cal) y que, tras el tratamiento, la UCS aumenta significativamente; en consecuencia, la evaluación de la resistencia no confinada de arenas requiere estabilización o tratamientos previos (Jafari et al., 2025; Kordnaeij et al., 2019).

d. Estabilización de suelos:

La estabilización de suelos es un procedimiento que permite mejorar las propiedades de un suelo natural mediante tratamientos que optimizan su comportamiento estructural. Según Yepes Piqueras (2021), este proceso consiste en aplicar productos estabilizantes, como la cal o el cemento, con el objetivo de aumentar la resistencia, reducir la deformabilidad y mejorar la durabilidad del suelo frente a la acción del agua, la helada o la erosión. De este modo, se logra reutilizar suelos de baja calidad que, sin estabilización, serían descartados, contribuyendo a la sostenibilidad de las obras. Esta técnica permite obtener plataformas estables y resistentes que colaboran

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

estructuralmente con el firme de infraestructuras lineales, reduciendo la necesidad de reemplazar o transportar suelos, lo cual tiene un impacto positivo tanto técnico como ambiental.

e. Clasificación de suelos

La clasificación de suelos organiza los materiales del terreno en grupos homogéneos para fines de ingeniería, en función de propiedades índice. El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS), establecido en la norma ASTM D2487, se basa en la determinación de la granulometría y los límites de Atterberg (límite líquido e índice de plasticidad), lo que permite describir y categorizar suelos de manera sistemática (ASTM International, 2017).

Por otro lado, el sistema AASHTO, ampliamente aplicado en proyectos viales, clasifica los suelos según su granulometría y sus características plásticas, con énfasis en su idoneidad como material de subrasante o terraplén (AASHTO, 2020). Ambos sistemas muestran cómo la clasificación, aunque se fundamenta en parámetros de laboratorio relativamente simples, constituye una herramienta clave para anticipar el comportamiento mecánico del suelo y orientar su uso en ingeniería civil.

- ✓ Sistema de Clasificación AASHTO:

  El sistema de clasificación AASHTO, desarrollado por la American Association of State Highway and Transportation Officials, organiza los suelos en siete categorías principales (A-1 a A-7) y sus respectivos subgrupos, considerando la fracción fina (material que pasa el tamiz N.° 200) y los criterios de granulometría. Los grupos A-1 a A-3 corresponden a materiales granulares con 35 % o menos de finos,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

mientras que los grupos A-4 a A-7 engloban suelos con más del 35 % de fracción fina. En presencia de finos plásticos, se aplican también los límites de Atterberg (límite líquido e índice de plasticidad) para la asignación a subgrupos. Asimismo, este sistema incorpora el Group Index (GI), calculado mediante una fórmula empírica que combina el contenido de finos, el límite líquido y la plasticidad, con el propósito de estimar la calidad del suelo como material de subrasante en carreteras (AASHTO, 1991/2021).

- ✓ Sistema Unificado de Clasificación de Suelos:

  El Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (USCS) es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial para describir y categorizar suelos en función de sus propiedades físicas. Según la norma ASTM D2487-17e1, los suelos se dividen en tres categorías principales: suelos gruesos (coarse-grained soils), suelos finos (fine-grained soils) y suelos altamente orgánicos (highly organic soils).

  Los suelos gruesos se definen como aquellos en los que más del 50 % de la fracción pasa por tamices mayores, pero se retiene en el tamiz No. 200 (0.075 mm), lo que indica que predominan las partículas de grava y arena. Estos se subdividen en gravas (GW, GP, GM, GC) y arenas (SW, SP, SM, SC), dependiendo de su graduación y contenido de finos.

  En contraste, los suelos finos son aquellos en los que el 50 % o más pasa por el tamiz No. 200. Su clasificación se basa en los límites de Atterberg, diferenciando entre limos de baja plasticidad (ML), arcillas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de baja plasticidad (CL), limos de alta plasticidad (MH), arcillas de alta plasticidad (CH), y suelos orgánicos como OL y OH.

Finalmente, los suelos altamente orgánicos o turbas (Pt) se reconocen por su textura fibrosa, alta compresibilidad y baja capacidad de soporte. La norma también contempla la asignación de símbolos dobles en casos donde los suelos presentan entre 5 % y 12 % de finos, o cuando los resultados de plasticidad caen cerca de los límites del gráfico de plasticidad, lo que refleja condiciones intermedias de comportamiento (ASTM International, 2017).

f. Granulometría

El análisis granulométrico permite determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas en una muestra de suelo. Según la NTP 339.128:2014, la fracción de partículas mayores de 75 µm (retenidas en el tamiz N° 200) se determina mediante el procedimiento de tamizado, mientras que las partículas menores de 75 µm se evalúan a través del método de sedimentación con hidrómetro, establecido en la NTP 339.129 (2014). Este procedimiento especifica los equipos necesarios, tales como balanzas de precisión, tamices normalizados, hidrómetro, probeta de sedimentación, termómetro, baño maría o cámara a temperatura constante, vaso de precipitados y cronómetro. De esta manera, se obtiene la curva granulométrica, fundamental en el análisis y diseño geotécnico, pues permite clasificar el suelo en gravas, arenas, limos y arcillas con base en su distribución de tamaños (INACAL, 2014).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 5

Clasificación de suelos por tamaño de partículas según la NTP 339.128:2014

Tipo de suelo	Subdivisión	Tamaño de partícula (mm)
Gravas	Grava gruesa	75 – 19
	Grava fina	19 – 4.75
Arenas	Arena gruesa	4.75 – 2.00
	Arena media	2.00 – 0.425
	Arena fina	0.425 – 0.075
Finos*	—	< 0.075

Nota. Adaptado de NTP 339.128:2014. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado (INACAL, 2014).

La distinción entre limos y arcillas no se realiza en esta norma; se define posteriormente mediante ensayos de plasticidad (NTP 339.134:2014, Límites de Atterberg).

g. Resistencia al corte

La resistencia al corte de un suelo corresponde al esfuerzo tangencial máximo que puede soportar antes de fallar, integrando dos componentes fundamentales: la cohesión (c'), que actúa independientemente de la presión normal, y el componente friccional, determinado por el esfuerzo normal efectivo multiplicado por la tangente del ángulo de fricción interna (ϕ'). Según Wu (2023), esta definición se ajusta al criterio de falla de Mohr–Coulomb, donde la tensión cortante crítica en el plano de falla viene expresada como $\tau = c' + \sigma' \tan \varphi'$, y es utilizada de forma estándar para caracterizar la capacidad de resistencia de diferentes tipos de suelo en aplicaciones geotécnicas (Wu, 2023).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

h. Ensayo triaxial

El ensayo triaxial, en sus diferentes modalidades, constituye el procedimiento más completo para la determinación de la resistencia al corte, pues permite controlar las condiciones de drenaje y medir tanto esfuerzos como deformaciones en la muestra. Según la norma (ASTM D7181, 2020) el triaxial consolidado drenado (CD) es adecuado para obtener parámetros efectivos en suelos granulares y cohesivos; mientras que la (ASTM D2850, 2023) regula el ensayo no consolidado no drenado (UU), apropiado para evaluaciones rápidas en suelos cohesivos. Asimismo, la (ASTM 4767, 2011) también regula el triaxial consolidado no drenado (CU) que permite medir las presiones intersticiales y calcular parámetros efectivos tras la consolidación.

i. Ensayo de corte directo

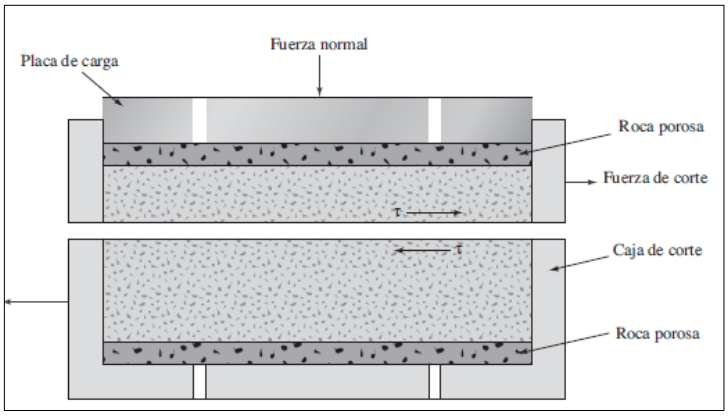
El ensayo de corte directo es uno de los métodos más utilizados para determinar los parámetros de resistencia al corte de suelos. Consiste en aplicar un esfuerzo cortante sobre una muestra confinada dentro de una caja de corte, Ver **Figura N° 03** en esté se registra la relación entre el esfuerzo cortante y el desplazamiento relativo hasta la falla. Según la norma ASTM D5321/D5321M-20: Standard Test Method for Determining the Shear Strength of Soil-Geosynthetic and Geosynthetic-Geosynthetic Interfaces by Direct Shear (ASTM International, 2020), este procedimiento permite obtener directamente la envolvente de falla de Mohr–Coulomb en términos de cohesión y ángulo de fricción. Si bien presenta la limitación de imponer un plano de falla predeterminado, su sencillez y confiabilidad lo hacen especialmente útil en estudios comparativos y en suelos arenosos mejorados

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

con cemento, donde se busca identificar el incremento de resistencia aportado por el aglomerante.

Figura 3

Diagrama de un arreglo de prueba de corte directo (Das, 2012, p. 233)



Nota. Imagen tomada de Principles of Geotechnical Engineering (4.ª ed., p. 233) por B. M. Das, 2012

j. Contenido de humedad

El contenido de humedad en suelos, también llamada contenido de agua, representa la cantidad de agua presente en el suelo expresada en relación con la masa de sólidos. Se calcula como la relación entre la masa del agua contenida en los poros y la masa de las partículas del suelo, generalmente reportada como porcentaje (porcentaje gravimétrico). Esta propiedad es fundamental, pues influye directamente en características clave del comportamiento edáfico como la densidad aparente, compresibilidad, permeabilidad y resistencia mecánica (Hossain, Islam, Badhon & Imtiaz, 2021). De acuerdo con la normativa vigente, el contenido de agua en suelos y rocas se determina mediante la ASTM D2216-19 y su equivalente en el Perú, la NTP 339.127 (1998); (revisada en 2019) (ASTM International, 2019; Instituto Nacional de Calidad [INACAL], 2019).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

k. Cohesión

La cohesión aparente en suelos franco-arenosos es una propiedad clave que determina su resistencia al corte y estabilidad estructural. Hossne et al. (2011) evaluaron la relación entre la cohesión aparente, el ángulo de fricción interna, la densidad aparente seca, la tensión normal, la humedad del suelo y la profundidad mediante ensayos triaxiales y análisis estadísticos avanzados. Los resultados indicaron que la cohesión aparente máxima se presentó con una humedad cercana al 6 % y densidad aparente seca de 1640 $kg \cdot m^{-3}$, mientras que el ángulo de fricción interna osciló entre 31,77º y 33,31º. El estudio reveló que la humedad y la densidad aparente seca fueron los factores que más influyeron sobre la cohesión aparente, mientras que la tensión cortante estuvo determinada principalmente por el ángulo de fricción interna y los efectos combinados de la tensión normal y la cohesión. Además, se observó que los valores más altos de cohesión y tensión cortante se alcanzaron a una profundidad de 60 cm, lo que evidencia la influencia de las condiciones geométricas y físicas del suelo sobre su resistencia.

l. Ángulo de fricción

El ángulo de fricción interna (ϕ) es un parámetro geotécnico esencial que caracteriza la resistencia al corte de los suelos arenosos, representando la capacidad de las partículas de suelo para deslizarse unas sobre otras bajo esfuerzos normales. Guo, Zhang y Zhang (2023) demostraron que la granulometría del suelo influye significativamente en este ángulo: un incremento en el coeficiente de no uniformidad (Cu) de la distribución de partículas tiende a aumentar el ángulo de fricción interna, mientras que un mayor coeficiente de curvatura (Cc) puede reducirlo. Estos resultados

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

implican que la uniformidad y la distribución de tamaños de partícula son determinantes críticos de la resistencia al corte en arenas, información que es fundamental para el diseño de taludes, cimentaciones superficiales y análisis de estabilidad de estructuras en suelos granulares. La consideración precisa de ϕ permite modelar adecuadamente el comportamiento mecánico de los suelos arenosos y optimizar estrategias de mejoramiento o estabilización de suelos en proyectos de ingeniería civil.

m. Densidad del suelo

La densidad del suelo es una propiedad física clave que describe la masa de los sólidos del suelo por unidad de volumen total, incluyendo los poros ocupados por aire y agua, y está estrechamente relacionada con la compactación, la porosidad y la capacidad de soporte del terreno. Para su determinación en laboratorio, el ensayo ASTM D7263-21 establece un procedimiento estandarizado que permite medir la densidad aparente y el peso unitario seco de especímenes de suelo, ya sean compactados o sueltos, mediante la medición de su masa y volumen (ASTM International, 2021). En este método, se determina primero el peso húmedo del espécimen y su volumen utilizando cilindros calibrados o recipientes de volumen conocido, para luego calcular el peso unitario húmedo y posteriormente el peso unitario seco, considerando el contenido de humedad del suelo. Este procedimiento es aplicable tanto a suelos finos como a suelos granulares, incluyendo suelos arenosos, y permite evaluar la densidad relativa de arenas, la compactación de rellenos y la calidad del suelo para cimentaciones y estructuras de ingeniería civil, asegurando resultados reproducibles y comparables entre diferentes estudios (ASTM International, 2021).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

n. Compactación

La compactación de suelos constituye un proceso esencial en ingeniería geotécnica, cuyo propósito es mejorar la resistencia y reducir la compresibilidad del terreno mediante la aplicación de energía mecánica que disminuye el volumen de vacíos. El Proctor estándar, regulado por la norma ASTM D698 (2023), permite establecer la relación entre el contenido de humedad y la densidad seca máxima alcanzable bajo condiciones de laboratorio, proporcionando parámetros fundamentales como la humedad óptima de compactación. En casos donde se requiere un mayor grado de compactación, como en proyectos de infraestructura vial o cimentaciones de gran magnitud, se aplica el Proctor modificado, descrito en la norma ASTM D1557 (2023), que emplea una energía de compactación superior para obtener densidades secas más elevadas y, por ende, un mejor desempeño del suelo en condiciones de carga.

2.2. Inclusión de 2.5%, 5% y 10% de cemento portland Tipo HS

a. Cemento Portland Tipo HS

Los cementos Portland Tipo HS, de acuerdo con la norma ASTM C1157, están formulados específicamente para proporcionar alta resistencia frente a sulfatos agresivos. Esta clasificación implica un contenido muy reducido de aluminato tricálcico (C_3A), lo cual limita las reacciones de expansión que podrían degradar el concreto al contacto con suelos o aguas subterráneas cargadas de sulfatos (ASTM International, 2022).

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

a. Objetivo principal

Evaluar la influencia de la adición de diferentes proporciones de cemento Tipo HS (2.5%, 5% y 10%) y del tiempo de curado en la resistencia cortante y el comportamiento mecánico de suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador.

b. Objetivos específicos

- ✓ Determinar los parámetros de resistencia cortante (cohesión y ángulo de fricción interna) de los suelos arenosos en función de diferentes porcentajes de cemento, mediante ensayos de corte directo.
- ✓ Analizar la resistencia a la compresión simple de los suelos arenosos estabilizados con cemento HS (MH) (R), considerando diferentes porcentajes y tiempos de curado.
- ✓ Desarrollar modelos de predicción que permitan predecir la resistencia a compresión simple (q_u) y los parámetros de resistencia al corte (cohesión c' y ángulo de fricción ϕ') en función del contenido de cemento en un suelo arenoso, con fines de aplicación en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o similares.

3.2. Hipótesis

Este estudio sí plantea una hipótesis porque se enmarca en un enfoque cuantitativo y de tipo aplicado - explicativo. La idea central es comprobar si la adición de diferentes porcentajes de cemento en un suelo arenoso influye directamente en su resistencia cortante. Para ello se aplicarán ensayos de laboratorio, como la compresión simple, compresión triaxial consolidado drenado y corte directo, que permitirán medir de manera objetiva los cambios

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

en el comportamiento del suelo. De esta forma, la investigación no solo describe un fenómeno, sino que busca verificar de manera experimental una relación causa - efecto, lo que da solidez metodológica y permite confirmar o descartar la hipótesis planteada.

a. Hipótesis general

La adición de diferentes proporciones de cemento Tipo HS (2.5%, 5% y 10%) y el tiempo de curado influyen significativamente en la resistencia cortante y en el comportamiento mecánico de los suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador.

b. Hipótesis especificas

- ✓ La cohesión y el ángulo de fricción interna de los suelos arenosos se incrementan en función de los diferentes porcentajes de cemento incorporados, según los resultados obtenidos mediante ensayos de corte directo.
- ✓ La resistencia a la compresión simple mejora al aumentar, el contenido de cemento Tipo HS (MH) (R) y el tiempo de curado.
- ✓ Es posible establecer modelos de predicción estadísticamente significativos que relacionen el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple (q_u) y los parámetros de resistencia al corte (c' y ϕ'), mostrando una tendencia creciente y permitiendo su predicción en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o de características similares.

IV. METODOLOGÍA

4.1. Variables

a. Mejoramiento de la resistencia cortante de suelos arenosos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El mejoramiento de la resistencia cortante corresponde al incremento de la capacidad del suelo para resistir esfuerzos tangenciales antes de alcanzar la falla. Esta propiedad mecánica está determinada principalmente por la cohesión efectiva (c') y el ángulo de fricción interna efectiva (ϕ'), parámetros que describen la resistencia del suelo frente a la acción de cargas y esfuerzos cortantes. En los suelos estabilizados, la mejora de estos parámetros se asocia al desarrollo de enlaces cementantes entre partículas, lo que incrementa la capacidad resistente del material y reduce su susceptibilidad a la deformación y falla (El Hariri et al., 2023; Pham et al., 2023).

La resistencia al corte de un suelo corresponde al esfuerzo tangencial máximo que puede soportar antes de fallar, integrando dos componentes fundamentales: la cohesión (c'), que actúa independientemente de la presión normal, y el componente friccional, determinado por el esfuerzo normal efectivo multiplicado por la tangente del ángulo de fricción interna (φ') (Wu, 2023).

b. Inclusión de 2.5%, 5% y 10% de cemento Portland Tipo HS

La inclusión de cemento Portland tipo HS consiste en la incorporación de un material cementante hidráulico en proporciones determinadas dentro de una matriz de suelo con el fin de mejorar sus propiedades geotécnicas. Durante el proceso de hidratación se generan compuestos cementantes que promueven la unión entre partículas, incrementando la rigidez, resistencia y estabilidad mecánica del suelo. La estabilización con cemento es una de las técnicas más utilizadas para mejorar el comportamiento de suelos con propiedades mecánicas deficientes, debido a que favorece la formación de una estructura

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

más resistente y durable (John & Lothenbach, 2023; Roshan & Rashid, 2023). La resistencia al corte de un suelo corresponde al esfuerzo tangencial máximo que puede soportar antes de fallar, integrando dos componentes fundamentales: la cohesión (c'), que actúa independientemente de la presión normal, y el componente friccional, determinado por el esfuerzo normal efectivo multiplicado por la tangente del ángulo de fricción interna (φ') (Wu, 2023).

Los cementos Portland Tipo HS, de acuerdo con la norma ASTM C1157, están formulados específicamente para proporcionar alta resistencia frente a sulfatos agresivos. Esta clasificación implica un contenido muy reducido de aluminato tricálcico (C_3A), lo cual limita las reacciones de expansión que podrían degradar el concreto al contacto con suelos o aguas subterráneas cargadas de sulfatos (ASTM International, 2022).

4.2. Tipo y nivel de investigación

a. Tipo de investigación

La presente investigación es de tipo aplicada - explicativa, dado que está busca responder no solo al "*qué"* ocurre al aplicar la mejora con cemento, sino también al "*por qué"* de los efectos observados en la resistencia del suelo arenoso mejorado. Por otro lado; tiene como propósito esencial la generación de conocimientos orientados a la resolución de un problema concreto vinculado con la mejora del comportamiento mecánico de suelos arenosos mediante el uso de cemento tipo HS (MH) (R). Este tipo de estudio no solo busca ampliar el conocimiento existente, sino también transferirlo de manera directa al ámbito práctico de la ingeniería geotécnica. Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), la investigación

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

aplicada se caracteriza por su orientación hacia “la búsqueda de conocimientos con miras a su utilización en la solución de problemas específicos” (p. 35), lo cual resulta coherente con el enfoque adoptado en el presente trabajo.

b. Enfoque de la investigación

El enfoque de la presente investigación es cuantitativo, ya que se trabajará con variables que presentan características numéricas, las cuales serán manipuladas experimentalmente para observar sus efectos sobre la resistencia del suelo arenoso mejorado. La recolección de datos se realizará a través de ensayos de laboratorio, y los resultados serán analizados mediante herramientas estadísticas y representados gráficamente, lo que permitirá establecer relaciones objetivas entre las variables estudiadas.

De acuerdo con Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), el enfoque cuantitativo se caracteriza por ser "secuencial y probatorio, implica plantear un problema de estudio, desarrollar una idea o ideas a partir del mismo, construir un marco teórico, revisar antecedentes, plantear hipótesis y comprobarlas" (p. 4). En concordancia con esta definición, la investigación plantea hipótesis que serán verificadas mediante el análisis estadístico de los resultados obtenidos, cumpliendo con las características propias de este enfoque.

c. Diseño

El presente estudio adopta un diseño de investigación experimental de tipo longitudinal, dado que se manipula deliberadamente la variable independiente la dosificación de cemento tipo HS (MH) (R) en proporciones de 2.5%, 5% y 10% para observar sus efectos sobre la variable dependiente, correspondiente a la resistencia cortante de suelos arenosos del distrito de Villa

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

El Salvador. Según Hernández Sampieri, Fernández Collado y Baptista Lucio (2014), el diseño experimental permite establecer relaciones de causalidad ya que busca determinar el efecto que una o más variables independientes ejercen sobre una o más variables dependientes, bajo condiciones controladas.

Asimismo, las etapas del proceso están claramente delimitadas: se parte de una prueba inicial sin la inclusión de cemento tipo HS (MH) (R), seguida por la incorporación progresiva de distintos porcentajes, De este modo, se contempla no solo la medición inmediata de la resistencia cortante, sino también su desarrollo en diferentes momentos, en la **Tabla N° 06** se indican los días de curado para cada ensayo, lo que enriquece la comprensión de los fenómenos físicos asociados al proceso de estabilización, donde este diseño busca responder no solo al *qué* ocurre al aplicar la mejora con cemento, sino también al *por qué* de los efectos observados en la resistencia del suelo tratado.

Tabla 6

Programa experimental en ensayos de resistencia mecánica

Ensayo	% Cemento	Días de Curado	Replicas	σ (kPa)
Q_u	0, 2.5, 5, 10	14, 21, 28	3	—
Corte directo	0	14	1	10, 25, 50
	2.5	14		10, 25, 50

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

5	14	25, 50, 100
10	14	50, 100, 200

Nota. El programa experimental se desarrollará en base a 2 ensayos de resistencia, con un total de 41 muestras, repartidas en compresión simple no confinada = 29 muestras y corte directo = 12 muestras.

La elección de los porcentajes (2.5%, 5% y 10%) está basado en los estudios que van en la misma línea metodológica; El-Hanafy y AbdelAziz (2021) evaluaron la eficacia de la mezcla de arena con cemento bajo cimentaciones tipo strip footing, utilizando porcentajes de 3 %, 5 %, 7 %, 10 % y 15 % en peso seco. Para ello, realizaron ensayos de compactación y de corte directo, con el objetivo de analizar la cohesión, el ángulo de fricción interna y el módulo de Young. Los porcentajes aplicados en dicha investigación fueron similares que los empleados en el presente estudio (2.5 %, 5 % y 10 %), existe una similitud metodológica en el uso de ensayos de corte directo y en la búsqueda de mejorar la resistencia y la rigidez del suelo.

Por su parte, Rohmatun, Suparma, Rifa'i y Rochmadi (2024) investigaron suelos arenosos-limosos estabilizados con 3 %, 5 %, 8 % y 10 % de cemento, considerando el efecto de diferentes niveles de pH en el agua de remojo y tiempos de curado de 3, 7, 14 y 28 días. En este caso, se aplicó principalmente el ensayo de compresión no confinada (Q_u). La similitud con la presente investigación radica en la utilización de compresión simple y en concordancia con los porcentajes de adición de cemento, como el 5% y 10%, aunque el estudio actual incorpora un porcentaje aún menor, esto representa un contraste relevante en la búsqueda de mejoras con adiciones mínimas de cemento.

Finalmente, Salunkhe, Adethya, Gobinath, Prasanth y Karthikeyan (2022) realizaron ensayos de compresión no confinada y de corte directo en suelos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

arenosos con adiciones de 1 %, 2 % y 3 % de cemento Portland, considerando tiempos de curado de 7 y 21 días. Este estudio guarda una relación directa con la presente investigación, tanto en el enfoque metodológico, al emplear los mismos ensayos (Q_u y corte directo) así como en la variable de mejoramiento del suelo mediante la incorporación de cemento. Sin embargo, en el presente trabajo se amplía el rango de estudio, aplicando porcentajes de adición de 2.5 %, 5 % y 10 %, con el propósito de evaluar de manera más detallada la influencia del contenido de cemento y el período de curado en la resistencia mecánica de los suelos arenosos, estableciendo así un marco comparativo más sólido frente a investigaciones previas.

En ese sentido, la selección de los porcentajes de 2.5 %, 5 % y 10 % en esta investigación se justifica en la necesidad de explorar rangos bajos de adición de cemento, siguiendo la línea metodológica de investigaciones previas, pero aportando evidencia local y experimental sobre su efecto en suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador.

Para la caracterización del suelo se emplearon diversos ensayos de laboratorio que permiten determinar sus propiedades físicas y mecánicas fundamentales. Entre ellos se incluyeron el análisis granulométrico por tamizado, utilizado para establecer la distribución de tamaños de partícula; el contenido de humedad, que mide la cantidad de agua presente en el suelo en condiciones naturales; la densidad del suelo, empleada para calcular la relación entre la masa de partículas sólidas y el volumen total; así como el ensayo de compactación (Proctor estándar), que permiten definir la humedad óptima y la máxima densidad seca alcanzable bajo diferentes niveles de energía de compactación. En la **Figura 4** se muestra el esquema general de los parámetros obtenidos en cada uno de estos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

ensayos, los cuales constituyen la base para la interpretación y análisis posterior de los resultados.

Un aspecto clave de la investigación es la adecuada evaluación de los datos de entrada que el modelo requiere para generar resultados confiables. En este caso, los parámetros iniciales corresponden a los ensayos de caracterización del suelo, tales como granulometría, densidad y humedad natural, que constituyen la base para interpretar posteriormente el efecto del cemento en la resistencia. En cambio, parámetros como la cohesión y el ángulo de fricción interna no forman parte de los datos iniciales, sino que serán obtenidos y analizados a partir de los ensayos de resistencia (corte directo y compresión simple), en coherencia con los objetivos planteados.

Figura 4

Parámetros obtenidos en los ensayos de caracterización física.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR



Nota. En la figura se muestran los principales parámetros físicos y mecánicos que se determinan en la etapa de caracterización del suelo.

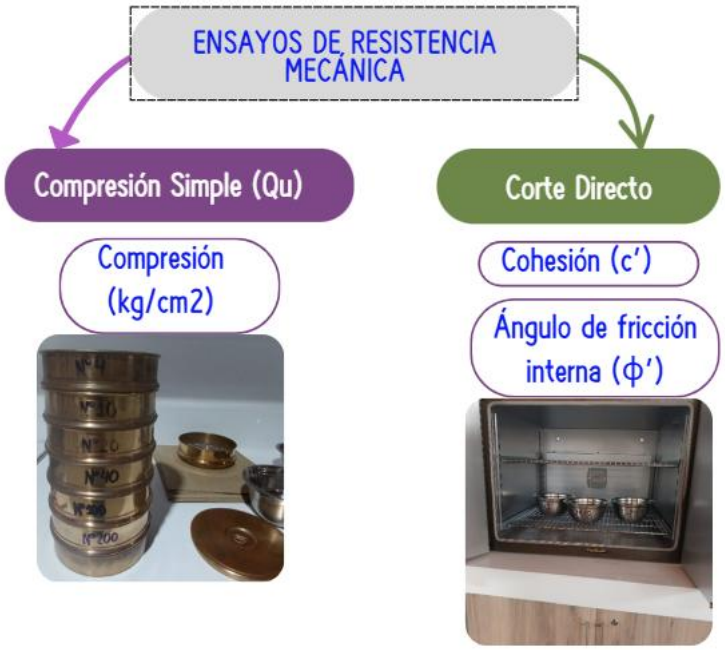
En la **Figura 5** se ilustran los principales ensayos aplicados para evaluar la resistencia del suelo - cemento, los cuales permiten comprender su comportamiento frente a esfuerzos externos. Entre ellos se encuentra el ensayo de compresión simple no confinada (Q_u), que mide la capacidad del suelo para soportar cargas axiales sin confinamiento lateral. También se incluye el ensayo de corte directo, que determina la resistencia al deslizamiento a lo largo de un plano prefijado, siendo uno de los métodos más comunes en ingeniería geotécnica.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 5

Esquema de parámetros en ensayos de resistencia mecánica



Nota. La figura resume los ensayos experimentales empleados para medir la resistencia mecánica suelo – cemento.

4.3. Población y muestra

a. Población

La presente investigación toma como población a los suelos de tipo granular que se encuentran distribuidos en el litoral de la costa sur de Lima. Esta zona ha sido seleccionada debido a sus características geotécnicas particulares, que resultan relevantes para el análisis de propuestas de mejoramiento del terreno en contextos similares. La naturaleza arenosa de estos suelos, asociada a su cercanía al mar, representa un entorno idóneo para evaluar el comportamiento del material frente a distintas técnicas de mejoramiento.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

b. Muestra

La muestra fue determinada mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia, ya que se eligieron calicatas ubicadas específicamente en las faldas del lomo de corvina, lugar que pertenece a la zona IV de microzonificación geotécnica del distrito de Villa el Salvador. Esta selección no fue aleatoria, sino basada en criterios técnicos previamente definidos, como la accesibilidad, representatividad del suelo local y viabilidad para su análisis en laboratorio. Según Hernández, Fernández y Baptista (2021), el muestreo por conveniencia es adecuado cuando el investigador elige los elementos de la población según la accesibilidad para ser tomados en el estudio, lo cual permite obtener información precisa y enfocada en los objetivos planteados. Asimismo, se establecieron criterios de descarte, excluyendo muestras con presencia visible de materia orgánica, escombros o alteraciones por intervención antrópica, con el fin de garantizar que los resultados reflejen de manera fidedigna las propiedades geotécnicas del suelo arenoso natural del área de estudio.

De acuerdo a la **Tabla N° 07**, según la Norma Técnica de Edificación E.050 Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2022), para edificaciones de hasta 500 m² de área de terreno se requiere un mínimo de tres (3) calicatas. En este estudio, considerando que el área del terreno es de 472 m². En la **figura 6** se observa la ubicación y el área donde se realizaron tres calicatas a una profundidad aproximada de 1.50 m, ubicadas estratégicamente a lo largo de la Panamericana sur, a la altura del circuito de manejo TOURING del distrito de Villa el Salvador.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Tabla 7

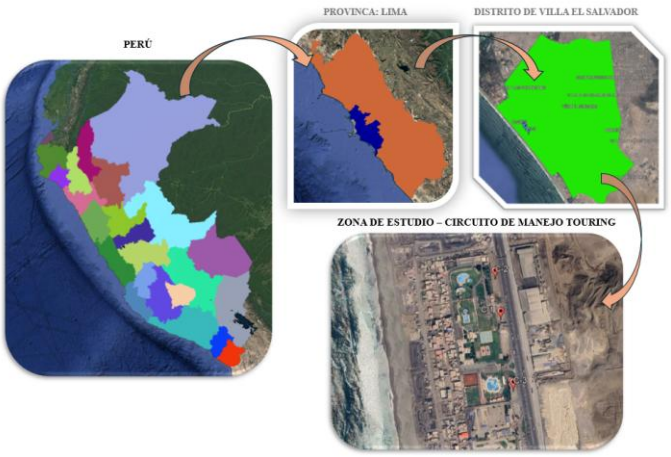
Número mínimo de calicatas según el área del terreno

Área del terreno (m²)	Número mínimo de calicatas
Hasta 500	3
De 501 a 1 000	4
De 1 001 a 2 000	5
De 2 001 a 5 000	6
De 5 001 a 10 000	7
Mayor a 10 000	1 calicata adicional por cada 5 000 m² o fracción

Nota. Norma Técnica de Edificación E.050 – Suelos y Cimentaciones (MVCS, 2022)

Figura 6

Ubicación de zona de calicatas



Nota. Las muestras se recolectaron mediante una campaña geotécnica de 3 calicatas elaboradas en las faldas del Lomo de Corvina.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

a. Técnicas de recolección de datos

La recopilación de datos en esta investigación se ha fundamentado en la aplicación de ensayos de laboratorio a muestras de suelos arenosos extraídas de calicatas ejecutadas en campo. Estos ensayos permiten conocer las propiedades físicas y mecánicas del suelo, necesarias para determinar su comportamiento y evaluar su resistencia cortante. La técnica empleada es:

Observación científica

Esta técnica consiste en registrar de manera directa y sistemática los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, como la falla de las probetas en los ensayos de corte directo. Su validez radica en que permite una medición objetiva y controlada de los fenómenos analizados (Hernández-Sampieri & Mendoza, 2021).

La técnica del estudio aplica para los siguientes ensayos:

- Análisis granulométrico: Para determinar la distribución del tamaño de partículas en la muestra.
- Contenido de humedad: Para medir la proporción de agua en el suelo en estado natural.
- Densidad del suelo: Para poder conocer la relación de masa entre volumen del suelo.
- Corte directo: Para obtener propiedades mecánicas como la cohesión y ángulo de fricción.
- Resistencia a la compresión simple de probetas suelo - cemento: Para evaluar la mejora en la resistencia del suelo estabilizado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

- Compactación: Para obtener las humedades optimas con el fin de alcanzar la densidad máxima de la muestra elaborada.

b. Instrumentos de recolección de datos

Los resultados de los ensayos fueron registrados utilizando fichas diseñadas y adaptadas a partir de protocolos técnicos específicos para cada prueba, lo que permitió mantener una estructura uniforme en la recolección de datos. Estas fichas no fueron creadas de manera arbitraria, sino ajustadas a los lineamientos de normas nacionales e internacionales, lo que asegura tanto su validez como su confiabilidad.

Cada instrumento empleado en los ensayos como balanzas electrónicas de precisión, moldes cilíndricos, moldes triaxiales y hornos de secados fue seleccionado por su cumplimiento con especificaciones técnicas establecidas en las normas ASTM e INACAL, garantizando que los resultados obtenidos respondan a criterios de exactitud y repetibilidad. La adaptación de las fichas de registro permitió que la información recolectada se sistematizara de manera clara y ordenada, facilitando no solo el análisis posterior, sino también la trazabilidad del proceso experimental, un aspecto fundamental para respaldar la confiabilidad científica de la investigación. Estos formatos se incluyen en los anexos de la investigación: granulometría por tamizado (Anexo 4, 5, 6), contenido de humedad (Anexo 7), compactación Proctor estándar (Anexo 8, 9, 10 y 11), corte directo (Anexo 12) y compresión simple, Q_u (Anexo 13).

4.5. Procedimiento de recolección de datos

El proceso de recolección de datos se estructuró en dos fases principales. En la primera, se ejecutaron los ensayos básicos de caracterización del suelo, que incluyeron el análisis granulométrico, contenido de humedad natural, ensayo de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

compactación (Proctor estándar). Esta etapa permitió establecer las propiedades físicas iniciales del material y constituyó la línea base para el análisis comparativo posterior. Cada ensayo fue registrado en fichas técnicas elaboradas a partir de los protocolos normativos, garantizando la uniformidad y confiabilidad en la documentación de resultados.

En la segunda fase, se realizaron los ensayos mecánicos de resistencia, que comprendieron el corte directo y compresión no confinada (Q_u), con el fin de evaluar el efecto del porcentaje de cemento y del tiempo de curado en la mejora del comportamiento del suelo arenoso. Los resultados experimentales fueron organizados sistemáticamente en fichas de laboratorio y posteriormente analizados mediante la correlación entre las propiedades físicas y mecánicas del material tratado.

La confiabilidad del proceso se reforzó mediante la aplicación de controles normativos y experimentales. Normativamente, los datos se contrastaron con los criterios establecidos en la Norma Técnica Peruana E.050 “Suelos y Cimentaciones” (MVCS, 2021) y normas ASTM específicas para cada ensayo. Experimentalmente, se aplicaron protocolos de control de humedad, energía de compactación y condiciones de curado, minimizando posibles sesgos en la manipulación de las muestras.

De esta manera, la recolección de datos no solo aseguró la obtención de información confiable y válida, sino que también garantizó la plena correspondencia con los objetivos de la investigación, permitiendo evaluar de forma rigurosa la influencia del cemento Portland Tipo HS en la resistencia cortante del suelo arenoso. En la **Figura 7** se observa el diagrama de flujo que se siguió para realizar todos los procesos hasta las conclusiones.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 7

Diagrama de flujo general - Programa experimental



Nota. El esquema muestra la secuencia deductiva del programa experimental logrando identificar los principales pasos desde el reconocimiento del terreno de excavación hasta las conclusiones y recomendaciones del estudio

a. Elaboración de calicatas

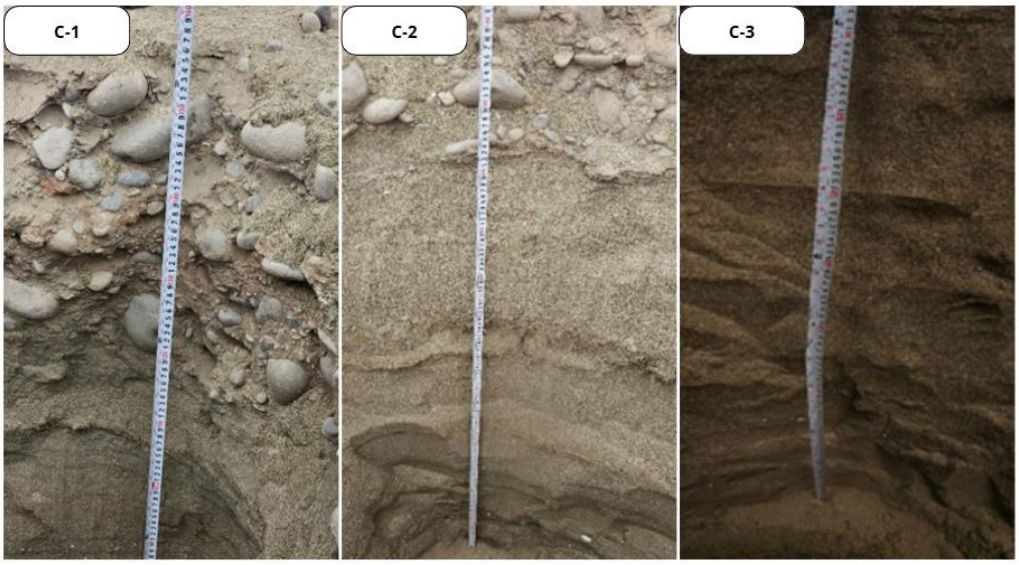
El muestreo del suelo se realizó en tres puntos de exploración designados como calicatas C-1, C-2 y C-3, ubicadas en la Panamericana Sur, a la altura del Circuito Touring – Villa El Salvador. Las excavaciones se efectuaron de forma manual hasta una profundidad promedio de 1.50 m, con el propósito de obtener material representativo del horizonte arenoso predominante.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 8

Estratigrafía de calicatas C-1, C-2 y C-3



Nota. Las figuras muestran la estratigrafía de las calicatas, lo cual se observa que aproximadamente a los primeros 30 cm son canto rodado, a partir ese nivel se observa una arena mal gradada.

Antes de tomar las muestras se realizó la interpretación de la estratigrafía de las calicatas, registrando las características físicas del suelo, tales como color, textura, humedad aparente y caracterización visual, siguiendo los lineamientos de la Norma Técnica Peruana NTP 339.127 (2016). En las tres calicatas se observó un estrato superficial de aproximadamente 0.30 m de espesor compuesto por una grava limosa, de tonalidad marrón clara y estructura dura. A partir de los 0.30 m hasta los 1.50 m de profundidad, se identificó un depósito de arena mal gradada (SP), de color amarillento y con muy baja presencia de finos, lo que indica un suelo de alta permeabilidad y baja plasticidad, característico de los depósitos cuaternarios presentes en la zona costera del sur de Lima, lo cual se muestra en la **Figura 8.**

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

b. Cuarteo

El material recolectado fue sometido al procedimiento de cuarteo con el objetivo de obtener una muestra homogénea y representativa. Este método consistió en extender el suelo sobre una superficie limpia y seca, dividirlo en cuatro partes iguales y seleccionar dos partes opuestas, conforme a la NTP 339.034 (2015), según se observa en la **Figura 09**. Este proceso permitió reducir el volumen de la muestra sin alterar su composición granulométrica.

Figura 9

Procedimiento de cuarteo en un espacio limpio



Nota. En las figuras se observa el proceso de cuarteo del material arenoso en 4 partes, donde se extrajo una muestra de ambos extremos.

c. Ensayo de contenido de humedad natural

El contenido de humedad natural se determinó de acuerdo con la ASTM D2216-19, utilizando el método gravimétrico. Las muestras fueron pesadas antes y después del secado en horno a 105 ± 5 °C, hasta alcanzar un peso constante. Este ensayo permitió conocer la cantidad de agua presente en el suelo en su estado natural, información esencial para los cálculos de densidad y la preparación de mezclas suelo–cemento.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En la **Figura 10** se observan las muestras durante el proceso de pesaje inicial y secado en el horno de laboratorio.

Figura 10

Proceso de pesaje inicial y secado en horno



Nota. Las imágenes muestran el pesaje de las muestras que se secaron en el horno para determinar la humedad natural.

d. Ensayo de Granulometría

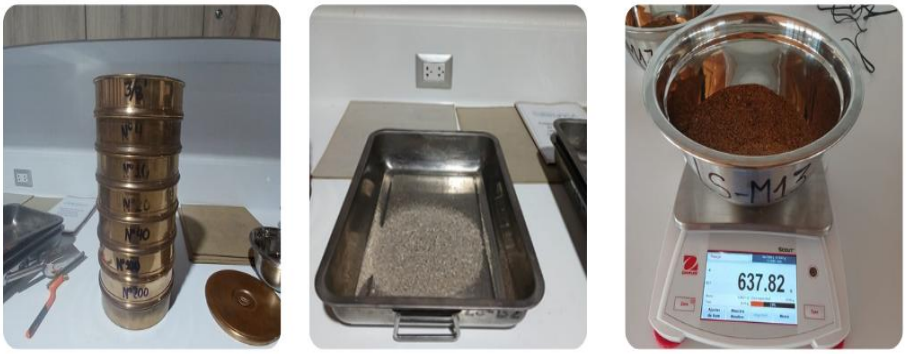
El análisis granulométrico se ejecutó conforme a la ASTM D422-63, con el propósito de determinar la distribución de tamaños de partículas del suelo. El material seco fue desmenuzado y tamizado mecánicamente mediante una serie de tamices normalizados con aberturas decrecientes, las mallas se observan en la **Figura 11**. Los resultados obtenidos permitieron clasificar el suelo como arena mal gradada (SP) según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se utilizo mallas desde la N° 3/8" hasta la N° 200. En lo cuales según normativa se utilizó el método de análisis granulométrico por tamizado simple.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 11

Tamices N° 3/8" - N°200 (incluye base)



Nota. Las imágenes muestran los tamices estandares, adiconalmente se observa material retenido y el respectivo pesado.

e. Ensayo de compactación Proctor estándar

Finalmente, se efectuó el ensayo de compactación Proctor estándar, de acuerdo con la ASTM D1557, con el fin de determinar la densidad seca máxima (DMS) y el contenido de humedad óptimo (OCH) del suelo. Este ensayo se elaboró en base al método A, donde menciona que se debe realizar con material pasante la malla N° 04, tras seleccionar el material a utilizar se estimó las humedades teóricas, para posteriormente realizar un mezclado uniforme por cada porcentaje de humedad tal como se aprecia en la **Figura 12**, luego de ello se pasó a compactar el material en cinco capas dentro del molde cilíndrico de 4" de diámetro, aplicando 25 golpes por capa con una masa de 2.5 kg desde una altura de 305 mm. Posteriormente, se trazaron las curvas de compactación que sirvieron de referencia para el diseño de las mezclas con cemento.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 12

Proceso del ensayo Proctor estándar: ***(a)*** *preparación de muestra,* ***(b)*** *compactación,* ***(c)*** *Peso.*



Nota. La figura muestra el proceso de humectación para una muestra de arena (SP) combinado con cemento HS (MH) (R), la compactación y el registro del peso total.

f. Preparación de muestras suelo – cemento

La preparación de las probetas suelo - cemento se realizó siguiendo estrictamente las condiciones determinadas en el ensayo Proctor estándar. En primer lugar, se obtuvo el peso del suelo seco requerido para cada muestra, calculado a partir de la humedad óptima (OCH) definida previamente. Una vez determinado el peso del suelo seco, se procedió a calcular la cantidad de cemento, considerando el porcentaje de adición correspondiente al peso seco del suelo (2.5 %, 5 % o 10 %, según cada lote). Este procedimiento garantizó que la proporción suelo - cemento se mantuviera uniforme en todas las probetas.

Posteriormente, se sumaron los pesos secos de suelo y cemento para calcular la cantidad total de agua a incorporar, tomando como referencia la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

humedad óptima obtenida en el Proctor. Con el fin de asegurar una adecuada hidratación del cemento, se añadió un 1 % adicional de agua, valor recomendado en mezclas de suelos arenosos cementados para compensar pérdidas durante el mezclado y la compactación. En la **Figura 13** se muestra donde se homogenizó manualmente y luego mecánicamente hasta obtener una distribución uniforme del cemento en el suelo.

Figura 13

Mezclado de muestras suelo – cemento en porcentajes 2.5%, 5% y 10%.



Nota. La figura muestra el proceso de pesaje de la arena empleada en la elaboración de tres probetas de suelo para cada porcentaje de adición de cemento tipo HS (MH) (R), previo al proceso de mezclado.+

g. Moldeo de probetas (Q_u)

Una vez preparada la mezcla, la **Figura 14** muestra cómo se procedió a su compactación en moldes metálicos cilíndricos de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura. La compactación se realizó en cinco capas de igual espesor, cada una sometida a la aplicación del pisón Proctor de 2.5 kg, el mismo empleado en el ensayo Proctor estándar. Cada capa recibió el número de golpes fue 25

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

correspondiente para alcanzar la densidad seca objetivo, garantizando una compactación uniforme y replicable entre todas las probetas.

Figura 14

Moldeo de probetas en moldes cilíndricos



Nota. La figura muestra los moldes utilizados para la elaboración de las probetas de suelo - cemento, así como probetas en proceso endurecimiento.

Es importante señalar que, en el caso del suelo natural clasificado como SP (arena mal gradada), durante el proceso de moldeo se presentó dificultades debido a la ausencia de cohesión y a la incapacidad del material para mantenerse estable después de ser compactado. Inicialmente se intentó elaborar probetas cilíndricas convencionales para los ensayos, pero durante el desmoldeo estas muestras se desintegraban por completo, imposibilitando su uso. Por tal motivo, La **Figura 15** muestra las probetas de suelo sin cemento empleando moldes triaxiales, los cuales permitieron mantener la forma de la muestra sin necesidad de extraerla del molde. Este procedimiento resultó indispensable para garantizar la integridad de las probetas de suelo SP y asegurar su correcta ejecución en los ensayos posteriores.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 15

Moldeo de probetas de suelo natural en moldes de divisores (molde triaxial)



Nota. La figura muestra el procedimiento de moldeo en probetas de suelo natural (SP).

h. Moldeo de especímenes (corte directo)

Los especímenes para el ensayo de corte directo fueron moldeados utilizando cajas de corte con dimensiones internas de 6 cm × 6 cm y 2.5 cm de altura, conforme a los procedimientos establecidos para la preparación de muestras de suelos compactados, cuyo procedimiento se ilustra en la **Figura 16**. Previamente, el suelo fue mezclado con los porcentajes de cemento establecidos y con el contenido de humedad correspondiente, asegurando una distribución homogénea del material. Posteriormente, la mezcla fue colocada cuidadosamente dentro del molde de corte directo en capas, aplicando compactación manual uniforme con el fin de evitar la formación de vacíos y garantizar una densidad homogénea en toda la muestra.

Una vez completado el llenado del molde, se procedió a nivelar la superficie superior del espécimen, retirando el material excedente para asegurar el contacto adecuado con las placas del equipo de corte directo. Finalmente, los

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

especímenes fueron identificados y preparados para su correspondiente proceso de curado, según el tiempo establecido para cada porcentaje de cemento, con el objetivo de garantizar condiciones uniformes antes de la ejecución de los ensayos de resistencia al corte.

Figura 16

Moldeo de especímenes para ensayo de CD en moldes de 6 cm × 6 cm × 2.5 cm.



Nota. Las figuras muestran el proceso de moldeo de los especímenes de suelo preparados para el ensayo de corte directo, asegurando una adecuada compactación y uniformidad de las muestras.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

i. Ensayo de Compresión Simple (Q_u)

En la segunda fase, se llevaron a cabo los ensayos de resistencia mecánica, los cuales fueron programados en función de los días de curado definidos en el diseño de la investigación.

Para cada fecha establecida, se realizaron los ensayos de compresión simple (Q_u) y corte directo, obteniendo parámetros de resistencia cortante como cohesión (c') y ángulo de fricción interna (ϕ'). Al igual que en la primera fase, los datos fueron recolectados mediante fichas de registro estandarizadas, diseñadas para cada tipo de prueba, lo que facilitó la trazabilidad y consistencia de la información recopilada.

El ensayo de compresión simple se efectuó a los 14, 21 y 28 días de curado de las probetas, las cuales fueron previamente mantenidas en condiciones controladas de laboratorio, a temperatura constante y cubiertas con bolsas impermeables para evitar la pérdida de humedad y asegurar un proceso de hidratación adecuado del cemento. Una vez cumplido el tiempo de curado, las muestras fueron desmoldadas cuidadosamente y trasladadas a la máquina de ensayo tal como se muestra en la **Figura 17**, para luego de 10 minutos hacer el ensayo respectivo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 17

Proceso: ***a)*** *Desmoldeo,* ***b)*** *reposo y* ***c)*** *colocación de especímenes en la máquina de ensayo de compresión simple.*



Nota. La figura muestra el proceso de desmoldeo de las muestras después del periodo de curado y su posterior traslado hacia la máquina de ensayo, realizado cuidadosamente para evitar alteraciones en la estructura del suelo compactado.

Debido a la imposibilidad de trasladar las probetas de suelo SP (sin adición de cemento) a la máquina de compresión simple no confinada, causada por la ausencia de cohesión y la inestabilidad estructural del material, se optó por evaluar su comportamiento mediante la aplicación de una carga constante de 205 g directamente sobre las muestras. Este procedimiento se realizó a los 14 días posteriores al moldeo, manteniendo especial cuidado durante la manipulación para evitar alteraciones en las probetas. Bajo esta carga sostenida, se registró el tiempo transcurrido hasta que cada muestra presentó falla visible, interpretada como el colapso estructural del suelo, tal como se muestra en la **Figura 18.**

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Figura 18

Evaluación del comportamiento del suelo SP mediante aplicación de carga constante y observación de la falla.



Nota. La figura muestra la aplicación de una carga constante de 205 g sobre las probetas de suelo SP, sin adición de cemento, a los 14 días después del moldeo. Bajo esta carga sostenida, se registró el tiempo hasta la aparición de la falla visible, evidenciando la baja resistencia y la escasa cohesión del suelo en su condición natural.

En la **Figura 19** se muestra cómo se realizó el ensayo de compresión simple y su evaluación sin el uso de neoprenos, debido a que estos elementos podrían modificar la distribución de esfuerzos y alterar la respuesta real del material. Durante la prueba se registró en video el comportamiento de cada probeta con el fin de identificar de manera precisa la carga máxima alcanzada al momento de la falla. Toda la información obtenida durante el proceso, incluyendo tiempos de colapso y observaciones cualitativas, fue sistemáticamente recopilada

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

y organizada en el Anexo N.º 13, donde se detalla el desarrollo completo del ensayo.

Figura 19

Ensayo de compresión simple (Qu) y modo de falla de especímenes con 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento tipo HS (MH) (R).



Nota. La figura muestra las fallas para cada porcentaje de cemento añadido a la mezcla, donde se observa que a mayor porcentaje de cemento las probetas quedan con menos agrietamientos.

j. Ensayo de Corte Directo

El ensayo de corte directo se realizó una vez cumplido el periodo de curado de 14 días para las muestras estabilizadas con cemento, mientras que el suelo natural fue ensayado en el mismo instante de su preparación, debido a su baja cohesión y limitada estabilidad estructural. Los especímenes preparados para el ensayo de corte directo fueron debidamente identificados según el porcentaje de cemento y las condiciones de ensayo, con la finalidad de asegurar un adecuado

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

control y trazabilidad de cada muestra durante el desarrollo de las pruebas. Esta identificación permitió organizar correctamente los especímenes antes de su colocación en el equipo de ensayo, tal como se muestra en la **Figura 20.**

Figura 20

Identificación de especímenes para el ensayo de corte directo.



Nota. La figura muestra los especímenes de suelo debidamente identificados según el porcentaje de cemento y condiciones de ensayo, permitiendo un adecuado control y organización previo a la ejecución del ensayo de corte directo.

Los especímenes previamente moldeados fueron colocados cuidadosamente en la caja de corte, asegurando su correcta alineación y contacto con los elementos de carga, con el fin de garantizar la adecuada transmisión de esfuerzos durante el ensayo, tal como se muestra en la **Figura 21.**

Posteriormente, se aplicaron las cargas normales establecidas y se inició el proceso de corte horizontal a velocidad controlada, registrando de manera continua los valores de deformación y esfuerzo cortante. El registro y

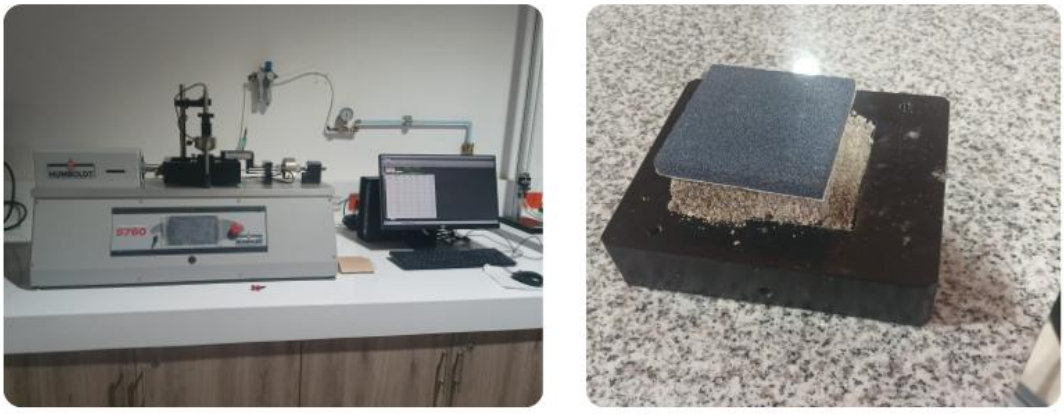
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

almacenamiento de los resultados se realizó a través del software del equipo de ensayo, lo cual permitió obtener con precisión las curvas esfuerzo cortante versus desplazamiento, necesarias para la determinación de los parámetros de resistencia al corte del suelo, como se observa en la **Figura 21.**

Figura 21

Ejecución del ensayo de corte directo y registro de resultados mediante software.



Nota. La figura muestra el registro de datos del ensayo de corte directo mediante el software del equipo, como también la falla de un espécimen realizado a los 14 días de curado para las muestras estabilizadas y de manera inmediata para el suelo natural.

4.6. Alcances y limitaciones

a. Alcance

La presente investigación tiene como alcance evaluar experimentalmente la influencia de la incorporación de 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS sobre la resistencia cortante de suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador. Para ello, se analizarán los cambios en los parámetros de resistencia al corte, representados por la cohesión efectiva (c') y el ángulo de fricción interna efectiva (φ'), mediante ensayos de corte directo realizados en condiciones controladas de laboratorio.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Las muestras de suelo serán obtenidas mediante exploraciones tipo calicata a una profundidad aproximada de 1.50 m en un sector próximo a la Panamericana Sur, a la altura del circuito de manejo Touring de Villa El Salvador, considerado representativo de los depósitos arenosos predominantes de la zona. Asimismo, se evaluará el comportamiento mecánico de las mezclas suelo-cemento bajo diferentes porcentajes de estabilización, con el propósito de identificar la dosificación que produzca el mayor incremento en la resistencia cortante.

La investigación se limita al análisis experimental de laboratorio y no contempla la realización de ensayos in situ, ensayos triaxiales, ensayos SPT, evaluaciones de capacidad portante ni el diseño de cimentaciones. Los resultados obtenidos constituyen información técnica referencial sobre el comportamiento de suelos arenosos estabilizados con cemento Portland tipo HS y podrán servir como base para futuras investigaciones relacionadas con el mejoramiento de suelos.

b. Limitaciones del estudio

Los resultados de la presente investigación se obtienen a partir de ensayos realizados en condiciones controladas de laboratorio, por lo que el comportamiento observado puede diferir del que presentan los suelos en condiciones reales de campo debido a factores como la heterogeneidad natural del terreno, variaciones de humedad, grado de compactación, condiciones ambientales y efectos de carga a largo plazo.

Asimismo, el estudio se enfoca exclusivamente en la evaluación de la resistencia cortante de suelos arenosos estabilizados con cemento Portland

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

tipo HS mediante ensayos de corte directo. En consecuencia, no se consideran parámetros geotécnicos asociados al diseño de cimentaciones, tales como capacidad portante, asentamientos, interacción suelo-estructura o respuesta ante cargas dinámicas. Por ello, los resultados deben interpretarse únicamente en el contexto del mejoramiento de los parámetros de resistencia al corte y no como criterios directos para el dimensionamiento o diseño geotécnico de obras civiles.

V. ANÁLISIS Y RESULTADOS

En el presente capítulo se exponen los resultados obtenidos a partir de los ensayos experimentales realizados sobre las muestras de suelo arenoso natural y las mezclas mejoradas con adiciones de 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS. Los resultados desarrollados en esta sección están directamente relacionados con el objetivo general del estudio, que busca evaluar la influencia de la adición de diferentes proporciones de cemento tipo HS y del tiempo de curado en la resistencia cortante y el comportamiento mecánico de suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador.

Asimismo, los resultados responden de manera secuencial a los objetivos específicos, iniciando con la caracterización física del suelo, que incluye los ensayos de granulometría, contenido de humedad natural y compactación Proctor estándar, los cuales permiten determinar las propiedades básicas del material y establecer su comportamiento inicial. Posteriormente, se presentan los resultados correspondientes a los ensayos mecánicos, que comprenden la compresión no confinada (Q_u) y el corte directo, con el propósito de analizar el efecto del contenido de cemento y del tiempo de curado sobre los parámetros de resistencia cortante (cohesión y ángulo de fricción interna), así como sobre la resistencia a la

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

compresión y el comportamiento tensión - deformación del suelo tratado. Los resultados obtenidos permitirán establecer una relación cuantitativa entre las propiedades físicas y la resistencia cortante del suelo, sirviendo como base para el análisis comparativo y la discusión técnica del comportamiento del material mejorado.

5.1. PROPIEDADES FÍSICAS

k. Granulometría por tamizado

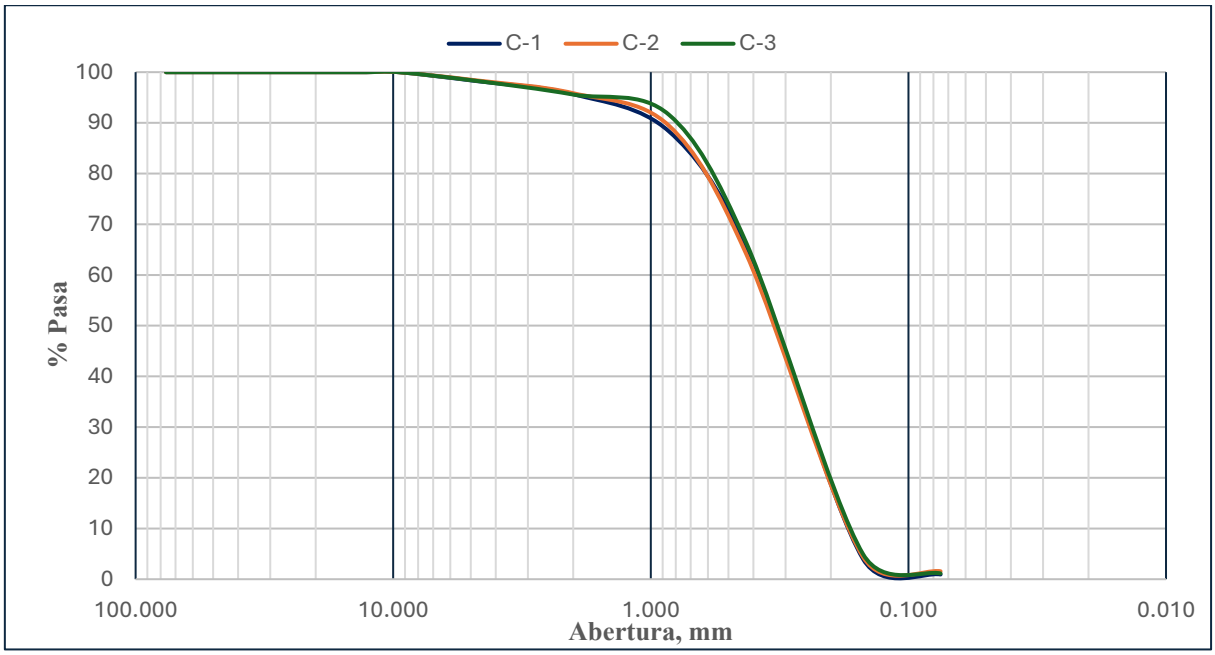
La Figura 8 presenta las curvas granulométricas obtenidas para las calicatas C-1, C-2 y C-3, las cuales permiten identificar la distribución porcentual de los tamaños de partícula que conforman el suelo arenoso analizado. La información fue obtenida mediante el instrumento de recolección de datos "Ficha de protocolo de análisis granulométrico por tamizado", en la cual se registraron los pesos retenidos, porcentajes acumulados y diámetros característicos de cada fracción. Dichas fichas se incluyen en los anexos 4, 5 y 6, correspondientes a las calicatas C-1, C-2 y C-3, respectivamente.

Se observa que las tres muestras presentan una granulometría predominantemente arenosa, con ligeras variaciones en el contenido de finos, lo que indica una textura relativamente uniforme en el área de muestreo. Este comportamiento es característico de suelos con buena capacidad de drenaje y baja plasticidad, condiciones que favorecen su uso en estudios de mejoramiento con cemento hidráulico. El análisis comparativo de las curvas confirma que el suelo base presenta una composición similar en las tres calicatas, lo cual garantiza la representatividad del material empleado en los ensayos posteriores de compactación y resistencia (ver Figura 22 y Tabla 8).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 22

Curvas granulométricas de calicatas



Nota. En la figura se aprecia que las tres muestras presentan una predominancia de arena media con ligera presencia de finos.

La Tabla 8 presenta los resultados del análisis granulométrico por tamizado correspondiente a las calicatas C-1, C-2 y C-3, así como la clasificación del suelo según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). Se observa que el material está compuesto predominantemente por arena (entre 96.8 % y 97.3 %), con un contenido muy bajo de gravas (entre 1.6 % y 1.8 %) precisar el porcentaje clasificado como gravas en su gran parte son conchas de mar, los cuales fueron retenidos en la malla N° 4 (4.760 mm) y una fracción de finos menor al 2 %. Los valores de los coeficientes de uniformidad (Cu) y de curvatura (Cc) se encuentran entre 2.3 – 2.4 y 0.84 – 0.85, respectivamente, lo que indica que se trata de un suelo poco graduado. De acuerdo con estos parámetros, todas las muestras se clasifican como SP (arena mal gradada) según el sistema SUCS, lo cual coincide

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

con la predominancia de partículas de tamaño medio observada en las curvas granulométricas (ver Tabla 8).

Tabla 8

Resultados del análisis granulométrico y clasificación SUCS de muestras por calicatas

Propiedades	C - 1	C - 2	C - 3	NORMATIVA
Gravas (%)	1.8	1.6	1.7	
Arenas (%)	97.3	96.8	97.2	
Finos (%)	0.9	1.6	1.1	
Diámetro D_{60} (mm)	0.388	0.396	0.382	
Diámetro D_{50} (mm)	0.327	0.333	0.323	ASTM D422/NTP
Diámetro D_{30} (mm)	0.233	0.235	0.23	
Diámetro D_{10} (mm)	0.166	0.165	0.163	
Coeficiente de curvatura (Cc)	0.84	0.85	0.85	
Índice de uniformidad (Cu)	2.3	2.4	2.3	
SUCS	SP	SP	SP	ASTM D2487/NTP

Nota. La tabla presenta propiedades físicas, la clasificación mediante el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS) y la normativa utilizada para obtener los valores.

l. Contenido de húmedad natural

El ensayo de contenido de humedad se realizó con el objetivo de determinar la cantidad de agua presente en las muestras de suelo natural, la cual influye directamente en sus propiedades mecánicas. Para ello, se tomaron tres muestras representativas de las calicatas (C-1, C-2 y C-3), las cuales fueron pesadas en estado húmedo y seco, siguiendo el procedimiento establecido en la norma ASTM D2216.

La determinación consistió en obtener la masa del recipiente con suelo húmedo, posteriormente secar la muestra en horno a una temperatura de 110 ± 5

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

°C durante 24 horas, y finalmente registrar la masa del recipiente con suelo seco. Con estos datos, se calculó la masa del agua y del suelo seco, determinando el contenido de humedad mediante la expresión:

$$w = \frac{M_{agua}}{M_{suelo\ seco}}\ x\ 100$$

Los resultados obtenidos se presentan en la **Tabla N.º 9**, donde se observa que los valores de contenido de agua para las tres muestras son de 1.46 %, 1.43 % y 1.64 %, obteniéndose un contenido de humedad promedio de 1.51 %.

Tabla 9

Determinación del contenido de humedad del suelo natural

Prueba N° 01		**C -1**	**C - 2**	**C - 3**
(1) Masa del recipiente + suelo húmedo	(g)	656.53	652.5	645.9
(2) Masa del recipiente + suelo seco	(g)	649.3	645.4	637.8
(3) Masa del recipiente	(g)	156.53	152.67	145.89
(4) Masa del agua (1) - (2)	(g)	7.2	7.0	8.1
(5) Masa del suelo seco (2) - (3)	(g)	492.8	492.8	491.9
(6) Contenido de agua (4/5)*100 %	(%)	1.46	1.43	1.64
Contenido de agua promedio	(%)	1.51	1.51	1.51

Nota. Resultados obtenidos del ensayo de contenido de humedad según la norma ASTM D2216 (ver Anexo 7). El bajo contenido de humedad se debe a la naturaleza arenosa y alta permeabilidad del suelo, que favorece el rápido drenaje del agua y una baja retención hídrica en condiciones de campo.

m. Ensayo Proctor estándar

El ensayo Proctor estándar se realizó con el objetivo de determinar la densidad seca máxima y el óptimo contenido de humedad (O.C.H) de las mezclas de suelo arenoso con adiciones de cemento Portland Tipo HS en proporciones de

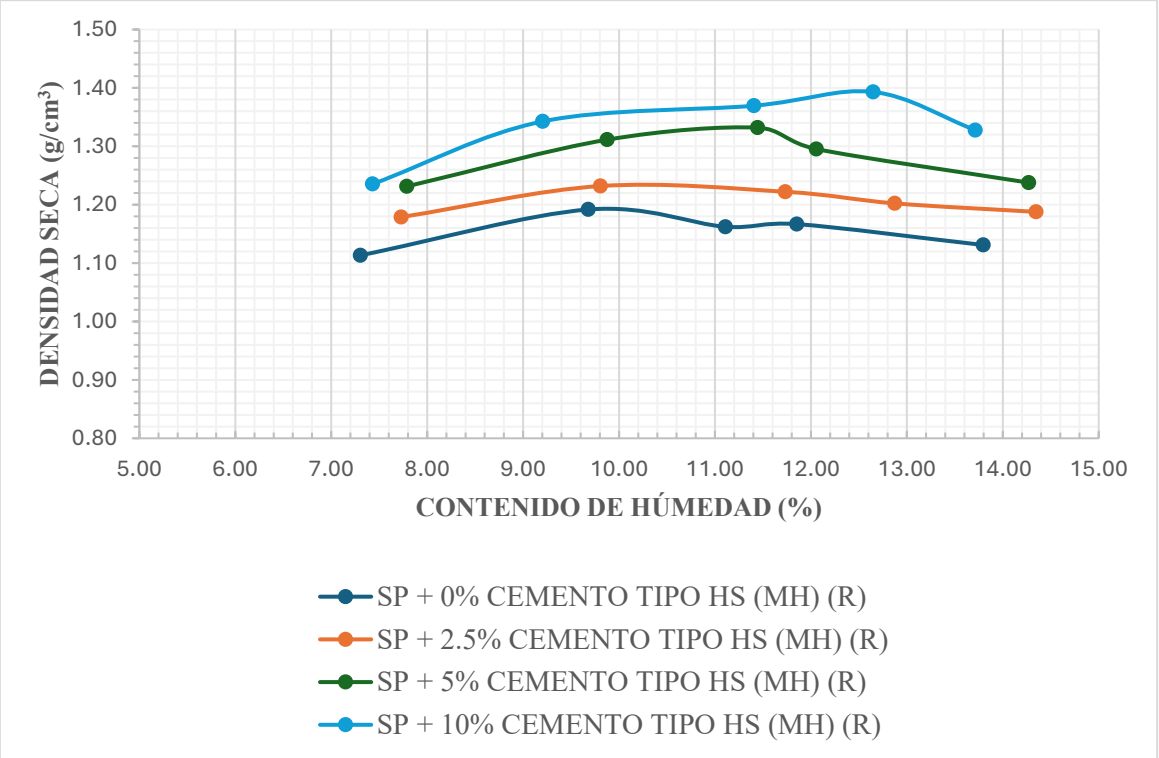
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

0 %, 2.5 %, 5 % y 10 %. Estos resultados permiten identificar las condiciones de compactación más eficientes para cada dosificación, lo cual es fundamental para los posteriores ensayos mecánicos de resistencia.

Los resultados presentados fueron obtenidos mediante el instrumento de recolección de datos, correspondiente a las fichas de protocolo del ensayo Proctor estándar, las cuales se encuentran registradas en los Anexos 8, 9, 10 y 11, para las mezclas con 0 %, 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Tipo HS, respectivamente. En la **Figura 23** se presentan las curvas de compactación obtenidas para las diferentes mezclas, mientras que en la Tabla 12 se resumen los valores característicos de densidad máxima seca y O.C.H correspondientes.

Figura 23

Curvas de compactación Proctor estándar para las mezclas con cemento Tipo HS (MH) (R).



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nota. En la figura se observa un incremento progresivo de la densidad seca máxima conforme aumenta el porcentaje de cemento. Asimismo, se evidencia un aumento del contenido óptimo de humedad, comportamiento característico en suelos estabilizados con cemento.

La **Figura 23** muestra una tendencia clara de incremento en la densidad seca máxima, pasando de 1.19 g/cm³ en el suelo natural a 1.39 g/cm³ con 10 % de cemento, lo que representa un aumento aproximado del 16.8 %. Este comportamiento se atribuye al mayor peso específico del cemento respecto al suelo arenoso y a la mejora en la estructura granular debido al efecto de relleno y a la formación de enlaces cementantes iniciales.

Tabla 10

Resultados del ensayo Proctor estándar para suelos arenosos con adición de cemento Tipo HS (MH) (R)

GRUPO	COMBINACIÓN	$\gamma d_{máx}$ (g/cm3)	O. C. H (%)
G1	SP + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)	1.19	9.68
G2	SP + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	1.23	9.81
G3	SP + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	1.33	11.45
G4	SP + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)	1.39	12.65

Nota. En la tabla se detallan los valores de densidad seca máxima y contenido de humedad óptimo (O.W.C) obtenidos para cada porcentaje de cemento.

De acuerdo con la Tabla 10, la muestra sin adición de cemento (G1) presentó una densidad seca máxima de 1.19 g/cm³ y un contenido de humedad óptimo de 9.68 %, mientras que la mezcla con 10 % de cemento Tipo HS (G4) alcanzó la densidad más alta con 1.39 g/cm³ y un contenido de humedad de 12.65 %. Esto representa un incremento

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

del 16.8 % en la densidad seca máxima, evidenciando el efecto positivo del cemento en la mejora de la compactibilidad del suelo.

Por otro lado, el contenido óptimo de humedad aumenta de 9.68 % a 12.65 %, lo cual se explica por la demanda adicional de agua necesaria para el proceso de hidratación del cemento. Parte del agua incorporada deja de actuar únicamente como agente lubricante durante la compactación y pasa a formar parte de las reacciones químicas de hidratación, lo que exige mayores contenidos de humedad para alcanzar la máxima densificación.

5.2. PROPIEDADES MÉCANICAS

En este apartado se presentan y analizan los resultados obtenidos de los ensayos mecánicos realizados a las muestras de suelo arenoso natural y mejorado con adiciones de 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Tipo HS, en diferentes tiempos de curado. Estos ensayos comprenden el corte directo y la compresión no confinada (Q_u), los cuales permiten cumplir con los objetivos específicos planteados en la presente investigación.

Los resultados experimentales se obtuvieron a partir de las fichas de protocolos de laboratorio incluidas en los Anexos 12, 13 y 14, correspondientes a los ensayos de corte directo y compresión simple, respectivamente.

A. Ensayo de Corte Directo

Objetivo específico 1: Determinar los parámetros de resistencia cortante (cohesión y ángulo de fricción interna) de los suelos arenosos en función diferentes porcentajes de cemento, mediante ensayos de corte directo.

Los resultados obtenidos del ensayo de corte directo elaborados a los 14 días de curado permitieron determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo evaluado, específicamente la cohesión efectiva (c') y el ángulo de fricción interna (ϕ').

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

La resistencia al corte del suelo fue obtenida mediante ensayos de Direct Shear Test, realizados bajo condiciones consolidado drenado (CD), siguiendo los lineamientos establecidos en la norma ASTM D3080. En este tipo de ensayo, las muestras fueron previamente consolidadas bajo diferentes niveles de esfuerzo normal, permitiendo el drenaje completo del agua intersticial antes de la aplicación del esfuerzo cortante, lo que garantiza que la respuesta del material esté gobernada por esfuerzos efectivos. A partir de las curvas esfuerzo - deformación obtenidas, se evaluó el comportamiento mecánico del suelo arenoso estabilizado con diferentes porcentajes de cemento, observándose una evolución progresiva de la resistencia al corte en función del incremento del esfuerzo normal y del contenido de agente cementante. Este comportamiento es característico de materiales granulares mejorados, en los cuales la adición de cemento induce la formación de enlaces interparticulares, incrementando la rigidez del sistema y modificando tanto la cohesión aparente como el ángulo de fricción interna. A continuación, se presenta el análisis detallado de las curvas esfuerzo–deformación para cada porcentaje de cemento evaluado.

Para el suelo natural sin adición de cemento, en la **Figura 24** se presentan las curvas esfuerzo cortante–desplazamiento horizontal obtenidas a partir del ensayo de corte directo para esfuerzos normales de 10 kPa, 25 kPa y 50 kPa. Se observa que el comportamiento del material corresponde al de un suelo arenoso suelto, caracterizado por una baja rigidez inicial y una resistencia a la corte relativamente reducida.

Los valores máximos de esfuerzo cortante alcanzados fueron aproximadamente 5 kPa, 10.55 kPa y 18 kPa para esfuerzos normales de 10 kPa, 25 kPa y 50 kPa, respectivamente. Estos valores muestran una dependencia directa entre el esfuerzo cortante máximo y el esfuerzo normal aplicado, lo cual es característico de suelos

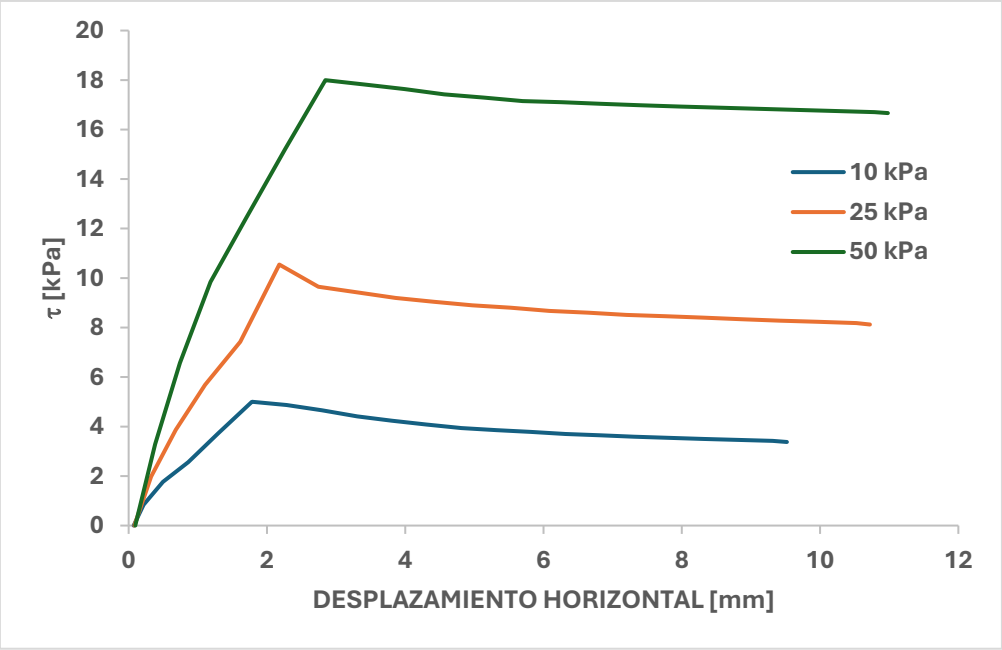
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

granulares donde la resistencia está dominada principalmente por la fricción entre partículas.

Asimismo, se observa que las curvas presentan una pendiente inicial moderada, indicando una rigidez relativamente baja en comparación con los suelos estabilizados con cemento. El pico de resistencia ocurre a desplazamientos horizontales mayores, aproximadamente entre 2 mm y 3 mm, lo que evidencia un comportamiento más dúctil del material natural. Posteriormente, después del esfuerzo máximo, se observa una disminución gradual del esfuerzo cortante, indicando la pérdida progresiva de la resistencia debido al reacomodo de las partículas y a la ausencia de enlaces cementantes.

Figura 24

Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – Suelo Natural



Nota. La figura muestra los desplazamientos horizontales de 3 especímenes. Elaboración a partir de resultados del ensayo de corte directo (2025).

Este comportamiento es típico de suelos arenosos sueltos, donde la resistencia depende principalmente del contacto intergranular y la fricción interna, sin la

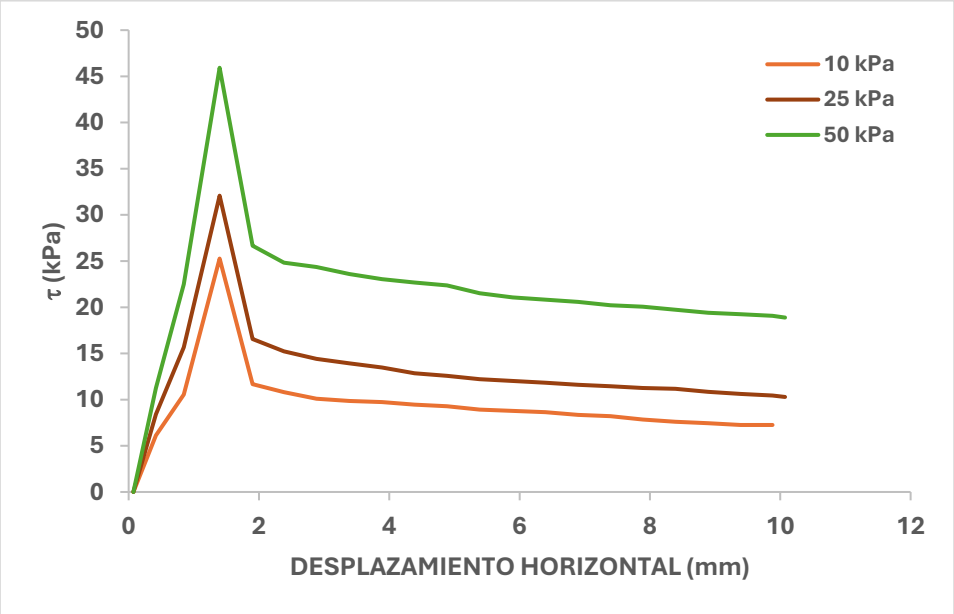
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

contribución de cohesión significativa. Asimismo, la reducción progresiva del esfuerzo después del pico sugiere que el material presenta una resistencia residual relativamente estable, producto del reajuste estructural del suelo durante el corte.

En la **Figura 25** se observan las curvas correspondientes al suelo con 2.5 % de cemento mostrando un comportamiento típico de un material granular ligeramente cementado bajo condiciones de corte en ensayo de Direct Shear Test. Se observa un incremento rápido del esfuerzo cortante (τ) con el desplazamiento horizontal durante la fase inicial, alcanzando un pico bien definido a deformaciones relativamente pequeñas (aproximadamente entre 1 y 2 mm). Los valores máximos registrados fueron 25.27 kPa, 32.08 kPa y 45.93 kPa para esfuerzos normales de 10, 25 y 50 kPa, respectivamente.

Figura 25

Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – 2.5 % de cemento tipo HS (MH) (R)



Nota. La figura muestra el comportamiento generado a los especímenes estabilizados con 2.5 % de cemento HS (MH) (R). Elaborado a partir de los resultados de corte directo (2025).

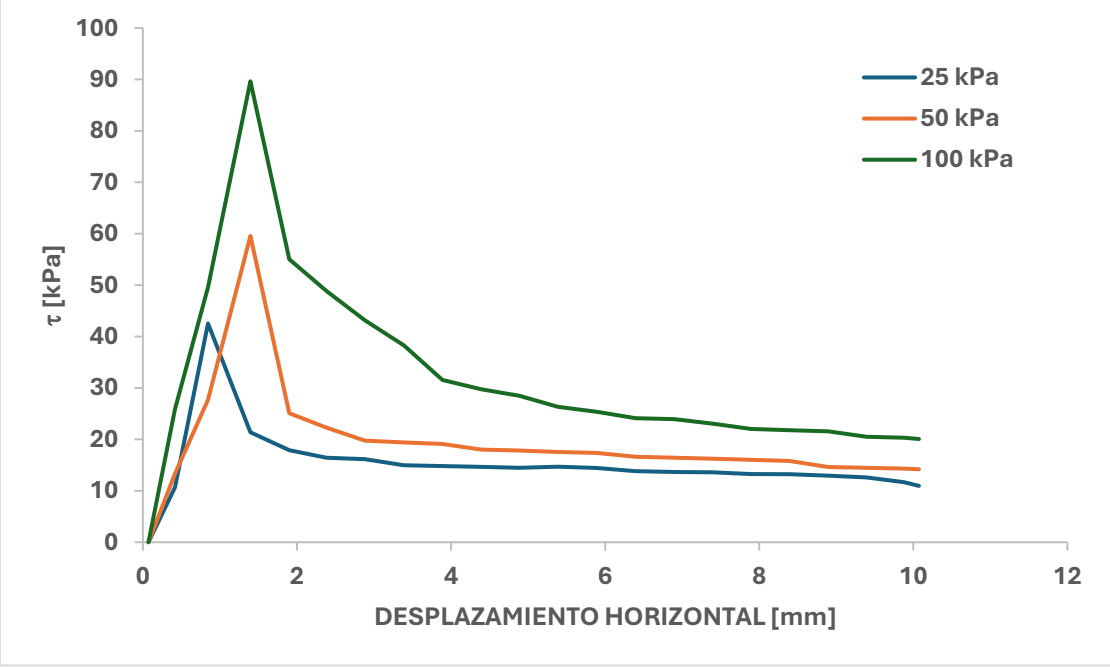
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Posteriormente al pico, se evidencia una disminución progresiva del esfuerzo cortante, lo cual indica un comportamiento de tipo frágil o con ablandamiento post-pico. Este fenómeno se asocia a la ruptura de los débiles enlaces cementantes y la reorganización de las partículas de arena. Asimismo, el incremento del esfuerzo normal genera un aumento consistente en la resistencia al corte, lo cual es coherente con el criterio de Mohr–Coulomb. En general, el suelo presenta una resistencia moderada, dominada principalmente por fricción interparticular, con una contribución limitada de cohesión.

Para el suelo estabilizado con 5 % de cemento (HS) (MH) (R), en la **figura 26** las curvas muestran un incremento notable en la resistencia al corte en comparación con el caso anterior. Los valores máximos alcanzados fueron 42.55 kPa, 59.56 kPa y 89.64 kPa para esfuerzos normales de 25, 50 y 100 kPa, respectivamente. El aumento del contenido de cemento se refleja en una mayor rigidez inicial de las curvas, evidenciada por una pendiente más pronunciada en la fase inicial del ensayo.

Figura 26

Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – 5 % de cemento tipo HS (MH) (R)



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nota. La figura muestra el comportamiento generado a los especímenes estabilizados con 5 % de cemento HS (MH) (R). Elaborado a partir de los resultados de corte directo (2025).

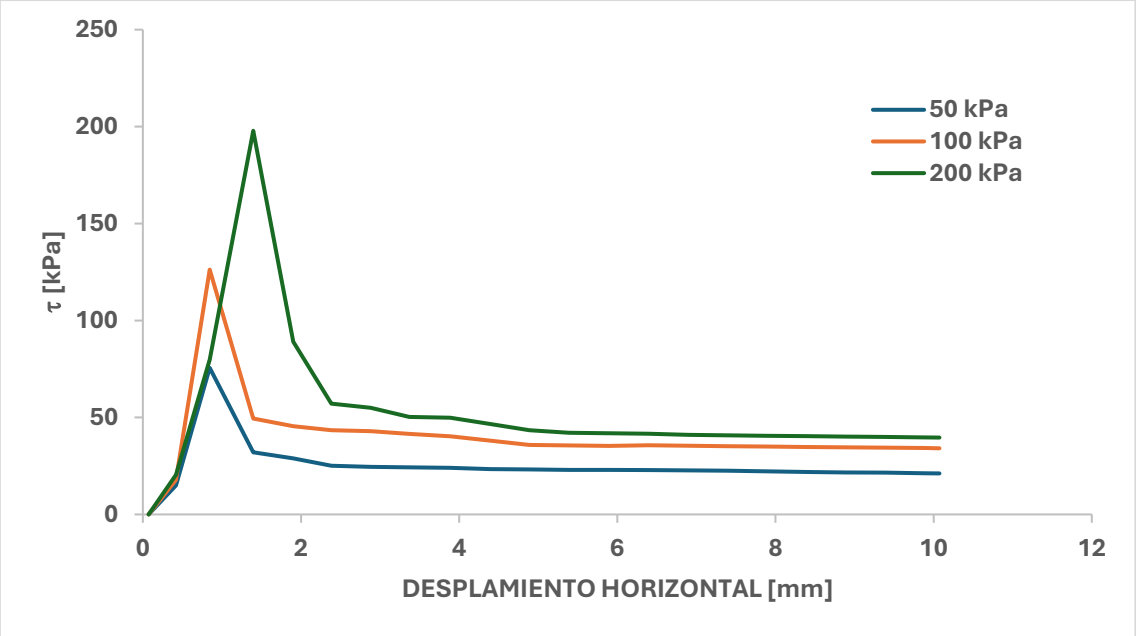
El pico de resistencia continúa ocurriendo a deformaciones relativamente pequeñas, lo que indica que el material presenta un comportamiento más rígido. Después del pico, se observa una reducción del esfuerzo cortante, aunque menos pronunciada que en el caso del 2.5 %, lo que sugiere una transición hacia un comportamiento ligeramente más dúctil. Este comportamiento se atribuye a una mayor cantidad de enlaces cementantes, los cuales incrementan la cohesión aparente del suelo y mejoran la resistencia estructural del sistema granular. En este caso, la contribución de la cohesión es más significativa, sin dejar de depender del esfuerzo normal aplicado.

En **Figura 27** las curvas correspondientes al 10 % de cemento presentan el mayor incremento en resistencia al corte, con valores máximos de 75.57 kPa, 126.24 kPa y 197.83 kPa para esfuerzos normales de 50, 100 y 200 kPa, respectivamente. Se observa un comportamiento altamente rígido, caracterizado por un aumento muy rápido del esfuerzo cortante en la etapa inicial, alcanzando picos elevados a deformaciones pequeñas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 27

Curva esfuerzo deformación de suelo (SP) – 10 % de cemento tipo HS (MH) (R)



Nota. La figura muestra el comportamiento generado a los especímenes estabilizados con 10 % de cemento HS (MH) (R). Elaborado a partir de los resultados de corte directo (2025).

Después del pico, la caída del esfuerzo es más abrupta, lo que evidencia un comportamiento más frágil, típico de materiales cementados. Este comportamiento indica que, aunque la resistencia máxima es considerablemente mayor, la pérdida de resistencia post-falla también es más marcada debido a la rotura de los enlaces cementantes formados por el mayor contenido de cemento. En este caso, la cohesión aparente juega un papel dominante en la resistencia del material, mientras que el ángulo de fricción también se incrementa debido a la mayor rigidez y trabazón entre partículas.

El análisis conjunto de las tres condiciones muestra una tendencia clara: el incremento del contenido de cemento produce un aumento significativo en la resistencia al corte del suelo, reflejado en mayores valores de esfuerzo cortante máximo. Asimismo,

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

se observa un incremento en la rigidez del material y una reducción de la deformación necesaria para alcanzar el pico de resistencia. Este comportamiento evidencia que la adición de cemento mejora la estructura interna del suelo arenoso, generando una mayor interconexión entre partículas y aumentando la resistencia frente a esfuerzos tangenciales.

Sin embargo, también se evidencia que, a mayores contenidos de cemento, el comportamiento del material tiende a ser más frágil, presentando caídas más pronunciadas en el esfuerzo cortante después del pico de resistencia. Este comportamiento es característico de suelos cementados, donde la resistencia está fuertemente influenciada por la cohesión inducida por la formación de enlaces cementantes, los cuales, al romperse, generan una pérdida rápida de resistencia.

A partir de las envolventes de falla obtenidas mediante el ensayo de Direct Shear Test, se determinaron los parámetros de resistencia al corte del suelo arenoso estabilizado, empleando el criterio de Mohr-Coulomb. Las rectas de ajuste τ–σ' presentaron altos coeficientes de determinación ($R^2 \geq 0.99$), lo que indica una adecuada correlación lineal entre los esfuerzos normales y los esfuerzos cortantes máximos, validando la consistencia de los resultados experimentales.

En la **Figura 28** la envolvente de falla presenta la ecuación $\tau = 0.322\sigma + 2.056$, correspondiente al suelo natural sin adición de cemento, obteniéndose un ángulo de fricción $\varphi' = 17.90°$ y una cohesión $c' = 2.06$ kPa. Estos resultados representan el menor nivel de resistencia entre los casos analizados, lo cual evidencia el comportamiento típico de un suelo arenoso suelto sin estabilización.

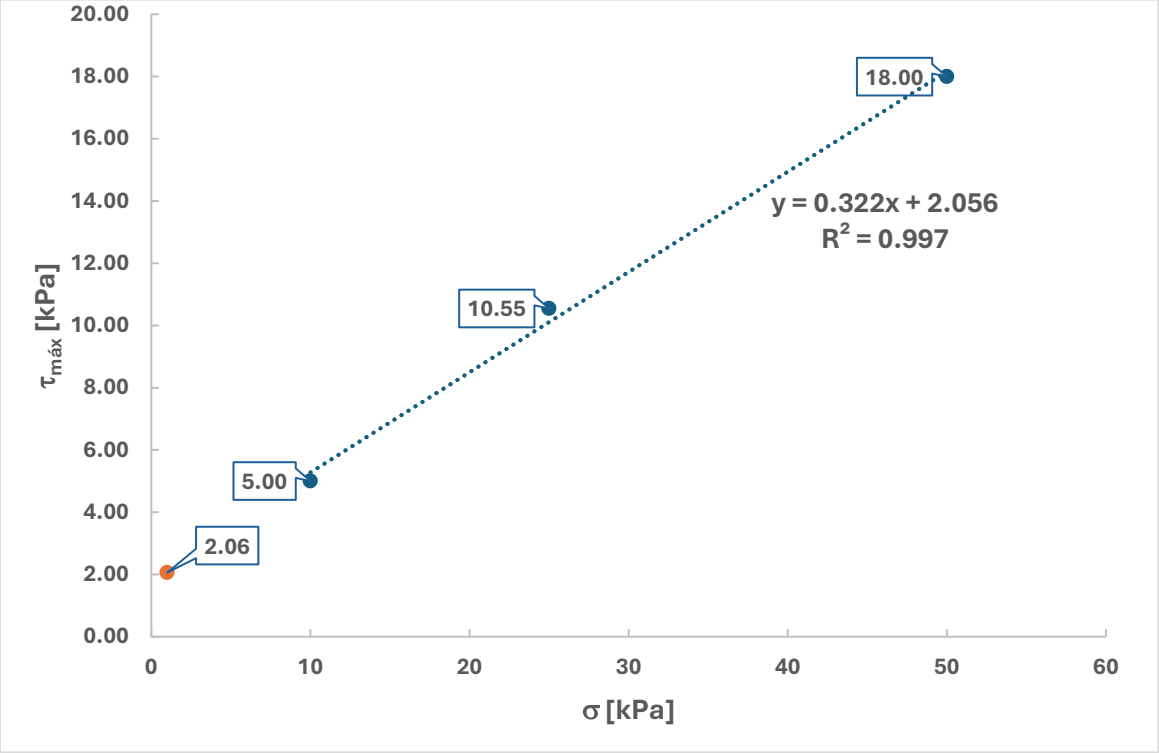
La pendiente moderada de la envolvente indica que la resistencia al corte depende principalmente del esfuerzo normal aplicado, lo cual es característico de suelos granulares donde predomina la fricción entre partículas. Asimismo, el bajo valor de cohesión refleja

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

la ausencia de enlaces cementantes, indicando que el material no presenta una estructura interna capaz de resistir esfuerzos cortantes sin la contribución del esfuerzo normal.

Figura 28

Envolvente de falla suelo (SP) – Suelo Natural



Nota. El suelo natural presenta una capacidad resistente limitada debido a la ausencia de agentes estabilizantes que favorezcan la unión entre partículas. Elaboración a partir de los ensayos de corte directo (2025).

Nota. El contenido de 2.5 % de cemento genera una mejora inicial en la resistencia del suelo debido a la formación de enlaces cementantes entre partículas. Elaboración a partir de los resultados experimentales (2025).

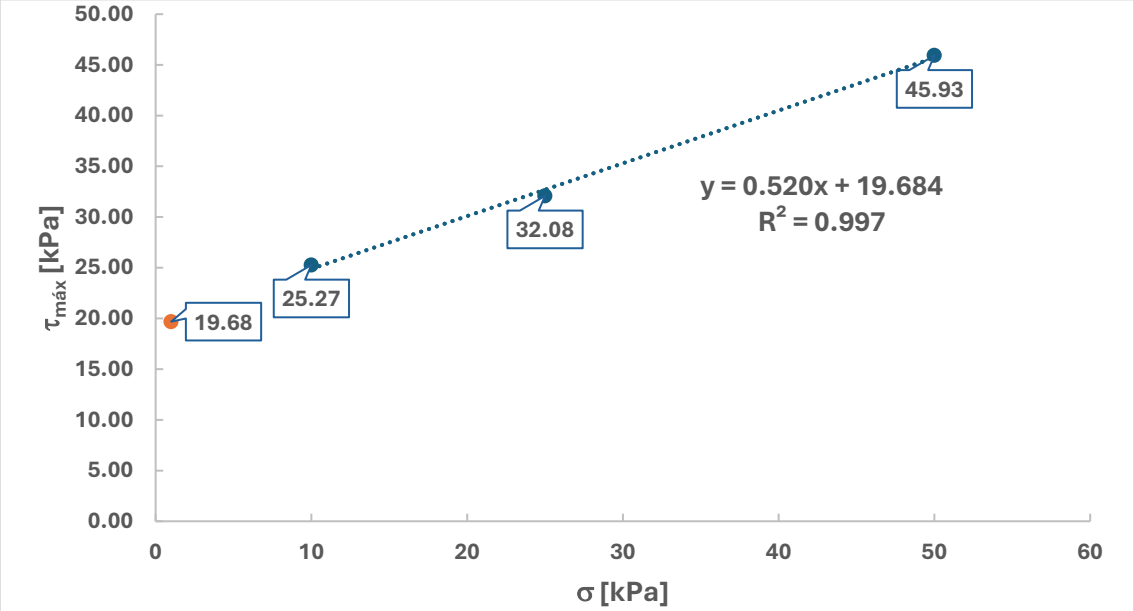
Como se muestra en la **figura 29**, la envolvente de falla correspondiente al suelo con 2.5 % de cemento presenta una relación lineal entre el esfuerzo cortante máximo y el esfuerzo normal aplicado. La ecuación obtenida, $\tau = 0.520\sigma + 19.684$, permite determinar

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

un ángulo de fricción interna efectivo ϕ'≈ 27.32° y una cohesión efectiva c' ≈ 19.68 kPa. Estos resultados indican que el suelo presenta un comportamiento predominantemente friccional, propio de materiales granulares, aunque con una cohesión aparente generada por la adición del cemento. La pendiente de la recta evidencia la dependencia de la resistencia al corte con el esfuerzo normal, mientras que la ordenada al origen refleja la formación de enlaces cementantes entre partículas, los cuales contribuyen a mejorar la resistencia del suelo.

Figura 29

Envolvente de falla suelo (SP) – 2.5 % de cemento tipo HS (MH) (R)



Nota. El contenido de 2.5 % de cemento genera una mejora inicial en la resistencia del suelo debido a la formación de enlaces cementantes entre partículas. Elaboración a partir de los resultados experimentales (2025).

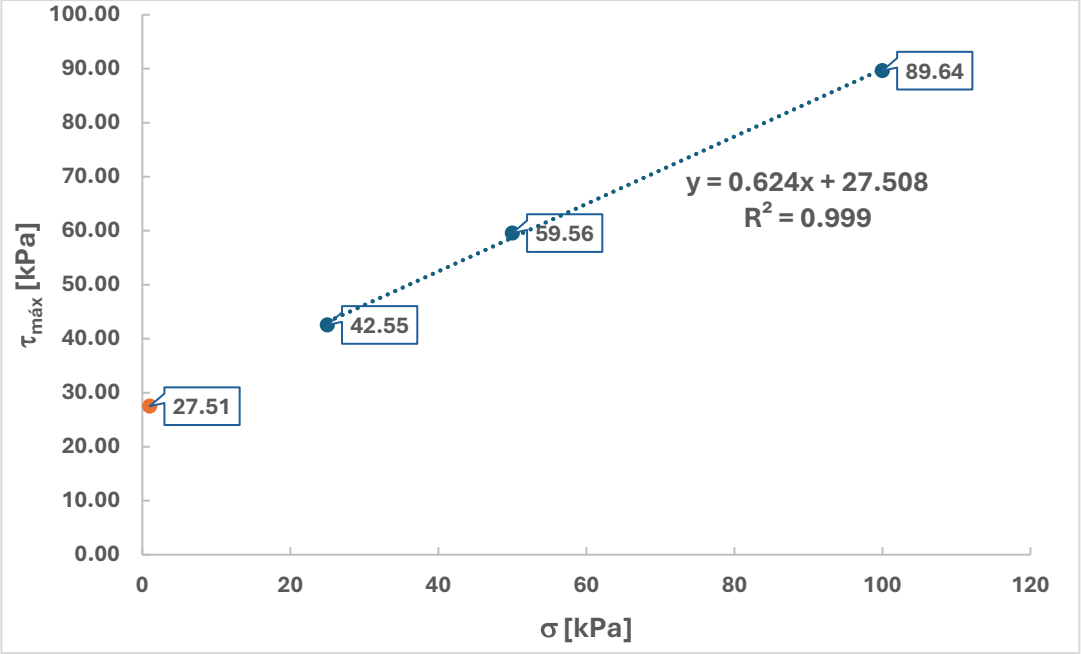
En el caso del suelo con 5 % de cemento, en la **figura 30** la envolvente de falla expresada como τ = 0.624σ + 27.508, permite obtener un ángulo de fricción ϕ' = 32.12° y una cohesión c' = 27.51 kPa. Además se observa un incremento tanto en la pendiente

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

como en la ordenada al origen respecto al caso anterior, lo cual indica una mejora simultánea de la fricción interna y de la cohesión del material. Este comportamiento es atribuible a una mayor formación de enlaces cementantes entre partículas, lo que incrementa la rigidez estructural del suelo y su capacidad para resistir esfuerzos cortantes. La mayor pendiente refleja un aumento en la eficiencia del contacto intergranular, mientras que el incremento de la cohesión evidencia una estructura más estable.

Figura 30

Envolvente de falla suelo (SP) – 5 % de cemento tipo HS (MH) (R)



Nota. La figura muestra la tendencia que siguen de los esfuerzos cortantes, permitiendo obtener una ecuación lineal, que permita descifrar parámetros de cohesión y fricción. Elaboración a partir de los resultados experimentales (2025).

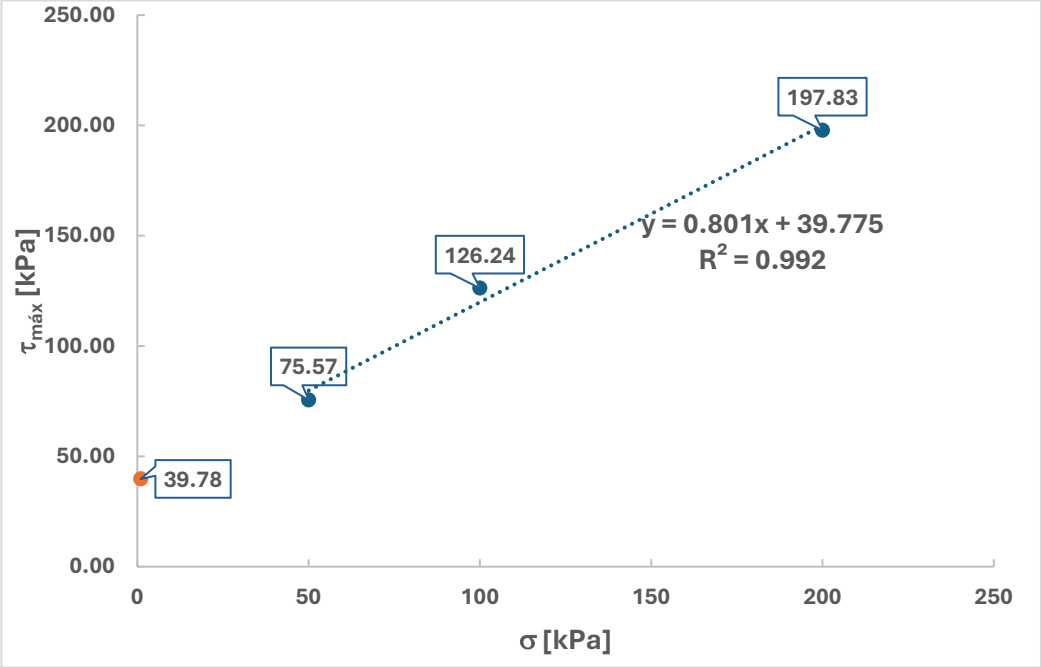
En la **Figura 31** la envolvente de falla presenta la ecuación $\tau = 0.801\sigma + 39.775$, perteneciente a un suelo estabilizado con 10% dando un ángulo de fricción $\phi' = 39.18°$ y una cohesión $c' = 39.78$ kPa. Estos resultados representan el mayor nivel de resistencia entre los casos analizados, evidenciando un comportamiento altamente cementado. La

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

pendiente elevada indica una fuerte dependencia de la resistencia con el esfuerzo normal, mientras que el alto valor de cohesión refleja la presencia de una matriz cementante bien desarrollada que domina el comportamiento mecánico del material. Este tipo de respuesta es característico de suelos tratados con altos contenidos de cemento, donde la resistencia no solo depende de la fricción, sino también de la resistencia estructural interna.

Figura 31

Envolvente de falla suelo (SP) – 10 % de cemento tipo HS (MH) (R)



Nota. El elevado valor de cohesión y la pendiente de la envolvente reflejan el desarrollo de una matriz cementante que incrementa significativamente la resistencia mecánica del material. Elaboración a partir de los resultados experimentales (2025).

El análisis conjunto de los resultados muestra una tendencia clara de incremento tanto de la cohesión como del ángulo de fricción interna con el aumento del contenido de cemento. La cohesión presenta un incremento alto (de aproximadamente 2.06 kPa a 39.78 kPa), lo que confirma que la estabilización con cemento genera una estructura más resistente debido a la formación de enlaces interparticulares. Como se muestra en la **Tabla**

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

N° 11, el ángulo de fricción interna también aumenta progresivamente (de 18° a 39.18°), lo cual indica una mejora en la interacción entre partículas, asociada a una mayor rigidez y densificación del material.

Tabla 11

Valores de cohesión y ángulo de fricción interna.

PARAMETRO	SUELO NATURAL	2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	5% CEMENTO HS (MH) (R)	10% CEMENTO HS (MH) (R)
ϕ' (°)	18	27.32	32.12	39.18
c' (kPa)	2.06	19.68	27.51	39.78

Nota. La tabla muestra el resumen general de parámetros de cohesión y ángulo de fricción obtenidos a partir de ensayos de corte directo (2025).

Asimismo, los altos valores de R^2 obtenidos en las tres condiciones evidencian que el comportamiento del material sigue adecuadamente el modelo lineal de falla de Mohr-Coulomb, lo que valida el uso de este criterio para la interpretación de los resultados. En conjunto, estos hallazgos demuestran que el incremento del contenido de cemento no solo mejora la resistencia al corte del suelo, sino que también modifica su comportamiento mecánico, pasando de un material predominantemente friccional a uno con características estructurales más rígidas y cohesivas.

Cabe señalar además que los ensayos de corte directo para suelo – cemento fueron realizados a los 14 días de curado, periodo en el cual el proceso de hidratación del cemento aún continúa desarrollándose. En suelos estabilizados con cemento, la resistencia mecánica generalmente incrementa con el tiempo, alcanzando valores cercanos a su resistencia máxima alrededor de los 28 días de curado. Por lo tanto, los valores de resistencia al corte obtenidos en esta investigación pueden considerarse

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

conservadores, siendo esperable que, a edades mayores, tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna presenten incrementos adicionales debido al mayor desarrollo de la matriz cementante. En conjunto, los resultados confirman que la adición de cemento mejora significativamente las propiedades mecánicas del suelo arenoso, incrementando tanto su cohesión como su capacidad resistente bajo diferentes niveles de esfuerzo normal.

B. Ensayo de Compresión simple

Objetivo específico 2: Analizar la resistencia a la compresión simple de los suelos arenosos estabilizados con cemento HS (MH) (R), considerando diferentes porcentajes y tiempos de curado.

En la **Tabla N° 12** se observan los resultados, donde la resistencia extremadamente limitada del suelo SP en condición natural, corroborando su falta de cohesión y su incapacidad para mantener esfuerzos axiales significativos. La primera probeta alcanzó la falla a los 5 minutos 32 segundos, mientras que la segunda colapsó a los 6 minutos 45 segundos, valores que reflejan la vulnerabilidad mecánica del material cuando no cuenta con algún tipo de estabilización.

Tabla 12

Compresión simple en suelo natural (SP) – 14 días

Muestra	Carga aplicada (g)	Carga aplicada (N)	Tiempo hasta la falla	Observación
Probeta 1	205 g	2.01 N	5 min 32 s	Falla inmediata progresiva
Probeta 2	205 g	2.01 N	6 min 45 s	Falla progresiva, ligeramente mayor tiempo

Nota. La tabla muestra resultados del tiempo de falla de las probetas de suelo sin cemento ensayadas después de 14 días de realizado el moldeo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En la **Tabla N.º 13** se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de compresión no confinada realizados sobre las mezclas de suelo arenoso tratadas con 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS al día 14 de curado. Los valores muestran un incremento progresivo de la resistencia a medida que aumenta el contenido de cemento, evidenciando el efecto estabilizador del material cementante.

Para el caso del 2.5 % de cemento, las probetas alcanzaron resistencias individuales entre 2.67 y 4.46 kg/cm², obteniéndose una resistencia media de 3.35 kg/cm². En el tratamiento con 5 % de cemento, los valores aumentaron significativamente, situándose entre 7.00 y 7.64 kg/cm², con una resistencia media de 7.30 kg/cm². Finalmente, las muestras con 10 % de cemento mostraron el mayor desempeño mecánico, con resistencias comprendidas entre 24.19 y 43.16 kg/cm², alcanzando una media de 30.81 kg/cm². Estos resultados evidencian que el incremento del porcentaje de cemento genera una mejora sustancial en la resistencia del suelo, debido al proceso de cementación y formación de enlaces que incrementan la cohesión y rigidez del material tratado.

Tabla 13

Compresión simple con 2.5%, 5% Y 10% de Cemento HS (MH) (R) – 14 días.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Muestra	Descripción	Área (cm^2)	Carga axial máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión media (kg/cm^2)
M1 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	210	2.67	3.35
M2 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	230	2.93	
M3 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	350	4.46	
M1 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	600	7.64	7.30
M2 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	550	7.00	
M3 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	570	7.26	
M1 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1900	24.19	30.81
M2 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3390	43.16	
M3 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1970	25.08	

Nota. La tabla muestra la compresión simple (kg/cm^2) de probetas diferentes porcentajes de cemento ensayadas a los 14 días.

En la **Tabla N.º 14** se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de compresión no confinada realizados a los 21 días de curado sobre las mezclas de suelo arenoso estabilizadas con 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS (MH) (R). Los resultados evidencian un incremento progresivo de la resistencia a la compresión simple conforme aumenta el contenido de cemento, lo cual confirma el efecto estabilizador del material cementante y la continuidad del proceso de hidratación del cemento con el tiempo de curado.

Para el caso del 2.5 % de cemento, las probetas ensayadas presentaron resistencias individuales de 1.02, 3.18 y 3.57 kg/cm^2, obteniéndose una resistencia media de 2.59 kg/cm^2. Estos valores reflejan una mejora moderada en la resistencia del suelo, atribuida a la formación inicial de enlaces cementantes entre las partículas del material granular. Sin embargo, se observa cierta variabilidad entre las muestras, lo cual es común en suelos arenosos tratados con bajos contenidos de cemento, donde la distribución del material cementante puede no

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ser completamente uniforme y la estructura aún no se encuentra totalmente consolidada.

Los resultados con 5% de cemento HS (MH) (R) muestran un incremento significativo en la resistencia, con valores comprendidos entre 15.29 y 18.60 kg/cm², alcanzando una resistencia media de 16.73 kg/cm². Este aumento considerable respecto al 2.5 % evidencia una mayor formación de productos de hidratación del cemento, lo que genera una estructura interna más rígida y resistente. Asimismo, la menor dispersión de los resultados indica una mayor uniformidad en la mezcla y una mejor interacción entre las partículas del suelo y el material cementante.

Por su parte, las muestras con 10 % de cemento presentaron los mayores valores de resistencia a la compresión simple, con resistencias individuales entre 42.55 y 47.39 kg/cm², alcanzando una resistencia media de 45.18 kg/cm². Estos resultados evidencian un incremento sustancial de la resistencia mecánica del suelo, debido a la formación de una matriz cementante más densa y continua, que incrementa significativamente la cohesión del material y su capacidad para soportar cargas axiales sin confinamiento. Este comportamiento es característico de suelos altamente estabilizados, donde la resistencia está dominada por los enlaces cementantes generados durante el proceso de curado.

Tabla 14

Compresión simple con 2.5%, 5% Y 10% de Cemento HS (MH) (R) – 21 días

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

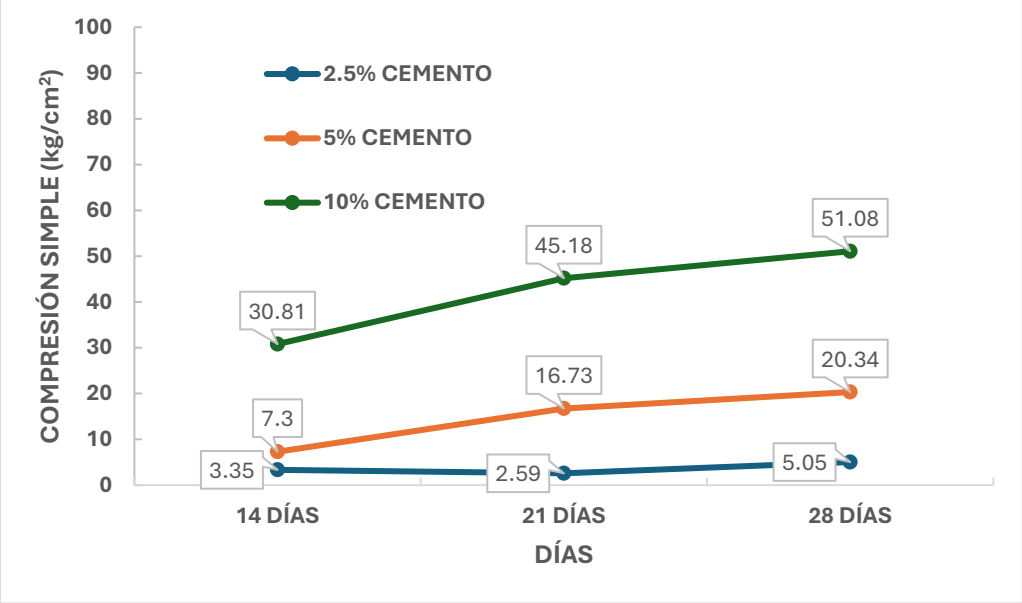
TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Muestra	Descripción	Área (cm2)	Carga axial máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm2)	Resistencia a la compresión media (kg/cm2)
M1 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	80	1.02	
M2 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	250	3.18	2.59
M3 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	280	3.57	
M1 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1280	16.31	
M2 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1200	15.29	16.73
M3 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1460	18.60	
M1 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3580	45.61	
M2 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3340	42.55	45.18
M3 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3720	47.39	

Nota. La tabla muestra la compresión simple (kg/cm^2) de probetas diferentes porcentajes de cemento ensayadas a los 21 días.

Figura 32

Comparaciones de resistencia axial entre diferentes porcentajes.



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Nota. La figura muestra las diferencias en cuanto a los resultados obtenidos de compresión simple, mediante días de curado y dosificación de cemento HS (MH) (R).

El análisis comparativo entre los diferentes porcentajes de cemento, tal como se observa en la **Figura 32**, el incremento del contenido cementante produce un aumento significativo en la resistencia a la compresión simple a los 21 días de curado. Asimismo, estos resultados reflejan la evolución de la resistencia con el tiempo, ya que el proceso de hidratación del cemento continúa desarrollándose, permitiendo la formación progresiva de compuestos cementantes que mejoran la rigidez y cohesión del suelo tratado. En consecuencia, se confirma que la adición de cemento Portland tipo HS (MH) (R) influye directamente en el comportamiento mecánico del suelo arenoso, incrementando su resistencia y mejorando su desempeño estructural conforme aumenta el porcentaje de estabilización y el tiempo de curado.

En la **Tabla N.º 15** se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de compresión no confinada realizados a los 28 días de curado para las mezclas de suelo arenoso estabilizadas con 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS (MH) (R). Los resultados muestran un incremento progresivo de la resistencia a la compresión simple con el aumento del contenido de cemento y del tiempo de curado, evidenciando el desarrollo continuo del proceso de hidratación del cemento y la consolidación de la estructura cementada del material.

Para el caso del 2.5 % de cemento, las probetas alcanzaron resistencias individuales de 2.80, 6.24 y 6.11 kg/cm², obteniéndose una resistencia media de 5.05 kg/cm². Estos resultados evidencian un incremento significativo respecto a los valores obtenidos a los 21 días, lo que confirma que el proceso de hidratación

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

del cemento continúa desarrollándose con el tiempo. Asimismo, el aumento de la resistencia se atribuye a la formación progresiva de enlaces cementantes entre las partículas del suelo, lo cual incrementa la cohesión y mejora la capacidad del material para resistir esfuerzos axiales. Sin embargo, al tratarse de un bajo contenido de cemento, el incremento de la resistencia continúa siendo moderado en comparación con porcentajes mayores.

Para el tratamiento con 5 % de cemento, las resistencias obtenidas fueron de 21.15, 20.25 y 19.62 kg/cm², alcanzando una resistencia media de 20.34 kg/cm². Estos resultados reflejan un incremento de resistencia con respecto a los valores obtenidos a los 21 días de curado, evidenciando una mayor consolidación de la matriz cementante y una mejora significativa en la cohesión del suelo estabilizado. Además, se observa una menor variabilidad entre las muestras, lo que indica una distribución más uniforme del cemento y una estructura interna más estable del material tratado.

Por su parte, las muestras con 10 % de cemento presentaron los valores más elevados de resistencia, registrando resistencias individuales de 52.48, 48.54 y 52.23 kg/cm², con una resistencia media de 51.08 kg/cm². Este incremento significativo en la resistencia se debe a la formación de una matriz cementante más densa y continua, lo que genera una mayor rigidez del material. Asimismo, estos resultados evidencian que el suelo estabilizado con mayor contenido de cemento presenta un comportamiento más resistente y estructuralmente más consolidado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Tabla 15

Compresión simple con 2.5%, 5% Y 10% de Cemento HS (MH) (R) – 28 días

Muestra	Descripción	Área (cm^2)	Carga axial máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión media (kg/cm^2)
M1 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	220	2.80	5.05
M2 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	490	6.24	
M3 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	480	6.11	
M1 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1660	21.15	20.34
M2 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1590	20.25	
M3 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1540	19.62	
M1 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	4120	52.48	51.08
M2 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3810	48.54	
M3 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	4100	52.23	

Nota. La tabla muestra la compresión simple (kg/cm^2) de probetas diferentes porcentajes de cemento ensayadas a los 28 días.

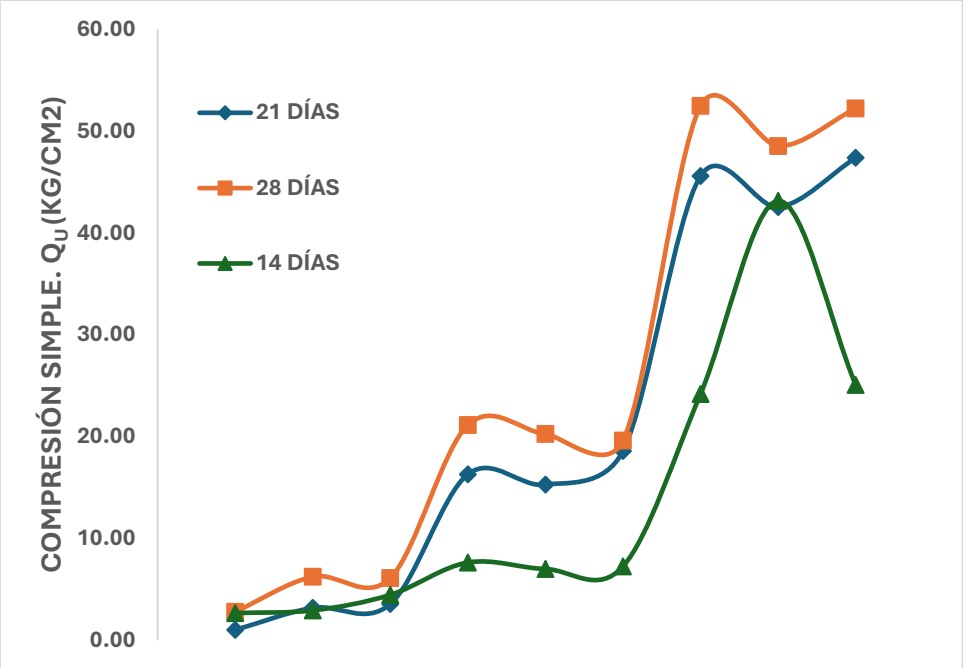
La **Figura 33**, muestra el análisis comparativo de los resultados obtenidos a los 28 días muestra una tendencia clara de incremento de la resistencia a la compresión simple conforme aumenta el contenido de cemento. Asimismo, se observa que el incremento del tiempo de curado influye directamente en la mejora de la resistencia mecánica, debido a la continuidad del proceso de hidratación del cemento y al desarrollo progresivo de los enlaces interparticulares.

En conjunto, estos resultados confirman que la estabilización del suelo arenoso con cemento Portland tipo HS (MH) (R) mejora significativamente sus propiedades mecánicas, incrementando la resistencia a la compresión simple y la rigidez del material tratado, especialmente a mayores contenidos de cemento y mayores tiempos de curado.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 33

Análisis comparativo de resultados de compresión simple.



Nota. La figura muestra las tendencias positivas que presentan los resultados de compresión simple obtenidos de laboratorio (2025).

C. Modelos de predicción

Objetivo específico 3: Desarrollar modelos de predicción que permitan predecir la resistencia a compresión simple (qu) y los parámetros de resistencia al corte (cohesión c' y ángulo de fricción ϕ') en función del contenido de cemento en un suelo arenoso, con fines de aplicación en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o similares.

Con la finalidad de establecer herramientas predictivas aplicables al mejoramiento de suelos arenosos, se desarrollaron modelos de predicción que relacionan el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple (q_u) y los parámetros de resistencia al corte, como la cohesión (c') y el ángulo de fricción interna (ϕ'). Estos modelos fueron obtenidos a partir del análisis de los resultados experimentales derivados de los ensayos de laboratorio realizados a diferentes porcentajes de cemento, permitiendo identificar

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

tendencias de comportamiento y relaciones funcionales entre las variables estudiadas. De esta manera, se formularon ecuaciones empíricas que permiten estimar los parámetros mecánicos del suelo estabilizado en función del contenido de cemento, facilitando su aplicación en etapas preliminares de diseño y en suelos arenosos de características similares a los de la zona IV de Villa El Salvador.

Modelo de Compresión Simple (Q_u)

El modelo de predicción desarrollado para la resistencia a compresión simple presenta una tendencia cuadrática creciente en función del contenido de cemento, con un coeficiente de determinación de $R^2 = 0.997$, lo cual indica una excelente correlación entre las variables analizadas; esta tendencia se aprecia claramente en la **Figura 34.** El suelo arenoso natural, sin adición de cemento (0%), presentó una resistencia a compresión simple promedio de 0.26 kPa, lo que confirma un comportamiento mecánico débil, característico de suelos arenosos sueltos. Sin embargo, al incorporar 2.5% de cemento, la resistencia aumentó considerablemente hasta 328.52 kPa, lo que representa un incremento sustancial en la capacidad resistente del suelo.

Asimismo, al incrementar el contenido de cemento al 5%, la resistencia a compresión simple alcanzó un valor de 715.89 kPa, evidenciando una mejora progresiva en el comportamiento mecánico del suelo estabilizado. Este incremento se vuelve aún más pronunciado cuando se emplea 10% de cemento, donde la resistencia alcanzó 3021.43 kPa, mostrando un crecimiento acelerado y no lineal. Este comportamiento confirma la tendencia cuadrática obtenida en el modelo empírico, donde la resistencia aumenta de manera más significativa en porcentajes mayores de cemento.

Ecuación del modelo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El modelo empírico obtenido para la resistencia a compresión simple es:

Donde:

$$q_u = 29.344x^2 + 3.748x + 37.261$$

q_u = Resistencia a compresión simple (kPa)

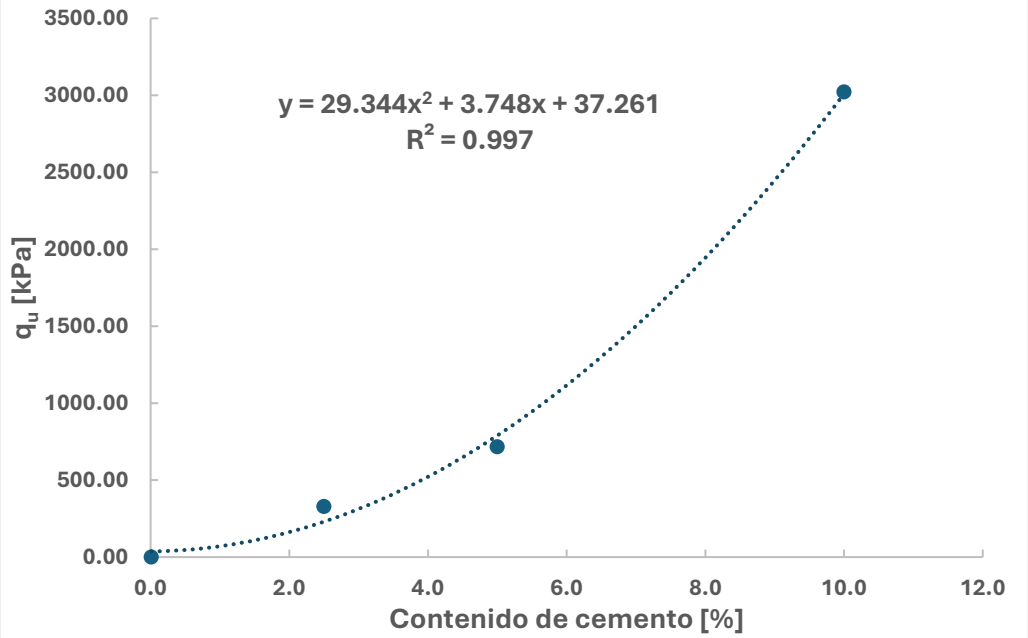
x = Contenido de cemento (%)

$R^2 = 0.997$

El alto coeficiente de determinación ($R^2 = 0.997$) indica una excelente correlación entre el contenido de cemento y la resistencia a compresión simple. Además, modela de forma coherente el comportamiento suelo – cemento.

Figura 34

Modelo de predicción de compresión simple



Nota. La curva de regresión cuadrática muestra la relación entre el contenido de cemento tipo HS (MH) (R) y la resistencia a compresión simple (qu), evidenciando un incremento progresivo de la resistencia conforme aumenta el porcentaje de cemento. Elaboración a partir de los resultados experimentales obtenidos en laboratorio (2025).

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

En la **Figura 34**, se observa que, en los primeros porcentajes de cemento, la mejora de la resistencia es moderada debido a que el proceso de cementación se encuentra en una etapa inicial; sin embargo, al incrementarse el contenido de cemento, se produce una mayor cantidad de productos de hidratación que rellenan los vacíos y generan una estructura más rígida y resistente. Este proceso incrementa la capacidad del suelo para soportar cargas axiales, mejorando significativamente su comportamiento mecánico. Asimismo, el elevado valor del coeficiente de determinación demuestra que el modelo obtenido es confiable y puede emplearse como herramienta de predicción en suelos arenosos de características similares a los de la zona IV de Villa El Salvador.

Modelo de Cohesión (c')

El modelo desarrollado para la cohesión evidencia un incremento progresivo conforme aumenta el contenido de cemento, lo cual se observa claramente en los resultados experimentales, tal como se aprecia en la **Figura 35**. El suelo arenoso natural presentó una cohesión de 2.06 kPa, lo que confirma que este tipo de suelo posee cohesión prácticamente nula y su resistencia depende principalmente del ángulo de fricción interna. Sin embargo, al adicionar 2.5% de cemento, la cohesión aumentó hasta 19.68 kPa, lo que representa un incremento considerable debido a la formación inicial de enlaces cementantes entre partículas.

Al incrementar el contenido de cemento al 5%, la cohesión alcanzó un valor de 27.51 kPa, evidenciando un aumento progresivo en la resistencia al corte del suelo estabilizado. Posteriormente, con 10% de cemento, la cohesión se incrementó hasta 39.78 kPa, mostrando que la adición de cemento continúa mejorando la cohesión, aunque con una tendencia más gradual en comparación con los incrementos iniciales. Este comportamiento es consistente con la tendencia potencial observada en el modelo empírico, donde la cohesión aumenta rápidamente en los primeros porcentajes de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

cemento y luego presenta incrementos más moderados. Desde el punto de vista geotécnico, este comportamiento se debe a que la cohesión generada por el cemento corresponde a una cohesión artificial producto de la cementación del suelo, la cual se incrementa conforme aumenta la cantidad de material cementante. Por ello, el modelo desarrollado permite predecir adecuadamente la cohesión del suelo estabilizado en función del contenido de cemento.

Ecuación del modelo

El modelo empírico obtenido para la cohesión es:

$$c' = 14.176x^{0.422}$$

Donde:

c' = Cohesión efectiva (kPa)

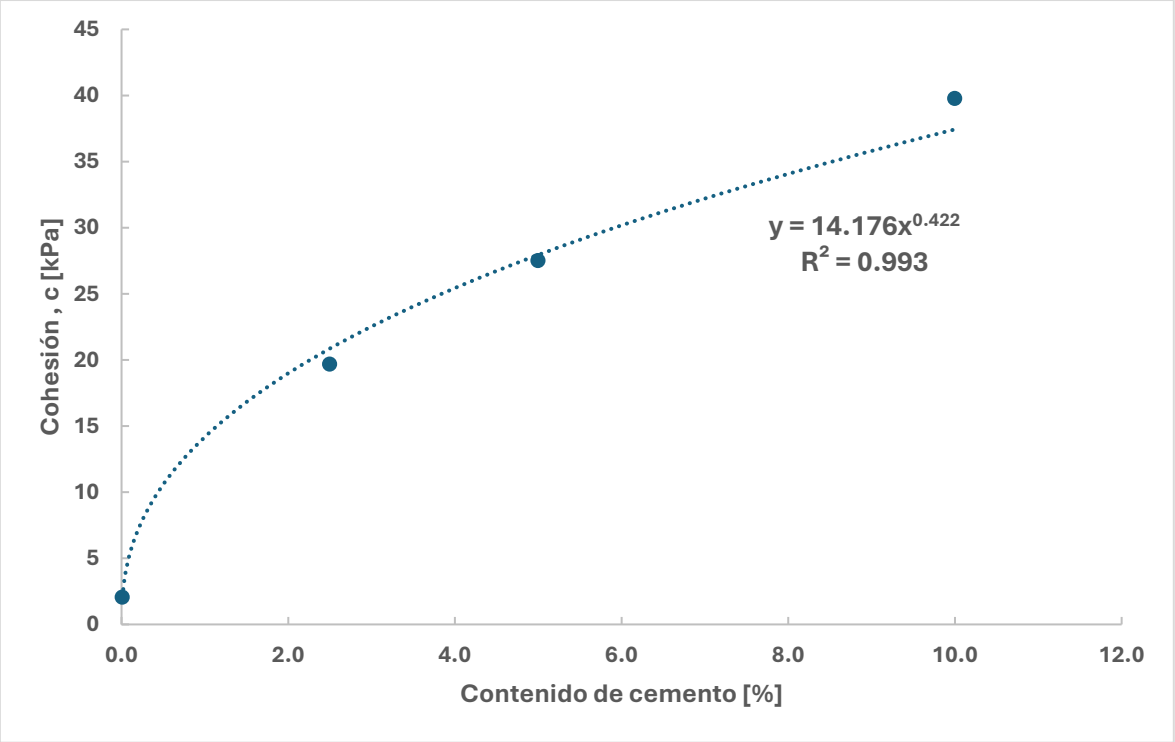
x = Contenido de cemento (%)

$R^2 = 0.993$

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Figura 35

Modelo de predicción de cohesión



Nota. Elaboración de modelo a partir de los resultados del ensayo de corte directo realizados en muestras de suelo arenoso estabilizadas con cemento tipo HS (MH) (R) (2025).

El modelo que muestra la **Figura 35** presenta una tendencia potencial creciente, lo que indica que la cohesión aumenta rápidamente en los primeros porcentajes de cemento y luego el incremento se vuelve más gradual.

Esto significa que pequeñas cantidades de cemento generan incrementos significativos de cohesión, especialmente entre 0% y 5%. El valor de $R^2 = 0.993$ demuestra una muy alta correlación, lo cual valida la confiabilidad del modelo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Modelo de Ángulo de Fricción Efectivo (ϕ')

El modelo desarrollado para el ángulo de fricción interna se observa en la **Figura 36** mostrando una tendencia creciente con el incremento del contenido de cemento, lo cual se confirma con los resultados experimentales obtenidos. El suelo arenoso natural presentó un ángulo de fricción interna de 18°, valor característico de una arena suelta con baja densidad relativa. Al adicionar 2.5% de cemento, el ángulo de fricción interna aumentó hasta 27.32°, evidenciando una mejora significativa en la resistencia al corte del suelo.

Posteriormente, con un contenido de cemento del 5%, el ángulo de fricción interna alcanzó un valor de 32.12°, mostrando un incremento progresivo debido al mejoramiento de la estructura del suelo. Finalmente, al emplear 10% de cemento, el ángulo de fricción interna se incrementó hasta 39.18°, lo que confirma que la adición de cemento mejora el interbloqueo entre partículas y la rigidez del suelo. Este comportamiento coincide con la tendencia cuadrática observada en el modelo empírico, donde el incremento del ángulo de fricción es mayor en los primeros porcentajes y posteriormente tiende a estabilizarse. Desde el punto de vista geotécnico, el incremento del ángulo de fricción se debe a la mejora en la interacción entre partículas, el aumento de la densidad relativa y la formación de una estructura cementada más estable. Sin embargo, el incremento del ángulo de fricción es menor en comparación con el incremento de la cohesión, debido a que la fricción interna depende también de factores granulométricos y de densidad del suelo. En consecuencia, el modelo desarrollado permite estimar el ángulo de fricción interna del suelo estabilizado en función del contenido de cemento, siendo aplicable a suelos arenosos de características similares a los estudiados.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Ecuación del modelo

El modelo empírico obtenido para el ángulo de fricción interna es:

$$\phi' = -0.162x^2 + 3.703x + 18.266$$

Donde:

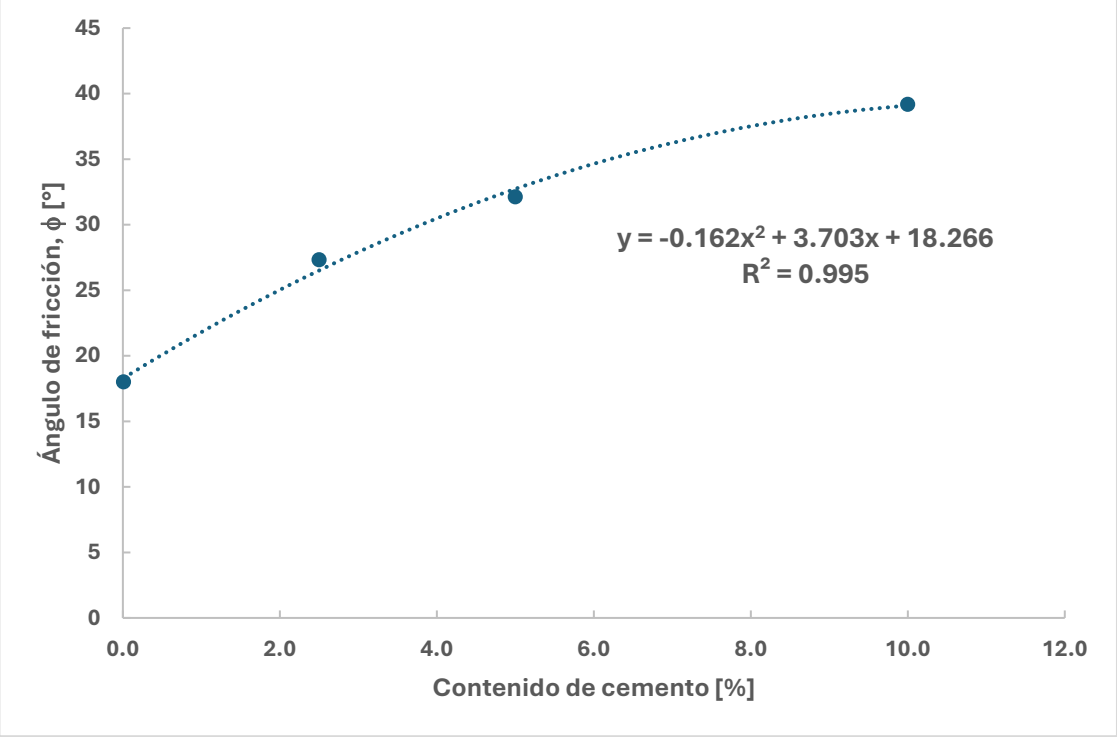
ϕ’ = Ángulo de fricción interna (°)

x = Contenido de cemento (%)

$R^2 = 0.9953$

Figura 36

Modelo de predicción de ángulo de fricción



Nota. Elaboración a partir de los resultados del ensayo de corte directo realizados en muestras de suelo arenoso estabilizadas con cemento tipo HS (MH) (2025).

En la **Figura 36** se presenta una tendencia cuadrática creciente con ligera disminución de la pendiente, lo que indica que el ángulo de fricción aumenta con el contenido de cemento, pero a una tasa decreciente.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Se observa que el incremento es mayor entre 0% y 5%, mientras que entre 5% y 10% el aumento continúa, pero de forma más moderada. El coeficiente de determinación ($R^2 = 0.9953$) indica una excelente correlación entre las variables.

VI. DISCUSIÓN

La presente discusión analiza la variación de los parámetros de resistencia cortante del suelo arenoso estabilizado con cemento Tipo HS (MH) (R), en función del contenido de cemento, a partir de los resultados obtenidos mediante ensayos de corte directo. Estos resultados permiten responder al problema de investigación planteado, así como contrastar la hipótesis propuesta y compararlos con antecedentes recientes relacionados con la estabilización de suelos arenosos mediante cemento.

Los resultados obtenidos muestran que la cohesión y el ángulo de fricción interna se incrementan progresivamente conforme aumenta el contenido de cemento. La cohesión presentó un aumento significativo desde 2.06 kPa en el suelo natural hasta 39.78 kPa en el suelo con 10 % de cemento, mientras que el ángulo de fricción interna se incrementó de 18° a 39.18°. Este comportamiento confirma que la adición de cemento genera enlaces cementantes entre las partículas del suelo, incrementando la rigidez estructural y mejorando la resistencia al corte. Asimismo, los altos coeficientes de determinación obtenidos evidencian que el comportamiento del material se ajusta adecuadamente al modelo lineal de falla, validando la interpretación de los resultados y confirmando la hipótesis planteada, la cual establece que la cohesión y el ángulo de fricción interna se incrementan en función del contenido de cemento.

No obstante, el ángulo de fricción interna obtenido para el suelo natural ($\phi' = 18°$) resulta inferior a los valores reportados en estudios geotécnicos

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

desarrollados en depósitos arenosos de Villa El Salvador, donde se registran valores comprendidos entre 26° y 30° para arenas de compacidad media a densa (Paredes, 2019). Esta diferencia puede atribuirse a las características particulares de la muestra analizada, la cual se encontraba en estado muy suelto y seca al momento de su caracterización. De acuerdo con Das y Sobhan (2018), la resistencia al corte de los suelos granulares depende significativamente de la densidad relativa, de modo que las arenas densas presentan mayores ángulos de fricción debido al mayor interbloqueo entre partículas, mientras que las arenas sueltas desarrollan menores resistencias por fricción. En el presente estudio, la baja compacidad observada redujo el contacto efectivo y la trabazón mecánica entre los granos, lo que explica el menor valor de ϕ' obtenido experimentalmente. Por tanto, aunque el resultado es inferior a los valores referenciales reportados para otros sectores de Villa El Salvador, se considera representativo de las condiciones específicas del material evaluado y consistente con el comportamiento esperado para arenas en estado muy suelto.

Estos resultados coinciden con lo reportado por El-Hanafy y AbdelAziz (2021), quienes determinaron que la cohesión y el ángulo de fricción interna aumentan con el incremento del contenido de cemento, debido a la mayor rigidez generada en la estructura del suelo. Asimismo, los resultados también son consistentes con la investigación de Salunkhe, Adethya, Gobinath, Prasanth y Karthikeyan (2022), quienes observaron que la resistencia al corte aumenta gradualmente conforme se incrementa el porcentaje de cemento, evidenciando que los parámetros de resistencia dependen tanto del contenido de cemento como del tiempo de curado. De manera similar, el estudio de Nguyen et al. (2023) concluyó que la resistencia al corte aumenta significativamente con mayor contenido de

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

cemento y tiempo de curado, además de observar un comportamiento más frágil en suelos con mayor cementación, lo cual también se evidenció en la presente investigación. Finalmente, los resultados guardan relación con la investigación de Park, Woo y Nguyen (2025), quienes determinaron que la cohesión es el parámetro que presenta mayor incremento en suelos cementados, mientras que el ángulo de fricción interna presenta variaciones más moderadas, comportamiento que también se observa en los resultados obtenidos.

En conjunto, la comparación con los antecedentes confirma que la estabilización con cemento Tipo HS mejora significativamente la resistencia al corte de suelos arenosos, incrementando tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna. Además, los ensayos realizados a 14 días de curado indican que la resistencia del material aún puede incrementarse con el tiempo, debido al continuo proceso de hidratación del cemento. Por lo tanto, los resultados obtenidos pueden considerarse conservadores, siendo esperable que a 28 días de curado los parámetros de resistencia cortante presenten valores aún mayores. En consecuencia, se valida la hipótesis de investigación y se confirma que la adición de cemento Tipo HS constituye una alternativa efectiva para mejorar las propiedades mecánicas de suelos arenosos de baja resistencia.

La investigación también tuvo como uno de los objetivos analizar la resistencia a la compresión simple (q_u) de suelos arenosos estabilizados con diferentes porcentajes de cemento Tipo HS y distintos tiempos de curado. Luego de la recolección de datos y su análisis respectivo, se halló que la resistencia a la compresión simple aumenta significativamente cuando se incrementa el contenido de cemento y el tiempo de curado, mientras que el suelo arenoso en condición natural presenta una resistencia extremadamente limitada. Por lo consiguiente, se

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

acepta la hipótesis que indica que el incremento del contenido de cemento y el tiempo de curado mejora de forma sustancial la resistencia mecánica del suelo SP.

En primer lugar, los resultados obtenidos para el suelo sin estabilizar (solo arena) evidenciaron una muy baja capacidad de soporte ante pequeñas cargas aplicadas, ya que, bajo una carga constante de solo 205 g, las probetas fallaron rápidamente: la primera a los 5 minutos con 32 segundos y la segunda a los 6 minutos con 45 segundos a los 14 días de "curado". Este comportamiento confirma la falta de cohesión propia de los suelos arenosos mal gradados (SP), así como su incapacidad para sostener esfuerzos axiales significativos sin la presencia de un agente ligante.

En contraste, al adicionar 2.5 % de cemento HS (MH) (R), la resistencia media aumentó a 3.35 kg/cm², lo cual representa una mejora notable frente al suelo en estado natural. Esta diferencia inicial demuestra que, incluso a contenidos bajos de cemento, se generan reacciones de hidratación que favorecen la formación de enlaces rígidos entre partículas, incrementando la cohesión artificial y reduciendo la deformabilidad.

Asimismo, al incrementar el contenido de cemento a 5 %, la resistencia media aumentó a 7.30 kg/cm², y con 10 % de cemento, los valores alcanzaron 30.81 kg/cm², lo que confirma una relación directamente proporcional entre el porcentaje de cemento y la resistencia desarrollada. El comportamiento progresivo del material estabilizado demuestra que la cementación es un mecanismo eficiente para mejorar la resistencia axial en suelos arenosos, especialmente cuando el tiempo de curado permite una maduración adecuada de los productos de hidratación.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Esta interpretación coincide con los hallazgos de Salunkhe, Adethya, Gobinath, Prasanth y Karthikeyan (2022), quienes estudiaron un suelo SP y concluyeron que, con porcentajes bajos de cemento (3 %), la resistencia final fue limitada (0.78 kg/cm²), lo cual refuerza que los suelos arenosos requieren mayores porcentajes de cemento para alcanzar incrementos significativos. En este antecedente, el comportamiento mecánico fue controlado principalmente por la falta de cohesión natural y la limitada capacidad del cemento a bajo contenido para generar una microestructura rígida.

Del mismo modo, Rohmatun, Suparma, Rifa'i y Rochmadi (2024), en un estudio sobre un suelo SM, reportaron que la UCS aumenta progresivamente con el tiempo de curado a un contenido constante de cemento, alcanzando incrementos desde 102.97 kPa (3 días) hasta 2762.53 kPa (28 días). Este comportamiento coincide con el observado en la presente investigación, donde el tiempo de curado influye significativamente en la ganancia de resistencia, ya que la maduración de los enlaces cementantes requiere tiempo para desarrollarse.

Adicionalmente, en el estudio de Park, Woo y Nguyen (2025) sobre arena de sílice estabilizada con 10 % de cemento, se reportaron valores de resistencia comparables y, en algunos casos, superiores a los obtenidos en el presente estudio, confirmando que los suelos arenosos presentan una respuesta altamente favorable a la estabilización cementante cuando se emplean contenidos elevados de cemento y se garantizan condiciones adecuadas de curado.

Desde la base teórica, estos resultados se sustentan en la formación de productos de hidratación como el C-S-H y C-A-H, los cuales actúan como puentes entre partículas, incrementando la resistencia al corte y la rigidez estructural. La microestructura resultante reduce la movilidad relativa de las partículas arenosas

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

y mejora la capacidad de resistir esfuerzos axiales, lo cual explica el comportamiento creciente observado.

No obstante, es importante considerar algunas limitaciones del ensayo. En primer lugar, en el caso del suelo natural (solo arena), no fue posible realizar el ensayo estándar debido a la dificultad para trasladar las probetas a la máquina, por lo que se optó por una carga constante de 205 g, lo cual no permite obtener valores exactos de resistencia. Asimismo, se utilizó una máquina de compresión simple directa, la cual no permite medir deformaciones axiales ni laterales, limitando el análisis de ductilidad y comportamiento post-pico. Finalmente, durante el moldeo de las probetas se emplearon moldes metálicos sin collarín, lo que dificultó la compactación en la quinta capa debido a la falta de confinamiento del material durante el enrasado.

Lo que implican que futuros estudios deberían emplear equipos con instrumentación para medir deformaciones axiales y laterales, y de manera adicional a través cámaras de alta resolución capturar el proceso de falla desde distintos ángulos. Esto permitiría emplear modelos geométricos avanzados y análisis fotogramétrico para evaluar la evolución de la deformación y generar curvas esfuerzo - deformación completas.

Con respecto a la hipótesis, si es posible establecer modelos de predicción estadísticamente significativos que relacionen el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple (qu) y los parámetros de resistencia al corte (c y φ), mostrando una tendencia creciente y permitiendo su predicción en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o de características similares, donde al desarrollar modelos de predicción que relacionan el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple (qu), la cohesión (c') y el ángulo de fricción

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

interna (φ'), se evidencia tendencias crecientes y altos coeficientes de determinación ($R^2 > 0.99$), lo cual confirma una fuerte correlación entre las variables. El modelo cuadrático obtenido para la resistencia a compresión simple mostró que el suelo natural presentó una resistencia muy baja (0.26 kPa), mientras que con 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento los valores aumentaron significativamente hasta 328.52 kPa, 715.89 kPa y 3021.43 kPa, respectivamente. Asimismo, los modelos de cohesión y ángulo de fricción evidenciaron incrementos progresivos desde 2.06 kPa hasta 39.78 kPa para la cohesión y desde 18° hasta 39.18° para el ángulo de fricción. Desde el punto de vista teórico, este comportamiento se explica por la formación de productos de hidratación del cemento, tales como C-S-H y C-A-H, los cuales generan enlaces cementantes entre partículas, reducen los vacíos y aumentan la rigidez del suelo, mejorando así sus propiedades mecánicas y permitiendo establecer relaciones funcionales predictivas confiables.

Estos resultados son consistentes con lo reportado por El-Hanafy y AbdelAziz (2021), quienes observaron que la cohesión y el ángulo de fricción aumentan significativamente con el contenido de cemento debido al incremento de la rigidez del suelo estabilizado.

Asimismo, Salunkhe et al. (2022) determinaron que las características de resistencia dependen tanto del contenido de cemento como del tiempo de curado, evidenciando incrementos progresivos similares a los obtenidos en la presente investigación. De igual manera, Nguyen et al. (2023) desarrollaron modelos empíricos para predecir la resistencia al corte de suelos tratados con cemento, obteniendo incrementos significativos en la resistencia y confirmando que la adición de cemento incrementa el tamaño efectivo de partículas y mejora la interacción granular, lo cual respalda los modelos de predicción obtenidos en este

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

estudio. Estos antecedentes confirman que el desarrollo de modelos empíricos es una herramienta válida para estimar el comportamiento mecánico de suelos estabilizados.

De manera complementaria, investigaciones más recientes como las de Jafary Shalkoohy et al. (2025) evidenciaron que la resistencia a compresión simple aumenta significativamente con la adición de estabilizantes cementantes y materiales complementarios, mientras que Rohmatun et al. (2024) demostraron que la resistencia aumenta tanto con el contenido de cemento como con el tiempo de curado, debido a reacciones de hidratación y puzolánicas que incrementan la cohesión interna del suelo. En el contexto nacional, Dávila (2021) reportó incrementos en el CBR entre 34.39 % y 50.80 % con adiciones de 1 % a 3 % de cemento, mientras que Jave Heras y Sánchez Ramos (2023) obtuvieron mejoras significativas en la resistencia del suelo con adiciones de cemento, confirmando la eficiencia del proceso de estabilización. En conjunto, estos resultados permiten validar la hipótesis planteada, demostrando que es posible desarrollar modelos de predicción estadísticamente significativos que relacionen el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple y los parámetros de resistencia al corte, siendo aplicables a suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o de características similares.

VII. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en los ensayos de corte directo, se determinó que el incremento del contenido de cemento produce una mejora significativa en los parámetros de resistencia cortante del suelo arenoso. Se observó que la cohesión aumentó progresivamente desde 2.06 kPa en el suelo

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

natural hasta 39.78 kPa en el suelo estabilizado con 10 % de cemento, mientras que el ángulo de fricción interna se incrementó de 18° a 39.18°. Estos resultados evidencian que la adición de cemento genera una matriz cementante entre las partículas del suelo, lo que incrementa la rigidez estructural y mejora la capacidad resistente del material frente a esfuerzos cortantes.

Asimismo, el incremento de la cohesión resultó más significativo que el aumento del ángulo de fricción interna, lo cual es característico de suelos estabilizados con cemento, donde la resistencia depende en mayor medida de los enlaces cementantes generados durante el proceso de hidratación. Este comportamiento también se evidenció en las curvas esfuerzo-deformación, donde se observó un incremento de la rigidez y una reducción de la deformación necesaria para alcanzar la falla conforme aumentó el contenido de cemento.

Por lo tanto, se concluye que la adición de cemento Tipo HS influye de manera directa y positiva en la resistencia cortante del suelo arenoso, incrementando tanto la cohesión como el ángulo de fricción interna. En consecuencia, se cumple el objetivo planteado y se valida la hipótesis de investigación, confirmando que la estabilización con cemento constituye una alternativa eficiente para mejorar las propiedades mecánicas de suelos arenosos de baja resistencia.

De acuerdo con el objetivo de analizar la resistencia a la compresión simple de los suelos arenosos estabilizados con considerando diferentes, porcentajes y tiempos de curado, el estudio desarrollado permitió caracterizar el comportamiento mecánico de un suelo arenoso tipo SP tanto en su condición natural como estabilizado con 2.5 % de cemento Portland Tipo HS, mostrando contrastes marcados en su capacidad para resistir esfuerzos axiales. Los resultados

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

obtenidos evidenciaron que el suelo en estado natural presenta una resistencia muy limitada, reflejada en la falla prematura de las probetas sometidas a una carga constante de 205 g, lo que confirma su escasa cohesión. En cambio, las muestras tratadas con 2.5 % de cemento mostraron un incremento notable en la resistencia a la compresión simple, demostrando que la incorporación del agente cementante favorece la formación de enlaces interparticulares capaces de mejorar el comportamiento estructural del material.

Estos hallazgos validan la hipótesis planteada, al comprobar que la adición de cemento HS y el tiempo de curado influyen positivamente en el mejoramiento de la resistencia mecánica del suelo arenoso evaluado. De esta manera, se confirma que incluso un porcentaje moderado de cemento puede transformar un suelo granular originalmente débil en un material con mayor estabilidad y aptitud para aplicaciones geotécnicas. En conjunto, los resultados obtenidos respaldan la viabilidad de la estabilización con cemento como una alternativa eficaz para fortalecer suelos arenosos de baja resistencia, tal como el SP utilizado en este estudio.

A partir de los resultados obtenidos, se logró desarrollar modelos de predicción que relacionan el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple, la cohesión y el ángulo de fricción del suelo arenoso estudiado. Los modelos obtenidos presentaron coeficientes de determinación superiores a 0.99, lo que evidencia una alta correlación entre las variables y confirma la confiabilidad de las ecuaciones generadas. Asimismo, se observó que el incremento del contenido de cemento produce un aumento significativo en la resistencia mecánica del suelo, debido a la formación de enlaces cementantes que

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

mejoran la interacción entre partículas, reducen la deformabilidad y aumentan la rigidez del material.

En ese sentido, se cumplió el objetivo de establecer modelos de predicción estadísticamente significativos que permiten estimar el comportamiento mecánico del suelo estabilizado en función del contenido de cemento. Estos modelos constituyen una herramienta útil para futuras aplicaciones en ingeniería geotécnica, especialmente en zonas con suelos arenosos similares a los de Villa El Salvador, permitiendo optimizar el diseño y reducir la necesidad de ensayos experimentales extensivos.

VIII. RECOMENDACIONES

- A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se plantean las siguientes recomendaciones para futuras investigaciones relacionadas con el mejoramiento de suelos arenosos mediante estabilización con cemento: Se recomienda complementar los ensayos de corte directo con ensayos triaxiales, ya que estos permiten simular de manera más representativa las condiciones reales de esfuerzo en campo. La realización de ensayos triaxiales consolidado drenado (CD), consolidado no drenado (CU) y no consolidado no drenado (UU) permitiría obtener parámetros de resistencia más confiables y evaluar el comportamiento del suelo estabilizado bajo diferentes condiciones de drenaje y confinamiento.
- Asimismo, se recomienda realizar modelamientos numéricos mediante software geotécnico especializado, como PLAXIS, GeoStudio o MIDAS GTS, con el fin de validar los parámetros obtenidos experimentalmente y analizar el comportamiento del suelo estabilizado en condiciones reales

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

de carga. El modelamiento numérico permitiría evaluar aplicaciones prácticas en cimentaciones superficiales, mejoramiento de subrasantes, estabilidad de taludes y comportamiento de rellenos estructurales. También se recomienda realizar calicatas y muestreos durante la época de lluvias, ya que el incremento del contenido de humedad y la variación del nivel freático pueden influir significativamente en la resistencia cortante del suelo. La evaluación bajo estas condiciones permitiría obtener parámetros más representativos del comportamiento real del suelo en campo, especialmente en zonas cercanas al litoral donde existe influencia marina y variaciones estacionales de humedad.

- Del mismo modo, se recomienda evaluar el comportamiento del suelo estabilizado bajo condiciones potenciales de licuefacción, considerando que los suelos arenosos sueltos cercanos al mar presentan susceptibilidad a este fenómeno, especialmente bajo cargas sísmicas. La simulación de condiciones de licuefacción mediante ensayos dinámicos o modelamiento numérico permitiría determinar la efectividad del cemento como técnica de mitigación frente a este tipo de riesgo geotécnico. Asimismo, se recomienda ampliar el área de estudio y realizar un mayor número de puntos de muestreo, con la finalidad de reducir la variabilidad natural del suelo y obtener resultados más representativos. La evaluación de diferentes zonas dentro del área de estudio permitiría establecer modelos de comportamiento más confiables y generalizables a suelos arenosos con características similares.
- También se recomienda evaluar distintos niveles de compactación, considerando que la resistencia del suelo estabilizado depende

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

significativamente de la densidad alcanzada durante la preparación de las probetas. En ese sentido, la compactación debe realizarse de manera precisa, controlada y uniforme, evitando variaciones que puedan afectar los resultados experimentales. Un adecuado control de la compactación permitirá mejorar la reproducibilidad de los ensayos y reducir la dispersión de los resultados.

- Finalmente, se recomienda evaluar otros tiempos de curado, como 7, 14, 28 y 56 días, con el fin de analizar la evolución de la resistencia del suelo estabilizado a lo largo del tiempo, considerando que el proceso de hidratación del cemento continúa desarrollándose y puede generar incrementos adicionales en la resistencia cortante del material.
- Se recomienda que futuras investigaciones complementen los modelos desarrollados mediante la realización de ensayos triaxiales, ya que estos permiten evaluar el comportamiento del suelo bajo condiciones de confinamiento más representativas del campo. Asimismo, la incorporación de estos resultados permitiría mejorar la precisión de los modelos de predicción y validar los parámetros de resistencia obtenidos mediante ensayos de corte directo.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). (1991 [Reviewed 2021]). Standard specification for classification of soils and soil-aggregate mixtures for highway construction purposes (AASHTO M145-91).Washington,DC:AASHTO.https://store.transportation.org/Item/CollectionDetail?ID=170

Andrade, J., & Lara, P. (2022). Manual de suelos y fertilidad para el agro. Editorial Agrotécnica.

ASTM D1557-23. (2023). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using modified effort (56,000 ft-lbf/ft³; 2,700 kN-m/m³). ASTM International. https://doi.org/10.1520/D1557-23

ASTM D698-23. (2023). Standard test methods for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft³; 600 kN-m/m³). ASTM International. https://doi.org/10.1520/D0698-23

ASTM International. (2011). ASTM D4767-11: Standard Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D4767-11

ASTM International. (2017). ASTM D2487-17e1: Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System). ASTM International. https://www.astm.org/d2487-17e01.html

ASTM International. (2019). ASTM D2216-19: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2216-19

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

ASTM International. (2020). ASTM D5321/D5321M-20: Standard Test Method for Determining the Shear Strength of Soil-Geosynthetic and Geosynthetic-Geosynthetic Interfaces by Direct Shear. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D5321_D5321M-20

ASTM International. (2020). ASTM D7181-20: Standard Test Method for Consolidated Drained Triaxial Compression Test for Soils. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D7181-20

ASTM International. (2021). ASTM D7263-21: Standard test method for laboratory determination of density (unit weight) of soil specimens [Standard]. ASTM International. https://www.astm.org/d7263-21.html

ASTM International. (2023). Annual Book of ASTM Standards: Volume 04.08 – Soil and Rock (I): D420 – D5877. West Conshohocken, PA: ASTM International.

ASTM International. (2023). ASTM D2850-23: Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2850-23

ASTM International. (2024). ASTM D2166/D2166M-24: Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soil. West Conshohocken, PA: ASTM International. https://doi.org/10.1520/D2166_D2166M-24

ASTM International. (2025). ASTM C1157/C1157M-25: Standard performance specification for hydraulic cement. West Conshohocken, PA: ASTM International https://www.astm.org/Standards/C1157.htm

Bañón, L., & Beviá, J. F. (2000). Manual de carreteras. Volumen II: construcción y mantenimiento. Generalitat Valenciana.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Becerra, J., Ramírez, A., & Torres, M. (2018). Manual de prácticas de mecánica de suelos para ingeniería civil. Lima: Fondo Editorial Universitario.

CISMID. (2011). Estudio de microzonificación sísmica del distrito de Villa El Salvador [Informe técnico]. Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – Universidad Nacional de Ingeniería. https://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/CISMID/Villa%20El%20Salvador%20Informe%20Microzonificacion%20Sismica%20MVCS-CISMID.pdf

Das, B. M. (2012). Principles of geotechnical engineering (4.ª ed., p. 233). Cengage Learning.https://www.amazon.com/Fundamentals-Geotechnical-Engineering-Braja-Das/dp/1111576750

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Principles of Geotechnical Engineering (9th ed.). Cengage Learning.

Das, B. M., & Sobhan, K. (2018). Principles of Geotechnical Engineering (9.ª ed.). Cengage Learning.

Dávila Dueñas, A. (2021). Mejoramiento potencial mecánico de terrenos al incorporar suelos cementados [Tesis de licenciatura, Universidad Autónoma de Aguascalientes]. Repositorio Institucional UAA. http://bdigital.dgse.uaa.mx:8080/xmlui/handle/11317/2185

El Hariri, A., Ahmed, A. E. E., & Kiss, P. (2023). Sandy Loam Soil Shear Strength Parameters and Its Colour. Applied Sciences, 13(6), 3847.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

El-Hanafy, A. M., & AbdelAziz, M. H. (2021). Effect of using cemented sand as a replacement layer beneath a strip footing. HBRC Journal, 17(1), 1–17. https://doi.org/10.1080/16874048.2020.1863050

Guo, H., Zhang, L., & Zhang, L. (2023). Effect of grain size distribution on the shear properties of sand. Frontiers in Materials, 10, 1219765. https://doi.org/10.3389/fmats.2023.1219765

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6.ª ed.). McGraw-Hill Education.

Hernández-Sampieri, R., & Mendoza, C. (2021). Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta (7.ª ed.). McGraw-Hill.

Hossain, M. S., Islam, M. A., Badhon, F. F., & Imtiaz, T. (2021). Propiedades y comportamiento del suelo – Manual de laboratorio en línea. Universidad de Texas en Arlington. Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional. https://uta.pressbooks.pub/soilmechanics/chapter/chapter-1

Hossne, A. J., Paredes, G., Carvajal, R., Santaella, E., & Malaver, J. (2011). Cohesión aparente de un suelo agrícola franco arenoso de sabana. Acta Universitaria, 21(3), 5–13. https://doi.org/10.15174/au.2011.15

INACAL. (2014). NTP 339.128:2014. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico por tamizado. Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

INACAL. (2014). NTP 339.129:2014. Suelos. Método de ensayo para el análisis granulométrico por hidrómetro. Instituto Nacional de Calidad – INACAL.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2014). NTP 339.134:2014. Suelos. Determinación de los límites de Atterberg. Lima: INACAL.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Instituto Nacional de Calidad [INACAL]. (2019). NTP 339.127:1998 (revisada el 2019). Suelos y rocas. Método de ensayo para la determinación del contenido de agua en suelos y rocas. INACAL.

Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2010). Microzonificación sísmica del distrito de Villa El Salvador: Provincia de Lima - Departamento de Lima. https://bvpad.indeci.gob.pe/doc/pdf/esp/doc2427/doc2427-contenido.pdf

Jafari, M. M., Bagheripour, M. H., & Yaghoubi, E. (2025). Prediction of Strength Properties of Reinforced and Stabilized Sandy Soil as a Building Foundation Material. Buildings, 15(3), 382. https://doi.org/10.3390/buildings15030382

Jafary Shalkoohy, A., Fallah, N., & Eshghi, P. (2025). Influence of zeolite on compressive and flexural strength of sand containing cement and steel fibers. International Journal of Engineering, Transactions C: Aspects, 38(6), 1331–1339. https://doi.org/10.5829/ije.2025.38.06c.07

Jave Heras, L. F., & Sánchez Ramos, D. K. (2023). Estabilización de subrasante con ceniza de bagazo de caña de azúcar y cemento Portland de un camino vecinal en Moche [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Trujillo]. Universidad Nacional de Trujillo.

John, E., & Lothenbach, B. (2023). Cement hydration mechanisms through time – a review. Journal of Materials Science, 58, 9805-9833.

Kordnaeij, A., Moayed, R. Z., & Soleimani, M. (2019). Unconfined compressive strength of loose sandy soils grouted with zeolite and cement. Soils and Foundations, 59(4), 905-919. https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.03.012

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

López Martínez, M. A. (2017). Mejoramiento de las propiedades físico mecánicas de los suelos arenosos del sector de Pomasqui para cimentaciones superficiales y contrapisos, mediante el uso de cemento tipo MH [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. Repositorio Institucional PUCE. https://repositorio.puce.edu.ec/items/8fb38445-317f-4100-a05a-184dd2166753

Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). (2021). *Manual de ensayos de materiales para carreteras – Suelos*. Lima: Dirección General de Caminos y Ferrovías.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS). (2022). *Norma Técnica E.050 – Suelos y Cimentaciones*. Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima, Perú.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2010). Estudio de caracterización del suelo en el distrito de Villa El Salvador. Programa de Gestión Territorial. https://www.ejemplo.gob.pe/documento.pdf

National Precast Concrete Association [NPCA]. (2020, 18 de marzo). A closer look: Cement types I through V. NPCA. https://precast.org/blog/a-closer-look-cement-types-i-through-v/

Nguyen, T. T., Nguyen, M. D., Nguyen, T., & Phan, T. C. (2023). Interface shear strength behavior of cement-treated soil under consolidated drained conditions. Buildings, 13(7), 1626. https://doi.org/10.3390/buildings13071626

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2006). Guía para la descripción de suelos (4.ª ed.). FAO. https://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf

Paredes, O. J. (2019). Mejoramiento del terreno de cimentación mediante inyecciones de cemento y sílice activa en Villa El Salvador – Lima. Universidad Nacional de Ingeniería.

Park, S. S., Woo, S. W., & Nguyen, N. N. (2025). Shear strength of cemented sand in unconfined compression and direct shear tests. Construction and Building Materials, 489, 142187. https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2025.142187

Pham, T. A., Sutman, M., & Medero, G. M. (2023). Validation, Reliability, and Performance of Shear Strength Models for Unsaturated Soils. Geotechnical and Geological Engineering, 41, 4271–4309.

Riveros Soto, G. (2022). Microzonificación sísmica del distrito de Villa El Salvador [Tesis de grado, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio UNI. http://hdl.handle.net/20.500.14076/26636

Rohmatun, B., Suparma, L. B., Rifa'i, A., & Rochmadi. (2024). Stabilization of sand-silty soils using cement for flexible pavement base course and the effect of soaking water pH. International Journal of GEOMATE, 26(115), 124–133. https://doi.org/10.21660/2024.115.4215

Roshan, M. J., & Rashid, A. S. A. (2023). Geotechnical characteristics of cement stabilized soils from various aspects: A comprehensive review. Arabian Journal of Geosciences.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Salunkhe, A., Adethya, V. S., Gobinath, R., Prasanth, J. H., & Karthikeyan, S. (2022). Shear behavior of cement-treated river sand under varying curing periods. Materials Today: Proceedings. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.06.077

Swisscontact. (2016). Situación actual de las viviendas de construcción de tipo informal en Villa El Salvador. Proyecto Construya Perú. https://www.swisscontact.org/_Resources/Persistent/1/5/e/8/15e8e1a474c9a25c89ba31e815e1c4d5a612abf7/Peru_SENCICO-CONSTRUYA_situacion_de_viviendas_de_construccion_informal_en_VES.pdf

Wu, T. H. (2023). Shear strength properties and their measurement. En Special Report 247: Soil Strength Properties and Their Measurement, Transportation Research Board.

Yepes Piqueras, V. (2021). *Procedimientos de construcción para la compactación y mejora del terreno* (1ª ed., 426 pp.). Universidad Politécnica de València. ISBN 978-84-9048-603-0.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

X. ANEXOS

Anexo 1. Carta de validación de envío del proyecto de tesis Universidad Científica del Sur

CARTA DE VALIDACIÓN DE ENVÍO DEL PROYECTO DE TESIS

Yo, Villacorta Alegría, Gregorio, docente a tiempo completo de la Carrera de ingeniería civil, asesor del estudiante o egresado Alcides Yoel Salinas García, estudiante o egresado de la Carrera de Ingeniería Civil en la elaboración del proyecto de tesis titulado:

"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARENOSOS MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE 1.5%, 2.5% Y 3% DE CEMENTO PORTLAND TIPO V EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"

Confirmo que he revisado dicho proyecto y considero que la versión presentada puede ser sometida a evaluación por la Dirección General de Investigación, Desarrollo e Integridad Científica.

Fecha de entrega:

28/07 /2025

Fecha de recepción:

28/07 /2025

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Firma del asesor de tesis

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 2. Matriz de consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARENOSOS MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE 2.5%, 5% Y 10% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS (MH) (R) EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"

PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS PRINCIPAL	VARIABLES	DIMENSIONES	OPERACIONALIZACIÓN CONCEPTUAL	INDICADORES	DISEÑO METODOLÓGICO
¿Cómo influye la adición de diferentes proporciones de cemento Tipo HS (2.5%, 5% y 10%) y el tiempo de curado en la resistencia cortante y el comportamiento mecánico de los suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador?	Evaluar la influencia de la adición de diferentes proporciones de cemento Tipo HS (2.5%, 5% y 10%) y del tiempo de curado en la resistencia cortante y el comportamiento mecánico de suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador.	La adición de diferentes proporciones de cemento Tipo HS (2.5%, 5% y 10%) y el tiempo de curado influyen significativamente en la resistencia cortante y en el comportamiento mecánico de los suelos arenosos del distrito de Villa El Salvador.	**Variable Independiente: Inclusión de 2.5%, 5% y 10% de cemento portland tipo HS (MH) (R):** La inclusión de cemento Portland tipo HS consiste en la incorporación de un material cementante hidráulico en proporciones determinadas dentro de una matriz de suelo con el fin de mejorar sus propiedades geotécnicas. Durante el proceso de hidratación se generan compuestos cementantes que promueven la unión entre partículas, incrementando la rigidez, resistencia y estabilidad mecánica del suelo. La estabilización con cemento es una de las técnicas más utilizadas para mejorar el comportamiento de suelos con propiedades mecánicas deficientes, debido a que favorece la formación de una estructura más resistente y durable (John & Lothenbach, 2023; Roshan & Rashid, 2023).	DOSIFICACIÓN DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS (MH) (R)	Dosificar el cemento Tipo V en proporciones de 0%, 1.5%, 2.5% y 3% respecto al peso seco del suelo, siguiendo procedimiento de mezcla en seco, adición de agua de moldeo y compactación a densidad seca. Moldear probetas y curar hasta la edad de ensayo (3, 7 y 28 días), conforme a ASTM D698/D1557 y ASTM D1632. Ensayar probetas con 1.5%, 2.5% y 3% de cemento tipo V según procedimientos normalizados: compresión simple (ASTM D2166) y triaxial CD/CU (ASTM D7181/D4767). Se obtendrán valores de qu, c' y φ', comparando con el suelo natural. Mantener constantes humedad de moldeo y densidad seca, con curado controlado en los días establecidos.	- 2.5% DE CEMENTO TIPO HS (MH) (R) - 5% DE CEMENTO TIPO HS (MH) (R) - 10% DE CEMENTO TIPO HS (MH) (R)	**Tipo de investigación:** Aplicada **Nivel de Investigación:** Explicativa con enfoque Cuantitativo Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, (2014) nos dice que: Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales. Como su nombre lo indica, su interés se centra en explicar por qué ocurre un fenómeno y en qué condiciones se manifiesta o por qué se relacionan dos o más variables. **Diseño de investigación** **Experimental de corte longitudinal.** **Área de estudio** Alhura de la Pan. Sur - Circuito de manejo Touring, Villa El Salvador **Población** Suelos con características granulares en el litoral de la costa sur de Lima. **Muestra** El muestreo es de tipo no probabilístico por conveniencia, se realizarán 3 calicatas a 1.5m de profundidad en exteriores del circuito de manejo Touring. **Instrumentos:** Ensayos de laboratorio. Fichas Tablas de la NTP E. 050 suelos y cimentaciones.
PROBLEMA ESPECIFICO	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS ESPECIFICA**					
¿De qué manera varían los parámetros de resistencia cortante (cohesión y ángulo de fricción interna) de los suelos arenosos estabilizados con cemento Tipo HS, en función del contenido de cemento, mediante ensayos de corte directo?	Determinar los parámetros de resistencia cortante (cohesión y ángulo de fricción interna) de los suelos arenosos en función de diferentes porcentajes de cemento, mediante ensayos de corte directo.	La cohesión y el ángulo de fricción interna de los suelos arenosos se incrementan en función de los diferentes porcentajes de cemento incorporados, según los resultados obtenidos mediante ensayos de corte directo.					
¿Cómo varía la resistencia a la compresión simple de los suelos arenosos estabilizados con cemento Tipo HS, considerando distintos porcentajes y tiempos de curado.	Analizar la resistencia a la compresión simple de los suelos arenosos estabilizados con cemento HS (MH) (R), considerando diferentes porcentajes y tiempos de curado.	La resistencia a la compresión simple mejora al aumentar, el contenido de cemento Tipo HS (MH) (R) y el tiempo de curado.	**VARIABLE DEPENDIENTE: Mejoramiento de la resistencia cortante de suelos arenosos:** El mejoramiento de la resistencia cortante corresponde al incremento de la capacidad del suelo para resistir esfuerzos tangenciales antes de alcanzar la falla. Esta propiedad mecánica está determinada principalmente por la cohesión efectiva (c') y el ángulo de fricción interna efectiva (φ'), parámetros que describen la resistencia del suelo frente a la acción de cargas y esfuerzos cortantes. En los suelos estabilizados, la mejora de estos parámetros se asocia al desarrollo de enlaces cementantes entre partículas, lo que incrementa la capacidad resistente del material y reduce su susceptibilidad a la deformación y falla (El Hariri et al., 2023; Pham et al., 2023).	PROPIEDADES FISICAS (ENSAYOS)	Determinar granulometría (ASTM D422), humedad natural (ASTM D2216), densidad natural y compactada mediante Proctor estándar o modificado (ASTM D698/D1557). Estos datos aseguran la caracterización y control de homogeneidad del material base, el control de calidad de ensayos será en de acuerdo con las fichas estándares usadas en el laboratorio.	- GRANULOMETRÍA - CONTENIDO DE HUMEDAD - COMPACTACIÓN PROCTOR	
¿De qué manera pueden establecerse modelos de predicción de la resistencia a compresión simple (qu) y los parámetros de resistencia al corte (c y φ) en función del contenido de cemento, para su predicción en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o de características similares?	Desarrollar modelos de predicción que permitan predecir la resistencia a compresión simple (qu) y los parámetros de resistencia al corte (cohesión c y ángulo de fricción ϕ) en función del contenido de cemento en un suelo arenoso, con fines de aplicación en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o similares.	Es posible establecer modelos de predicción estadísticamente significativos que relacionen el contenido de cemento con la resistencia a compresión simple (qu) y los parámetros de resistencia al corte (c y φ), mostrando una tendencia creciente y permitiendo su predicción en suelos arenosos de la zona IV de Villa El Salvador o de características similares.		ÁNGULO DE FRICCIÓN INTERNA	Calcular el ángulo de fricción interna φ' y la cohesión aparente c' a partir de las envolventes de Mohr obtenidas en los ensayos triaxiales. Comparar valores entre el suelo natural (0%) y los suelos estabilizados con 1.5%, 2.5% y 3% de cemento. Expresar resultados en grados (°)	VALOR DE ÁNGULO DE FRICCIÓN (GRADOS) TENDENCIA DEL ANGULO DE FRICCIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE CMENTO TIPO V COMPARACIÓN PORCENTUAL DEL ÁNGULO DE FRICCIÓN RESPECTO AL SUELO NATURAL	
				COHESIÓN APARENTE		VALOR DE COHESIÓN (KPa) TENDENCIA DE LA COHESIÓN EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE CEMENTO TIPO V COMPARACIÓN PORCENTUAL DE LA COHESIÓN RESPECTO AL SUELO NATURAL	

Anexo 3. Esquema AQP -CCA

TÍTULO: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA CORTANTE DE SUELOS ARENOSOS MEDIANTE LA INCLUSIÓN DE 2.5%, 5% Y 10% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS (MH) (R) EN EL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR"

CAUSAS

Los suelos arenosos de la Zona IV del distrito de Villa El Salvador presentan baja cohesión y bajos valores de ángulo de fricción interna (ϕ' ≈ 26°–30° según estudios cercanos), lo que se traduce en una baja resistencia cortante.

Existe limitada información experimental local sobre el efecto de la inclusión de cemento Portland tipo HS en la resistencia cortante de suelos arenosos, evaluando porcentajes de 2.5 %, 5 % y 10 %.

Se requiere identificar el porcentaje óptimo de cemento Portland tipo HS (MH) (R) que permita mejorar la resistencia cortante del suelo mediante el incremento del ángulo de fricción interna (ϕ') y la cohesión efectiva (c').

A	A DONDE: A la altura del circuito de manejo Touring - Pan. Sur del distrito de Villa El Salvador (ZONA IV).
Q	QUIENES: Los beneficiarios de la investigación son: Ingenieros civiles, Investigadores, Estudiantes, Profesionales vinculados a proyectos geotécnicos y Especialistas en mejoramiento de suelos.
P	PROBLEMA: En la Zona IV del distrito de Villa El Salvador, los suelos arenosos presentan baja resistencia cortante y ángulos de fricción interna del orden de 26°–30°, lo que limita su desempeño mecánico. Además, no se cuenta con información experimental local que permita determinar cómo varía la resistencia cortante al incorporar 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS.

APORTE

Desarrollar correlaciones experimentales sobre el efecto de la inclusión de 2.5 %, 5 % y 10 % de cemento Portland tipo HS (MH) (R) en la resistencia cortante de los suelos arenosos de la Zona IV de Villa El Salvador, mediante la evaluación del ángulo de fricción interna (ϕ'), la cohesión efectiva (c') y compresión no confinada (qu) a través de ensayos de corte directo y compresión simple repectivamente, realizados en condiciones controladas de laboratorio.

CONSECUENCIAS

Menor capacidad del suelo para resistir cargas, lo que puede generar mayores deformaciones y riesgo de problemas geotécnicos en proyectos de ingeniería civil.

La selección de porcentajes de cemento sin sustento técnico puede conducir a resultados de mejoramiento no óptimos y al uso ineficiente de materiales y recursos económicos.

La falta de información experimental reduce la confiabilidad en la toma de decisiones relacionadas con el mejoramiento de suelos arenosos, limitando el desarrollo de soluciones de estabilización técnicamente sustentadas.

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 4. Ficha de granulometría por tamizado calicata C - 1

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

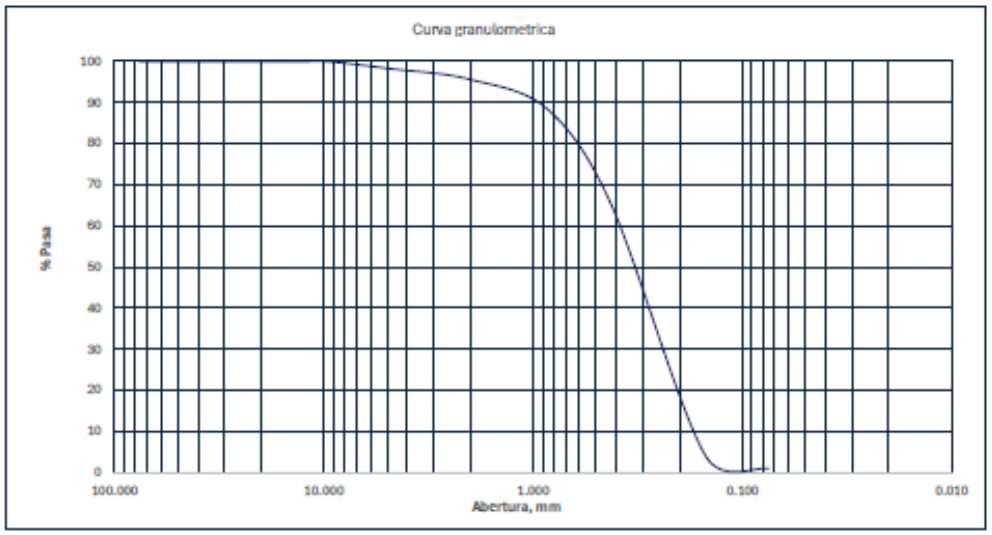
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D422, NTP 339.128

DATOS GENERALES:

RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	03/11/2025	CALICATA:	C - 01
FIN DEL ENSAYO:	03/11/2025	PROFUNDIDAD (m):	1.5

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	76.200	0.00	0.0	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.0	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.0	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.0	0.00	100.00
N° 4	4.760	2.15	1.8	1.76	98.24
N° 10	2.000	3.17	2.6	4.34	95.66
N° 20	0.850	8.99	7.3	11.68	88.32
N° 40	0.425	28.07	22.9	34.60	65.40
N° 100	0.150	75.22	61.4	96.01	3.99
N° 200	0.075	3.75	3.1	99.07	0.93
Platillo		1.14	0.9	100.00	0.00
Peso de muestra		122.5	100.0		

Descripción de la muestra:		Arena fina, mal gradada con presencia de conchas de mar		
PESOS	Material	Parcial	Total	%
$PESO_{muestra\ seca}$	Grava (g) =	2.15	492.81	0.4
	Mat. < N° 4 (g) =	490.66		99.6
$PESO_{muestra\ lavada\ y\ seca}$	Fracción de inicio (g) =	488.40		99.1
	Fracción lavada (g) =	487.26		98.9



PROPIEDADES			
Gravas (%)	1.8	Diametro D_{30} (mm)	0.233
Arenas (%)	97.3	Diametro D_{10} (mm)	0.166
Finos (%)	0.9	Coeficiente de curvatura (Cc)	0.84
Diametro D_{60} (mm)	0.388	Indice de uniformidad (Cu)	2.3
Diametro D_{50} (mm)	0.327	SUCS	SP

FIRMA DEL INGENIERO SUPERVISOR

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 99782

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 5. Ficha de granulometría por tamizado calicata C – 2

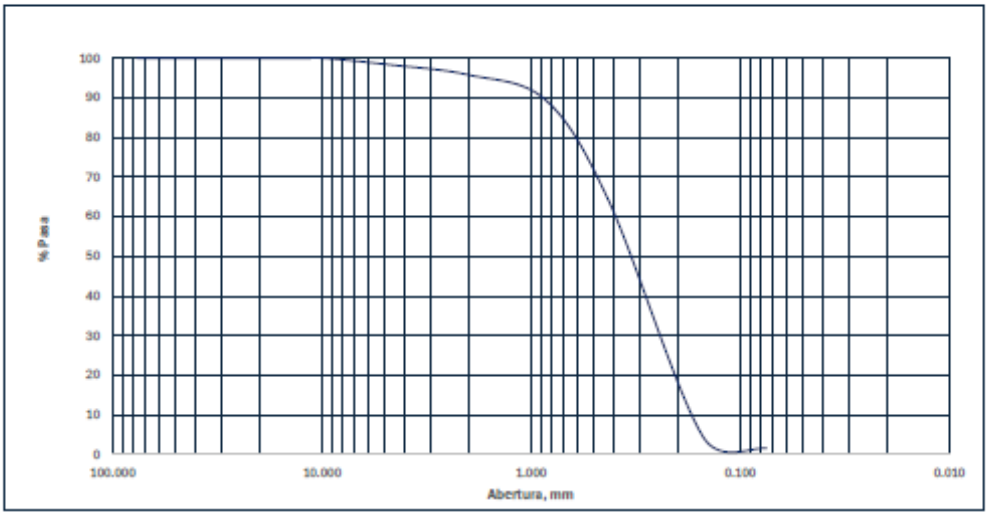
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D422, NTP 339.128

DATOS GENERALES:

RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	03/11/2025	CALICATA:	C - 02
FIN DEL ENSAYO:	03/11/2025	PROFUNDIDAD (m):	1.5

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	76.200	0.00	0.0	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.0	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.0	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.0	0.00	100.00
N° 4	4.760	1.97	1.6	1.62	98.38
N° 10	2.000	3.08	2.5	4.16	95.84
N° 20	0.850	7.77	6.4	10.56	89.44
N° 40	0.425	30.88	25.4	36.00	64.00
N° 100	0.150	72.36	59.6	95.60	4.40
N° 200	0.075	3.45	2.8	98.44	1.56
Platillo		1.89	1.6	100.00	0.00
Peso de muestra		121.4	100.0		

Descripción de la muestra:	Arena fina, mal gradada con presencia de conchas de mar			
PESOS	Material	Parcial	Total	%
$PESO_{muestra\ seca}$	Grava (g) =	1.97	492.77	0.4
	Mat. < N° 4 (g) =	490.80		99.6
$PESO_{muestra\ lavada\ y\ seca}$	Fracción de inicio (g) =	486.87		98.8
	Fracción lavada (g) =	484.98		98.4



PROPIEDADES			
Gravas (%)	1.6	Diametro D_{30} (mm)	0.235
Arenas (%)	96.8	Diametro D_{10} (mm)	0.165
Finos (%)	1.6	Coeficiente de curvatura (Cc)	0.85
Diametro D_{60} (mm)	0.396	Indice de uniformidad (Cu)	2.4
Diametro D_{50} (mm)	0.333	SUCS	SP

FIRMA DEL INGENIERO SUPERVISOR

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 99782

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 6. Ficha de granulometría por tamizado calicata C – 3

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

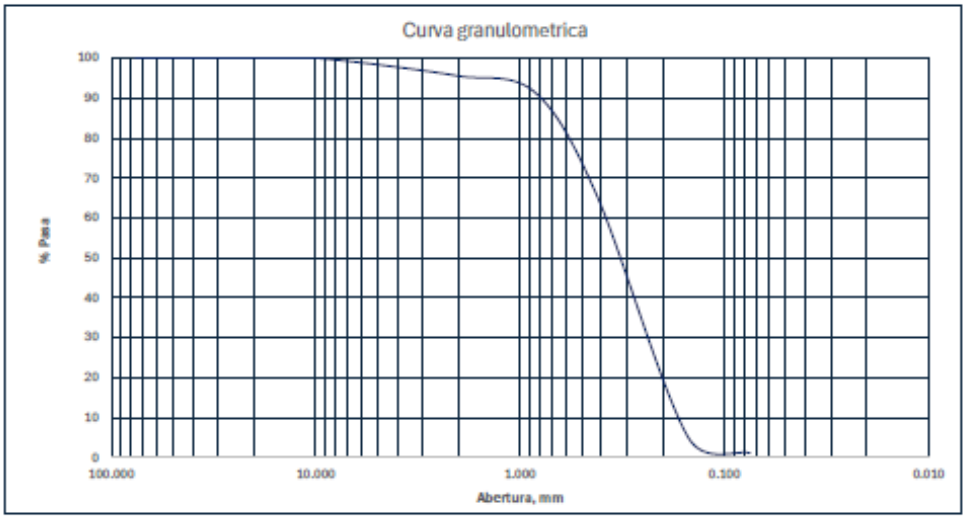
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D422, NTP 339.128

DATOS GENERALES:

RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	03/11/2025	CALICATA:	C - 03
FIN DEL ENSAYO:	03/11/2025	PROFUNDIDAD (m):	1.5

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% Parcial Retenido	% Acumulado	
				Retenido	Pasa
3"	76.200	0.00	0.0	0.00	100.00
2"	50.800	0.00	0.0	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.0	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.00	100.00
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.00	100.00
3/8"	9.525	0.00	0.0	0.00	100.00
N° 4	4.760	2.07	1.7	1.71	98.29
N° 10	2.000	3.27	2.7	4.42	95.58
N° 20	0.850	4.82	4.0	8.40	91.60
N° 40	0.425	30.69	25.4	33.78	66.22
N° 100	0.150	74.08	61.3	95.05	4.95
N° 200	0.075	4.62	3.8	98.87	1.13
Platillo		1.37	1.1	100.00	0.00
Peso de muestra		120.9	100.0		

Descripción de la muestra:	Arena fina, mal gradada con presencia de conchas de mar			
PESOS	Material	Parcial	Total	%
$PESO_{muestra\ seca}$	Grava (g) =	2.07	491.93	0.4
	Mat. < N° 4 (g) =	489.86		99.6
$PESO_{muestra\ lavada\ y\ seca}$	Fracción de inicio (g) =	486.61		98.9
	Fracción lavada (g) =	485.24		98.6



PROPIEDADES			
Gravas (%)	1.7	Diametro D_{30} (mm)	0.230
Arenas (%)	97.2	Diametro D_{10} (mm)	0.163
Finos (%)	1.1	Coeficiente de curvatura (Cc)	0.85
Diametro D_{60} (mm)	0.382	Indice de uniformidad (Cu)	2.3
Diametro D_{50} (mm)	0.323	SUCS	SP

FIRMA DEL INGENIERO SUPERVISOR

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP N° 96782

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 7. Ficha de contenido de humedad natural

CIENTÍFICA UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	LABORATORIO DE SUELOS		
	PROTOCOLO		
ENSAYO	CONTENIDO DE AGUA		
NORMA	NTP 339.127 / ASTM D2216 - 19		
CANTIDAD DE MUESTRA	500 g	RESPONSABLE	Salinas García, Alcides Yoel
FECHA DE ENSAYO	03/11/2025		
INICIO DEL ENSAYO	03/11/2025	REVISADO POR:	Villacorta Alegría, Gregorio
FIN DEL ENSAYO	03/11/2025		

MUESTRA



MUESTRAS SECAS



Prueba N° 01		C -1	C - 2	C - 3
(1) Masa del recipiente + suelo húmedo	(g)	656.53	652.5	645.9
(2) Masa del recipiente + suelo seco	(g)	649.3	645.4	637.8
(3) Masa del recipiente	(g)	156.53	152.67	145.89
(4) Masa del agua (1) - (2)	(g)	7.2	7.0	8.1
(5) Masa del suelo seco (2) - (3)	(g)	492.8	492.8	491.9
(6) Contenido de agua (4/5)*100 %	(%)	1.46	1.43	1.64
Contenido de agua promedio	(%)	1.51	1.51	1.51

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 8. Ficha de ensayo Proctor estándar – 0% de cemento portland tipo HS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO: **ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR - 0% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS**

NORMATIVA: **ASTM D1557**

RESPONSABLE:

REVISADO POR:

INICIO DEL ENSAYO: **07/11/2025** Humedad Optima (%) **14.54**

FIN DEL ENSAYO: **07/11/2025** Densidad seca (g/cm3) **0.730**

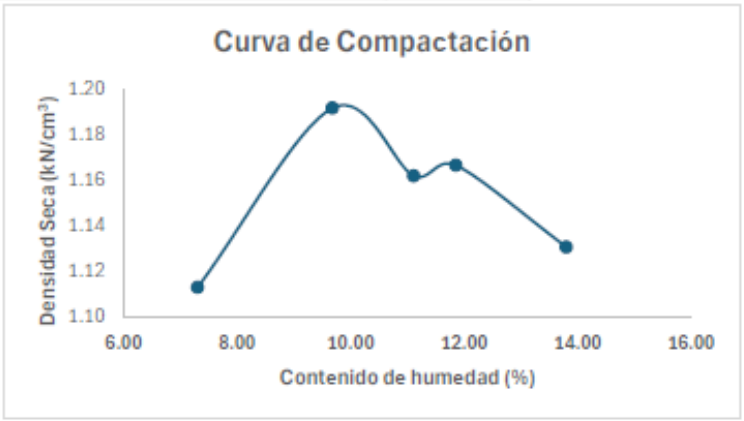
Compactación

Prueba N°		1	2	3	4	5
N° de capas		3	3	3	3	3
N° de golpes por capa		25	25	25	25	25
Masa del molde + Suelo	(g)	6326	6432	6417	6430	6413
Masa del Molde	(g)	5200	5200	5200	5200	5200
Masa suelo compacto	(g)	1126	1232	1217	1230	1213
Volumen del Molde	(cm^3)	942	942	942	942	942
Densidad húmeda	(g/cm^3)	1.195	1.307	1.291	1.305	1.287
Densidad seca	(g/cm^3)	1.113	1.192	1.162	1.167	1.131

Contenido de agua

Prueba N°		1	2	3	4	5
Tara N°		A	B	C	D	E
Tara + suelo humedo	(g)	644.0	569.0	512.0	792.0	950.0
Tara + suelo seco	(g)	605.4	525.4	468.7	728.2	857.0
Masa de tara	(g)	77.0	75.0	79.0	190.0	183.0
Masa del agua	(g)	38.6	43.6	43.3	63.8	93.0
Masa suelo seco	(g)	528.4	450.4	389.7	538.2	674.0
Contenido de agua	(%)	7.3	9.7	11.1	11.9	13.8
Densidad seca	(g/cm^3)	1.113	1.192	1.162	1.167	1.131
Peso unitario seco	(kN/cm^3)	10.919	11.688	11.397	11.442	11.091

Maxima Densidad Seca	(g/cm^3)	0.730
Peso unitario seco máxin	(kN/cm^3)	7.16
Óptimo Contenido agua	(%)	14.54



Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 9. Ficha de ensayo Proctor estándar – 2.5% de cemento portland tipo HS

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO: **ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR - 2.5% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS**

NORMATIVA: **ASTM D1557**

RESPONSABLE:

REVISADO POR:

INICIO DEL ENSAYO: **07/11/2025** Humedad Optima (%) **12.88**

FIN DEL ENSAYO: **07/11/2025** Densidad seca (g/cm3) **0.788**

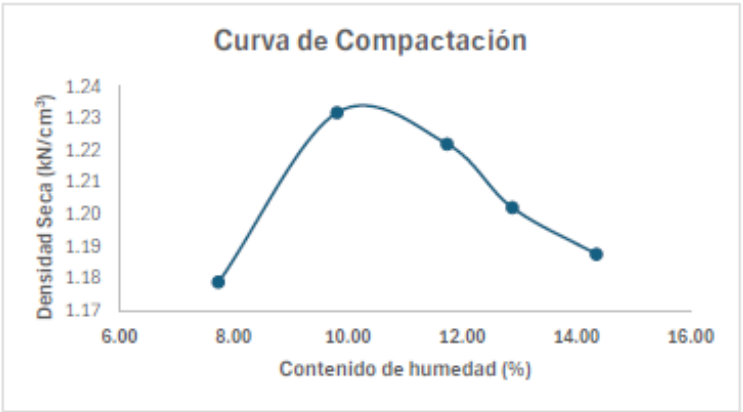
Compactación

Prueba N°		1	2	3	4	5
N° de capas		3	3	3	3	3
N° de golpes por capa		25	25	25	25	25
Masa del molde + Suelo compacto	(g)	6397	6475	6487	6479	6480
Masa del Molde	(g)	5200	5200	5200	5200	5200
Masa suelo compacto	(g)	1197	1275	1287	1279	1280
Volumen del Molde	(cm^3)	942	942	942	942	942
Densidad húmeda	(g/cm^3)	1.270	1.353	1.366	1.357	1.358
Densidad seca	(g/cm^3)	1.179	1.232	1.222	1.202	1.188

Contenido de agua

Prueba N°		1	2	3	4	5
Tara N°		A	B	C	D	E
Tara + suelo humedo	(g)	503.4	510.5	518.9	505.6	496.2
Tara + suelo seco	(g)	472.8	471.6	472.7	469.6	456.9
Masa de tara	(g)	77.0	75.0	79.0	190.0	183.0
Masa del agua	(g)	30.6	38.9	46.2	36.0	39.3
Masa suelo seco	(g)	395.8	396.6	393.7	279.6	273.9
Contenido de agua	(%)	7.7	9.8	11.7	12.9	14.3
Densidad seca	(g/cm^3)	1.179	1.232	1.222	1.202	1.188
Peso unitario seco	(kN/cm^3)	11.561	12.082	11.985	11.790	11.647

Maxima Densidad Seca	(g/cm^3)	0.788
Peso unitario seco máximo	(kN/cm^3)	7.72
Óptimo Contenido agua	(%)	12.88



Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Anexo 10. Ficha de ensayo Proctor estándar – 5% de cemento portland tipo HS

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO: **ENSAYO DE COMPACTACION PROCTOR ESTANDAR - 5% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS**

NORMATIVA: **ASTM D1557**

RESPONSABLE:

REVISADO POR:

INICIO DEL ENSAYO: **07/11/2025** Humedad Optima (%) **13.67**

FIN DEL ENSAYO: **07/11/2025** Densidad seca (g/cm3) **0.950**

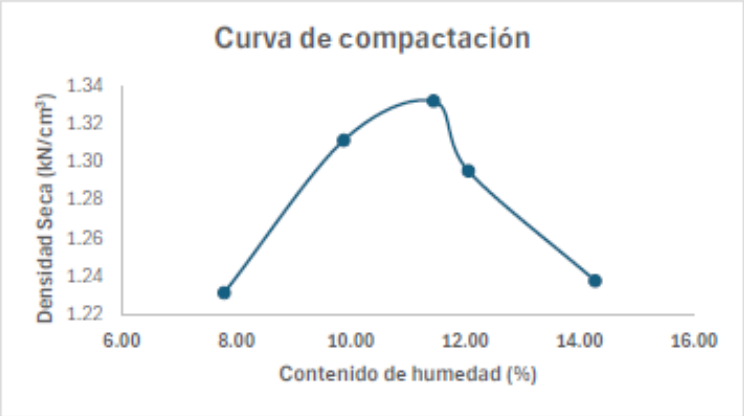
Compactación

Prueba N°		1	2	3	4	5
N° de capas		3	3	3	3	3
N° de golpes por capa		25	25	25	25	25
Masa del molde + Suelo compact	(g)	6451	6558	6599	6568	6533
Masa del Molde	(g)	5200	5200	5200	5200	5200
Masa suelo compacto	(g)	1251	1358	1399	1368	1333
Volumen del Molde	(cm^3)	942	942	942	942	942
Densidad húmeda	(g/cm^3)	1.327	1.441	1.484	1.451	1.414
Densidad seca	(g/cm^3)	1.231	1.311	1.332	1.295	1.238

Contenido de agua

Prueba N°		1	2	3	4	5
Tara N°		A	B	C	D	E
Tara + suelo humedo	(g)	648.0	709.3	700.1	543.9	636.0
Tara + suelo seco	(g)	612.3	659.2	643.6	501.3	575.8
Masa de tara	(g)	154.0	152.0	150.0	148.0	154.0
Masa del agua	(g)	35.7	50.1	56.5	42.6	60.2
Masa suelo seco	(g)	458.3	507.2	493.6	353.3	421.8
Contenido de agua	(%)	7.8	9.9	11.4	12.1	14.3
Densidad seca	(g/cm^3)	1.231	1.311	1.332	1.295	1.238
Peso unitario seco	(kN/cm^3)	12.076	12.860	13.062	12.703	12.138

Maxima Densidad Seca	(g/cm^3)	0.950
Peso unitario seco máximo	(kN/cm^3)	9.32
Óptimo Contenido agua	(%)	13.67



Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Anexo 11. Ficha de ensayo Proctor estándar – 10% de cemento portland tipo HS

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

LABORATORIO DE SUELOS

ENSAYO: **ENSAYO DE COMPACTACIÓN PROCTOR ESTANDAR - 10% DE CEMENTO PORTLAND TIPO HS**

NORMATIVA: **ASTM D1557**

RESPONSABLE:

REVISADO POR:

INICIO DEL ENSAYO: **07/11/2025** Humedad Optima (%) **12.65**

FIN DEL ENSAYO: **07/11/2025** Densidad seca (g/cm3) **1.011**

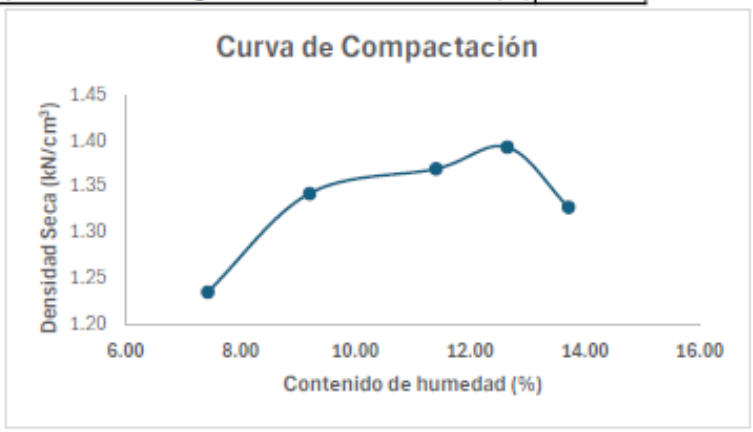
Compactación

Prueba N°		1	2	3	4	5
N° de capas		3	3	3	3	3
N° de golpes por capa		25	25	25	25	25
Masa del molde + Suelo compacto	(g)	6451	6582	6638	6679	6623
Masa del Molde	(g)	5200	5200	5200	5200	5200
Masa suelo compacto	(g)	1251	1382	1438	1479	1423
Volumen del Molde	(cm^3)	942	942	942	942	942
Densidad húmeda	(g/cm^3)	1.327	1.466	1.526	1.569	1.510
Densidad seca	(g/cm^3)	1.236	1.343	1.370	1.393	1.328

Contenido de agua

Prueba N°		1	2	3	4	5
Tara N°		A	B	C	D	E
Tara + suelo humedo	(g)	670.0	744.3	735.1	565.9	676.0
Tara + suelo seco	(g)	634.3	694.2	675.6	518.3	612.8
Masa de tara	(g)	154.0	150.0	154.0	142.0	152.0
Masa del agua	(g)	35.7	50.1	59.5	47.6	63.2
Masa suelo seco	(g)	480.3	544.2	521.6	376.3	460.8
Contenido de agua	(%)	7.4	9.2	11.4	12.6	13.7
Densidad seca	(g/cm^3)	1.236	1.343	1.370	1.393	1.328
Peso unitario seco	(kN/cm^3)	12.116	13.168	13.430	13.661	13.021

Maxima Densidad Seca	(g/cm^3)	1.011
Peso unitario seco máximo	(kN/cm^3)	9.91
Óptimo Contenido agua	(%)	12.65



Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Anexo 12. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (0% cemento HS (MH) (R))

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080			
DATOS GENERALES:				
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL			
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO			
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR	
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO	
DESCRIPTION			ARENA FINA MAL GRADADA (SP) + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)	

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:			10 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***							
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.007307	-0.8259	0	0	0
1	0.33	00:00:20	0.005849	-0.7916	0	0	0
2	0.67	00:00:40	0.009582	-0.859	0.067419	0.269675	0
3	1	00:01:00	0.011878	-0.8938	0.10218	0.408718	0
4	1.5	00:01:30	0.01187	-0.8966	0.104955	0.419821	0
5	2	00:02:00	0.011849	-0.8978	0.106179	0.424718	0
6	2.5	00:02:30	0.011985	-0.8991	0.107503	0.430014	0
7	3	00:03:00	0.012059	-0.9012	0.109602	0.43841	0
8	3.5	00:03:30	0.012118	-0.902	0.110409	0.441638	0
9	4	00:04:00	0.012082	-0.9028	0.111205	0.444819	0
10	4.5	00:04:30	0.011737	-0.902	0.110344	0.441377	0
11	5	00:05:00	0.011478	-0.9008	0.10918	0.436721	0
12	5.5	00:05:30	0.011405	-0.9007	0.109045	0.43618	0
13	6	00:06:00	0.011085	-0.8984	0.106814	0.427256	0
14	6.5	00:06:30	0.011047	-0.8982	0.106641	0.426562	0
15	7	00:07:00	0.011052	-0.8983	0.106721	0.426884	0
16	7.5	00:07:30	0.011007	-0.8982	0.106629	0.426515	0
17	8	00:08:00	0.011015	-0.8983	0.106663	0.426653	0
18	8.5	00:08:30	0.01099	-0.8984	0.106757	0.427029	0
19	9	00:09:00	0.011077	-0.8983	0.106723	0.42689	0
20	9.5	00:09:30	0.011033	-0.8984	0.106813	0.427253	0
21	10	00:10:00	0.01081	-0.8969	0.105247	0.420989	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080				
DATOS GENERALES:					
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL				
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO				
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR		
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO		
DESCRIPTION			ARENA FINA MAL GRADADA (SP) + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)		
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN		
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 02	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:		25 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***						
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.014428	-0.3832	0.023026705	0.09210682	0
1	0.33	00:00:20	0.0148732	-0.3489	0.057390839	0.22956336	0
2	0.67	00:00:40	0.0190999	-0.3489	0.057403505	0.22961402	0
3	1	00:01:00	0.0190677	-0.3489	0.057345986	0.22938395	0
4	1.5	00:01:30	0.0190931	-0.3489	0.057338387	0.22935355	0
5	2	00:02:00	0.0190775	-0.3489	0.057336688	0.22934675	0
6	2.5	00:02:30	0.0195188	-0.3489	0.057339221	0.22935688	0
7	3	00:03:00	0.0191038	-0.3488	0.057413667	0.22965467	0
8	3.5	00:03:30	0.0185737	-0.3487	0.057561725	0.2302469	0
9	4	00:04:00	0.0185239	-0.3487	0.057583719	0.23033488	0
10	4.5	00:04:30	0.0184858	-0.3486	0.057620943	0.23048377	0
11	5	00:05:00	0.0191429	-0.3487	0.057537198	0.23014879	0
12	5.5	00:05:30	0.0186381	-0.3487	0.057521105	0.23008442	0
13	6	00:06:00	0.0184565	-0.3486	0.057614177	0.23045671	0
14	6.5	00:06:30	0.0184916	-0.3487	0.057571024	0.23028409	0
15	7	00:07:00	0.0189378	-0.3487	0.057530433	0.23012173	0
16	7.5	00:07:30	0.0189291	-0.3487	0.057516038	0.23006415	0
17	8	00:08:00	0.0188588	-0.3487	0.057513505	0.23005402	0
18	8.5	00:08:30	0.0185278	-0.3487	0.057549864	0.23019946	0
19	9	00:09:00	0.0184819	-0.3487	0.057550728	0.23020291	0
20	9.5	00:09:30	0.0187143	-0.3487	0.057604015	0.23041606	0
21	10	00:10:00	0.0188178	-0.3487	0.057533801	0.2301352	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA MAL GRADADA (SP) + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 03	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN		ESFUERZO NORMAL:		50 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***							
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.0140081	-1.3063	0.033661962	0.13464785	0
1	0.33	00:00:20	0.0144514	-1.2717	0.068257809	0.27303123	0
2	0.67	00:00:40	0.0177935	-1.2717	0.068300962	0.27320385	0
3	1	00:01:00	0.0193264	-1.2716	0.068359375	0.2734375	0
4	1.5	00:01:30	0.019012	-1.2716	0.068415165	0.27366066	0
5	2	00:02:00	0.0193069	-1.2716	0.068398237	0.27359295	0
6	2.5	00:02:30	0.0192288	-1.2716	0.068400025	0.2736001	0
7	3	00:03:00	0.0191751	-1.2716	0.068377972	0.27351189	0
8	3.5	00:03:30	0.0192112	-1.2716	0.068384767	0.27353907	0
9	4	00:04:00	0.0190511	-1.2716	0.068380475	0.2735219	0
10	4.5	00:04:30	0.0189945	-1.2715	0.06842792	0.27371168	0
11	5	00:05:00	0.0188998	-1.2716	0.068413496	0.27365398	0
12	5.5	00:05:30	0.0184438	-1.2715	0.068463445	0.27385378	0
13	6	00:06:00	0.0191341	-1.2715	0.068428755	0.27371502	0
14	6.5	00:06:30	0.0190804	-1.2716	0.068417788	0.27367115	0
15	7	00:07:00	0.0189173	-1.2715	0.068438053	0.27375221	0
16	7.5	00:07:30	0.0194221	-1.2716	0.068412662	0.27365065	0
17	8	00:08:00	0.0191839	-1.2716	0.068415165	0.27366066	0
18	8.5	00:08:30	0.0189964	-1.2716	0.068416953	0.27366781	0
19	9	00:09:00	0.0189701	-1.2715	0.068429589	0.27371836	0
20	9.5	00:09:30	0.0189212	-1.2715	0.068430424	0.27372169	0
21	10	00:10:00	0.0189007	-1.2715	0.06842196	0.27368784	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 98782

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA MAL GRADADA (SP) + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.005482	0.072915	-1.225184	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.009384	0.215627	-1.224884	0.0039	0.142712	0.0003	0.237853	0.84216
2	1	00:01:00	0.015917	0.497324	-1.204315	0.01044	0.424409	0.020869	0.707348	1.76382
3	1.5	00:01:30	0.023815	0.862711	-1.160825	0.01833	0.789796	0.064359	1.316326	2.56394
4	2	00:02:00	0.031462	1.298518	-1.094328	0.02598	1.225603	0.130856	2.042672	3.73412
5	2.5	00:02:30	0.037952	1.782649	-0.985242	0.03247	1.709734	0.239942	2.849556	5.00238
6	3	00:03:00	0.036914	2.285617	-0.875321	0.03143	2.212702	0.349863	3.687836	4.87139
7	3.5	00:03:30	0.035981	2.798316	-0.761218	0.0305	2.725401	0.463966	4.54118	4.65593
8	4	00:04:00	0.035012	3.305611	-0.642522	0.02953	3.232696	0.582662	5.386018	4.41276
9	4.5	00:04:30	0.034325	3.807215	-0.517923	0.02884	3.7343	0.707261	6.222025	4.23811
10	5	00:05:00	0.033752	4.309517	-0.395271	0.02827	4.236602	0.829913	7.059195	4.08237
11	5.5	00:05:30	0.033214	4.813415	-0.276631	0.02773	4.7405	0.948553	7.899025	3.94125
12	6	00:06:00	0.032887	5.319462	-0.158412	0.02741	5.246547	1.066772	8.742437	3.85517
13	6.5	00:06:30	0.032521	5.820315	-0.048731	0.02704	5.7474	1.176453	9.576858	3.78252
14	7	00:07:00	0.032118	6.318411	0.052914	0.02664	6.245496	1.278098	10.407019	3.70194
15	7.5	00:07:30	0.031842	6.812412	0.148285	0.02636	6.739497	1.373469	11.230354	3.64685
16	8	00:08:00	0.031511	7.309511	0.241621	0.02603	7.236596	1.466805	12.058852	3.58861
17	8.5	00:08:30	0.031248	7.811362	0.329416	0.02577	7.738447	1.5546	12.894603	3.54192
18	9	00:09:00	0.030991	8.315428	0.408616	0.02551	8.242513	1.6338	13.734047	3.49838
19	9.5	00:09:30	0.030756	8.819511	0.482625	0.02527	8.746596	1.707809	14.573519	3.46177
20	10	00:10:00	0.030512	9.315422	0.551431	0.02503	9.242507	1.776615	15.400704	3.42289
21	10.18	00:10:11	0.030215	9.520621	0.582152	0.02473	9.447706	1.807336	15.742701	3.37512

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP. N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:					
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL				
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO				
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR		
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO		
DESCRIPTION			ARENA FINA MAL GRADADA (SP) + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)		
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN		
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 02	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.006215	0.082641	-1.315842	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.013581	0.324615	-1.284712	0.00737	0.241974	0.03113	0.40329	1.982631
2	1	00:01:00	0.025714	0.682451	-1.204816	0.0195	0.59981	0.111026	0.999684	3.865471
3	1.5	00:01:30	0.038695	1.105284	-1.116421	0.03248	1.022643	0.199421	1.704405	5.684193
4	2	00:02:00	0.051842	1.615392	-1.012542	0.04563	1.532751	0.3033	2.554585	7.425118
5	2.5	00:02:30	0.064195	2.178391	-0.902315	0.05798	2.09575	0.413527	3.492917	10.546215
6	3	00:03:00	0.063115	2.742951	-0.792814	0.0569	2.66031	0.523028	4.43385	9.652418
7	3.5	00:03:30	0.061972	3.305142	-0.688321	0.05576	3.222501	0.627521	5.370835	9.425614
8	4	00:04:00	0.060861	3.862948	-0.583214	0.05465	3.780307	0.732628	6.301845	9.198523
9	4.5	00:04:30	0.059985	4.415268	-0.472381	0.05377	4.332627	0.843461	7.222781	9.041752
10	5	00:05:00	0.059312	4.968915	-0.368512	0.0531	4.886274	0.94733	8.145928	8.901235
11	5.5	00:05:30	0.058845	5.526782	-0.268415	0.05263	5.444141	1.047427	9.076111	8.801362
12	6	00:06:00	0.058213	6.084915	-0.168712	0.052	6.002274	1.14713	10.006738	8.670193
13	6.5	00:06:30	0.057912	6.642815	-0.072511	0.0517	6.560174	1.243331	10.936942	8.602945
14	7	00:07:00	0.057502	7.198415	0.015382	0.05129	7.115774	1.331224	11.863358	8.514217
15	7.5	00:07:30	0.057184	7.754118	0.104215	0.05097	7.671477	1.420057	12.78994	8.456921
16	8	00:08:00	0.056882	8.309718	0.186315	0.05067	8.227077	1.502157	13.716353	8.403175
17	8.5	00:08:30	0.056515	8.864951	0.262581	0.0503	8.78231	1.578423	14.642152	8.335416
18	9	00:09:00	0.056214	9.418815	0.331241	0.05	9.336174	1.647083	15.565692	8.279851
19	9.5	00:09:30	0.055984	9.972815	0.394315	0.04977	9.890174	1.710157	16.489358	8.236194
20	10	00:10:00	0.055714	10.525612	0.451281	0.0495	10.442971	1.767123	17.41002	8.183492
21	10.18	00:10:11	0.055412	10.721518	0.479512	0.0492	10.638877	1.795354	17.736114	8.124981

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:					
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL				
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO				
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR		
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO		
DESCRIPTION			ARENA FINA MAL GRADADA (SP) + 0% DE CEMENTO HS (MH) (R)		

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 03	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.008315	0.095812	-1.412854	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.022615	0.382541	-1.384612	0.0143	0.286729	0.028242	0.477882	3.285415
2	1	00:01:00	0.041815	0.742651	-1.291641	0.0335	0.646839	0.121213	1.078065	6.571228
3	1.5	00:01:30	0.063915	1.184215	-1.194852	0.0556	1.088403	0.218002	1.814005	9.845117
4	2	00:02:00	0.084514	1.698421	-1.084215	0.0762	1.602609	0.328639	2.671015	12.415218
5	2.5	00:02:30	0.102315	2.264518	-0.963218	0.094	2.168706	0.449636	3.61451	15.218514
6	3	00:03:00	0.111852	2.845152	-0.834152	0.10354	2.74934	0.578702	4.581899	17.995418
7	3.5	00:03:30	0.110952	3.421851	-0.704851	0.10264	3.326039	0.708003	5.543086	17.815214
8	4	00:04:00	0.109814	3.992415	-0.581214	0.1015	3.896603	0.83164	6.494025	17.632118
9	4.5	00:04:30	0.108715	4.562951	-0.461215	0.1004	4.467139	0.951639	7.444918	17.421995
10	5	00:05:00	0.107982	5.131518	-0.345182	0.09967	5.035706	1.067672	8.39253	17.295612
11	5.5	00:05:30	0.107214	5.698218	-0.229852	0.0989	5.602406	1.183002	9.33703	17.152814
12	6	00:06:00	0.106912	6.265115	-0.116951	0.0986	6.169303	1.295903	10.281859	17.108118
13	6.5	00:06:30	0.106521	6.832115	-0.012841	0.09821	6.736303	1.400013	11.226859	17.042514
14	7	00:07:00	0.106115	7.398651	0.086421	0.0978	7.302839	1.499275	12.171085	16.984221
15	7.5	00:07:30	0.105812	7.962915	0.181415	0.0975	7.867103	1.594269	13.111525	16.931852
16	8	00:08:00	0.105514	8.526951	0.272581	0.0972	8.431139	1.685435	14.051585	16.885417
17	8.5	00:08:30	0.105215	9.091215	0.358215	0.0969	8.995403	1.771069	14.992025	16.841852
18	9	00:09:00	0.104912	9.655851	0.438215	0.0966	9.560039	1.851069	15.933085	16.795418
19	9.5	00:09:30	0.104615	10.221251	0.511518	0.0963	10.125439	1.924372	16.875419	16.751985
20	10	00:10:00	0.104315	10.785915	0.579251	0.096	10.690103	1.992105	17.816525	16.705741
21	10.18	00:10:11	0.104012	10.981215	0.611415	0.0957	10.885403	2.024269	18.142025	16.662518

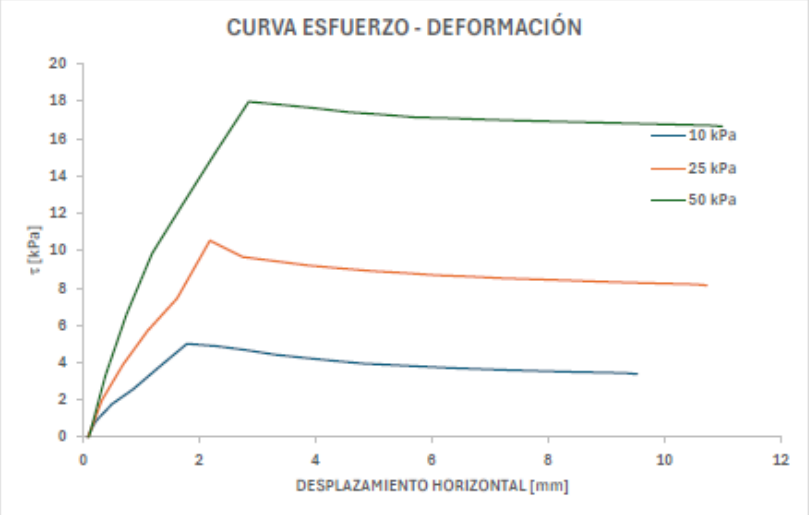
Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

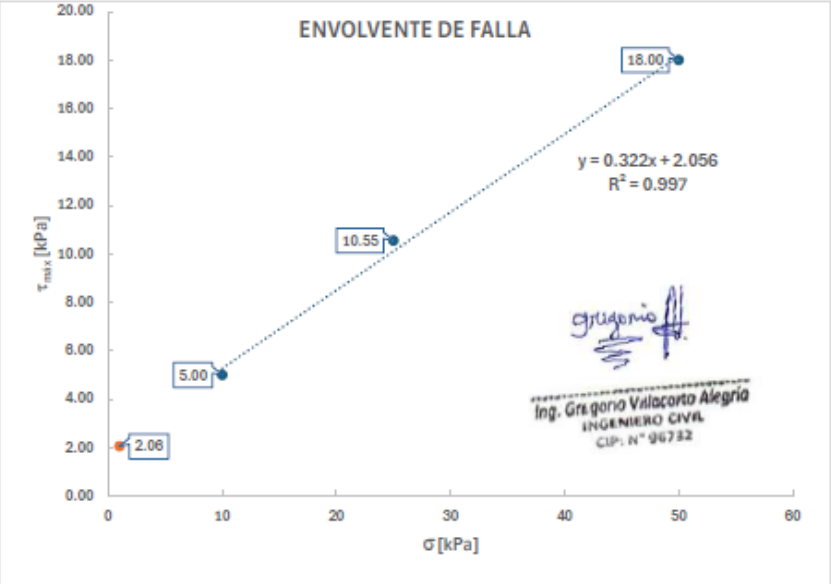
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]" ASTM D3080		
DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	10/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	10/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO

σ [kPa]	$\tau_{máx}$ [kPa]
10	5.00
25	10.55
50	18.00

ϕ (°)	18.00
c (kPa)	2.06





Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 13. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (2.5% cemento HS (MH) (R))

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080			
DATOS GENERALES:				
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL			
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO			
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR	
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO	
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:		10 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***						
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.014645	-2.114	0.23259795	0.930392	0
1	0.08333	00:00:05	0.010438	-2.1149	0.23346174	0.933847	0
2	0.25	00:00:15	0.013553	-2.1155	0.2340759	0.936304	0
3	0.5	00:00:30	0.016217	-2.1157	0.23433578	0.937343	0
4	1	00:01:00	0.01852	-2.1614	0.28001845	1.120074	0
5	2	00:02:00	0.017946	-2.1664	0.28500998	1.14004	0
6	4	00:04:00	0.017461	-2.168	0.28655732	1.146229	0
7	8	00:08:00	0.018432	-2.1697	0.28831971	1.153279	0
8	10	00:10:00	0.018424	-2.1702	0.28880107	1.155204	0
9	12	00:12:00	0.017978	-2.1705	0.28911817	1.156473	0
10	14	00:14:00	0.017265	-2.171	0.2896055	1.158422	0
11	16	00:16:00	0.017831	-2.1713	0.28989923	1.159597	0
12	18	00:18:00	0.017551	-2.1721	0.29068601	1.162744	0
13	20	00:20:00	0.018051	-2.1715	0.29014957	1.160598	0
14	22	00:22:00	0.018283	-2.1722	0.29082382	1.163295	0
15	24	00:24:00	0.017976	-2.172	0.29059112	1.162364	0
16	26	00:26:00	0.017803	-2.1728	0.29137957	1.165518	0
17	28	00:28:00	0.018491	-2.1727	0.29128397	1.165136	0
18	30	00:30:00	0.017937	-2.1725	0.29109275	1.164371	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 86732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080				
DATOS GENERALES:					
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL				
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO				
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR		
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO		
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)		
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN		
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	N° 02	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:			25 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***							
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.010652	-2.1238	0.2423948	0.969579	0
1	0.08333	00:00:05	0.006687	-2.0794	0.19798505	0.79194	0
2	0.25	00:00:15	0.008857	-2.1018	0.22044766	0.881791	0
3	0.5	00:00:30	0.011887	-2.1025	0.22109044	0.884362	0
4	1	00:01:00	0.014088	-2.111	0.22962081	0.918483	0
5	2	00:02:00	0.014543	-2.1113	0.22986114	0.919445	0
6	4	00:04:00	0.01463	-2.1115	0.23006499	0.92026	0
7	8	00:08:00	0.014082	-2.1122	0.23082721	0.923309	0
8	10	00:10:00	0.014826	-2.1138	0.23243034	0.929721	0
9	12	00:12:00	0.014638	-2.1139	0.23250568	0.930023	0
10	14	00:14:00	0.014821	-2.1139	0.23252523	0.930101	0
11	16	00:16:00	0.014157	-2.114	0.2325691	0.930276	0
12	18	00:18:00	0.013683	-2.114	0.23259795	0.930392	0
13	20	00:20:00	0.014227	-2.114	0.23256838	0.930274	0
14	22	00:22:00	0.014915	-2.114	0.23256671	0.930267	0
15	24	00:24:00	0.013083	-2.114	0.23263085	0.930523	0
16	26	00:26:00	0.014615	-2.114	0.23259723	0.930389	0
17	28	00:28:00	0.014918	-2.114	0.23259962	0.930398	0
18	30	00:30:00	0.015479	-2.114	0.23259795	0.930392	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080			
DATOS GENERALES:				
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL			
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO			
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR	
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO	
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 03	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:		50 kPa	
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***							
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.007825	-2.0511	0	0	0
1	0.08333	00:00:05	0.001892	-1.8814	0	0	0
2	0.25	00:00:15	0.003453	-1.9207	0.03930056	0.157202	0
3	0.5	00:00:30	0.006811	-2.0078	0.12637198	0.505488	0
4	1	00:01:00	0.011082	-2.0856	0.20420659	0.816826	0
5	2	00:02:00	0.010711	-2.1032	0.2217952	0.887181	0
6	4	00:04:00	0.010638	-2.1114	0.22999895	0.919996	0
7	8	00:08:00	0.010762	-2.1122	0.23075879	0.923035	0
8	10	00:10:00	0.010877	-2.1136	0.23221886	0.928875	0
9	12	00:12:00	0.010966	-2.1152	0.23378742	0.93515	0
10	14	00:14:00	0.011004	-2.1153	0.23388469	0.935539	0
11	16	00:16:00	0.010554	-2.1177	0.23625958	0.945038	0
12	18	00:18:00	0.011151	-2.1179	0.23652351	0.946094	0
13	20	00:20:00	0.010667	-2.1184	0.2370311	0.948124	0
14	22	00:22:00	0.010645	-2.1218	0.24036086	0.961443	0
15	24	00:24:00	0.011094	-2.122	0.24064696	0.962588	0
16	26	00:26:00	0.010686	-2.1226	0.24123585	0.964943	0
17	28	00:28:00	0.010667	-2.1234	0.24202931	0.968117	0
18	30	00:30:00	0.011246	-2.1238	0.2423948	0.969579	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080					
DATOS GENERALES:						
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL					
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO					
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR			
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO			
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)			
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN			
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.0038	0.072907	-1.2252	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.0245	0.418587	-1.2253	0.021	0.34568	-0.00011	0.5761	6.13
2	1	00:01:00	0.072	0.845232	-1.1592	0.068	0.772326	0.065941	1.2872	10.6
3	1.5	00:01:30	0.058	1.396748	-0.7392	0.054	1.323841	0.485947	2.2064	25.27
4	2	00:02:00	0.048	1.901402	-0.5655	0.044	1.828496	0.659715	3.0475	11.67
5	2.5	00:02:30	0.045	2.382675	-0.4646	0.041	2.309769	0.760566	3.8496	10.81
6	3	00:03:00	0.044	2.881816	-0.3888	0.04	2.808909	0.836408	4.6815	10.09
7	3.5	00:03:30	0.043	3.386803	-0.3121	0.039	3.313896	0.913078	5.5232	9.86
8	4	00:04:00	0.042	3.887861	-0.2645	0.038	3.814954	0.96065	6.3583	9.74
9	4.5	00:04:30	0.041	4.388596	-0.1979	0.037	4.315689	1.027279	7.1928	9.45
10	5	00:05:00	0.0405	4.887176	-0.1487	0.0365	4.814269	1.076522	8.0238	9.29
11	5.5	00:05:30	0.04	5.38754	-0.1054	0.036	5.314633	1.119779	8.8577	8.92
12	6	00:06:00	0.0395	5.893466	-0.0517	0.0355	5.82056	1.173445	9.7009	8.78
13	6.5	00:06:30	0.039	6.395008	-0.0245	0.035	6.322101	1.200668	10.537	8.64
14	7	00:07:00	0.0385	6.898195	0.0351	0.0345	6.825289	1.260323	11.375	8.35
15	7.5	00:07:30	0.038	7.394186	0.0822	0.034	7.321279	1.30742	12.202	8.20
16	8	00:08:00	0.0375	7.890699	0.1265	0.0335	7.817792	1.3517	13.03	7.84
17	8.5	00:08:30	0.037	8.391277	0.1764	0.033	8.318371	1.401553	13.864	7.61
18	9	00:09:00	0.0365	8.894037	0.2019	0.0325	8.821131	1.427055	14.702	7.45
19	9.5	00:09:30	0.036	9.389638	0.2124	0.032	9.316731	1.437561	15.528	7.26
20	10	00:10:00	0.0355	9.881397	0.2505	0.0315	9.808491	1.47564	16.347	7.25
21	10.8	00:10:11	0.035	10.07312	0.2802	0.031	10.00022	1.505332	16.667	6.88

Ing. Grigorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080					
DATOS GENERALES:						
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL					
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO					
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR			
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO			
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)			
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN			
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 02	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.0045	0.072907	-1.2252	0	0	0	0.0000	0
1	0.5	00:00:30	0.0312	0.418587	-1.2253	0.028	0.3457	-0.0001	0.5761	8.42
2	1	00:01:00	0.102	0.845232	-1.1592	0.098	0.7723	0.0659	1.2872	15.66
3	1.5	00:01:30	0.071	1.396748	-0.7392	0.067	1.3238	0.4859	2.2064	32.08
4	2	00:02:00	0.058	1.901402	-0.5655	0.054	1.8285	0.6597	3.0475	16.56
5	2.5	00:02:30	0.055	2.382675	-0.4646	0.051	2.3098	0.7606	3.8496	15.22
6	3	00:03:00	0.053	2.881816	-0.3888	0.049	2.8089	0.8364	4.6815	14.41
7	3.5	00:03:30	0.052	3.386803	-0.3121	0.048	3.3139	0.9131	5.5232	13.93
8	4	00:04:00	0.051	3.887861	-0.2645	0.047	3.8150	0.9607	6.3583	13.48
9	4.5	00:04:30	0.05	4.388596	-0.1979	0.046	4.3157	1.0273	7.1928	12.85
10	5	00:05:00	0.0495	4.887176	-0.1487	0.0455	4.8143	1.0765	8.0238	12.57
11	5.5	00:05:30	0.049	5.38754	-0.1054	0.045	5.3146	1.1198	8.8577	12.21
12	6	00:06:00	0.0485	5.893466	-0.0517	0.0445	5.8206	1.1734	9.7009	12.02
13	6.5	00:06:30	0.048	6.395008	-0.0245	0.044	6.3221	1.2007	10.5368	11.83
14	7	00:07:00	0.0475	6.898195	0.0351	0.0435	6.8253	1.2603	11.3755	11.61
15	7.5	00:07:30	0.047	7.394186	0.0822	0.043	7.3213	1.3074	12.2021	11.45
16	8	00:08:00	0.0465	7.890699	0.1265	0.0425	7.8178	1.3517	13.0297	11.26
17	8.5	00:08:30	0.046	8.391277	0.1764	0.042	8.3184	1.4016	13.8640	11.17
18	9	00:09:00	0.0455	8.894037	0.2019	0.0415	8.8211	1.4271	14.7019	10.84
19	9.5	00:09:30	0.045	9.389638	0.2124	0.041	9.3167	1.4376	15.5279	10.62
20	10	00:10:00	0.0445	9.881397	0.2505	0.0405	9.8085	1.4756	16.3475	10.44
21	10.5	00:10:11	0.044	10.07312	0.2802	0.04	10.0002	1.5053	16.6670	10.28

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080				
DATOS GENERALES:					
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL				
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO				
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR		
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO		
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 2.5% DE CEMENTO HS (MH) (R)		
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN		
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	N° 03	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.0052	0.072907	-1.2252	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.042	0.418587	-1.2253	0.038	0.34568	-0.00011	0.5761	11.25
2	1	00:01:00	0.145	0.845232	-1.1592	0.14	0.772326	0.065941	1.2872	22.48
3	1.5	00:01:30	0.178	1.396748	-0.7392	0.172	1.323841	0.485947	2.2064	45.93
4	2	00:02:00	0.16	1.901402	-0.5655	0.154	1.828496	0.659715	3.0475	26.67
5	2.5	00:02:30	0.15	2.382675	-0.4646	0.144	2.309769	0.760566	3.8496	24.82
6	3	00:03:00	0.147	2.881816	-0.3888	0.141	2.808909	0.836408	4.6815	24.35
7	3.5	00:03:30	0.144	3.386803	-0.3121	0.138	3.313896	0.913078	5.5232	23.59
8	4	00:04:00	0.142	3.887861	-0.2645	0.136	3.814954	0.96065	6.3583	23.05
9	4.5	00:04:30	0.14	4.388596	-0.1979	0.134	4.315689	1.027279	7.1928	22.67
10	5	00:05:00	0.138	4.887176	-0.1487	0.132	4.814269	1.076522	8.0238	22.37
11	5.5	00:05:30	0.136	5.38754	-0.1054	0.13	5.314633	1.119779	8.8577	21.51
12	6	00:06:00	0.134	5.893466	-0.0517	0.128	5.82056	1.173445	9.7009	21.07
13	6.5	00:06:30	0.132	6.395008	-0.0245	0.126	6.322101	1.200668	10.537	20.83
14	7	00:07:00	0.13	6.898195	0.0351	0.124	6.825289	1.260323	11.375	20.58
15	7.5	00:07:30	0.128	7.394186	0.0822	0.122	7.321279	1.30742	12.202	20.22
16	8	00:08:00	0.126	7.890699	0.1265	0.12	7.817792	1.3517	13.03	20.06
17	8.5	00:08:30	0.124	8.391277	0.1764	0.118	8.318371	1.401553	13.864	19.74
18	9	00:09:00	0.122	8.894037	0.2019	0.116	8.821131	1.427055	14.702	19.41
19	9.5	00:09:30	0.12	9.389638	0.2124	0.114	9.316731	1.437561	15.528	19.25
20	10	00:10:00	0.118	9.881397	0.2505	0.112	9.808491	1.47564	16.347	19.08
21	10.5	00:10:11	0.116	10.07312	0.2802	0.11	10.00022	1.505332	16.667	18.89

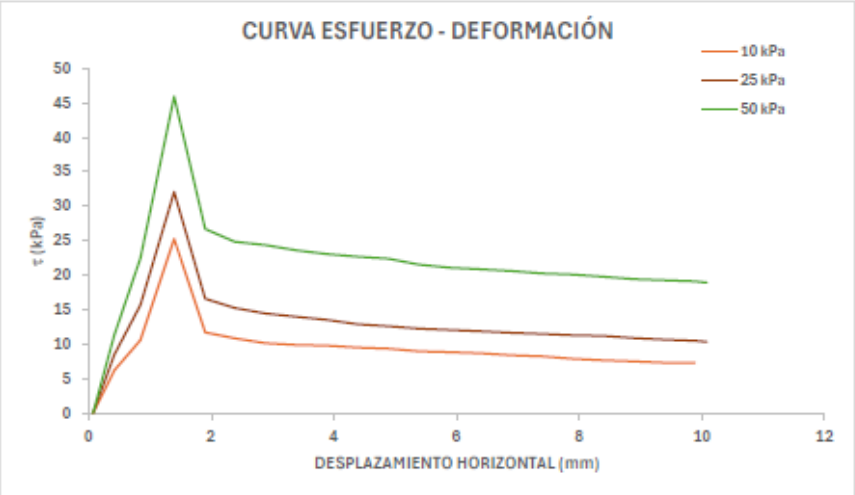
Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

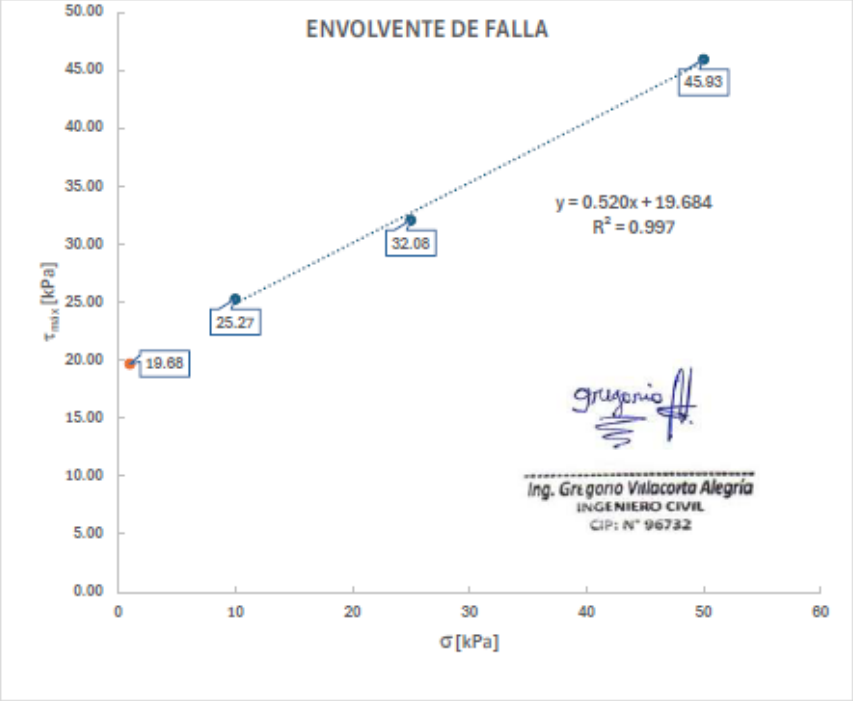
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080		
DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO

σ [kPa]	$\tau_{máx}$ [kPa]
10	25.27
25	32.08
50	45.93

ϕ (°)	27.32
c (kPa)	19.68





Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 14. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (5% cemento HS (MH) (R))

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080			
DATOS GENERALES:				
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL			
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO			
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR	
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO	
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN			
	1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN		ESFUERZO NORMAL:		25 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***							
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.008344	-0.4518104	0.000114	0.00046	0
1	0.33	00:00:20	0.006727	-0.4062594	0.02287	0.09148	0
2	0.67	00:00:40	0.009976	-0.4062992	0.02307	0.09226	0
3	1	00:01:00	0.011383	-0.4063238	0.02284	0.09137	0
4	1.5	00:01:30	0.012065	-0.4063144	0.02262	0.09048	0
5	2	00:02:00	0.011993	-0.4063348	0.02285	0.0914	0
6	2.5	00:02:30	0.011851	-0.4063322	0.02284	0.09136	0
7	3	00:03:00	0.011802	-0.4063356	0.02283	0.09131	0
8	3.5	00:03:30	0.012094	-0.4064016	0.02278	0.09112	0
9	4	00:04:00	0.01202	-0.4063821	0.02278	0.09114	0
10	4.5	00:04:30	0.01197	-0.4063906	0.02279	0.09114	0
11	5	00:05:00	0.011678	-0.4063077	0.02278	0.09113	0
12	5.5	00:05:30	0.011583	-0.4063322	0.02302	0.09208	0
13	6	00:06:00	0.011561	-0.4062975	0.02302	0.09208	0
14	6.5	00:06:30	0.011607	-0.4063288	0.02303	0.09211	0
15	7	00:07:00	0.011916	-0.4063432	0.02278	0.09113	0
16	7.5	00:07:30	0.011978	-0.4063483	0.02306	0.09223	0
17	8	00:08:00	0.011948	-0.4063889	0.02283	0.09131	0
18	8.5	00:08:30	0.012003	-0.4063982	0.02304	0.09214	0
19	9	00:09:00	0.011755	-0.4063576	0.02304	0.09216	0
20	9.5	00:09:30	0.011734	-0.4063872	0.02304	0.09215	0
21	10	00:10:00	0.011781	-0.4063736	0.02303	0.09211	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]" ASTM D3080			
DATOS GENERALES:				
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL			
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO			
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR	
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO	
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 02	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN		ESFUERZO NORMAL:		50 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***							
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.01091	-0.8968509	0	0.42099	0
1	0.33333	00:00:20	0.008934	-0.8766575	0	0.34021	0
2	0.66667	00:00:40	0.013027	-0.9172423	0.12564	0.50255	0
3	1	00:01:00	0.015341	-0.9592662	0.16766	0.67065	0
4	1.5	00:01:30	0.015927	-0.9750342	0.18343	0.73372	0
5	2	00:02:00	0.015557	-0.9769986	0.18539	0.74158	0
6	2.5	00:02:30	0.015235	-0.9769022	0.18530	0.74119	0
7	3	00:03:00	0.015254	-0.9770291	0.18543	0.7417	0
8	3.5	00:03:30	0.014885	-0.9756204	0.18402	0.73607	0
9	4	00:04:00	0.014776	-0.9756763	0.18407	0.73629	0
10	4.5	00:04:30	0.014228	-0.9733929	0.18179	0.72716	0
11	5	00:05:00	0.014377	-0.9741298	0.18253	0.7301	0
12	5.5	00:05:30	0.014418	-0.9742195	0.18262	0.73046	0
13	6	00:06:00	0.014394	-0.9742516	0.18265	0.73059	0
14	6.5	00:06:30	0.014345	-0.9739953	0.18239	0.72957	0
15	7	00:07:00	0.014429	-0.9745156	0.18291	0.73165	0
16	7.5	00:07:30	0.014392	-0.9746036	0.18300	0.732	0
17	8	00:08:00	0.01438	-0.9746349	0.18303	0.73212	0
18	8.5	00:08:30	0.014408	-0.9746983	0.18309	0.73238	0
19	9	00:09:00	0.014382	-0.9752829	0.18368	0.73472	0
20	9.5	00:09:30	0.014295	-0.9745477	0.18294	0.73178	0
21	10	00:10:00	0.014485	-0.976458	0.18485	0.73942	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]" ASTM D3080			
DATOS GENERALES:				
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL			
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO			
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR	
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO	
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)	

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 03	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:		100 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***						
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.014394	-0.976458	0.184854	0.73942	0
1	0.33333	00:00:20	0.015039	-0.979213	0.187609	0.75044	0
2	0.66667	00:00:40	0.018025	-0.995707	0.204104	0.81641	0
3	1	00:01:00	0.017473	-1.023142	0.231538	0.92615	0
4	1.5	00:01:30	0.017913	-1.034609	0.243005	0.97202	0
5	2	00:02:00	0.017903	-1.037435	0.245833	0.98333	0
6	2.5	00:02:30	0.018025	-1.037558	0.245959	0.98382	0
7	3	00:03:00	0.017948	-1.03818	0.246579	0.9863	0
8	3.5	00:03:30	0.017908	-1.039345	0.247747	0.99096	0
9	4	00:04:00	0.01777	-1.039631	0.248026	0.99211	0
10	4.5	00:04:30	0.017666	-1.039301	0.247697	0.99079	0
11	5	00:05:00	0.01838	-1.042771	0.251167	1.00467	0
12	5.5	00:05:30	0.018208	-1.042588	0.250984	1.00394	0
13	6	00:06:00	0.017896	-1.043235	0.251631	1.00653	0
14	6.5	00:06:30	0.018123	-1.04306	0.251456	1.00583	0
15	7	00:07:00	0.018046	-1.043216	0.251612	1.00645	0
16	7.5	00:07:30	0.018009	-1.043296	0.251692	1.00677	0
17	8	00:08:00	0.017787	-1.043569	0.251964	1.00786	0
18	8.5	00:08:30	0.017789	-1.043586	0.251981	1.00793	0
19	9	00:09:00	0.018488	-1.045055	0.253451	1.01381	0
20	9.5	00:09:30	0.018236	-1.04518	0.253577	1.01431	0
21	10	00:10:00	0.017956	-1.044874	0.25327	1.01308	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.0055	0.072907	-1.22518	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.04402	0.418587	-1.22529	0.0385272	0.345680147	-0.0001	0.576134	10.70
2	1	00:01:00	0.13401	0.845232	-1.15924	0.1285132	0.772325754	0.06594	1.28721	42.55
3	1.5	00:01:30	0.05371	1.396748	-0.73923	0.0482158	1.323841214	0.48595	2.206402	21.39
4	2	00:02:00	0.04112	1.901402	-0.56546	0.0356233	1.82849586	0.65971	3.047493	17.90
5	2.5	00:02:30	0.03941	2.382675	-0.46461	0.0339166	2.309768915	0.76057	3.849615	16.42
6	3	00:03:00	0.0385	2.881816	-0.38877	0.0330044	2.808909178	0.83641	4.681515	16.17
7	3.5	00:03:30	0.03785	3.386803	-0.3121	0.032349	3.313896179	0.91308	5.52316	14.99
8	4	00:04:00	0.03723	3.887861	-0.26453	0.0317288	3.814954281	0.96065	6.358257	14.81
9	4.5	00:04:30	0.03668	4.388596	-0.1979	0.0311811	4.315689087	1.02728	7.192815	14.66
10	5	00:05:00	0.03601	4.887176	-0.14866	0.030511	4.814269066	1.07652	8.023782	14.48
11	5.5	00:05:30	0.0368	5.38754	-0.1054	0.0313026	5.314633369	1.11978	8.857722	14.70
12	6	00:06:00	0.0359	5.893466	-0.05173	0.0304052	5.820559502	1.17344	9.700933	14.45
13	6.5	00:06:30	0.03721	6.395008	-0.02451	0.0317092	6.322101116	1.20067	10.53683	13.81
14	7	00:07:00	0.03665	6.898195	0.035143	0.0311586	6.825288296	1.26032	11.37548	13.66
15	7.5	00:07:30	0.03648	7.394186	0.082241	0.0309881	7.321279049	1.30742	12.20213	13.61
16	8	00:08:00	0.03524	7.890699	0.126521	0.0297399	7.817792416	1.3517	13.02965	13.26
17	8.5	00:08:30	0.03508	8.391277	0.176374	0.0295802	8.318370819	1.40155	13.86395	13.22
18	9	00:09:00	0.03417	8.894037	0.201876	0.028675	8.821130753	1.42706	14.70188	12.97
19	9.5	00:09:30	0.03649	9.389638	0.212382	0.0309979	9.316731453	1.43756	15.52789	12.61
20	10	00:10:00	0.03676	9.881397	0.250461	0.0312595	9.808490753	1.47564	16.34748	11.68
21	10.183333	00:10:11	0.03411	10.07312	0.280152	0.0286103	10.00021648	1.50533	16.66703	10.95

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 02	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.00612	0.072907	-1.22518	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.05421	0.418587	-1.22529	0.04809	0.34568015	-0.0001	0.576134	13.358
2	1	00:01:00	0.1669	0.845232	-1.15924	0.16078	0.77232578	0.06594	1.28721	27.717
3	1.5	00:01:30	0.0699	1.396748	-0.73923	0.06378	1.32384124	0.48595	2.206402	59.561
4	2	00:02:00	0.0532	1.901402	-0.56546	0.04708	1.82849588	0.65972	3.047493	25.078
5	2.5	00:02:30	0.0503	2.382675	-0.46461	0.04418	2.30976882	0.76057	3.849615	22.272
6	3	00:03:00	0.0485	2.881816	-0.38877	0.04238	2.80890908	0.83641	4.681515	19.772
7	3.5	00:03:30	0.0473	3.368803	-0.3121	0.04118	3.31389608	0.91308	5.52316	19.439
8	4	00:04:00	0.0465	3.887861	-0.26453	0.04038	3.81495418	0.96065	6.358257	19.117
9	4.5	00:04:30	0.0458	4.388596	-0.1979	0.03968	4.31568899	1.02728	7.192815	18.022
10	5	00:05:00	0.045	4.887176	-0.14866	0.03888	4.81426997	1.07652	8.023782	17.827
11	5.5	00:05:30	0.0441	5.38754	-0.1054	0.03798	5.31463327	1.11978	8.857722	17.551
12	6	00:06:00	0.0432	5.893466	-0.05173	0.03708	5.82055941	1.17344	9.700933	17.356
13	6.5	00:06:30	0.0444	6.395008	-0.02451	0.03828	6.32210102	1.20067	10.53683	16.633
14	7	00:07:00	0.0437	6.898195	0.035143	0.03758	6.8252882	1.26032	11.37548	16.439
15	7.5	00:07:30	0.043	7.394186	0.082241	0.03688	7.32127895	1.30742	12.20213	16.244
16	8	00:08:00	0.0422	7.890699	0.126521	0.03608	7.81779232	1.3517	13.02965	16.022
17	8.5	00:08:30	0.0415	8.391277	0.176374	0.03538	8.31837072	1.40155	13.86395	15.828
18	9	00:09:00	0.0408	8.894037	0.201876	0.03468	8.82113066	1.42706	14.70188	14.633
19	9.5	00:09:30	0.0402	9.389638	0.212382	0.03408	9.31673136	1.43756	15.52789	14.467
20	10	00:10:00	0.0397	9.881397	0.250461	0.03358	9.80849066	1.47564	16.34748	14.328
21	10.016667	00:10:11	0.0392	10.07312	0.280152	0.03308	10.0002165	1.50533	16.66703	14.189

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 98732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 5% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	**ESPECIMEN**			
	1	**2**	**3**	**Und**
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	**N° 03**	ETAPA:	**CORTE**	VELOCIDAD	**1 mm/min**

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	00:00:00	0.0065	0.072907	-1.22518	0	0	0	0	0
1	0.5	00:00:30	0.082	0.418587	-1.22529	0.076	0.34568015	-0.0001	0.576134	25.93
2	1	00:01:00	0.265	0.845232	-1.15924	0.258	0.77232575	0.06594	1.28721	49.57
3	1.5	00:01:30	0.342	1.396748	-0.73923	0.334	1.32384121	0.48595	2.206402	89.64
4	2	00:02:00	0.32	1.901402	-0.56546	0.311	1.82849586	0.65972	3.047493	55.02
5	2.5	00:02:30	0.305	2.382675	-0.46461	0.296	2.30976892	0.76057	3.849615	48.88
6	3	00:03:00	0.295	2.881816	-0.38877	0.286	2.80890918	0.83641	4.681515	43.18
7	3.5	00:03:30	0.288	3.386803	-0.3121	0.279	3.31389618	0.91308	5.52316	38.29
8	4	00:04:00	0.283	3.887861	-0.26453	0.274	3.81495428	0.96065	6.358257	31.55
9	4.5	00:04:30	0.278	4.388596	-0.1979	0.269	4.31568909	1.02728	7.192815	29.75
10	5	00:05:00	0.273	4.887176	-0.14866	0.264	4.81426907	1.07652	8.023782	28.49
11	5.5	00:05:30	0.269	5.38754	-0.1054	0.26	5.31463337	1.11978	8.857722	26.34
12	6	00:06:00	0.265	5.893466	-0.05173	0.256	5.8205595	1.17344	9.700933	25.37
13	6.5	00:06:30	0.262	6.395008	-0.02451	0.253	6.32210112	1.20067	10.53683	24.12
14	7	00:07:00	0.259	6.898195	0.035143	0.25	6.82528883	1.26032	11.37548	23.93
15	7.5	00:07:30	0.256	7.394186	0.082241	0.247	7.32127905	1.30742	12.20213	23.05
16	8	00:08:00	0.253	7.890699	0.126521	0.244	7.81779242	1.3517	13.02965	22.04
17	8.5	00:08:30	0.25	8.391277	0.176374	0.241	8.31837082	1.40155	13.86395	21.78
18	9	00:09:00	0.247	8.894037	0.201876	0.238	8.82113075	1.42706	14.70188	21.56
19	9.5	00:09:30	0.244	9.389638	0.212382	0.235	9.31673145	1.43756	15.52789	20.51
20	10	00:10:00	0.241	9.881397	0.250461	0.232	9.80849075	1.47564	16.34748	20.34
21	10.083333	00:10:11	0.238	10.07312	0.280152	0.229	10.0002165	1.50533	16.66703	20.08

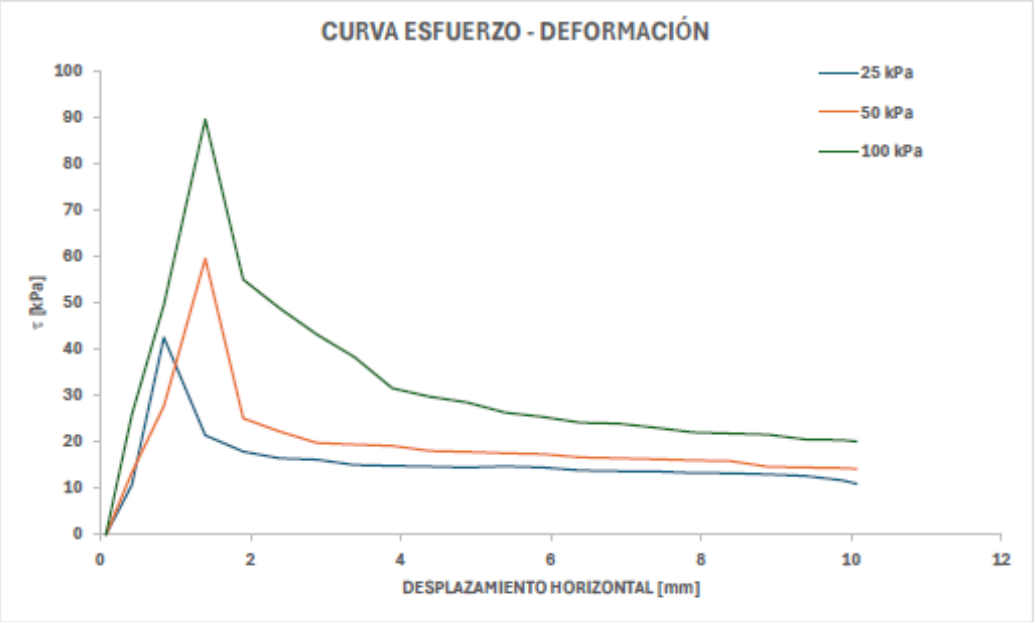
Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

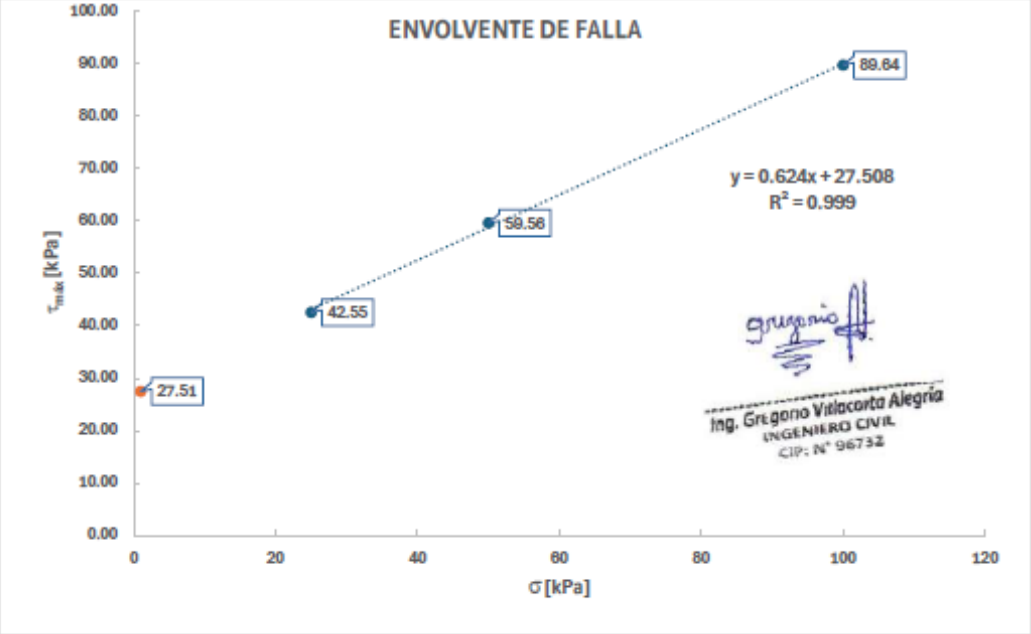
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080		
DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	13/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	13/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO

σ [kPa]	$\tau_{máx}$ [kPa]
25	42.55
50	59.56
100	89.64

ϕ (°)	32.12
c (kPa)	27.51





Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 15. Ficha de corte directo – Consolidado Drenado (10% cemento HS (MH) (R))

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080					
DATOS GENERALES:						
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL					
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO					
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR			
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO			
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)			
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN			
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:		50 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***						
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.0075	-0.12299	0	0	0
1	0.33	00:00:20	0.0054	-0.1015	0	0	0
2	0.67	00:00:40	0.0088	-0.12721	0.025716186	0.10286	0
3	1	00:01:00	0.0107	-0.13322	0.031721175	0.12688	0
4	1.5	00:01:30	0.0108	-0.13765	0.036156803	0.14463	0
5	2	00:02:00	0.0105	-0.13876	0.037262544	0.14905	0
6	2.5	00:02:30	0.0112	-0.13989	0.03839536	0.15358	0
7	3	00:03:00	0.0115	-0.1412	0.039705828	0.15882	0
8	3.5	00:03:30	0.011	-0.14114	0.039644912	0.15858	0
9	4	00:04:00	0.0108	-0.14229	0.040792942	0.16317	0
10	4.5	00:04:30	0.0109	-0.14218	0.040687189	0.16275	0
11	5	00:05:00	0.0107	-0.14231	0.040815786	0.16326	0
12	5.5	00:05:30	0.0106	-0.14279	0.041295484	0.16518	0
13	6	00:06:00	0.0106	-0.14308	0.041580588	0.16632	0
14	6.5	00:06:30	0.0105	-0.14315	0.041652501	0.16661	0
15	7	00:07:00	0.0116	-0.14449	0.042990044	0.17196	0
16	7.5	00:07:30	0.0106	-0.14453	0.043034881	0.17214	0
17	8	00:08:00	0.0103	-0.14458	0.043079719	0.17232	0
18	8.5	00:08:30	0.0098	-0.1445	0.043006957	0.17203	0
19	9	00:09:00	0.0098	-0.14457	0.043071255	0.17229	0
20	9.5	00:09:30	0.0104	-0.14468	0.043183774	0.17274	0
21	10	00:10:00	0.0104	-0.1447	0.043199852	0.1728	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080				
DATOS GENERALES:					
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL				
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO				
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR		
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO		
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)		
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN		
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 02	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN	ESFUERZO NORMAL:	100 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***					

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.0101	-0.1447	0.043199852	0.1728	0
1	0.33	00:00:20	0.0124	-0.14309	0.041588202	0.16635	0
2	0.67	00:00:40	0.0147	-0.1547	0.053206459	0.21283	0
3	1	00:01:00	0.0152	-0.16216	0.06066151	0.24265	0
4	1.5	00:01:30	0.0155	-0.16816	0.066661417	0.26665	0
5	2	00:02:00	0.0155	-0.17056	0.069063246	0.27625	0
6	2.5	00:02:30	0.0154	-0.17184	0.070340723	0.28136	0
7	3	00:03:00	0.0162	-0.17481	0.073316991	0.29327	0
8	3.5	00:03:30	0.0153	-0.17579	0.074295819	0.29718	0
9	4	00:04:00	0.0152	-0.17636	0.074861795	0.29945	0
10	4.5	00:04:30	0.0149	-0.17659	0.075087681	0.30035	0
11	5	00:05:00	0.0149	-0.17669	0.075192586	0.30077	0
12	5.5	00:05:30	0.0153	-0.17718	0.075679049	0.30272	0
13	6	00:06:00	0.0152	-0.17736	0.075858399	0.30343	0
14	6.5	00:06:30	0.0152	-0.17755	0.076052144	0.30421	0
15	7	00:07:00	0.0158	-0.17867	0.077174798	0.3087	0
16	7.5	00:07:30	0.0154	-0.1789	0.077403218	0.30961	0
17	8	00:08:00	0.0153	-0.17903	0.077536881	0.31015	0
18	8.5	00:08:30	0.0148	-0.17908	0.07758595	0.31034	0
19	9	00:09:00	0.0148	-0.17912	0.077622339	0.31049	0
20	9.5	00:09:30	0.0154	-0.17944	0.077939585	0.31176	0
21	10	00:10:00	0.0151	-0.17953	0.078031808	0.31213	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 98732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080					
DATOS GENERALES:						
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL					
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO					
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR			
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO			
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)			
PARÁMETROS INICIALES			ESPECIMEN			
			1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA			25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA			SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA			25	25	25	mm
LONGITUD			60	60	60	mm
ÁREA			36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN			90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 03	ETAPA:	CONSOLIDACIÓN		ESFUERZO NORMAL:	200 kPa
*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***						
READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm DISP	mm SETTLEMENT	% AXIAL STRAIN	VOID RATIO
0	0	00:00:00	0.0134	-0.17953	0.078031808	0.31213	0
1	0.33	00:00:20	0.0159	-0.17933	0.077827916	0.31131	0
2	0.67	00:00:40	0.0181	-0.18978	0.088282064	0.35313	0
3	1	00:01:00	0.0189	-0.19722	0.095717654	0.38287	0
4	1.5	00:01:30	0.0197	-0.20556	0.104059324	0.41624	0
5	2	00:02:00	0.0186	-0.20742	0.105924785	0.4237	0
6	2.5	00:02:30	0.0197	-0.2089	0.107405305	0.42962	0
7	3	00:03:00	0.0192	-0.21019	0.108687848	0.43475	0
8	3.5	00:03:30	0.0191	-0.21087	0.109375656	0.4375	0
9	4	00:04:00	0.0185	-0.21108	0.10957785	0.43831	0
10	4.5	00:04:30	0.0194	-0.2124	0.110901013	0.4436	0
11	5	00:05:00	0.0187	-0.21288	0.111382395	0.44553	0
12	5.5	00:05:30	0.0185	-0.21304	0.111542284	0.44617	0
13	6	00:06:00	0.0194	-0.21379	0.112296939	0.44919	0
14	6.5	00:06:30	0.019	-0.21426	0.112763077	0.45105	0
15	7	00:07:00	0.0188	-0.21434	0.112837538	0.45135	0
16	7.5	00:07:30	0.0189	-0.21483	0.113331601	0.45333	0
17	8	00:08:00	0.0193	-0.21654	0.115038007	0.46015	0
18	8.5	00:08:30	0.0186	-0.21667	0.115169987	0.46068	0
19	9	00:09:00	0.0184	-0.21676	0.115266427	0.46107	0
20	9.5	00:09:30	0.019	-0.21684	0.115341723	0.46137	0
21	10	00:10:00	0.0189	-0.21694	0.115441561	0.46177	0

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 01	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	0	0.0065	0.072907	-1.2252	0	0	0	0	0
1	0.5	0.00034722	0.0602	0.418587	-1.2253	0.0537	0.34568015	-0.0001	0.57613	14.92
2	1	0.00069444	0.1881	0.845232	-1.1592	0.1816	0.77232575	0.06594	1.28721	75.57
3	1.5	0.00104167	0.0824	1.396748	-0.7392	0.0759	1.32384121	0.48595	2.2064	32.01
4	2	0.00138889	0.0641	1.901402	-0.5655	0.0576	1.82849588	0.65972	3.04749	28.93
5	2.5	0.00173611	0.0608	2.382675	-0.4646	0.0543	2.30976882	0.76057	3.84961	25.08
6	3	0.00208333	0.0589	2.881816	-0.3888	0.0524	2.80890908	0.83641	4.68152	24.51
7	3.5	0.00243056	0.0576	3.368803	-0.3121	0.0511	3.31389608	0.91308	5.52316	24.28
8	4	0.00277778	0.0568	3.887861	-0.2645	0.0503	3.81495418	0.96065	6.35826	24.06
9	4.5	0.003125	0.056	4.388596	-0.1979	0.0495	4.31568899	1.02728	7.19282	23.39
10	5	0.00347222	0.0551	4.887176	-0.1487	0.0486	4.81426997	1.07652	8.02378	23.19
11	5.5	0.00381944	0.0543	5.38754	-0.1054	0.0478	5.31463327	1.11978	8.85772	22.99
12	6	0.00416667	0.0535	5.893466	-0.0517	0.047	5.82055941	1.17344	9.70093	22.95
13	6.5	0.00451389	0.0547	6.395008	-0.0245	0.0482	6.32210112	1.20067	10.5368	22.83
14	7	0.00486111	0.054	6.898195	0.0351	0.0475	6.82528883	1.26032	11.3755	22.72
15	7.5	0.00520833	0.0532	7.394186	0.0822	0.0467	7.32127905	1.30742	12.2021	22.58
16	8	0.00555556	0.0524	7.890699	0.1265	0.0459	7.81779242	1.3517	13.0297	22.24
17	8.5	0.00590278	0.0516	8.391277	0.1764	0.0451	8.31837082	1.40155	13.864	21.86
18	9	0.00625	0.0509	8.894037	0.2019	0.0444	8.82113075	1.42706	14.7019	21.62
19	9.5	0.00659722	0.0502	9.389638	0.2124	0.0437	9.31673145	1.43756	15.5279	21.58
20	10	0.00694444	0.0497	9.881397	0.2505	0.0432	9.80849075	1.47564	16.3475	21.24
21	10.5	0.00707176	0.0492	10.07312	0.2802	0.0427	10.0002165	1.50533	16.667	21.16

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96734

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	N° 02	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	0	0.0071	0.072907	-1.2252	0	0	0	0	0
1	0.5	0.00034722	0.0712	0.418587	-1.2253	0.0641	0.34568015	-0.0001	0.57613	17.8
2	1	0.00069444	0.2104	0.845232	-1.1592	0.2033	0.77232575	0.06594	1.28721	126.24
3	1.5	0.00104167	0.0935	1.396748	-0.7392	0.0864	1.32384121	0.48595	2.2064	49.41
4	2	0.00138889	0.0736	1.901402	-0.5655	0.0665	1.82849588	0.65972	3.04749	45.47
5	2.5	0.00173611	0.0699	2.382675	-0.4646	0.0628	2.30976882	0.76057	3.84961	43.44
6	3	0.00208333	0.0679	2.881816	-0.3888	0.0608	2.80890908	0.83641	4.68152	42.89
7	3.5	0.00243056	0.0666	3.368803	-0.3121	0.0595	3.31389608	0.91308	5.52316	41.53
8	4	0.00277778	0.0657	3.887861	-0.2645	0.0586	3.81495418	0.96065	6.35826	40.28
9	4.5	0.003125	0.0649	4.388596	-0.1979	0.0578	4.31568899	1.02728	7.19282	38.06
10	5	0.00347222	0.064	4.887176	-0.1487	0.0569	4.81426997	1.07652	8.02378	35.81
11	5.5	0.00381944	0.0631	5.38754	-0.1054	0.056	5.31463327	1.11978	8.85772	35.56
12	6	0.00416667	0.0622	5.893466	-0.0517	0.0551	5.82055941	1.17344	9.70093	35.31
13	6.5	0.00451389	0.0634	6.395008	-0.0245	0.0563	6.32210112	1.20067	10.5368	35.64
14	7	0.00486111	0.0626	6.898195	0.0351	0.0555	6.82528883	1.26032	11.3755	35.42
15	7.5	0.00520833	0.0618	7.394186	0.0822	0.0547	7.32127905	1.30742	12.2021	35.19
16	8	0.00555556	0.061	7.890699	0.1265	0.0539	7.81779242	1.3517	13.0297	34.97
17	8.5	0.00590278	0.0602	8.391277	0.1764	0.0531	8.31837082	1.40155	13.864	34.75
18	9	0.00625	0.0595	8.894037	0.2019	0.0524	8.82113075	1.42706	14.7019	34.56
19	9.5	0.00659722	0.0589	9.389638	0.2124	0.0518	9.31673145	1.43756	15.5279	34.39
20	10	0.00694444	0.0584	9.881397	0.2505	0.0513	9.80849075	1.47564	16.3475	34.25
21	10.5	0.00707176	0.0579	10.07312	0.2802	0.0508	10.0002165	1.50533	16.667	34.11

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]"
ASTM D3080

DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRIA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO
DESCRIPTION			ARENA FINA (SP) + 10% DE CEMENTO HS (MH) (R)

PARÁMETROS INICIALES	ESPECIMEN 1	2	3	Und
TEMPERATURA DE PRUEBA	25	25	25	°C
FORMA DE MUESTRA	SQUARE	SQUARE	SQUARE	
ALTURA	25	25	25	mm
LONGITUD	60	60	60	mm
ÁREA	36.00	36.00	36.00	cm^2
VOLUMEN	90.00	90.00	90.00	cm^3

ESPECIMEN	Nº 03	ETAPA:	CORTE	VELOCIDAD	1 mm/min

*** DO NOT MODIFY OR REMOVE ***

READING	MINUTES ELAPSED TIME	HH:MM:SS ELAPSED TIME	kN LOAD	mm HORZ DISP	mm VERT DISP	kN CORR LOAD	mm CORR HORZ	mm CORR VERT	% AXIAL STRAIN	Kpa SHEAR STRESS
0	0	0	0.0078	0.072907	-1.2252	0	0	0	0	0
1	0.5	0.00034722	0.0813	0.418587	-1.2253	0.0735	0.34568015	-0.0001	0.57613	20.42
2	1	0.00069444	0.2395	0.845232	-1.1592	0.2317	0.77232575	0.06594	1.28721	79.86
3	1.5	0.00104167	0.1054	1.396748	-0.7392	0.0976	1.32384121	0.48595	2.2064	197.83
4	2	0.00138889	0.0839	1.901402	-0.5655	0.0761	1.82849588	0.65972	3.04749	89.11
5	2.5	0.00173611	0.0796	2.382675	-0.4646	0.0718	2.30976882	0.76057	3.84961	57.14
6	3	0.00208333	0.0773	2.881816	-0.3888	0.0695	2.80890908	0.83641	4.68152	54.94
7	3.5	0.00243056	0.0758	3.368803	-0.3121	0.068	3.31389608	0.91308	5.52316	50.31
8	4	0.00277778	0.0749	3.887861	-0.2645	0.0671	3.81495418	0.96065	6.35826	49.89
9	4.5	0.003125	0.074	4.388596	-0.1979	0.0662	4.31568899	1.02728	7.19282	46.64
10	5	0.00347222	0.0731	4.887176	-0.1487	0.0653	4.81426997	1.07652	8.02378	43.39
11	5.5	0.00381944	0.0722	5.38754	-0.1054	0.0644	5.31463327	1.11978	8.85772	42.14
12	6	0.00416667	0.0713	5.893466	-0.0517	0.0635	5.82055941	1.17344	9.70093	41.89
13	6.5	0.00451389	0.0726	6.395008	-0.0245	0.0648	6.32210112	1.20067	10.5368	41.64
14	7	0.00486111	0.0718	6.898195	0.0351	0.064	6.82528883	1.26032	11.3755	41.07
15	7.5	0.00520833	0.071	7.394186	0.0822	0.0632	7.32127905	1.30742	12.2021	40.78
16	8	0.00555556	0.0702	7.890699	0.1265	0.0624	7.81779242	1.3517	13.0297	40.56
17	8.5	0.00590278	0.0694	8.391277	0.1764	0.0616	8.31837082	1.40155	13.864	40.33
18	9	0.00625	0.0687	8.894037	0.2019	0.0609	8.82113075	1.42706	14.7019	40.11
19	9.5	0.00659722	0.0681	9.389638	0.2124	0.0603	9.31673145	1.43756	15.5279	39.92
20	10	0.00694444	0.0676	9.881397	0.2505	0.0598	9.80849075	1.47564	16.3475	39.75
21	10.5	0.00707176	0.0671	10.07312	0.2802	0.0593	10.0002165	1.50533	16.667	39.61

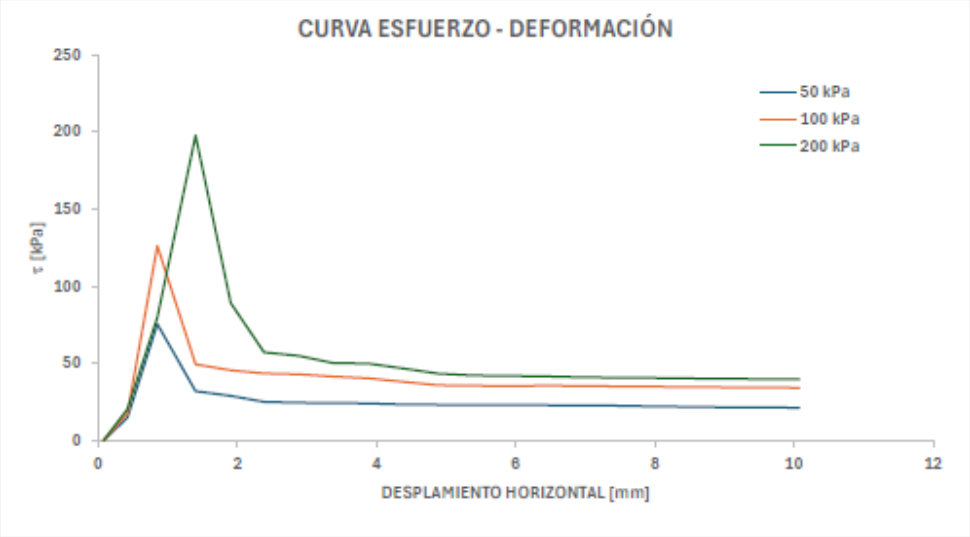
Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

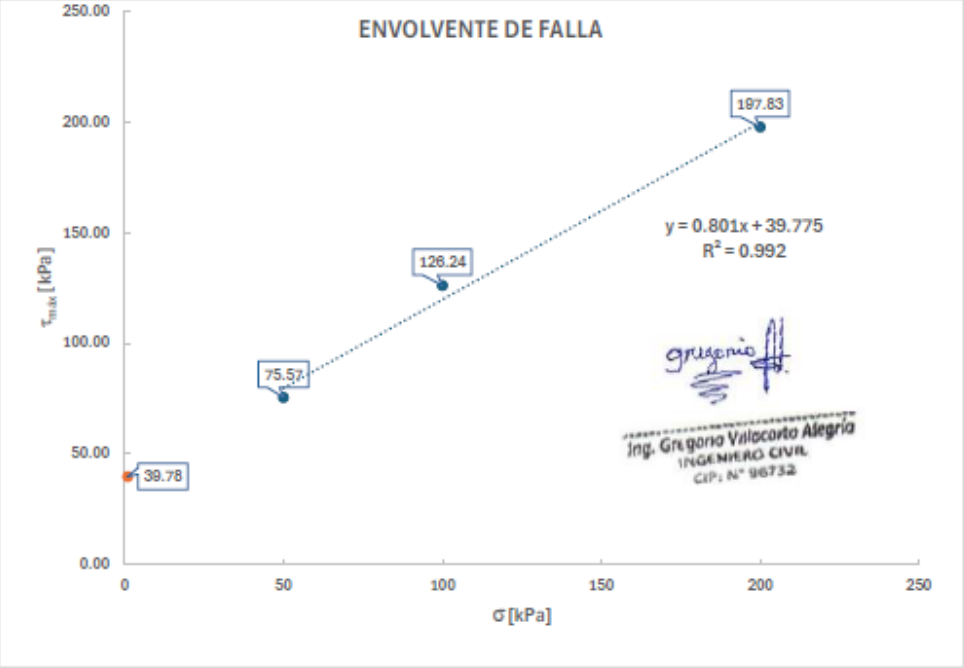
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE CORTE DIRECTO - CD [SUELO NATURAL)]" ASTM D3080		
DATOS GENERALES:			
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL		
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO		
INICIO DEL ENSAYO:	15/12/2025	LOCALIZACION	VILLA EL SALVADOR
FIN DEL ENSAYO:	15/12/2025	TIPO	CONSOLIDADO - DRENADO

σ [kPa]	τ_{max} [kPa]
50	75.57
100	126.24
200	197.83

ϕ (°)	39.18
c (kPa)	39.78





Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 16. Ficha de compresión simple no confinada.

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (Qu) ASTM D2166
DATOS GENERALES:	
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO
INICIO DEL ENSAYO:	02/12/2025
FIN DEL ENSAYO:	02/12/2025
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR - LIMA
ENSAYADO A:	14 DÍAS

Muestra	Descripción	Área (cm^2)	Carga axial máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión media (kg/cm^2)
M1 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	210	2.67	3.35
M2 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	230	2.93	
M3 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	350	4.46	
M1 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	600	7.64	7.3
M2 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	550	7	
M3 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	570	7.26	
M1 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1900	24.19	30.81
M2 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3390	43.16	
M3 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1970	25.08	

Ing. Gregorio Villacorta Alegría
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR	"ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE (Qu) ASTM D2166
DATOS GENERALES:	
RESPONSABLE:	SALINAS GARCIA ALCIDES YOEL
REVISADO POR:	VILLACORTA ALEGRÍA GREGORIO
INICIO DEL ENSAYO:	12/12/2025
FIN DEL ENSAYO:	12/12/2025
LOCALIZACIÓN	VILLA EL SALVADOR - LIMA
ENSAYADO A:	21 DÍAS

Muestra	Descripción	Área (cm^2)	Carga axial máxima (kg)	Resistencia a la compresión (kg/cm^2)	Resistencia a la compresión media (kg/cm^2)
M1 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	80	1.02	2.59
M2 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	250	3.18	
M3 - 2.5C	SUELO - 2.5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	280	3.57	
M1 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1280	16.31	16.73
M2 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1200	15.29	
M3 - 5C	SUELO - 5% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	1460	18.60	
M1 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3580	45.61	45.18
M2 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3340	42.55	
M3 - 10C	SUELO - 10% CEMENTO HS (MH) (R)	78.5	3720	47.39	

Ing. Gregorio Villacorta Alegria
INGENIERO CIVIL
CIP: N° 96732

Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 17. Ubicación de sondajes, Villa el Salvador, octubre – 2022, (Riveros Soto, 2022).



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

Anexo 18. Perfil estratigráfico de calicatas cr – 16 y cr - 36, (Riveros Soto, 2022).

PERFIL DE SUELOS

CR-16

TESIS: **Microzonificación Sísmica**	UBICACION: **Villa El Salvador, Lima, Perú**
PROYECTO RECOPILADO: **Universidad Nacional de Ingeniería, Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), "Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en Lima Y Callao", Asociación Peruana de Empresas de Seguros (APESEG).**	
TIPO DE SONDAJE: **Calicata**	FECHA: **1998**
COORDENADAS: **E: 288126.1 N: 8646087.97**	NIVEL FREATICO: **No Presenta**
REGISTRADO: **Bach. Grover Riveros Soto**	REVISADO: **Msc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa**
Nombre Anterior: **E 22**	PAGINA: ***1 de 1***

PROF. (m)	Nivel Freático	SIMBOLOGIA	DESCRIPCION	Cn: Numero de Golpes por 12" (0 20 40 60 80 100)
0.00 – 8.00		SP	*Arena pobremente gradada, grano fino, seca, compacidad suelta, restos de caracoles y conchas marinas, muy inestable.*	
8.00 – 14.00			*Arena pobremente gradada, grano fino, humedad media (de 3 % a 4 %), inestable, presenta restos de conchas marinas.*	
14.00 – 16.00			*Arena pobremente gradada, grano fino, muy húmeda, compacidad muy suelta.*	

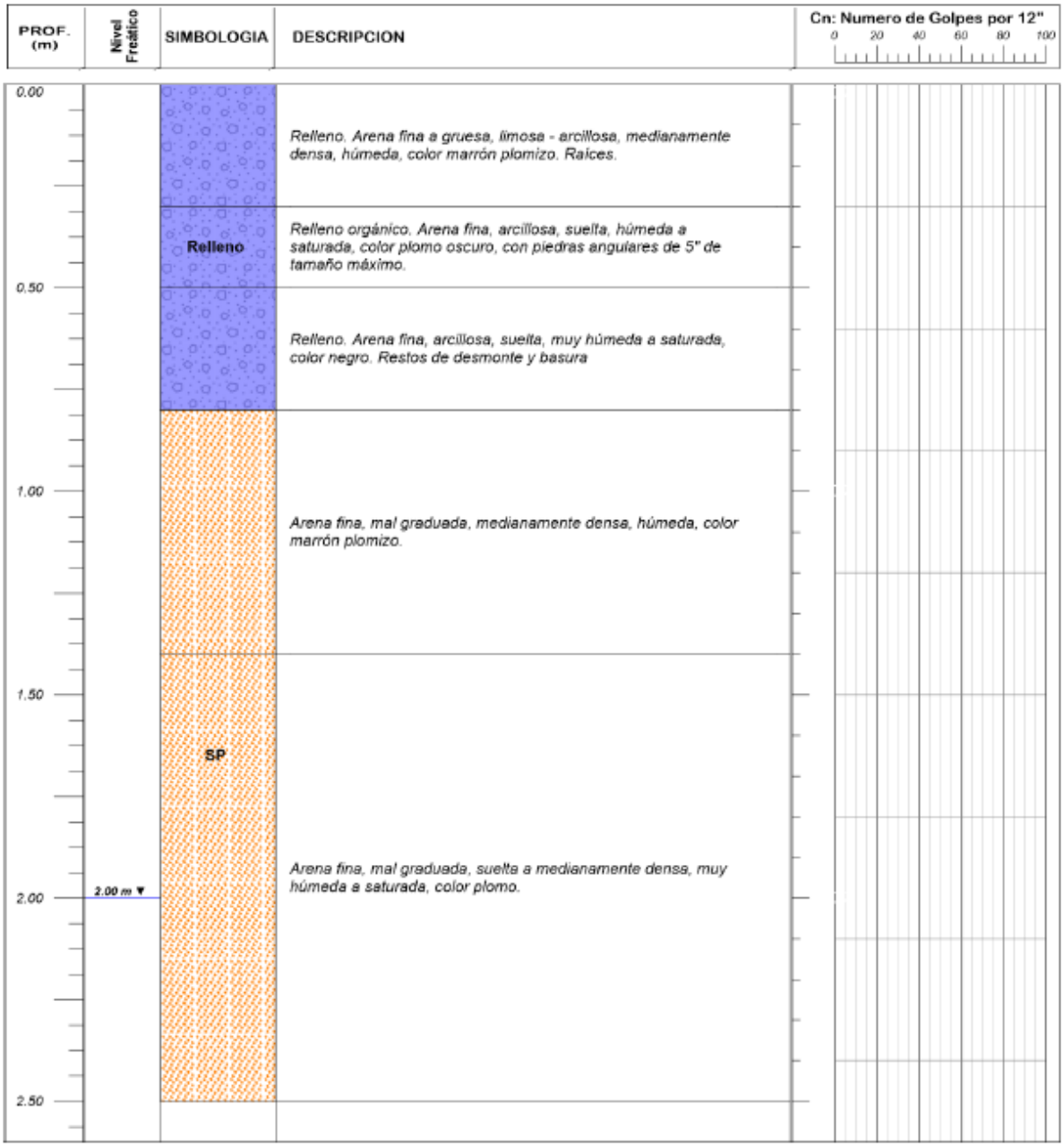
Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

PERFIL DE SUELOS

CR-36

TESIS: Microzonificación Sísmica	UBICACION: Villa El Salvador, Lima, Perú
PROYECTO RECOPILADO: Convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería, "Estudio de Microzonificación Sísmica y vulnerabilidad en la Ciudad de Lima"	
TIPO DE SONDAJE: Calicata	FECHA: 2009
COORDENADAS: E: 286010.21 N: 8646969.34	NIVEL FREATICO: 2
REGISTRADO: Bach. Grover Riveros Soto	REVISADO: Msc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa
Nombre Anterior: E52	PAGINA: 1 de 1



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

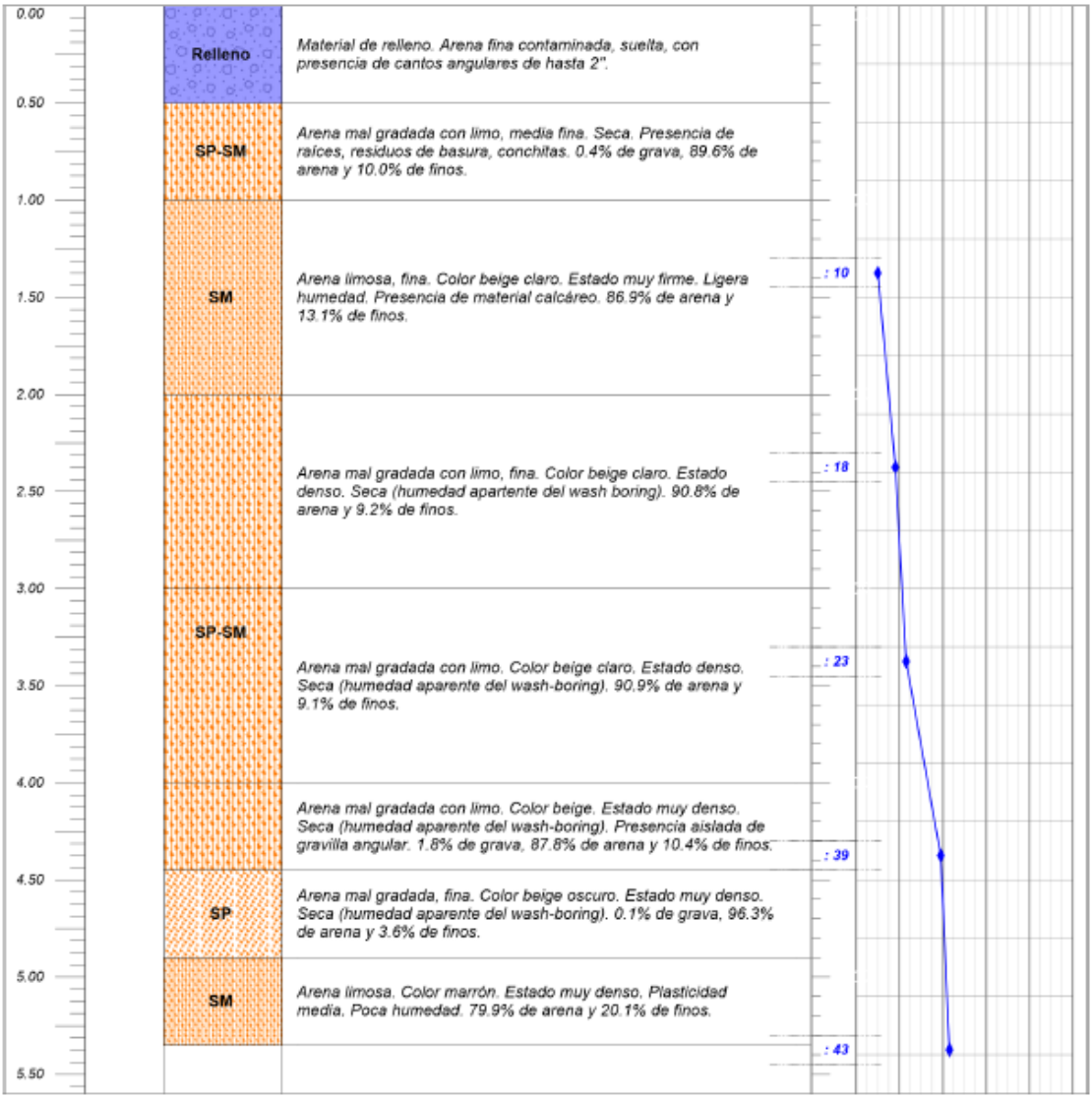
TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 19. Perfil estratigráfico de sptr, sptr – 20, sptr -21 y sptr – 22, (Riveros Soto, 2022).

PERFIL DE SUELOS

SPTR-20

TESIS: Microzonificación Sísmica		UBICACIÓN: Villa El Salvador, Lima, Perú	
PROYECTO RECOPILADO: Convenio específico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería, "Estudio de Microzonificación Sísmica y vulnerabilidad en la Ciudad de Lima"			
TIPO DE SONDAJE: SPT		FECHA: 2010	Nombre Anterior: S1
COORDENADAS: E: 286861 N: 8646883		NIVEL FREATICO: No Presenta	
REGISTRADO: Bach. Grover Riveros Soto		REVISADO: Msc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa	PAGINA: 1 de 1

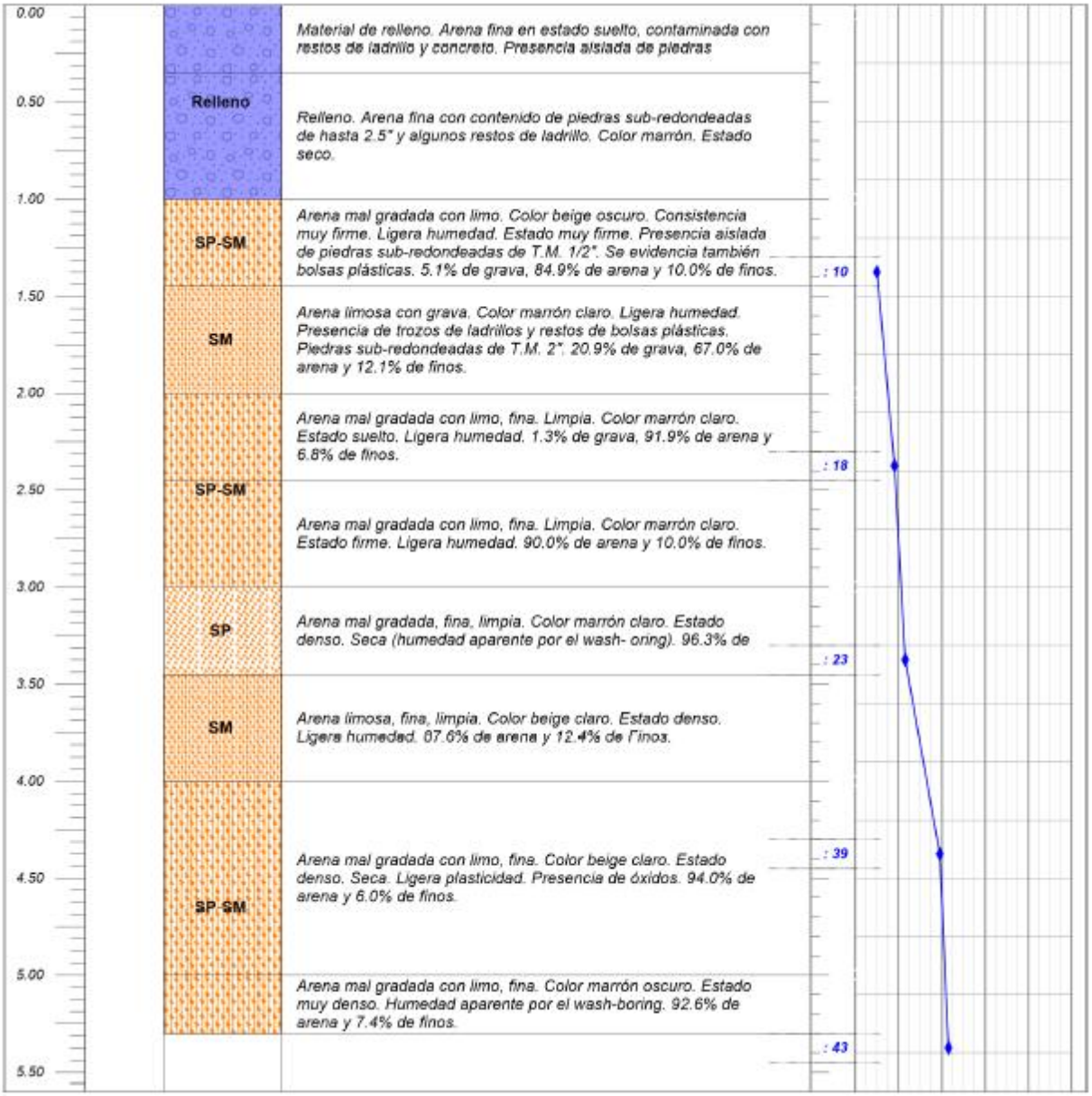


Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

PERFIL DE SUELOS

SPTR-21

TESIS: Microzonificación Sísmica	UBICACION: Villa El Salvador, Lima, Perú
PROYECTO RECOPILADO: Convenio especifico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería, "Estudio de Microzonificación Sísmica y vulnerabilidad en la Ciudad de Lima"	
TIPO DE SONDAJE: SPT	FECHA: 2010
COORDENADAS: E: 286820 N: 8646888	NIVEL FREATICO: No Presenta
REGISTRADO: Bach. Grover Riveros Soto	REVISADO: Msc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa
Nombre Anterior: S2	PAGINA: 1 de 1



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

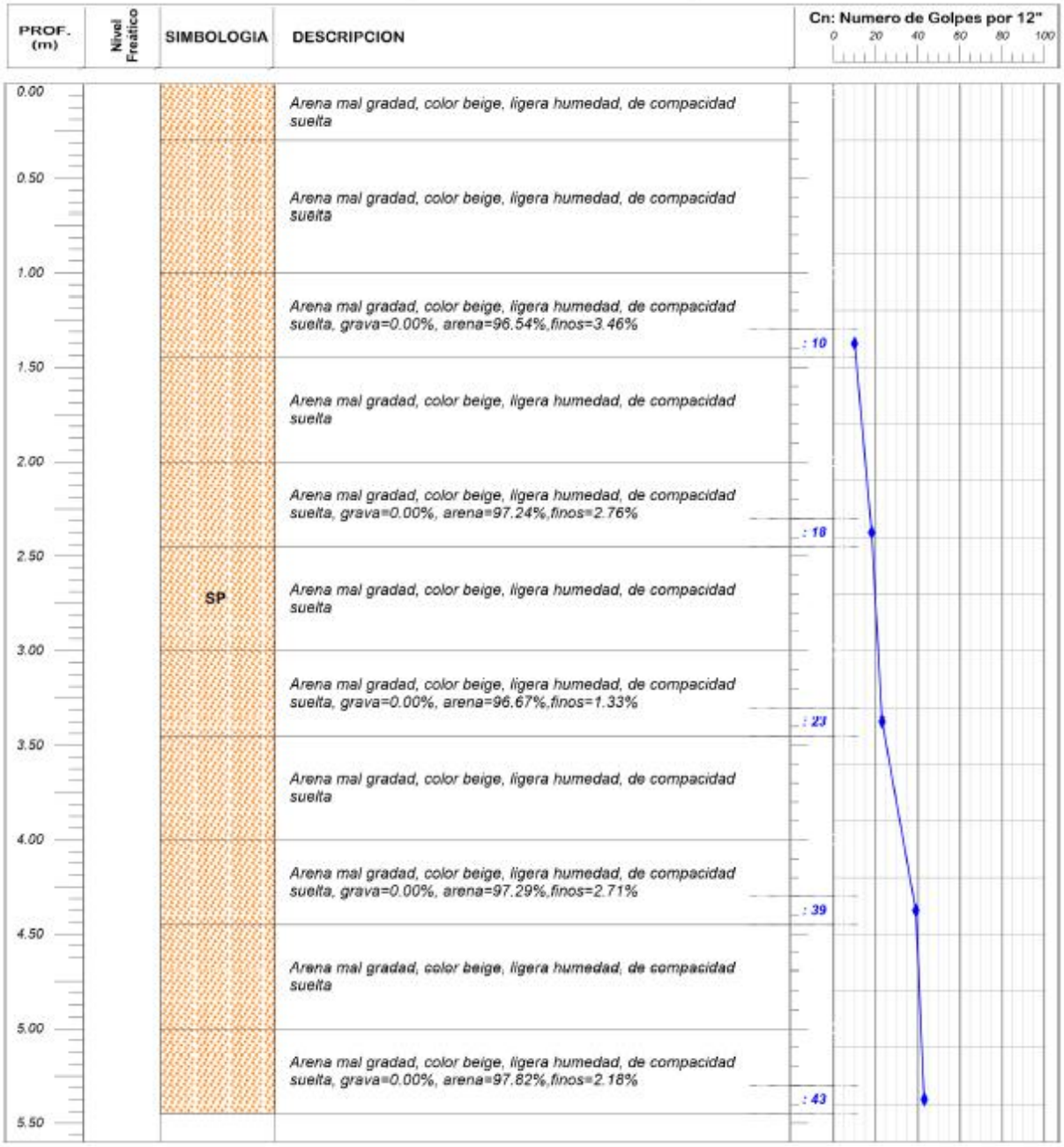
PERFIL DE SUELOS

SPTR-22

TESIS: Microzonificación Sísmica	UBICACION: Villa El Salvador, Lima, Perú
PROYECTO RECOPILADO: Convenio especifico de cooperación interinstitucional entre el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento y la Universidad Nacional de Ingeniería, "Estudio de Microzonificación Sísmica y vulnerabilidad en la Ciudad de Lima"	
TIPO DE SONDAJE: SPT	FECHA: 2010
COORDENADAS: E: 286797 N: 8646910	NIVEL FREATICO: No Presenta
REGISTRADO: Bach. Grover Riveros Soto	REVISADO: Msc. Ing. Luis Fernando Lázares La Rosa

Nombre Anterior: S3

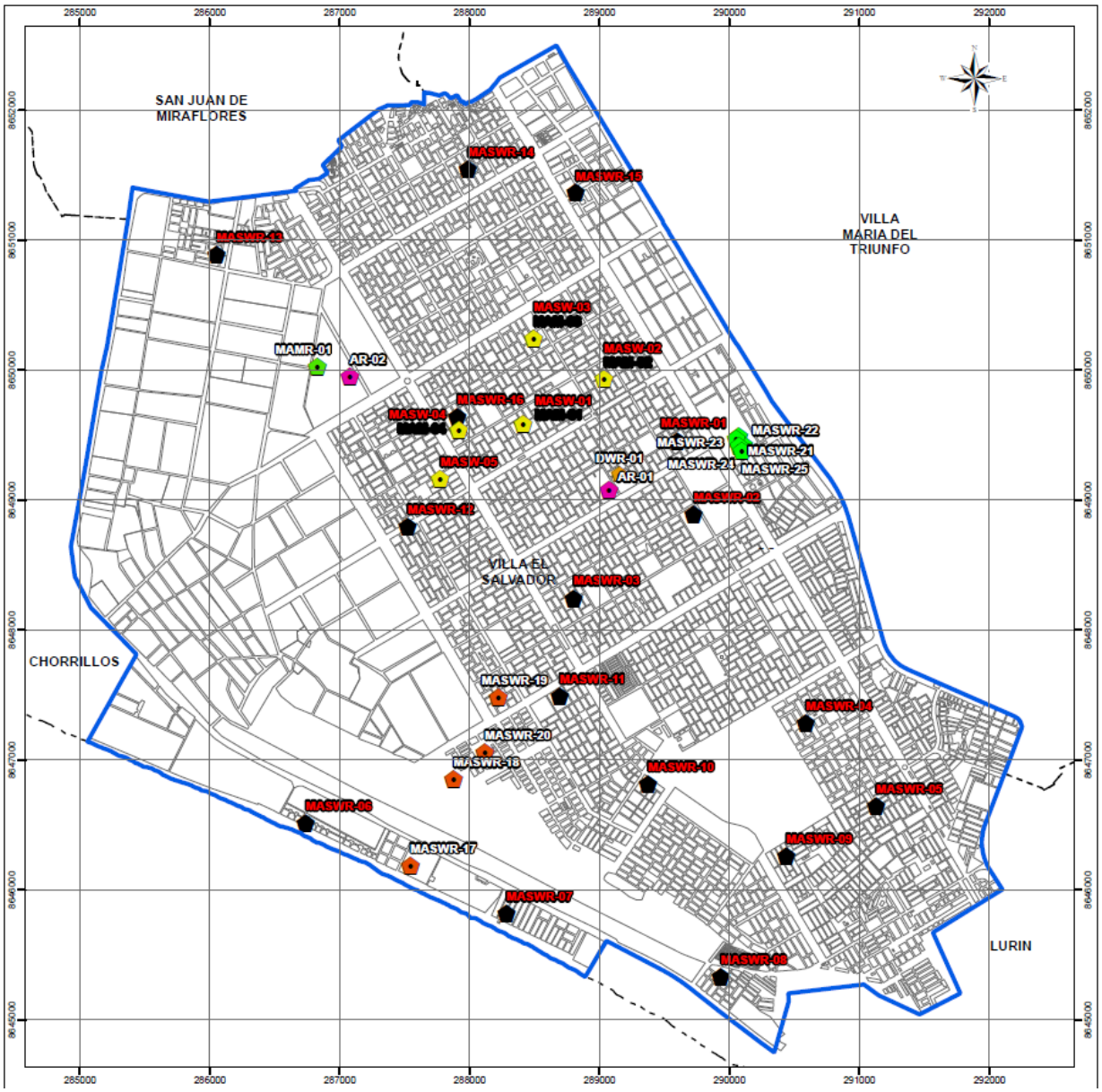
PAGINA: 1 de 1



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis

TESIS
UNIVERSIDAD CIENTÍFICA DEL SUR

Anexo 20. Ubicación de perfiles sísmicos, octubre del 2022, Villa el Salvador, (Riveros Soto, 2022).



Tesis publicada con autorización del autor
No olvide citar esta tesis