

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

“Estudio de Mecánica de Suelos para diseño de muro de contención en el Pasaje La Paz – AAHH Rafael Chacón – Villa María del Triunfo – Lima”

Área de Investigación:

Geología y Geotecnia

AUTORES:

Br. De la Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio

Br. Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo

Jurado Evaluador:

Presidente: Ing. Juan Paul Edward Henríquez Ulloa

Secretario: Ing. Lucio Medina Carbajal

Vocal: Ing. Segundo Vargas López

Asesor:

Ing. Luján Silva, Enrique Francisco

Código Orcid: 0000-0001-8960-8810

TRUJILLO – PERÚ

2022

Fecha de sustentación: 2022/10/05

Dedicatoria

A Dios y a todas las personas que me han acompañado a lograr este título profesional: A mi familia, que me ha apoyado desde que tengo conciencia y me ha dado el soporte necesario para poder salir adelante, a mis amigos del colegio, del básquet, del trabajo y demás, que me han acompañado en esta bonita travesía, me han brindado su amistad y su confianza y hemos pasado momentos para recordar.

A mi abuela en el cielo, por haberme criado junto a mi mamá y me acompaña en cada paso que doy, a mi tío Fernando, mi tía Lici, mi tía Liseth, mis primas Fernanda y Mía, mi primo Alejandro y mi hermana Fadia, porque son quienes han estado y van a estar ahí junto a mí, acompañándome y viéndome crecer como persona y profesional, y sobre todo, a mi mamá Livia, por haber creído en mi toda mi vida, por haber sido mi pilar y mi apoyo en mis peores momentos, porque sacrificó mucho por mí y fue la primera persona en creer en mí. A ella le dedico principalmente la siguiente tesis, y espero que la haga orgullosa.

Br. Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo

Dedicatoria

La presente tesis se la dedico al protector de mi día a día, Dios, mi padre celestial.

A mi madre, padre y hermano quienes siempre están presentes, alentándome e inspirándome a tomar mis decisiones y mejorar en el día a día.

A mis abuelos Bernardo, Eudoro y Genoveva, quienes me guían y cuidan desde el cielo en todo momento, a mi abuela Zenaida que afortunadamente me acompaña en la obtención de este nuevo logro y a mi tía Gladys, mi referente en oratoria y figura de admiración.

Br. De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio

Agradecimiento

A Dios, por bendecirme cada día de mi vida y estar para los buenos y malos momentos.

A mi madre, por haberme apoyado, criado y acompañado a lo largo de mi vida, y haberme hecho la persona y profesional que soy ahora.

A mi abuelita, que me acompaña desde el cielo cada día de mi vida.

A mi familia, por haber estado para mí en los momentos más importantes de mi vida.

A mis profesores, por haberme compartido todos sus conocimientos a lo largo de mi carrera.

A todos los compañeros del colegio, universidad y trabajo, por haberme permitido crecer junto a ellos y haber compartido conocimientos a lo largo de mi vida.

Br. Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo

Agradecimiento

Agradezco en primer lugar a Dios por estar siempre conmigo, por darme la inspiración necesaria para terminar este objetivo.

A mi madre, por demostrarme con su ejemplo a nunca rendirme y luchar para alcanzar todo lo propuesto.

A mi padre, por guiarme desde muy pequeño para desarrollar habilidades que ahora me hacen competitivo.

A mi hermano, por demostrarme que pase lo que pase siempre estaremos para apoyarnos

A mis maestros, quienes me brindaron todos los conocimientos necesarios para poder aplicarlos en mi etapa profesional.

Br. De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio

Resumen

La presente tesis aborda el ámbito geotécnico, desde el estudio de mecánica de suelos hasta el diseño de una estructura como lo es un Muro de Contención, a fin de poder proponer una solución ante el riesgo de un futuro deslizamiento del suelo presente en el Pasaje La Paz.

La metodología empleada es cuantitativa, con un tipo de investigación aplicada y diseño de investigación descriptiva, presentes en el estudio de mecánica de suelos que nos sirvió para el diseño de un muro de contención.

Referenciando la norma E.050, "Suelos y Cimentaciones", se realizó la extracción de muestra alterada en bolsa plástica para determinar sus propiedades físicas, es así que se pudo clasificar nuestro suelo como arena limosa SM según la clasificación SUCS y A-2-4 según la clasificación AASHTO. Adicionalmente, se identificaron las propiedades mecánicas con una muestra remoldeada en laboratorio para el ensayo de corte triaxial No Consolidado No Drenado UU, el cual presentó como resultado un ángulo de fricción interna $\phi = 26.3^\circ$ y Cohesión $C=0.20$ Kg/cm²; en las propiedades químicas el resultado de los ensayos arrojó que los agentes presentes en el suelo tienen un nivel de cloruros y sulfatos moderados, mientras que la presencia de sales es alta.

Habiendo determinado que la capacidad portante admisible del terreno es de 1.27 kg/cm², se realizó el predimensionamiento en base a criterios preestablecidos. Posteriormente, se definieron las dimensiones para el muro de contención en L sin punta, con una altura = 4.00m, ancho de corona = 0.50 m, pantalla con altura = 3.20 m, base = 3.20 m y un alto de zapata = 0.80 m.

Finalmente considerando el método de Rankine para el cálculo de los esfuerzos actuantes, se pudo verificar que el Factor de Seguridad por Volteo es de $FS_V= 3.65$, el Factor de Seguridad por Deslizamiento es de $FS_D= 1.69$ y que la carga recae sobre el tercio central de la base. Tomando como referencia los datos encontrados, se mejoró el terreno con material de afirmado de 30 cm de espesor, cumpliendo así con la capacidad admisible en nuestro diseño.

Palabras clave: (EMS) *Estudio de Mecánica de Suelos, Diseño de Muro de Contención, Factor de Seguridad.*

Abstract

This thesis involves the geotechnical field, from the study of soil mechanics to the design of a structure such as a retaining wall, in order to propose a solution to the risk of a future landslide in the Pasaje La Paz.

The methodology used is quantitative, with a type of applied research and descriptive research design, present in the study of soil mechanics that served us for the design of a retaining wall.

Referencing the Norma E.050, "Suelos y Cimentaciones", an altered sample was extracted in a plastic bag to determine its physical properties, thus classifying our soil as silty sand SM according to the SUCS classification and A-2-4 according to the AASHTO classification. Additionally, the mechanical properties were identified with a sample remolded in the laboratory for the triaxial shear test Unconsolidated Undrained UU, which resulted in an angle of internal friction $\phi = 26.3^\circ$ and Cohesion $C=0.20 \text{ Kg/cm}^2$; in the chemical properties, the result of the tests showed that the agents present in the soil have a moderate level of chlorides and sulfates, while the presence of salts is high.

Having determined that the bearing capacity of the soil is 1.27 kg/cm^2 , the pre-dimensioning was carried out based on pre-established criteria. Subsequently, the dimensions were defined for the L-shaped retaining wall without toe, with a height = 4.00 m, crown width = 0.50 m, screen height = 3.20 m, base = 3.20 m and footing height = 0.80 m.

Finally, considering the Rankine method for the calculation of the acting forces, it was possible to verify that the Factor of Safety due to overturning is $FSV= 3.65$, the Factor of Safety due to sliding is $FSD= 1.69$ and that the load falls on the central third of the base. Based on the data found, the soil was improved with 30 cm thick reinforced material, thus complying with the admissible capacity in our design.

Key words: *(EMS) Study of Soils Mechanics, Retaining Wall Design, Factor of Safety.*

Presentación

Señores Miembros del Jurado:

Dando cumplimiento y conforme a las normas establecidas en reglamento general de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego en sesión de consejo directivo del 19 de junio del 2022 formalizado con RESOLUCIÓN N° 0959-2022-FI-UPAO, para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, se pone a vuestra consideración el Informe del Trabajo de Investigación Titulado:

“ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS PARA DISEÑO DE MURO DE CONTENCIÓN EN EL PASAJE LA PAZ – AAHH RAFAEL CHACÓN – VILLA MARÍA DEL TRIUNFO – LIMA”

El mismo que dejamos a su criterio para su dictamen, esperando reunir los requisitos para vuestra aprobación.

Atentamente,

Br. DE LA CRUZ MORENO, RODRIGO IGNACIO

Br. SILVA LÉVANO, JUAN MANUEL EDUARDO

Trujillo, Julio de 2022.

Índice

Dedicatoria _____	ii
Dedicatoria _____	iii
Agradecimiento _____	iv
Agradecimiento _____	v
Resumen _____	vi
Abstract _____	vii
Presentación _____	viii
Índice _____	ix
Índice de Tablas _____	xi
Índice de Figuras _____	xii
I. INTRODUCCIÓN _____	1
1.1. Problema de Investigación _____	1
1.1.1. Descripción de la realidad problemática: _____	1
1.1.2. Formulación del Problema: _____	2
1.2. Objetivos _____	2
1.2.1. Objetivo General _____	2
1.2.2. Objetivos Específicos _____	2
1.3 Justificación del estudio: _____	3
II. MARCO DE REFERENCIA _____	4
2.1. Antecedentes del estudio _____	4
2.1.1. Antecedentes Internacionales: _____	4
2.1.2. Antecedentes Nacionales: _____	6
2.2. Marco Teórico _____	7
2.2.1. Sismicidad en el Perú _____	7
2.2.2. Estudios Geotécnicos _____	8
2.2.3. Propiedades Físico – Mecánicas de los Suelos _____	19

2.2.4. Muro de Contención:	21
2.3. Marco Conceptual	25
2.4. Sistema de Hipótesis	27
2.4.1 Hipótesis	27
2.4.2. Variables	28
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	30
3.1. Tipo y nivel de investigación	30
3.1.1. De acuerdo a la orientación o finalidad	30
3.2. Población y Muestra de Estudio	30
3.3. Diseño de Investigación	30
3.4. Técnicas e Instrumento de investigación	30
3.5 Procesamiento y análisis de Datos	32
IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	33
4.1 Propuesta de investigación	33
4.2 Análisis e Interpretación de resultados	33
4.2.1 Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)	33
4.2.3 Capacidad Admisible del Terreno	63
4.2.4 Diseño de Muro de Contención	65
4.2.4.4 Análisis de Estabilidad	71
V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	74
CONCLUSIONES	77
RECOMENDACIONES	78
Referencias Bibliográficas	79
ANEXOS	81

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Tabla para identificar los tipos de Edificación</i> _____	10
Tabla 2. <i>Tabla para definir el número de puntos de exploración</i> _____	10
Tabla 3. <i>Clasificación del suelo Norma E050.</i> _____	20
Tabla 4. <i>Peso específico y ángulo de fricción de acuerdo al tipo de suelo.</i> ____	21
Tabla 5. <i>Operacionalización de variables.</i> _____	29
Tabla 6. <i>Recorrido al área de estudio</i> _____	36
Tabla 7. <i>Registro de los puntos de investigación</i> _____	40
Tabla 8. <i>Contenido de Humedad del suelo ASTM D2216 en C-1</i> _____	44
Tabla 9. <i>Contenido de Humedad del suelo ASTM D2216 en C-2</i> _____	45
Tabla 10. <i>Resumen de ensayos de contenido de humedad</i> _____	46
Tabla 11. <i>Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D6913 en C-1</i> _____	47
Tabla 12. <i>Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D6913 en C-2</i> _____	48
Tabla 13. <i>Límites de consistencia del suelo ASTM D4318 en C-1</i> _____	51
Tabla 14. <i>Límites de consistencia del suelo ASTM D4318 en C-2</i> _____	52
Tabla 15. <i>Resultado de Clasificación de Suelos y Límites de Consistencia</i> _	53
Tabla 16. <i>Densidad en campo mediante el cono de arena ASTM D1556</i> ____	55
Tabla 17. <i>Resultado de los ensayos de Densidad de Campo</i> _____	56
Tabla 18. <i>Cohesión y ángulo de fricción del suelo</i> _____	57
Tabla 19. <i>Resultados de Ensayo de Corte Triaxial UU</i> _____	61
Tabla 20. <i>Sales solubles, cloruros solubles y sulfatos solubles en suelo</i> ____	62
Tabla 21. <i>Resultados de ensayos químicos</i> _____	63
Tabla 22. <i>Capacidad admisible del terreno</i> _____	65
Tabla 23. <i>Predimensionamiento para muro de contención</i> _____	67
Tabla 24. <i>Predimensionamiento final para muro de contención</i> _____	68
Tabla 25. <i>Esfuerzo vertical del suelo</i> _____	68
Tabla 26. <i>Esfuerzo horizontal del suelo</i> _____	69
Tabla 27. <i>Empuje activo del suelo</i> _____	69
Tabla 28. <i>Empuje de la sobrecarga en el suelo</i> _____	70
Tabla 29. <i>Momentos de volteo</i> _____	70
Tabla 30. <i>Momentos resistentes de M-1</i> _____	71
Tabla 31. <i>Resultados de los ensayos de campo y laboratorio</i> _____	74
Tabla 32. <i>Resultados de la verificación del muro de contención</i> _____	76

Índice de Figuras

Figura 1. <i>Mapa de zonas sísmicas del Perú.</i>	8
Figura 2. <i>Clasificación de suelos según SUCS</i>	13
Figura 3. <i>Clasificación de suelos según AASHTO</i>	14
Figura 4. <i>Muros de Contención en voladizo</i>	22
Figura 5. <i>Tipos de Muros de Contención</i>	23
Figura 6. <i>Técnicas de mejoramiento según tipo de suelo</i>	25
Figura 7. <i>Ubicación del proyecto en Google Earth</i>	34
Figura 8. <i>Ubicación del Proyecto en Google Maps</i>	35
Figura 9. <i>Acceso a área de estudio desde Google Earth</i>	35
Figura 10. <i>Acceso al área de estudio desde Google Maps</i>	36
Figura 11. <i>Temperatura de Villa María del Triunfo</i>	37
Figura 12. <i>Perfil estratigráfico en C-1</i>	41
Figura 13. <i>Perfil estratigráfico en C-2</i>	42
Figura 14. <i>Curva Granulométrica en C-1</i>	49
Figura 15. <i>Curva Granulométrica en C-2</i>	50
Figura 16. <i>Gráfico del esfuerzo desviador vs Deformación unitaria</i>	58
Figura 17. <i>Gráfico de Relación de tensiones vs Deformación unitaria</i>	59
Figura 18. <i>Círculo de Mohr</i>	60
Figura 19. <i>Predimensionamiento de un muro de contención en L</i>	67
Figura 20. <i>Momentos de volteo y momentos resistentes</i>	70
Figura 21. <i>Verificación de la capacidad admisible del terreno</i>	73
Figura 22. <i>Dimensiones finales del muro de contención propuesto</i>	75
Figura 23. <i>Dimensiones del muro con el mejoramiento del suelo</i>	76

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de Investigación

1.1.1. Descripción de la realidad problemática:

Según ONU-HABITAD, la población emergente del mundo está aumentando, se tienen contabilizados un millón de asentamientos humanos de los cuales aproximadamente 4,231 tienen más de cien mil habitantes, y en donde vive el 70% de la población urbana mundial hasta los datos registrados en el 2016.

El incremento de los asentamientos humanos también se presenta a nivel de Latinoamérica como una mira a largo plazo de posibles nuevas urbanizaciones, pero sus procesos de consolidación aún se están desarrollando lentamente, ellos son catalogados como “pueblos jóvenes”. Estos asentamientos adquirirán en un futuro próximo una gran relevancia como escenario y motor de desarrollo en sus respectivas ciudades, en la medida que sean capaces de superar grandes desafíos, como la pobreza urbana, acceso a servicios básicos de sus habitantes, y los riesgos de las características geológicas donde se encuentran ubicados.

En el Perú, nos enfrentamos a un gran problema de gestión urbana, encontrando un alto número de asentamientos sin acceso a servicios básicos, ni oportunidades de desarrollo, una inexistente asesoría profesional en planificación y construcción; debido a sus precarias condiciones socioeconómicas y ante la necesidad de encontrar un lugar donde vivir, han construido sus viviendas en laderas de montañas muchas de ellas ubicadas en zonas de alto riesgo, lo cual las hace vulnerables a cualquier acontecimiento catalogado como fenómeno natural, en especial por los movimientos sísmicos.

Los movimientos sísmicos son una preocupante en nuestro país, pero lo más inquietante son los terremotos de gran magnitud, ya que somos un país resiliente, debemos de buscar propuestas de solución, para poder mantener a estas poblaciones vulnerables seguras ante cualquier evento futuro, mediante la evaluación de sus condiciones geográficas y estudio de los suelos donde han sido construidos.

En el distrito de Villa María Del Triunfo, se puede contabilizar un alto índice de pueblos jóvenes, no se respeta norma alguna de construcción, esto aumenta su riesgo sísmico, deslizamientos de tierra o vertientes de ríos, si llegara a suceder algún fenómeno este ocasionaría retrasos en el desarrollo del país.

En el pasaje la Paz del Sector Villa Poeta José Gálvez Barrenechea, se presenta un terreno inestable, donde se visualiza deslizamientos en el talud que es colindante con el propietario del terreno denominado parcela 13, que no tiene un muro de contención que pueda sostener este derrumbe constante de material al terreno.

Es así que se evidencia una falta de evaluación de las condiciones geotécnicas del terreno anteriormente mencionado, para que se pueda elaborar una propuesta técnica de muro de contención competente y que responda correctamente a las características in situ.

1.1.2. Formulación del Problema:

¿Cómo el Estudio de Mecánica de Suelos ayudará al diseño de muro de contención en el Pasaje La Paz – AAHH Rafael Chacón – Villa María del Triunfo – Lima?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Realizar el Estudio de Mecánica de Suelos para el diseño de muro de contención en el Pasaje La Paz AA.HH. Rafael Chacón – Villa María del Triunfo – Lima.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Realizar el estudio de Mecánica de Suelos de acuerdo a la Norma E050 “Suelos y Cimentaciones”.
- Determinar el predimensionamiento del muro de contención aplicando la metodología de Rankine.

- Verificar la estabilidad del muro de contención de acuerdo al Factor de Seguridad, el tercio central y los esfuerzos admisibles transmitidos.

1.3 Justificación del estudio:

La tesis se justifica académicamente, ya que se aplicarán un conjunto de conocimientos, metodologías y procesos, adquiridos a través del tiempo, desde la universidad hasta el día de hoy, que nos permitirán diseñar técnicamente un muro de contención en el Pasaje La Paz – AAHH Rafael Chacón, que a su vez permitirá contener correctamente el talud inestable presente en el terreno.

Se justifica esta tesis socialmente, ya que todo lo investigado no solo será usado con fines académicos, sino también en beneficio de la sociedad, ya que nuestra propuesta podrá ser utilizada en pro de los pobladores, con ello vamos a generar un aporte tecnológico, económico y social brindando una adecuada solución además de las sugerencias técnicas para muros de contención.

Se justifica técnicamente esta tesis, porque al aplicar esta investigación científico experimental en beneficio de la humanidad, aportará soluciones para la estabilización de taludes, ya que, para la construcción de muros de contención con un correcto diseño, se tiene que realizar previamente un adecuado estudio geotécnico de la zona y así lograr encontrar el ángulo de rozamiento interno.

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

2.1.1. Antecedentes Internacionales:

Mesa M., Álvarez J. y Chávez J. (2020) en su artículo titulado: **“Evaluación del factor de seguridad en taludes de terraplenes carreteros altos ante carga sísmica”** tiene como objetivo realizar un estudio de comportamiento del FS (Factor de Seguridad) frente a taludes de terraplenes carreteros altos frente a una solicitud sísmica, usando un diseño de experimento, que consiste en variar la altura del terraplén en 3 niveles y el nivel de sismicidad, mientras se construyen acelerogramas en base a los espectros de diseño que se consideran en los parámetros de la sección 3.1 del Manual de diseño de obras civiles de la Comisión federal de electricidad de México. Se concluyó que, luego de evaluar el factor de seguridad de los terraplenes carreteros frente a la sollicitación sísmica, en el momento del sismo, está permitido que el FS baje de 1, y que al momento de acabar el sismo hay que revisar el FS final debido a deformaciones permanentes en el terraplén. El aporte del siguiente artículo es el compartirnos un estudio de comportamiento de FS para taludes de terraplenes carreteros altos.

Parra J. y Tajan Z. (2018) en su trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil titulado **“Determinación de parámetros para el diagnóstico de muros de contención sobre suelos arenosos mal graduados (SP) de la quebrada Aguablanca”** definió como objetivo principal la verificación del parámetro k , obteniendo previamente el ángulo de fricción presente entre una propuesta de muro de contención y un suelo arenoso, en la zona de la quebrada Aguablanca del municipio de Floridablanca, Santander . Se concluyó que el suelo objeto de estudio de esta tesis es una arena mal graduada, conteniendo un porcentaje de finos del 5%, obteniendo también datos del terreno como su contenido de humedad óptimo de 12,17%, un peso específico seco máximo de 1.863 g/cm³, peso específico de 17.59 kN/m³ y ángulo de fricción interna de 36.89°, pudiendo obtener un valor k entre 0.82 y 0.83, finalizando con el diseño del muro de contención estable tanto para volteo como deslizamiento. El aporte

de la siguiente tesis es el de realizar un estudio geotécnico para poder diseñar un muro de contención en una quebrada.

Navarro J. (2018) en su tesis para optar al Título de Ingeniero Civil titulada **“Determinación del ángulo de fricción suelo – muro para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos de la quebrada Zapamanga”** de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, tuvo como principal objetivo poder determinar eficientemente el ángulo de fricción presente entre la base del muro de contención y el suelo de la quebrada Zapamanga, considerando que el muro será de concreto reforzado y el terreno de fundación es arenoso. Se concluyó que, de acuerdo al Sistema de Clasificación Unificado SUCS, el terreno de fundación del muro de contención es una arena limosa bien graduada, o SW-SM, con un peso específico seco máximo de 1.86 g/cm^3 , y un ángulo de fricción recalculado de 30.05° y un peso específico 16.36 kN/m^3 , teniendo el suelo un empuje activo de 7.83 kN . El principal aporte de la siguiente investigación es el de realizar estudios geotécnicos para la determinación del ángulo de fricción para el diseño del muro de contención.

Zorrilla R. (2019) en su tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil titulada **“Análisis y diseño del muro de contención ubicado en la Calle A, Ciudadela Las Cumbres – Cantón Jipijapa”**, de la Universidad Estatal del Sur de Manabí, tuvo como objetivo general realizar el análisis de la situación actual de la Calle A, ubicada en la Ciudadela Las Cumbres, para poder realizar en la zona el diseño de un muro de contención. Se concluyó que, después de haber realizado el levantamiento topográfico del lugar donde irá el muro de contención, como también el estudio de mecánica de suelos para conocer las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo de la ciudadela Las Cumbres del cantón Jipijapa, y el análisis de los tipos de muro de contención disponibles, se prefirió el uso de un muro en voladizo, para después hacer la verificación del muro en SAP2000 y su análisis estructural. El principal aporte de la tesis mencionada es el diseño de un muro de contención.

2.1.2. Antecedentes Nacionales:

Acero, E. y Moreno, A. (2018) en su tesis para optar el grado de Ingeniero Civil titulada: **“Diseño De Muro De Contención De Concreto Para Ampliar La Calzada Del Camino Vecinal Pomabamba – Conopa, Progresiva 03+360 – 2018”**, de la Universidad César Vallejo de Huaraz – Ancash, tuvo como principal objetivo en este estudio el desarrollar el diseño de un muro de contención por gravedad de hormigón Ciclópeo, que tiene como objetivo ampliar los carriles de tránsito de la vía local Pomabamba – Conopa en la carretera de nivel 03 + 360. La tesis concluye que el diseño del muro de contención de gravedad de hormigón Ciclópeo resolvió el problema de transitabilidad debido a que amplió los carriles de tránsito de la vía local Pomabamba – Conopa en la carretera de nivel 03 + 360. El aporte de la siguiente tesis es el diseño de un muro de contención para una carretera.

Alarcón E. (2019) en su tesis para optar al título profesional de Ingeniero de Minas titulada: **“Estudio Geotécnico para la estabilidad de talud del depósito de desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa - Arequipa”** busca determinar las características geotécnicas del material de la zona, como también poder definir el emplazamiento de la zona, para poder elaborar en el lugar un proyecto de construcción de depósito de desmontes en Santa Rosa - Arequipa. Se concluyó que, de acuerdo a las características geotécnicas presentes en el suelo de la zona donde se desarrollará el proyecto, se tienen parámetros satisfactorios de resistencia de suelo, como un peso específico de 20 kN/m^3 , una cohesión de $c' = 56.33 \text{ kPa}$, un ángulo de fricción interna de 27.6° y un peso específico distinto para suelos presentes en la zona, como el material aluvial de 21 kN/m^3 de peso específico; y de roca con peso específico de 22 kN/m^3 . El aporte de la siguiente tesis es de elaborar un estudio geotécnico para la estabilidad de talud de un proyecto de Arequipa.

Camavilca E. (2019) en su tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil titulada: **“Análisis de Estabilidad de Talud y Propuesta de Estabilización en el km 93 de la Carretera Central, Distrito San Mateo – Huarochiri, Lima 2019”** busca determinar una propuesta de estabilidad de talud viable en la progresiva del km 93, en la pista de la carretera San Mateo

Huarochoiri – Lima”, desarrollando pruebas para poder definir la estabilidad del talud presente la zona anteriormente mencionada. Se concluyó que, usando el programa Slide V6.0 para el análisis de estabilidad de taludes, se tenía un Factor de Seguridad $FS = 0.813$, lo cual indica que el talud es inestable y no cumple con los estándares, por lo que se sugiere que se usen geomallas para su estabilización. El aporte de la tesis siguiente es el de realizar un análisis de estabilidad de talud para una propuesta de estabilización.

Torres R. Carlos y Dueños F. Juan (2020) en su tesis para optar por el título de Ingeniero Civil titulada: “**Diseño de muro de contención en voladizo de concreto armado en la Asoc. Organización vecinal San Pedro de Payet Alto-Independencia-Lima-Lima, 2020**” de la Universidad Cesar Vallejo – Lima, tuvo como objetivo principal realizar el diseño de un muro de contención en voladizo de concreto armado en la Organización Vecinal San Pedro de Payet Alto - Lima. De tal forma, la investigación concluyó que, la propuesta entregada cumple con los criterios y parámetros de estabilidad establecidos en la norma E050 Suelos y Cimentaciones. El aporte de esta investigación es que nos sirve como ejemplo para poder contrastar que, con los correctos criterios de diseño, se logra obtener un óptimo diseño para un muro de contención.

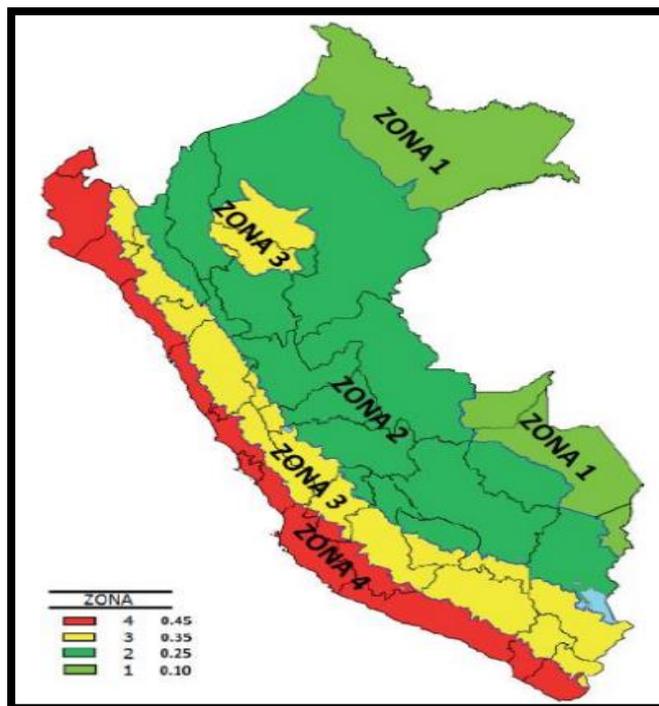
2.2. Marco Teórico

2.2.1. Sismicidad en el Perú

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, 2016): “el Perú está dividido en 3 zonas sísmicas, sin embargo, en la normativa emitida a principios de este año, es más estricta, dividiendo al Perú en 4 zonas sísmicas, de las cuales la 4 es la que presenta mayor riesgo de terremotos” (p.212).

Figura 1.

Mapa de zonas sísmicas del Perú.



Nota. Adaptado de *Zonas Sísmicas*, de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016, Norma E.030 “Diseño Sismorresistente”.

2.2.2. Estudios Geotécnicos

“Conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tienen por objeto estudiar el comportamiento de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones estáticas y dinámicas de una edificación. Esta debe ser obligatoriamente considerada en el diseño: estructural y del sostenimiento de las excavaciones y durante la construcción del proyecto” (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones, 2018, p.24).

2.2.2.1. Estudios Geotécnicos de Suelos de la zona

El principal objetivo de los estudios geotécnicos es el de determinar la clasificación y las propiedades físico mecánicas de los suelos en un área de investigación específico para garantizar su uso adecuado.

Esta investigación se basa en información disponible del trabajo de campo, reconocimiento de terrenos e investigaciones realizadas en la zona de Villa María del Triunfo – Lima.

2.2.2.2. Exploración y muestreo de estudios geotécnicos:

- **Exploración:** “Son excavaciones de formas diversas que permiten una observación directa del terreno, así como la toma de muestras y la realización de ensayos in situ que no requieran confinamiento. Las calicatas y trincheras son realizadas según la NTP 339.162. El PR debe tomar las precauciones necesarias a fin de evitar accidentes. Se prohíbe el uso de este tipo de técnica de exploración en suelos arenosos con un porcentaje de finos menores e iguales a 5%.” (Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones, 2018, p.29).
- **Muestreo:** “El muestreo es la actividad por la que se toman muestras representativas que permiten caracterizar el suelo en estudio, en tanto que la muestra puede ser definida como una parte representativa que presenta las mismas características o propiedades del material que se está estudiando y las muestras que serán enviadas al laboratorio, constituyen las muestras elegidas para ser analizadas de acuerdo a los objetivos establecidos” (Guía para el muestreo de suelos,2014, p.17).

Tabla 1.

Tabla para identificar los tipos de Edificación

TIPO DE EDIFICACIÓN U OBRA PARA DETERMINAR EL NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN (TABLA 6)					
DESCRIPCIÓN	DISTANCIA MAYOR ENTRE APOYOS + (m)	NÚMERO DE PISOS (INCLUYENDO SÓTANOS)			
		≤3	4 a 8	9 a 12	>12
APORTICADA DE ACERO	<12	III	III	III	II
PÓRTICOS Y/O MUROS DE CONCRETO	<10	III	III	II	I
MUROS PORTANTES DE ALBAÑILERÍA	<12	II	I	---	---
BASES DE MÁQUINAS Y SIMILARES	Cualquiera	I	---	---	---
ESTRUCTURAS ESPECIALES	Cualquiera	I	I	I	I
OTRAS ESTRUCTURAS	Cualquiera	II	I	I	I
- Cuando la distancia sobrepasa la indicada, se clasificará en el tipo de edificación inmediato superior					
TANQUES ELEVADOS Y SIMILARES			≤ 9 m de altura	> 9 m de altura	
		II		I	
PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA				III	
INSTALACIONES SANITARIAS DE AGUA Y ALCANTARILLADO EN OBRAS URBANAS				IV	

Nota. Adaptado de *Número de Puntos de Exploración*, de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones.

Tabla 2.

Tabla para definir el número de puntos de exploración

NÚMERO DE PUNTOS DE EXPLORACIÓN	
Tipo de edificación u obra (Tabla 1)	Número de puntos de exploración
I	uno por cada 225 m ² de área techada del primer piso
II	uno por cada 450 m ² de área techada del primer piso
III	uno por cada 900 m ² de área techada del primer piso*
IV	uno por cada 100 m de instalaciones sanitarias de agua y alcantarillado en obras urbanas
Habilitación urbana para Viviendas Unifamiliares de hasta 3 pisos	3 por cada hectárea de terreno por habilitar

Nota. Adaptado de *Número de Puntos de Exploración*, de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, Norma Técnica E.050 Suelos Y Cimentaciones.

2.2.2.3. Ensayos de Laboratorio:

2.2.2.3.1. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo (NTP 339.127).

“La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.49).

El cálculo es el siguiente:

1. El porcentaje de humedad de la muestra, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$W = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{M_{cws} - M_{cs}}{M_{cs} - M_c} \times 100 = \frac{M_w}{M_s} \times 100$$

Donde:

W = Representa el contenido de humedad, está dada en (%).

M_{cws} = Representa el peso del contenedor más el suelo húmedo, está dada en gramos.

M_{cs} = Representa el peso del contenedor más el suelo secado en horno, está dada en gramos.

M_c = Representa el peso del contenedor, está dada en gramos.

M_w = Representa el peso del agua, está dada en gramos.

M_s = Representa el peso de las partículas sólidas, está dada en gramo.

2.2.2.3.2. Método de ensayo para el análisis granulométrico (NTP 339.128).

“Consiste en la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños de partículas de los suelos. La clasificación de las partículas mayores que 75 μm (retenido en el tamiz 200) se efectúa por tamizado, en tanto que la determinación de las partículas menores que 75 μm se realiza mediante un proceso de sedimentación basada en la ley de Stokes utilizando un densímetro adecuado” (Norma Técnica Peruana 339.128, 1999, p.02).

La serie de tamices utilizados para los suelos son: 3”, 2 ½”, 2”, 1 ½”, 1”, ¾”, ½”, 3/8”, ¼”, N°4, N°8, N°10, N°16, N°20, N°40, N°50, N°100 y N°200.

De acuerdo a los resultados obtenidos por el análisis granulométrico, se procede a determinar el tipo de clasificación de suelos bajo la metodología SUCS (Unified Soil Classification System) y la metodología AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials). Estas metodologías nos ayudan a poder caracterizar el suelo de una forma sencilla y generalizada, y aunque la clasificación SUCS se utiliza para la gran mayoría de proyectos, y la clasificación AASHTO va más dirigida a los proyectos de obras lineales, en un Estudio de Mecánica de Suelos se presentan las 2 clasificaciones, para efectos de caracterización.

Figura 2.

Clasificación de suelos según SUCS

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN
		SUCS	GRÁFICO	
SUELOS GRANULARES	GRAVA Y SUELOS GRAVOSOS	GW		GRAVA BIEN GRADUADA
		GP		GRAVA MAL GRADUADA
		GM		GRAVA LIMOSA
		GC		GRAVA ARCILLOSA
	ARENA Y SUELOS ARENOSOS	SW		ARENA BIEN GRADUADA
		SP		ARENA MAL GRADUADA
		SM		ARENA LIMOSA
		SC		ARENA ARCILLOSA

DIVISIONES MAYORES		SÍMBOLO		DESCRIPCIÓN	
		SUCS	GRÁFICO		
SUELOS FINOS	LIMOS Y ARCILLAS (LL < 50)	ML		LIMO INORGÁNICO DE BAJA PLASTICIDAD	
		CL		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD	
		OL		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD	
	LIMOS Y ARCILLAS (LL > 50)	MH		LIMO INORGÁNICO DE ALTA PLASTICIDAD	
		CH		ARCILLA INORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD	
		OH		LIMO ORGÁNICO O ARCILLA ORGÁNICA DE ALTA PLASTICIDAD	
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Pt		TURBA Y OTROS SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS.

Nota. Adaptado de *Símbología de Suelos (Referencial)*, de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones”.

Figura 3.

Clasificación de suelos según AASHTO

VN-E4-84 - ASTM D3282 - CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS PARA SUBRASANTES (CON SUBGRUPOS)

CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) hasta el 35 %							SUELOS ARCILLOSO LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) más del 35 %			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
CLASIFICACION POR GRUPOS	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
Ensayo de tamizado por vía húmeda. Porcentaje que pasa por:											
Tamiz IRAM de 2 mm. N° 10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425 micrómetros N° 40	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75 micrómetros N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros N° 40											
Límite Líquido w _L (%)	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de Plasticidad I _P (%)	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Arena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosos		Suelos arcillosos	
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno						Regular a pobre				

Nota. Adaptado de *Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures* del ASTM, 1993, American Society for Testing and Materials.

2.2.2.3.3. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite Plástico e índice de plasticidad de suelos (NTP 339.129).

“El límite líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos son extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte” (Manual de Ensayo de Materiales, 2016, p.72).

- **Límite Líquido:** Según la Norma Técnica E.050 “suelos y Cimentaciones” del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) “el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. El procedimiento general consiste en colocar una muestra húmeda en la copa de Casa Grande, dividirlo en dos con el acanalador y contar el número de golpes requerido para cerrar la ranura. Si el número de golpes es exactamente 25 el contenido de humedad de la muestra es el límite líquido” (p.47).
- **Límite Plástico:** Según la Norma Técnica E.050 “Suelos y Cimentaciones” del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) “Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm. de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen.” (p.47).

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de Agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

- **Índice de Plasticidad:** Según la Norma Técnica E.050 “suelos y Cimentaciones” del Reglamento Nacional de Edificaciones (2018) “se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico” (p.52).

$$\text{Índice de Plasticidad} = \text{Límite Líquido} - \text{Límite Plástico}$$

Cuando no se puede encontrar el límite líquido o límite plástico, el índice de plasticidad debe indicarse como la abreviatura NP (no plástico).

De manera similar, cuando el límite de plástico es igual o mayor que el límite de líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

2.2.2.3.4. Método de ensayo normalizado de compresión triaxial no consolidado no drenado para suelos cohesivos (NTP 339.164)

“La parte superior e inferior de la muestra tiene discos porosos, los cuales se conectan al sistema de drenaje para saturar o drenar el espécimen. En estas pruebas se pueden variar las presiones actuantes en tres direcciones ortogonales sobre el espécimen de suelo, efectuando mediciones sobre sus características mecánicas en forma completa. Los especímenes usualmente están sujetos a presiones laterales de un líquido, generalmente agua” (Valerio, 2011, p.15).

2.2.2.3.5. Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.152)

Según la Norma Técnica Peruana 339.152” de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI (2002) “Esta Norma Técnica Peruana establece la preparación de un extracto acuoso para la determinación del contenido de sales solubles en los suelos. Luego, el método de ensayo que se indica es ampliamente conocido como determinación de sólidos disueltos en aguas (TDS), por lo que también es aplicable, en segundo caso a una muestra de agua subterránea” (p.01).

$$SS = \frac{(m_2 - m_1) \times D}{E} \times 10^6$$

Donde:

- SS = total de sales solubles, en ppm (mg/kg).
- $(m_2 - m_1)$ = peso de los residuos de evaporación, en g.
- D = relación de la mezcla suelo: agua, ejemplo: si la mezcla es 1:3, D=3.
- E = volumen de extracto acuoso evaporado, ml.

2.2.2.3.6. Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.177)

Según la Norma Técnica Peruana 339.177 de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI (2002) “Este método de ensayo se basa en el procedimiento de Mohr para la determinación del ión cloruro con nitrato de plata. El cloruro reacciona con el ión plata antes de que se forme cromato de plata, debido a la baja solubilidad del cloruro de plata. El cromato de potasio del indicador reacciona con el exceso del ión plata para forma un precipitado rojo de cromato de plata. El punto final se alcanza cuando aparece el primer color naranja permanente. Este método es adecuado para el análisis de soluciones cuyo pH esté comprendido entre 6,0 y 8.2” (p.06). El contenido de ión cloruro en muestras de suelo y agua subterránea se calcula como sigue:

$$\text{Contenido de } Cl^- \left(\frac{mg}{kg}, \frac{mg}{L} \text{ ó } ppm \right) = \frac{(mL \text{ AgNO}_3 \text{ utilizado} - B) \times T \times 1000}{m} \times D$$

Donde

- T = título, mg Cl⁻/mL AgNO₃.
- B = consumo del blanco indicador (0.2 mL).
- M = g de muestra de suelo titulada, ajustado por la dilución hecha.

$$\frac{100g \text{ de muestra}}{M} = \frac{300mL \text{ de agua}}{30mL \text{ de alícuota}}$$

2.2.2.3.7. Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.178)

Según la Norma Técnica Peruana 339.178 de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI (2002) “Esta Norma Técnica Peruana establece un procedimiento para la determinación del contenido de ión sulfato soluble en suelos y aguas subterráneas. Se han considerado dos métodos: El método gravimétrico (Método A) y el método turbidimétrico (Método B). La selección del método dependerá de la concentración del ión sulfato en la muestra y de la exactitud deseada.” (p.01).

- Método A (Método gravimétrico)

La concentración del ión sulfato en muestras de suelo y agua subterránea se calcula como sigue:

$$\text{Sulfato} \left(\frac{mg}{kg}, \frac{mg}{L} \text{ ó } ppm \right) = \frac{Wx411\ 500}{M}$$

Donde:

W = gramos de BaSO₄

M = gramos de muestra de suelo, ajustado por la dilución hecha

- Método B (Método turbidimétrico)

Calcular el contenido del ión sulfato en muestras de suelo como sigue:

$$SO_4^{-2} \left(\frac{mg}{kg}, \text{no corregido por la humedad} \right) \\ = \frac{100g \text{ de suelo } x \text{ (ppm de la curva)}}{MM}$$

Donde:

M = gramos de muestra de suelos utilizados

2.2.2.3.8 Método de ensayo estándar para la densidad y peso unitario del suelo in situ mediante el método del cono de arena (NTP 339.143)

Según la Norma Técnica Peruana NTP 339.143 de la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales - INDECOPI (1999) “Este método de ensayo se utiliza para determinar la densidad de suelos compactados que se encuentran en el lugar durante la construcción de terraplenes de tierra, capas de rodadura y obras de contención , siempre y cuando este método se utilice como una base de aceptación para suelos compactados para una densidad específica o el porcentaje de una densidad máxima determinada por un método de ensayo” (p.07). El método para determinar la densidad volumétrica de la arena es la siguiente:

$$\rho_1 = M_5 / V_1$$

Donde:

ρ_1 = Densidad volumétrica de la arena (g/cm³).

M_5 = Masa de la arena para llenar el pozo de calibración (g).

V_1 = Volumen del contenedor de calibración (cm³).

2.2.3. Propiedades Físico – Mecánicas de los Suelos

“Desde la perspectiva del estudio geotécnico, algunos suelos no cohesivos se denominan porque sus partículas no están agrupadas, son relativamente grandes y también se les llama suelo granular o grava. El suelo cohesivo tiene partículas muy pequeñas, predomina la electroquímica de la superficie y las partículas tienden a adherirse (interacción agua-partícula), comúnmente conocido como arena, polvo y arcilla. El suelo orgánico es un suelo esponjoso con grumos comprimibles.” (Harmsem, 2002, p.340).

La presión del suelo o la presión ejercida sobre el muro de contención está supeditada principalmente de tres factores: la gravedad específica del suelo, el ángulo de fricción interno del suelo y la cohesión.

Tabla 3.*Clasificación del suelo Norma E050.*

Clasificación del suelo	Denominación	Diámetro (mm)
Suelo no cohesivo	Gravas	>2mm
	Arenas	Entre 2 mm y 0.06 mm
Suelo cohesivo	Limo	Entre 0.06 mm y 0.002 mm
	Arcillas	< 0.002 mm
Suelo orgánico	Turbas	-

2.2.3.1. Cálculo de la cohesión “c”, Ángulo de fricción interna “ ϕ ” y Peso específico

2.2.3.1.1. Cohesión: Es la parte interna de la fuerza que actúa sobre las moléculas del suelo para crear adhesión entre sí. Esto existe principalmente en suelos finos. Posiblemente, estas son las mezclas de suelo más comunes con ángulos de fricción y adherencia.

2.2.3.1.2. Fricción Interna: Esta es ocasionada por la resistencia al deslizamiento provocada por el roce entre las superficies que están en contacto entre las partículas y su densidad. Dado que los suelos granulares tienen una gran superficie de contacto y sus partículas (especialmente las partículas en ángulo) tienen un buen poder aglutinante, tendrán una alta fricción interna. Por otro lado, un buen suelo mantendrá el contenido de suelo bajo.

2.2.3.1.3. Peso Específico: “La gravedad específica del suelo es uno de los valores más importantes que afectan la presión sobre la tierra. Esta es una función del peso del suelo y su volumen, por lo que se puede dar un peso específico natural, seco o saturado según las necesidades del diseño. Por este motivo, se debe considerar que, debido al aumento del peso del suelo, a mayor profundidad de sujeción, mayor empuje del muro. Estos son algunos valores de referencia para la gravedad específica y el ángulo de fricción” (Harmsem, 2002, p.350).

Tabla 4.

Peso específico y ángulo de fricción de acuerdo al tipo de suelo.

TIPO DE TERRENO	γ (Kg/m³)	ϕ (grados)
Arcilla Suave	1440 – 1920	0° a 15°
Arcilla Media	1600 – 1920	15° a 30°
Limo seco y suelto	1600 – 1920	27° a 30°
Limo Denso	1760 – 1920	30° a 35°
Arena Suelta y Grava	1600 – 2100	30° a 40°
Arena Densa y Grava	1920 – 2100	25° a 35°
Arena Suelta, Seca y Bien Graduada	1840 – 2100	33° a 35°
Arena Densa, Seca y Bien Graduada	1920 – 2100	42° a 46°

Nota. Adaptado de *Peso específico y ángulo de fricción interna de algunos tipos de suelo*, de Harmsen, 2002, Diseño de estructuras de concreto armado. Copyright.

2.2.4. Muro de Contención:

Un muro de contención es una construcción muy utilizada para lograr soportar el empuje horizontal de la tierra u otros elementos en terrenos con ciertas desventajas. Por sus diferentes usos y ventajas, se pueden dividir en tres tipos: muros prefabricados, muros convencionales y muros de suelo estabilizado mecánicamente.

2.2.4.1. Tipos de Muro de Contención:

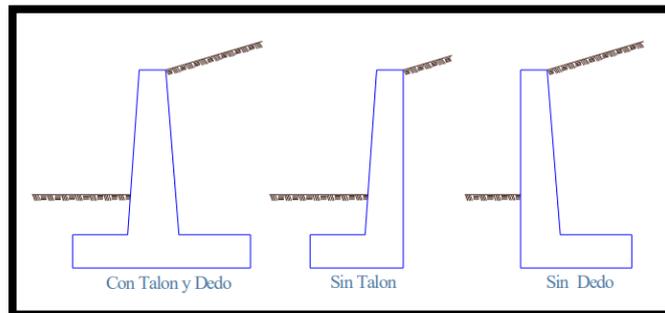
Los muros de contención se podrían clasificar de tres clases: muros prefabricados, muros convencionales y muros de tierra mecánicamente estabilizado. Con esta subdivisión, es posible distinguir los muros contruidos íntegramente en obra (muros convencionales) de los muros recién emergidos (muros prefabricados y muros de tierra estabilizada mecánicamente) fabricados mediante procesos industriales.

De acuerdo al uso demandado, los muros de contención podrían ser los siguientes:

- Muros de gravedad: “Están contruidos con hormigón ciclópeo, y su estabilidad está relacionada con su peso y el suelo que soportan. Generalmente estos muros están diseñados para altura media y tienen hormigón de baja calidad, y no tienen función de refuerzo, por lo que si la altura es baja se puede considerar que tienen la ventaja de bajo costo. Por el contrario, debido a su gran masa, también pueden ser de mampostería o piedra con mortero.” (Das, 2001, p.448).
- Muros de Semigravedad: “Estos muros son variantes de los llamados muros de gravedad, que son principalmente de hormigón y están ligeramente reforzados, por lo que su peso se reduce parcialmente al reducir el hormigón necesario para la construcción.” (Coduto, 2001, p.770).
- Muros en Cantiléver o en voladizo: “Son aquellos que trabajan como viga en voladizo, empotrados en una zapata inferior. Estos muros se diseñan en hormigón armado y se recomienda su uso para alturas intermedias hasta los nueve metros” (Campos, 2006, p.04).

Figura 4.

Muros de Contención en voladizo



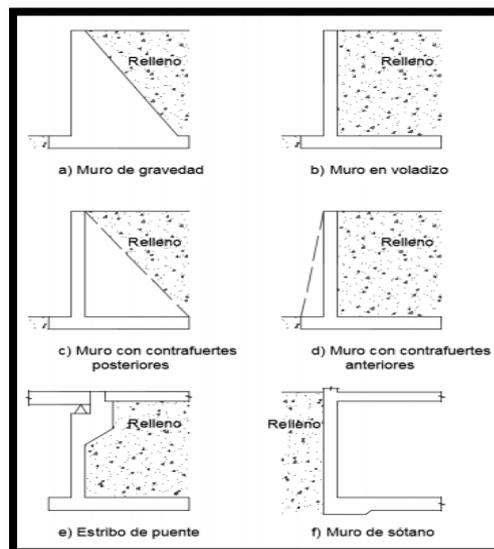
Nota. Adaptado de *Muros en Voladizo o Cantilever (p.04).* por C. Gallegos, 2006, Guía Multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes.

- Muros con contrafuertes: Esta clase de muros tienen una similitud muy grande con los muros en voladizo, excepto que tienen elementos horizontales que conectan el muro y la cimentación. Estos se producen a intervalos regulares para aminorar las fuerzas cortantes y los momentos flectores.

- Muros de Sótano: “Cuando estos muros resisten el empuje lateral del suelo, también soportan el empuje debido a la carga vertical del edificio. Se debe considerar que, a mayor número de sótanos en un edificio, mayor profundidad alcanza, por lo que se extrae la siguiente conclusión: el muro inferior soporta mayores cargas laterales y verticales que el muro superior” (Harmsem, 2002, p.361).
- Estribo de Puente: “Los apoyos son aquellos muros que además de resistir empujes laterales también soportan la carga del puente, la carga puede ser una carga constante o una carga permanente, una carga activa, una carga de frenado, etc.” (Harmsem, 2002, p.361).
- Muros de Suelo Reforzado: Según The Canadian Foundation Engineering Manual (2006) “El suelo puede resistir la compresión, pero no la tracción, por lo que se utilizan diversos materiales expandibles y no expandibles, como tiras metálicas, geomallas de polímero con diferente constitución y estructuras. Convenientemente orientado para hacerlo resistente a la tracción, obtener una estructura de suelo resistente a la compresión y tracción. Por analogía, el diseño de suelos laminados es comparable a los estándares utilizados en hormigón armado” (p.315).

Figura 5.

Tipos de Muros de Contención



Nota. Adaptado de *Tipos de muro de sostenimiento* (p.361), por T. Harmsem, 2002, *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*.

Muros Anclados: “Los muros de anclajes se compone principalmente de pared delgada y sistema de anclaje. El tensor se utiliza para completar el anclaje, una vez endurecido el hormigón se tensa el tensor.” (Canadian Geotechnical Society, 2006, p.440).

2.2.5 Técnicas de Mejoramiento de Suelos

Según J.K. Mitchell (1981), se puede clasificar las técnicas de mejora de suelo dependiendo su granulometría. Tal y como se puede ver en la Figura 6, la Técnica de mejoramiento de suelo a usar, varía de acuerdo al tipo de suelo que se tiene como cimentación. Por ejemplo, las técnicas de cimentación de un suelo de tipo arcilloso, no coincidirán con las técnicas de mejoramiento que necesita un suelo de tipo gravoso, o en su defecto, serán insuficientes para mejorar apropiadamente el suelo.

Se puede mejorar un terreno por varios métodos distintos: Compactación dinámica, vibrocompactación, voladuras, inyección química, estabilización con aditivos, inclusiones rígidas, ya sea columnas de grava, CMC (Columnas de Módulo Controlado), etc. La elección del tipo de mejoramiento, variará principalmente del tipo de suelo presente, y del costo de desarrollo de cada uno. Usualmente se suele hacer mejoramientos reemplazando el suelo donde se cimentará la estructura por otro más apto, mejorando así su capacidad portante, como también se suele usar la compactación hidrodinámica por ser la solución más económica.

Figura 6.

Técnicas de mejoramiento según tipo de suelo

GRAVA	ARENA	LIMO	ARCILLA
VIBROCOMPACTACIÓN			
VOLADURAS			
INYECCIÓN DE PARTÍCULAS			
INYECCIÓN QUÍMICA			
INYECCIÓN DE DESPLAZAMIENTO			
PRECARGA CON O SIN DRENES			
COMPACTACIÓN DINÁMICA			
ELECTROÓSMOSIS			
REFUERZO (COLUMNAS DE GRAVA, SUELO CLAVETEADO)			
TRATAMIENTO TÉRMICO			
ESTABILIZACIÓN CON ADITIVOS			

Nota. Adaptado de *Applicable Grain Size Ranges for Different Stabilization Methods* (p.554), por J.K. Mitchell, 1981, *Soil Improvement – State of Art Report*.

2.3. Marco Conceptual

- **Análisis de estabilidad de taludes:** Según Das, son cálculos para comprobar la seguridad de los taludes naturales, taludes de excavaciones y terraplenes compactados. (1973, p.334), es decir, es el procedimiento técnico y matemático necesario para verificar la seguridad de un talud cualquiera.
- **Capacidad de infiltración:** Cantidad máxima de agua que un suelo puede absorber por unidad de superficie horizontal y por unidad de tiempo. (García G., 2013). Es la mayor cantidad de agua que una muestra de suelo dada puede contener, de acuerdo al área y a la velocidad de éste de absorber.

- **Coeficiente de permeabilidad del suelo:** Juárez lo define como la velocidad de agua a través del mismo, cuando está sujeta a un gradiente hidráulico. (1973, p. 151), dando a entender que es la distancia que puede recorrer el agua por una masa de suelo, en un tiempo determinado.
- **Capacidad de carga:** Según Nij, la capacidad de carga de un suelo puede ser definida como la carga que al ser aplicada no provoca falla o daños en la estructura soportada, con la aplicación de un Factor de Seguridad. (2009, p. 29), lo que da a entender que es la resistencia del suelo frente a una carga externa aplicada,
- **Proceso de consolidación:** Es el máximo volumen que un suelo puede reducirse, dada por la aplicación constante y creciente de cargas externas en una muestra de suelo.
- **Ensayo de corte Triaxial:** Es un ensayo mecánico del suelo, en el cual una muestra de suelo soporta dos fuerzas aplicadas, una confinada y la otra de compresión, hasta que la muestra falla o se deforma hasta su límite.
- **Presión lateral del suelo:** Son todos los esfuerzos laterales presentes entre el suelo retenido y la estructura que soporta ese suelo.
- **Presión activa:** Es el esfuerzo que el suelo aplica sobre una estructura que la contiene, tratando de alejar a la estructura.
- **Presión pasiva:** Es el esfuerzo que una estructura de contención aplica sobre un suelo que está conteniendo, haciendo que la estructura se vaya pegando más al suelo.
- **Presión en reposo:** Según Hoyos, es el valor de la presión de tierras cuando una masa de suelo se encuentra en estado natural sin que se le haya dejado ceder y sin haberla sometido a presión (2001, p.165), por lo tanto, se entiende como el estado natural del suelo, sin presiones pasivas o activas actuando.

- **Resistencia al corte/resistencia cortante:** Conocido también como resistencia a la cizalladura, es la oposición máxima a deformarse que presenta una masa de suelo cuando se le aplica un esfuerzo cortante.
- **Talud sin restricciones:** Das lo define como una superficie de suelo expuesto que se sitúa en un ángulo con la horizontal. (1973, p. 334), entonces se entiende como cualquier masa de suelo con una pendiente calculable.
- **Cohesión:** Es un factor presente en la resistencia al corte en la ecuación de Coulomb, que se entiende como la capacidad de adherencia de las partículas de suelo entre ellas.
- **Factor de Seguridad:** Es un valor adimensional, que viene a representar la relación entre la capacidad máxima de soporte de una estructura con respecto a la máxima fuerza presente posible.
- **Ángulo de fricción interna del suelo:** Según Hoyos, corresponde al ángulo cuya tangente es el coeficiente promedio de fricción entre las partículas de un suelo. (2001, p. 16). Pero se le puede entender mejor como el ángulo resultante de la tangente que une la relación del esfuerzo normal y la deformación del suelo después de aplicado el esfuerzo normal.

2.4. Sistema de Hipótesis

2.4.1 Hipótesis

El adecuado Estudio de Mecánica de Suelos ayuda de manera óptima a diseñar un muro de contención acorde a la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones” y Norma E.020 “Cargas” en el Pasaje La Paz – AAHH Rafael Chacón – Villa María del Triunfo – Lima.

2.4.2. Variables

2.4.2.1. Variable compleja 1

x1 = Estudio de Mecánica de Suelos.

2.4.2.2. Variable compleja 2

y1 = Diseño de muro de contención.

2.4.2.3. Operacionalización de las variables (Dimensiones e indicadores)

Tabla 5.
Operacionalización de variables.

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores	Unidad de medida	Instrumento de investigación
<ul style="list-style-type: none"> Estudio de Mecánica de Suelos. 	<ul style="list-style-type: none"> Proceso de estudio e investigación científica que busca estudiar los materiales geológicos, y sus características naturales de un determinado espacio de suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Propiedades Físicas, Químicas y Mecánicas del suelo. 	<ul style="list-style-type: none"> Contenido de humedad. Análisis granulométrico por tamizado. Índice de plasticidad. Sales solubles. Cloruros solubles. Sulfatos solubles. Densidad en campo. Compresión triaxial UU. 	<ul style="list-style-type: none"> Porcentaje de humedad (w%) Clasificación SUCS y AASHTO IP = LL-LP (%) Sales Soluble (SS) Contenido de ión cloruro (CL) Ión sulfato en base seca (SO₄⁻²) Kg/cm² Ángulo de fricción (Φ) 	<ul style="list-style-type: none"> Norma E050 "Suelos y Edificaciones" Ficha técnica. NTP. ASTM. AASHTO, SUCS y MTC. Laboratorio. Herramientas Office. Cámara fotográfica y de video. Equipo de cómputo.
<ul style="list-style-type: none"> Diseño de Muro de Contención. 	<ul style="list-style-type: none"> La elaboración de un proyecto básico acerca de un elemento constructivo que tiene como función soportar los esfuerzos producidos por el empuje del suelo 	<ul style="list-style-type: none"> Factor de Seguridad por Volteo Factor de Seguridad por Deslizamiento Tercio Central Capacidad admisible del terreno 	<ul style="list-style-type: none"> $\frac{M_r}{M_v}$ $\frac{\mu Fr + cB}{E_A + E_s \frac{c}{B}}$ $\bar{x} = \frac{M_r - M_v}{Fr}$ $q_{\frac{Max}{min}} = \frac{-Fr}{B} * \left(1 + \frac{6e}{B}\right)$ 	<ul style="list-style-type: none"> Metro lineal (m) Kg/cm² o Ton/m² 	<ul style="list-style-type: none"> Norma E050 "Suelos y Edificaciones" Norma E020 "Cargas" Software Microsoft Excel.

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

3.1.1. De acuerdo a la orientación o finalidad

El trabajo de investigación es Aplicada, ya que se busca desarrollar conocimientos nuevos a partir de la teoría existente, desarrollada por la investigación básica, permitiendo dar una propuesta de solución a la problemática existente de los afectados que habitan cerca del desnivel existente en el área.

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. Población

Para la presente tesis, la población abarca los pasajes con necesidad de estudio de mecánica de suelos para el diseño de muro de contención en los AA. HH, de villa del Triunfo – Lima.

3.2.2. Muestra

La muestra estará conformada por el Estudio de Mecánica de Suelos para diseño de muro de contención en el Pasaje La Paz AA. HH. Rafael Chacón en el distrito de Villa María del Triunfo – Lima.

3.3. Diseño de Investigación

Diseño de Investigación Descriptiva, ya que el principal objetivo de la siguiente tesis es el de describir la problemática real del A.A.H.H en cuestión y darle una propuesta de solución, mas no de indagar en el por qué se ha desarrollado esta problemática.

3.4. Técnicas e Instrumento de investigación

3.3.1. Técnicas

- Realización de calicatas y extracción de muestras en el campo según la tabla 04 de la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones”.

- Realización en laboratorio del ensayo de la determinación del Contenido de humedad. NTP 339.127
- Realización en laboratorio del ensayo de Análisis Granulométrico. NTP 339.128
- Realización en laboratorio del ensayo de la determinación del Límite líquido, plástico e índice de plasticidad. NTP 339.129
- Realización en laboratorio del ensayo Triaxial, específicamente del método Prueba rápida – Prueba sin consolidación y sin drenaje (UU). NTP 339.164
- Realización de en laboratorio de los ensayos para la determinación cuantitativa de sales solubles en suelos. NTP 339.152
- Realización de en laboratorio de los ensayos para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos. NTP 339.178
- Realización de en laboratorio de los ensayos para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos. NTP 339.177
- Elaboración del diseño de muro de contención y verificación de estabilidad de acuerdo a la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones”.

3.3.2. Instrumentos de Recolección de Datos

Se recopilará la información mediante los siguientes instrumentos:

- Manuales y normas técnicas peruanas para ensayos de mecánica de suelos y diseños de muro de contención.
- Hojas técnicas.
- Herramientas Office
- Laboratorio de ensayo de suelos.
- Se llevará un registro con cámara fotográfica.
- Disco duro para la recopilación de toda la información desarrollada.

- Formatos de laboratorio.

3.5 Procesamiento y análisis de Datos

- Reunión con el presidente de la junta vecinal y dueños de viviendas colindantes para facilitar los accesos para realizar la investigación.
- Extracción de muestras alteradas e inalteradas según la tabla 04 de la E.050 Suelos y Cimentaciones.
- Desarrollo de ensayos de las propiedades Físicas y Químicas:
 - Contenido de Humedad (NTP. 339.127 y ASTM D-2216).
 - Análisis Granulométricos por tamizado (NTP. 339.129 y ASTM D-122).
 - Determinación del límite líquido, plástico e índice de plasticidad (NTP. 339.129 y ASTM D-1318).
 - Método de ensayo normalizado para la determinación del contenido de sales solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.152).
 - Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de cloruros solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.177).
 - Método de ensayo normalizado para la determinación cuantitativa de sulfatos solubles en suelos y agua subterránea (NTP 339.178).
- Desarrollo de ensayos de las propiedades Mecánicas:
 - Ensayo de Prueba Triaxial UU (No consolidado no drenado para suelos cohesivos (NTP. 339.154 y ASTM D-2435).
- Diseño y propuesta de muro de contención en base a la metodología de Rankine.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Propuesta de investigación

La presente investigación tiene como finalidad determinar las propiedades físicas, químicas y mecánicas para un suelo ubicado en el A.A.H.H. Rafael Chacón, realizando un número determinado de calicatas de acuerdo al área y a la finalidad del proyecto, y luego realizando la toma de muestras de suelo in situ, para posteriormente ensayarlas en laboratorio, buscando encontrar las características físicas, químicas y mecánicas del suelo, ya sea el contenido de humedad $W\%$, la clasificación granulométrica según SUCS y AASHTO, el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad, la Capacidad Portante, el ángulo de fricción, la cantidad de Sales Solubles, Cloruros Solubles y Sulfatos Solubles. Finalmente, se comparan y se adjuntan los resultados mediante tablas y gráficos para evaluar el terreno a trabajar.

Para elaborar la propuesta de muro de contención, se utilizarán los datos de suelo recolectados mediante los ensayos desarrollados. Con esos datos, se elaborará una propuesta de prediseño, que vaya acorde a las características del terreno presentadas. Posteriormente, se verificará si el muro es óptimo para soportar los esfuerzos de terreno mediante el cálculo de los Factores de Seguridad, para luego verificar si la carga cae dentro del tercio central de la base y si las cargas transmitidas al suelo son superiores a las que puede soportar el terreno.

4.2 Análisis e Interpretación de resultados

4.2.1 Estudio de Mecánica de Suelos (EMS)

4.2.1.1 Generalidades

4.2.1.1.1 Objetivo del Estudio

El objetivo del presente EMS es el de investigar las propiedades físicas, químicas y mecánicas del suelo de relleno y cimentación donde se elaborará un proyecto de Muro de Contención en el Pasaje La Paz.

4.2.1.1.2 Ubicación del área de estudio

El terreno presente en el siguiente estudio se encuentra ubicado en el Pasaje La Paz, A.A.H.H. Rafael Chacón, Villa María del Triunfo – Lima, colindante con la Parcela 13 – Zona Los Lúcumos, Pachacamac. El área estimada del proyecto es de 206 m², de superficie moderadamente plana con una pendiente longitudinal escarpada. Las coordenadas del estudio son:

Latitud : -12.213054

Longitud : -76.899649

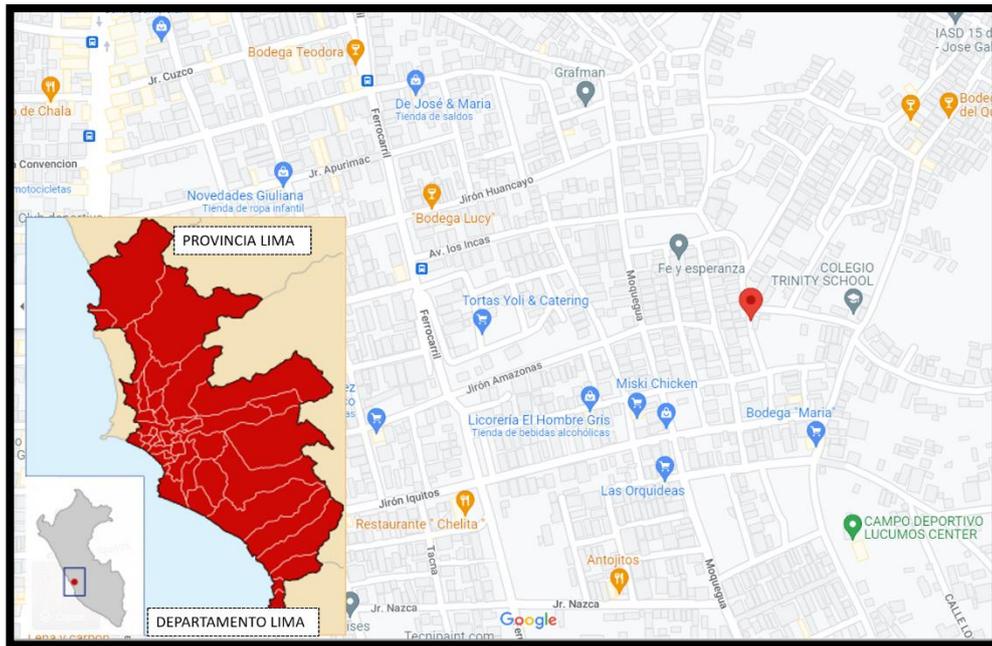
Figura 7.

Ubicación del proyecto en Google Earth



Figura 8.

Ubicación del Proyecto en Google Maps



4.2.1.1.3 Acceso del área de estudio

El área de estudio se encuentra ubicado en el Pasaje La Paz, A.A.H.H. Rafael Chacón, Villa María del Triunfo – Lima, colindante con la Parcela 13 – Zona Los Lúcumos, Pachacamac. Se puede acceder por vía terrestre desde la Av. Lima, Jr. Amazonas y Av. Los Incas.

Figura 9.

Acceso a área de estudio desde Google Earth

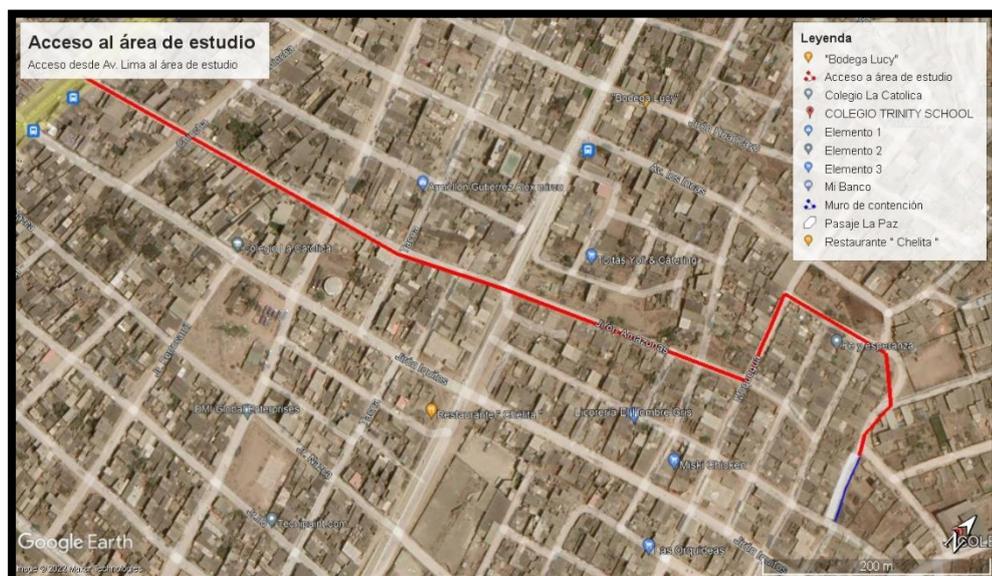
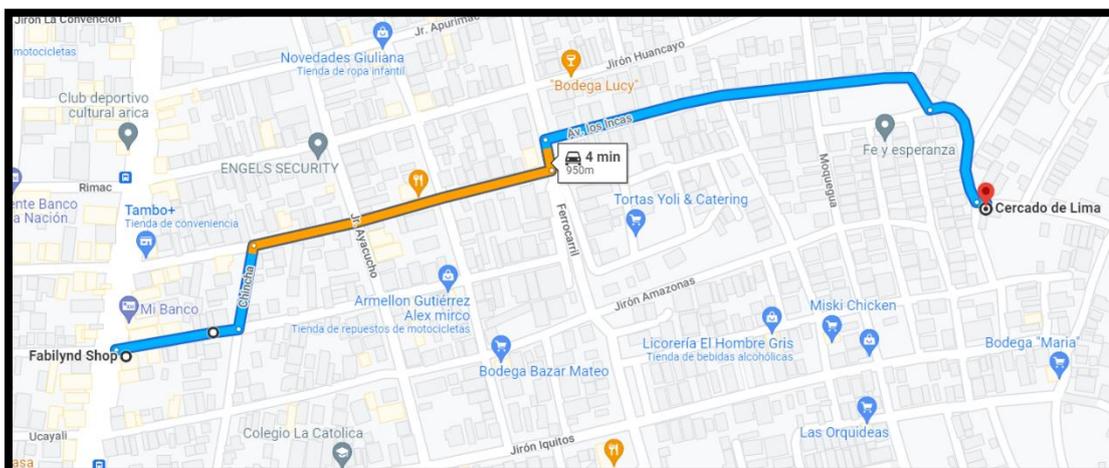


Figura 10.

Acceso al área de estudio desde Google Maps

**Tabla 6.***Recorrido al área de estudio*

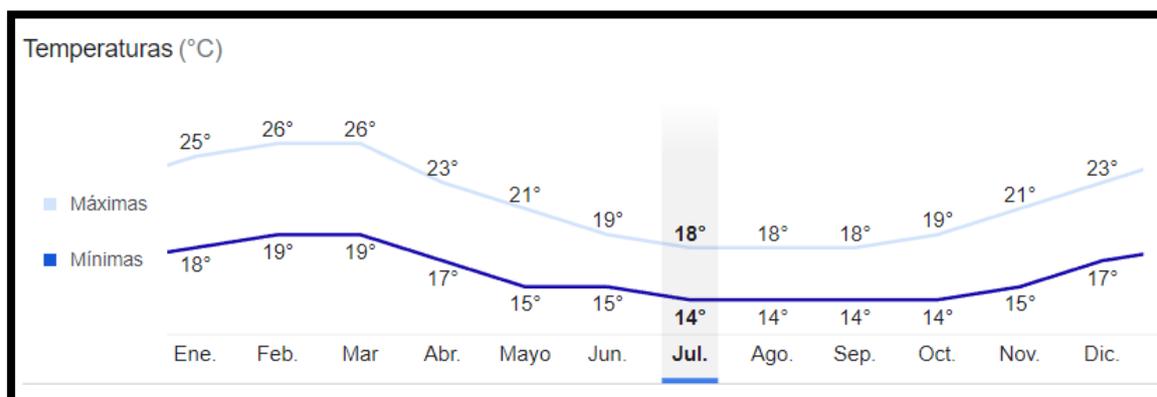
TRAMO	DISTANCIA / DURACIÓN	CONDICIÓN DE LA CARRETERA
Av. Lima - Pasaje La Paz	950 m / 4 min	Vía asfaltada y Arena

4.2.1.1.4 Condición Climática

El clima de Villa María del Triunfo se caracteriza por ser un clima árido templado - frío, de tipo BWk según la clasificación climática de Köppen. La temperatura de la zona suele estar entre los 18°, estando entre los 16° y 21°, estando rara vez por debajo de los 14° o por encima de los 25°. Para el distrito en mención, el mes con la temperatura más elevada es marzo con 26° y el mes con la temperatura más baja es octubre con 14°. El mes con mayor cantidad de lluvias es enero, con 17.7 mm (47.6 mm/mes).

Figura 11.

Temperatura de Villa María del Triunfo



Nota. Extraído de *Villa María del Triunfo – Datos Climáticos promedio* de Google, 2022,

https://www.google.com/search?q=temperatura+media+villa+mar%C3%ADa+del+triumfo&rlz=1C1CHBD_esPE1014PE1014&oq=temperatura+media+villa+mar%C3%ADa+del+triumfo&aqs=chrome..69i57j33i22i29i30.6797j1j7&sourceid=chrome&=UTF-8&pccc=1.

4.2.1.1.5 Características de la Obra

El proyecto “MURO DE CONTENCIÓN” consistirá en la creación de un muro de contención a lo largo de 64.48 m, de una altura aproximada de 2 pisos o 4 m como máximo, dentro de un área de desarrollo de 536 m² del Pasaje La Paz. Las cargas del muro se transmitirán al suelo a través de un cimiento de tipo zapata cuadrada, y serán absorbidas por un muro rígido que trabajará como una viga peraltada, transmitiendo sus cargas directamente a la zapata.

4.2.1.2 Sismicidad

De acuerdo a la Figura 1, que es un adaptado de *Zonas Sísmicas*, presente en Norma E.030 “Diseño Sismorresistente” elaborada por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento el 2016, dentro del territorio nacional se encuentran varias zonas de frecuencias diferentes, que afectarán a las estructuras de forma sísmica, dividiendo el país en 4 zonas sísmicas. Nuestra área de estudio se encuentra en la Zona 4. Para el diseño sismo resistente de la estructura, de acuerdo a la Norma E.030 “Diseño Sismorresistente”, se recomienda considerar estos parámetros:

• Factor de Zona Z:	0.45
• Parámetros de Sitio	
○ Factor de suelo S con perfil de tipo S3	1.10
○ T_p	1.00
○ T_L	1.60
• Factor de Uso U	1.50
• Factor de Amplificación Sísmica	2.50

4.2.1.3 Procedimiento de Trabajo

4.2.1.3.1 Programa de Investigación Mínimo (PIM)

- Los terrenos colindantes, a excepción del lado derecho, no tienen irregularidades, tales como ruinas arqueológicas, afloramientos rocosos o fallas, y las edificaciones cercanas no presentan grietas, fisuras o desplomes provocados por el terreno. El lado derecho del terreno presenta un potencial riesgo de falla por la altura del terreno y el material del que está compuesto.
- El tipo de edificación que se va a realizar es el de un muro de contención, con sistema estructural de muros portantes de concreto armado. El área de cimentación de la estructura es de 206 m², con una altura aproximada de 2 pisos. Se estima que el tipo de cimentación a utilizar en el muro es una cimentación superficial, con una zapata cuadrada.
- El tipo de edificación, según la Tabla 1 de la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones” entraría en la categoría de “Otras Edificaciones”, por ser el objetivo de este proyecto el de diseñar un muro de contención, el cual no se encuentra en las categorías presentadas en la tabla en mención. Por lo anteriormente mencionado, y considerando que por la altura proyectada del muro (Menor a 3 pisos), se considera que nuestro proyecto sería del tipo II.
- El número de puntos de exploración en nuestro terreno, se identificó de acuerdo a lo estipulado en la Tabla 6 de la Norma E.050 “Suelos y cimentaciones”, que se basa de acuerdo al área de la superficie del proyecto y el tipo de proyecto que se realizará.

- Dependiendo de si se conoce el área de emplazamiento del proyecto o no, se decidirá la cantidad de puntos de exploración del proyecto. Si se conoce el área de emplazamiento, el número de puntos de exploración (n) irá de acuerdo a esa área; y si no se conoce, n irá de acuerdo al área total del terreno donde se realizará el proyecto. Como un aproximado del área de emplazamiento, se tomará como referencia el área del área de cimentación, que vienen a ser 156 m², lo que vendría a significar que, como mínimo, necesitamos 1 punto de exploración del terreno. Para este proyecto, se realizaron 2 puntos de exploración (2 Calicatas), para poder cubrir el área entera de terreno de manera más precisa y eficiente.
- Los puntos de exploración se distribuirán de tal forma que se pueda garantizar la cobertura total de las características del terreno, teniendo en consideración también la ubicación de la estructura de contención.
- Se extraerán muestras tipo M_{ab} (Muestra alterada en bolsa de plástico) por estrato, y en caso de que haya presencia de napa freática se tomarán muestras tipo M_{it} (Muestra inalterada en tubo de pared delgada), a partir de los estratos que contengan napa.
- Se realizará un ensayo en campo sobre el terreno de acuerdo a lo indicado en la Norma E050 “Suelos y Cimentaciones”, que vendría a ser el “Método de Ensayo Estándar para la densidad y peso unitario del suelo in-situ mediante el método del cono de arena” (NTP 339.143).

4.2.1.4 Exploraciones de campo

4.2.1.4.1 Calicatas y excavación de puntos de investigación en general

Se realizaron 2 puntos de exploración tipo Calicatas tal cual lo previsto, que fueron distribuidas por el área total del terreno, teniendo en consideración la posible ubicación del proyecto y sus cimentaciones, además, considerando lo establecido en la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones”, en referencia a la Tabla 1 “Tipo de Edificación u Obra para

determinar el Número de Puntos de Exploración” y Tabla 6 “Número de Puntos de Exploración”. La profundidad máxima alcanzada por calicata fue de 3.00 m, calculada a partir del NTN + 0.00 m, haciendo toda la excavación para poder observar, tanto sus estratos como los ensayos a desarrollar en laboratorio. Luego, se realiza la extracción de muestras representativas del tipo M_{ab} , sin necesidad de usar muestras tipo M_{ab} debido a que el estrato no presentó napa freática. A continuación, se muestran los resultados:

Tabla 7.

Registro de los puntos de investigación

EXCAVACIÓN DE CALICATAS SEGÚN NTP 339.162

MÉTODO	N°	PROFUNDIDAD (m)	ESTE (UTM WGS- 84)	NORTE (UTM WGS- 84)
Calicata	C-1	0.00 - 3.00 m	293344.8204	8649136.202
Calicata	C-2	0.00 - 3.00 m	293341.2991	8649116.554

4.2.1.5 Perfil Estratigráfico

Figura 12.

Perfil estratigráfico en C-1

Proyecto : Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo - Lima Informe N°: **L21-114-01**
 Solicitante : De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo Muestreado por : W. Flores
 Cliente : De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo Ensayado por : Ingeocontrol
 Ubicación de Proyecto : AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo - Lima Fecha de Muestreo: 27/06/2022

Material : Terreno natural Turno: Diurno
 Código de Muestra : --- Profundidad Total: 3.00 m m
 Sondaje / Calicata : C-1 Norte: ---
 N° de Muestras : 1 Este: ---
 Progresiva : --- Cota: 184.843 m.s.n.m

REGISTRO DE SONDAJES					
PROF. (m)	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.10		Corteza de suelo limoso con arena y presencia de raíces vegetales	---	---	---
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60		Arena limosa fina a media de finos no plásticos, color marrón claro en condición parcialmente húmeda, de estratigrafía uniforme en condición medianamente densa.	M-1	SM	A-2-4
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90		***** Fin de excavación *****			
3.00					

Figura 13.

Perfil estratigráfico en C-2

Proyecto : Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo - Lima Informe N°: **L21-114-01**
 Solicitante : De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo Muestreado por : W. Flores
 Cliente : De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo Ensayado por : Ingeocontrol
 Ubicación de Proyecto : AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo - Lima Fecha de Muestreo: 27/06/2022

Material : Terreno natural Turno: Diurno
 Código de Muestra : --- Profundidad Total: 3.00 m m
 Sondaje / Calicata : C-2 Norte: ---
 N° de Muestras : 1 Este: ---
 Progresiva : --- Cota: 194.026 ms.n.m.

REGISTRO DE SONDAJES					
PROF. (m)	SÍMBOLO	DESCRIPCION DEL SUELO	MUESTRA	CLASIFICACIÓN	
				SUCS	AASHTO
0.10		Corteza de suelo limoso con arena y presencia de raíces vegetales	---	---	---
0.20					
0.30					
0.40					
0.50					
0.60					
0.70					
0.80					
0.90					
1.00					
1.10					
1.20					
1.30					
1.40					
1.50					
1.60		Arena limosa fina a media de finos no plásticos, color marrón claro en condición parcialmente húmeda, de estratigrafía uniforme en condición medianamente densa.	M-1	SM	A-2-4
1.70					
1.80					
1.90					
2.00					
2.10					
2.20					
2.30					
2.40					
2.50					
2.60					
2.70					
2.80					
2.90					
3.00		***** Fin de excavación *****			

4.2.1.6 Ensayos de Laboratorio

4.2.1.6.1 Contenido de Humedad

Se hicieron los procedimientos establecidos para el siguiente ensayo según la NTP 339.127, determinando la masa del agua presente en el suelo tras calentar la masa de suelo húmeda en un horno a $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y restar la masa de suelo húmeda con la masa de suelo seca resultante de calentarla en el horno.

Tabla 8.*Contenido de Humedad del suelo ASTM D2216 en C-1¹*

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO ASTM D2216 EN C-1	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-1
N° de Muestras:	1
Progresiva:	---
CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D2216	
TARA + MASA HÚMEDA (g)	676.9
TARA + MASA SECA (g)	632.6
MASA DE LA TARA (g)	49.6
MASA DE AGUA (g)	44.3
MASA DE SUELO SECO (g)	583
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.6
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUÍDOS	Ninguno

¹ El método de reporte se refiere a la precisión con la que se trabajó el ensayo. Para el método A se trabaja con el 1% más cercano, y para el método B con el 0.1% más cercano

Tabla 9.*Contenido de Humedad del suelo ASTM D2216 en C-2²*

CONTENIDO DE HUMEDAD DEL SUELO ASTM D2216 EN C-2	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-2
Nº de Muestras:	1
Progresiva:	---

**CONTENIDO DE HUMEDAD
ASTM D2216**

TARA + MASA HÚMEDA (g)	681.3
TARA + MASA SECA (g)	636.7
MASA DE LA TARA (g)	49.6
MASA DE AGUA (g)	44.6
MASA DE SUELO SECO (g)	587.1
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.6
MÉTODO DE SECADO	Horno a 110 +/- 5°C
MÉTODO DE REPORTE	"B"
MATERIALES EXCLUÍDOS	Ninguno

² El método de reporte se refiere a la precisión con la que se trabajó el ensayo. Para el método A se trabaja con el 1% más cercano, y para el método B con el 0.1% más cercano.

Tabla 10.*Resumen de ensayos de contenido de humedad*

CONTENIDO DE HUMEDAD SEGÚN NTP 339.127			
CALICATA	MUESTRA	PROFUNDIDAD (m)	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C-1	M-1	0.00 - 3.00 m	7.6
C-2	M-2	0.00 - 3.00 m	7.6

Como se puede apreciar en las Tablas 8 y 9, a pesar que las calicatas son en 2 puntos distintos, los resultados salen casi idénticos, por lo que se puede confiar en que el suelo tiene una configuración homogénea en su humedad. Además, en el desarrollo se puede ver que, con 2 pesos distintos, se sigue manteniendo el mismo contenido de humedad.

4.2.1.6.2 Análisis Granulométrico por Tamizado

Se realizó el ensayo con la utilización de tamices calibrados con diámetros de rejillas que van desde el N° 3 hasta la N° 200, colocándose del mayor número del tamiz hasta el menor en forma de columna, y liberando el material por encima, para luego vibrar y hacer rotar constantemente los tamices hasta que todas las partículas del suelo queden correctamente disgregadas. Con este dato, y el porcentaje de suelo que queda retenido dentro de cada número de tamiz, se puede clasificar el suelo según la clasificación SUCS y AASHTO.

Tabla 11.*Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D6913 en C-1³*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913 EN C-1	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-1
N° de Muestras:	1
Progresiva:	---

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D6913**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
3"	76.200	100.0	SUCS (ASTM D2487):	SM
2"	50.800	100.0	AASHTO (ASTM D3282):	A-2-4 (0)
1 1/2"	38.100	100.0	Descripción:	Arena Limosa
1"	25.400	100.0	COMPOSICIÓN FÍSICOS DEL SUELO	
3/4"	19.000	100.0	Contenido de grava presente (%)	0
3/8"	9.500	100.0	Contenido de arena presente (%)	83.5
N° 4	4.750	100.0	Contenido de arcilla presente (%)	16.5
N° 10	2.000	87.4		
N° 20	0.840	67.7		
N° 40	0.425	52.3		
N° 60	0.250	38.7		
N° 100	0.150	27.5		
N° 140	0.106	21.3		
N° 200	0.075	16.5		

³ El análisis granulométrico por tamizado actualmente admite tamices desde las 3" de abertura hasta el N° 200, antes este ensayo se realizaba con el tamiz N°4 hasta el N°200.

Tabla 12.*Análisis Granulométrico por tamizado ASTM D6913 en C-2⁴*

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ASTM D6913 EN C-2	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-2
Nº de Muestras:	1
Progresiva:	---

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO
ASTM D6913**

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PORCENTAJE QUE PASA	CLASIFICACIÓN DEL SUELO	
3"	76.200	100.0	SUCS (ASTM D2487):	SM
2"	50.800	100.0	AASHTO (ASTM D3282):	A-2-4 (0)
1 1/2"	38.100	100.0	Descripción:	Arena Limosa
1"	25.400	100.0	COMPOSICIÓN FÍSICOS DEL SUELO	
3/4"	19.000	100.0	Contenido de grava presente (%)	0
3/8"	9.500	100.0	Contenido de arena presente (%)	83.9
Nº 4	4.750	100.0	Contenido de arcilla presente (%)	16.1
Nº 10	2.000	87.3		
Nº 20	0.840	66.7		
Nº 40	0.425	52.3		
Nº 60	0.250	37.7		
Nº 100	0.150	27.1		
Nº 140	0.106	20.9		
Nº 200	0.075	16.1		

⁴ El análisis granulométrico por tamizado actualmente admite tamices desde las 3" de abertura hasta el Nº 200, antes este ensayo se realizaba con el tamiz Nº4 hasta el Nº200.

Figura 14.

Curva Granulométrica en C-1

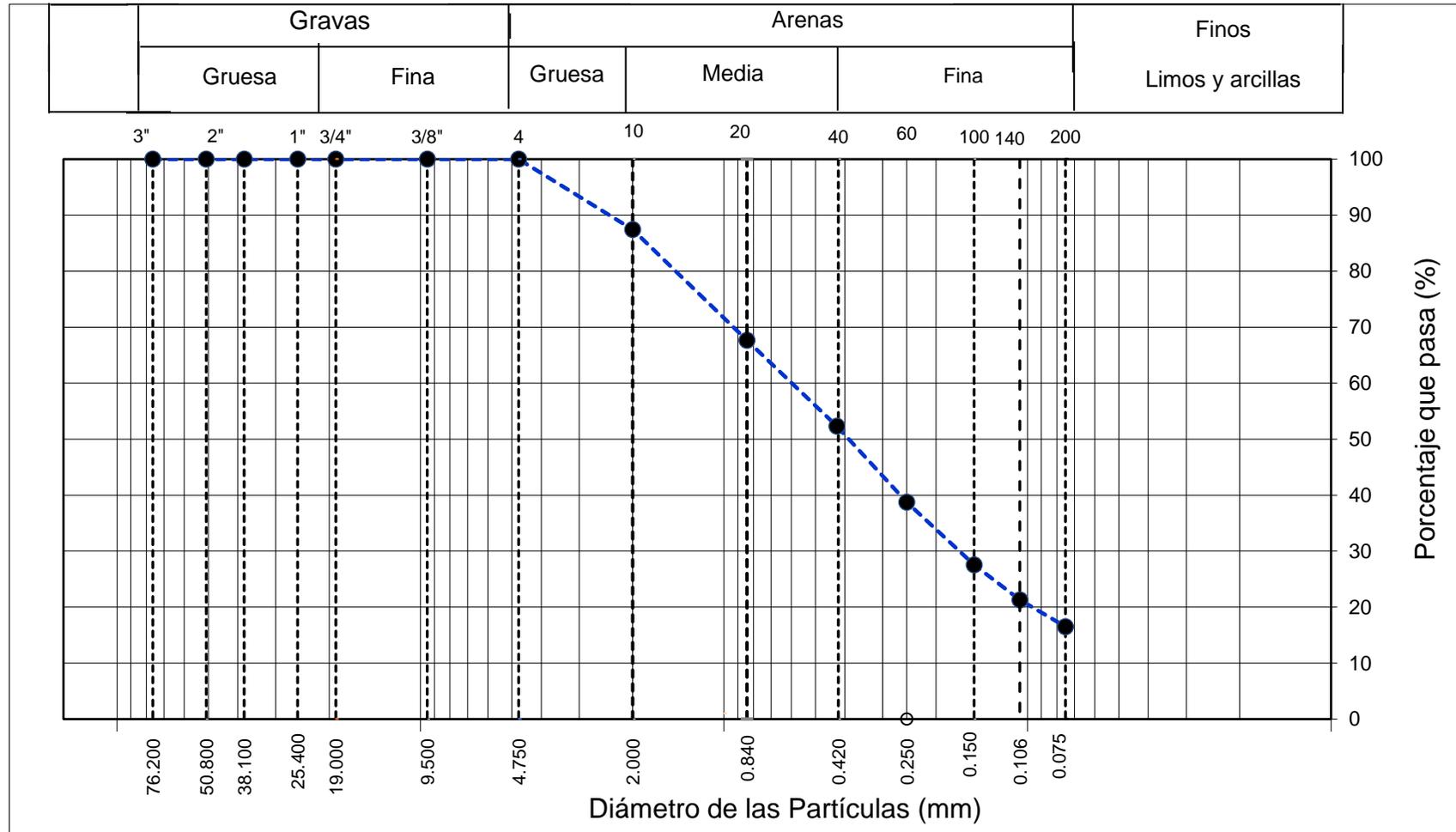
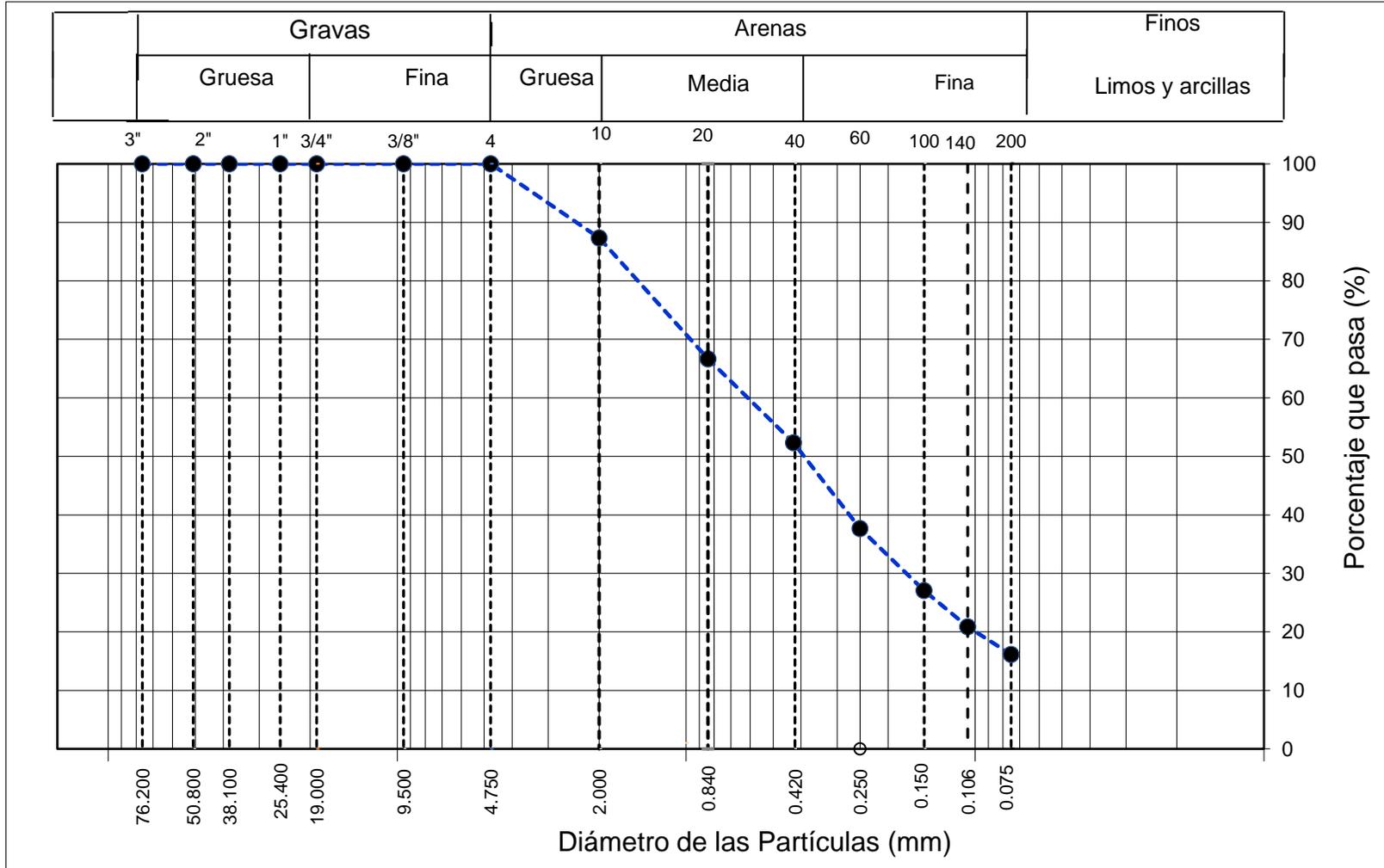


Figura 15.

Curva Granulométrica en C-2



4.2.1.6.3 Límites de Consistencia

Tabla 13.

Límites de consistencia del suelo ASTM D4318 en C-1⁵

LÍMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO ASTM D4318 EN C-1	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-1
Nº de Muestras:	1
Progresiva:	---
LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	N.P.
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.
INDICE DE CONSISTENCIA (I _c)	---
INDICE DE LIQUIDEZ (IL)	---
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

⁵ No presenta límites de consistencia nuestro suelo debido a su naturaleza, ya que solamente los suelos finos presentan límites de consistencia, y nuestro suelo, al ser una arena, no entra en esa categoría.

Tabla 14.*Límites de consistencia del suelo ASTM D4318 en C-2⁶*

LÍMITES DE CONSISTENCIA DEL SUELO ASTM D4318 EN C-2	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-2
Nº de Muestras:	1
Progresiva:	---
LÍMITES DE CONSISTENCIA ASTM D4318	
LÍMITE LÍQUIDO	N.P.
LÍMITE PLÁSTICO	N.P.
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	N.P.
INDICE DE CONSISTENCIA (Ic)	---
INDICE DE LIQUIDEZ (IL)	---
MÉTODO DE ENSAYO DE LÍMITE LÍQUIDO	Multipunto

⁶ No presenta límites de consistencia nuestro suelo debido a su naturaleza, ya que solamente los suelos finos presentan límites de consistencia, y nuestro suelo, al ser una arena, no entra en esa categoría.

Para determinar los límites de consistencia de un suelo, se determinó por la Copa de Casagrande que el suelo era No Plástico, debido a que el suelo se juntaba en la ranura a los muy pocos golpes, menores de 25, lo que significaba que no presentaba Límite Líquido, por ende, tampoco Índice de Plasticidad. Era esperable este dato, ya que el suelo a primera vista es arena, y la cualidad de los suelos granulares es que no presentan límites de consistencia en ninguno de sus casos.

Tabla 15.

Resultado de Clasificación del Suelo y Límites de Consistencia

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO SEGÚN NTP 339.128								
CALICATA	PROF. (m)	CLASIFICACIÓN DE SUELOS		ENSAYOS ESTÁNDAR				
		SUCS	AASHTO	FINOS (%)	LL	LL	IP	W%
C-1	0.00 – 3.00	SM	A-2-4	16.5	N.P.	N.P.	N.P.	7.6
C-2	0.00 – 3.00	SM	A-2-4	16.1	N.P.	N.P.	N.P.	7.6

En la Tabla 11 y en la Tabla 12 se puede apreciar a mayor detalle el desarrollo de los resultados, apreciando que ente la malla 3" y la malla N° 4 pasa el 100% del suelo, pero entre la malla N°4 y la malla N°40 se retiene aproximadamente el 50% del suelo, y entre la N° 40 y la N°200 se retiene aproximadamente el 85% del suelo, pasando el 15% aproximado de suelo la malla N° 200. Esto, indica que el suelo no presenta grava en su composición, que el 85% de suelo es arena, y que el 15% es un suelo fino. Considerando este dato, ya uno se puede hacer referencia que datos como el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad no van a tener efecto, ya que el mayor porcentaje del suelo le pertenece a un suelo granular.

4.2.1.6.4 Densidad de Campo

Se realizó la excavación del orificio necesario para realizar el ensayo de Densidad de campo y se siguió el procedimiento de ensayo de acuerdo a la NTP 339.143, verificando también la calidad y la graduación de la Arena de Ottawa dentro del recipiente del cono. Se calcula la densidad húmeda en campo, de acuerdo al volumen del orificio, como también se calcula la masa húmeda, la masa seca, etc.

Tabla 16.*Densidad en campo mediante el cono de arena ASTM D1556*

DENSIDAD EN CAMPO MEDIANTE EL CONO DE ARENA ASTM D1556	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Capa:	Terreno natural
N° de Muestras:	M-1
Procedencia:	Interior de calicata

**DENSIDAD EN CAMPO
ASTM D1556**

Prueba	1	2
Calicata	C-1	C-2
Masa del frasco + arena (g)	8068	8197
Masa del frasco + arena que queda (g)	2739	3923
Masa de arena en el cono (g)	1730	1730
Masa de arena en excavación (g)	3599	2544
Densidad de la arena (g/cm ³)	1.42	1.42
Volumen del material extraído (g/cm ³)	2535	1792
Masa del recipiente (g)	20	20
Masa del recipiente + material extraído (g)	4013	2859
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.575	1.585

Tabla 17.*Resultado de los ensayos de Densidad de Campo*

DENSIDAD DE CAMPO SEGÚN NTP 339.143		
ENSAYO DE DENSIDAD	PROFUNDIDAD	RESULTADO ENSAYO
L21-114-03	3.00	1.58 g/cm ³

En el ensayo de Densidad de Campo, se obtuvieron 2 muestras: una, en la base de la calicata C-1 tal como lo dicta la norma, y la segunda se realizó en una muestra representativa de la calicata C-2, ya que la calicata presentaba riesgo de derrumbe, lo que podría poner en peligro al personal. Ambas calicatas coincidieron en el resultado, por lo que se toma que todo el suelo tiene la misma densidad en general.

4.2.1.6.5 Ensayo de Corte Triaxial No Consolidado No Drenado

Para el ensayo de corte triaxial No Consolidado No Drenado, se realizaron todos los procedimientos de acuerdo a la NTP 339.164 con una porción de la muestra representativa, compactando el suelo para que se adapte al espacio del cilindro, para que la carga de la máquina triaxial pueda ser distribuida correctamente.

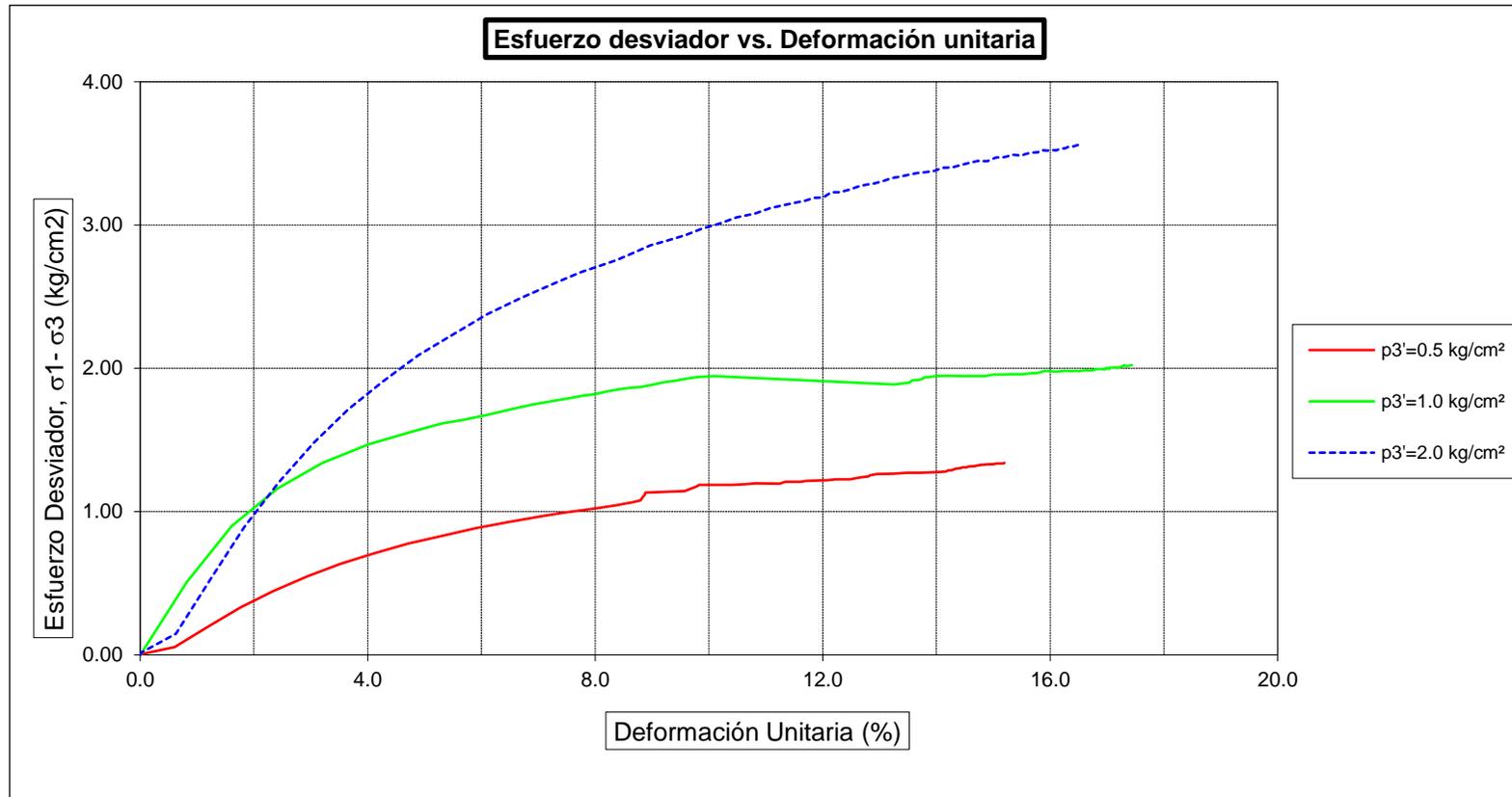
Tabla 18.*Cohesión y ángulo de fricción del suelo⁷*

COMPRESIÓN TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO (UU)			
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima		
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo		
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo		
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima		
Material:	Terreno natural		
Código de Muestra:	---		
Sondaje / Calicata:	C-2		
N° de Muestras:	1		
Progresiva:	---		
Tipo de suelo:	Arena limosa		
Profundidad:	0.20 – 3.00 m		
MÉTODO DE PRUEBA ESTÁNDAR PARA LA PRUEBA DE COMPRESIÓN TRIAXIAL NO CONSOLIDADO NO DRENADO PARA SUELOS ASTM D2850-15			
Especimen	I	II	III
Presión normal (kg/cm ³)	0.50	1.00	2.00
Diámetro (cm)	5.04	5.04	5.04
Altura (cm)	10.02	10.03	10.06
Densidad húmeda (g/cm ³)	1.575	1.575	1.574
Densidad seca (g/cm ³)	1.473	1.473	1.473
Esfuerzo desviador (kg/cm ²)	1.33	1.99	3.52
Relación de tensiones (kg/cm ²)	3.56	2.98	2.74
Humedad (%)	6.90	6.91	6.90
RESULTADOS			
Cohesión (kg/cm ²)	0.2		
Ángulo de fricción interna (°)	26.3		

⁷ La muestra en este ensayo fue remoldeada hasta la densidad seca de 1.47 +/- 0.03 g/cm³ y con un contenido de humedad de 6.9 +/- 0.03 %

Figura 16.

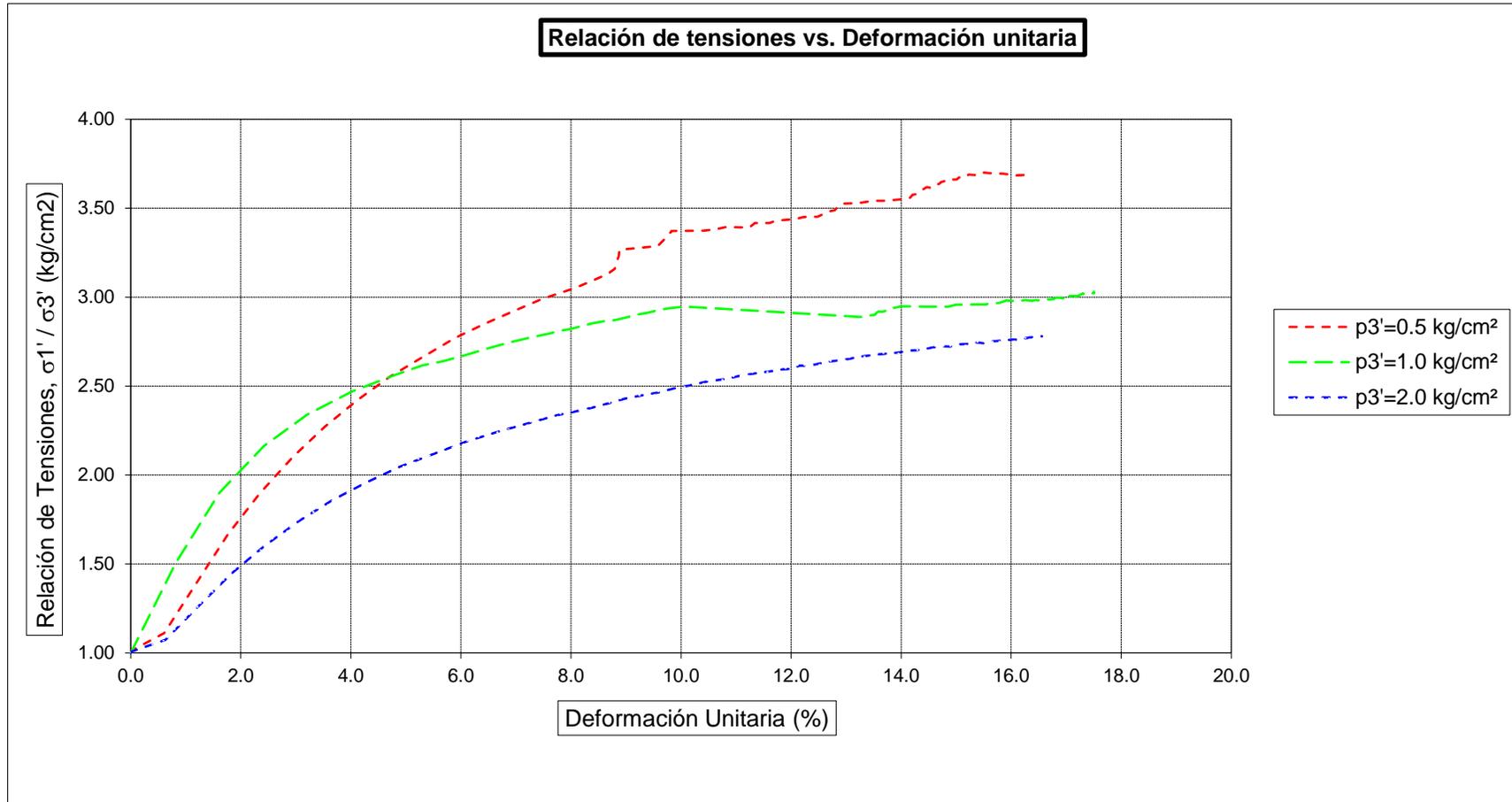
Gráfico del esfuerzo desviador vs Deformación unitaria



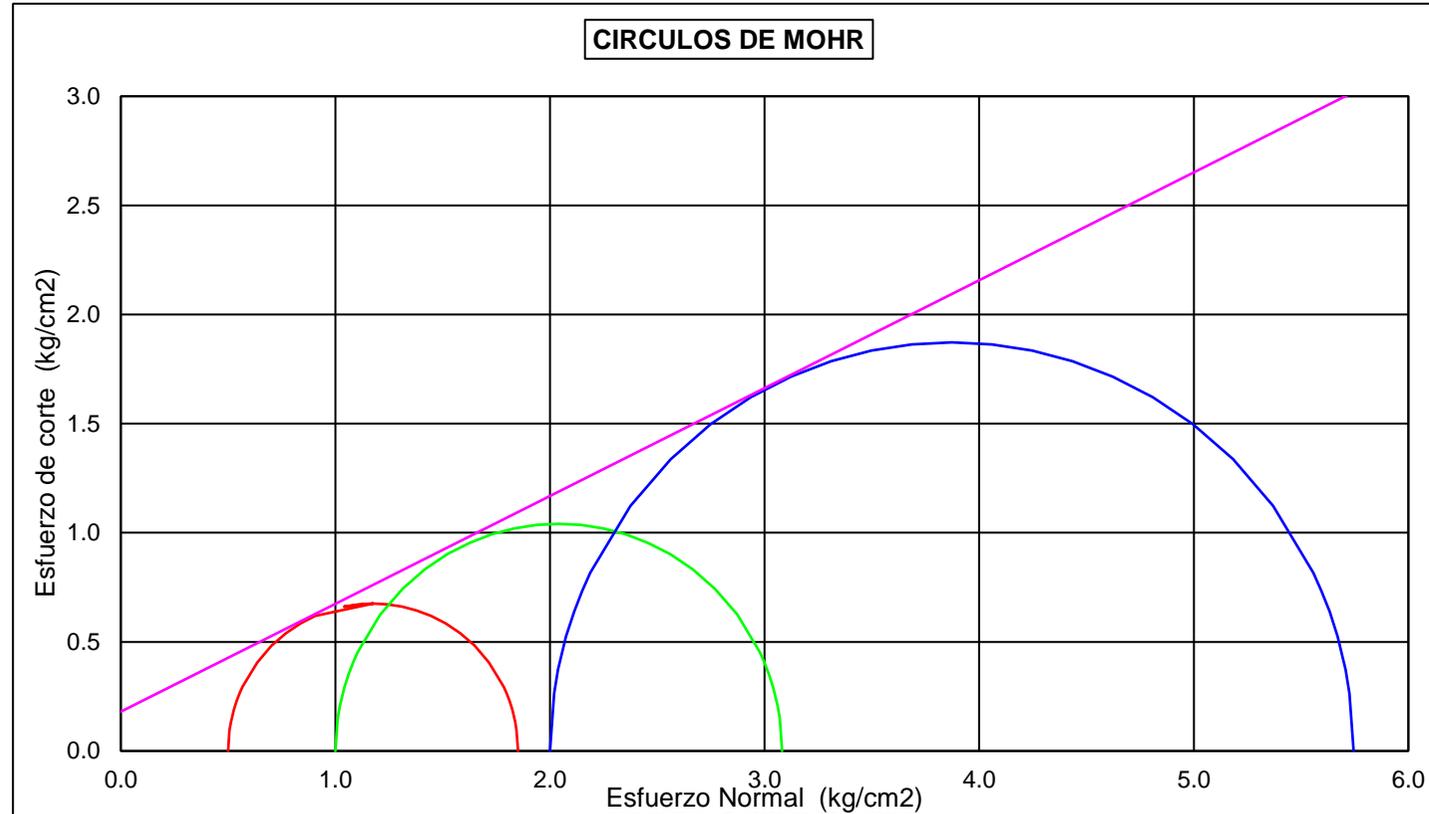
Nota. En la siguiente imagen se puede apreciar la gráfica del esfuerzo desviador vs la deformación unitaria, evidenciándose que, el esfuerzo desviador de $p3' = 1.0 \text{ kg/cm}^2$, representado por la línea verde, fue la que alcanzó la mayor deformación unitaria de las 3 fuerzas aplicadas a la muestra de suelo.

Figura 17.

Gráfico de Relación de tensiones vs Deformación unitaria



Nota. De acuerdo a la siguiente gráfica, se evidencia que la carga que llegó a tener mayor deformación de las 3, fue la carga de $p_3 = 1.0 \text{ kg/cm}^2$, representada en línea verde, a diferencia de la carga axial de 2.0 kg/cm^2 y 0.5 kg/cm^2 .

Figura 18.*Círculo de Mohr*

Nota. En la gráfica del círculo de Mohr, se puede apreciar que, al formar la tangente entre los 3 círculos de Mohr formado a partir de la diferencia entre el esfuerzo cortante menos el esfuerzo axial, la tangente toma un ángulo de 26.3° , que es el ángulo de fricción, con un inicio desde la ordenada de 0.2, que viene a ser el valor de la cohesión.

Tabla 19.*Resultados de Ensayo de Corte Triaxial UU*

ENSAYO DE CORTE TRIAXIAL SEGÚN NTP 339.164				
CALICATA	CLASIFICACIÓN SUCS	ENSAYO CORTE TRIAXIAL UU		
		C (kg/cm²)	Φ	
L21-114-03	SM	0.2	26.3	

Gracias al ensayo realizado se pudo identificar los esfuerzos desviadores para cada uno de los 3 esfuerzos confinantes a los que fueron sometidas las muestras. Es así como se logró identificar los esfuerzos principales mayores con los cuales las probetas fallaron. Reuniendo dicha información, se procedió a realizar las gráficas de Esfuerzo-Deformación y el Círculo de Mohr. Finalmente, se trazó la envolvente de falla la cual nos permitió hallar los parámetros de cohesión y ángulo de rozamiento interno.

4.2.1.6.6 Sales solubles, cloruros solubles y sulfatos solubles

Con respecto al análisis químico del suelo de cimentación en el área de estudio, se realizaron todos los ensayos de laboratorio según lo que manda la NTP 339.152 para sales solubles, NTP 339.177 para cloruros solubles y NTP 339.178 para sulfatos solubles.

Tabla 20. Sales solubles, cloruros solubles y sulfatos solubles en suelo*Sales solubles, cloruros solubles y sulfatos solubles en suelo*

SALES SOLUBLES, CLORUROS SOLUBLES Y SULFATOS SOLUBLES EN SUELO	
Proyecto:	Evaluación y Estudio Geotécnico para propuesta de muro de contención en el pasaje La Paz AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Solicitante:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Cliente:	De La Cruz Moreno, Rodrigo Ignacio / Silva Lévano, Juan Manuel Eduardo
Ubicación de Proyecto:	AAHH Rafael Chacón - Villa María del Triunfo – Lima
Material:	Terreno natural
Código de Muestra:	---
Sondaje / Calicata:	C-2
N° de Muestras:	1
Progresiva:	---
Tipo de suelo:	Arena limosa
Profundidad:	0.20 – 3.00 m

ENSAYOS QUÍMICOS EN SUELOS, ROCA Y AGUA

SALES SOLUBLES TOTALES (NTP 339.152 / BS 1377-Part 3)	1860	p.p.m.
	0.186	%
SULFATOS SOLUBLES (NTP 339.178 / AASHTO T290)	1214	p.p.m.
	0.1214	%
CONTENIDO DE CLORUROS SOLUBLES (NTP 339.177 / AASHTO T291)	616	p.p.m.
	0.062	%

Tabla 21.*Resultados de ensayos químicos*

ELEMENTO QUÍMICO	VALORES PERMISIBLES	RESULTADOS DE ENSAYO	
		ARENA	AGRESIVIDAD
SALES SOLUBLES	0.15%	0.186%	ALTA
SULFATOS SOLUBLES	0.15%	0.121%	MODERADA
CLORUROS SOLUBLES	0.15%	0.062%	MODERADA

Como se puede evidenciar en la Tabla 20, el resultado de los ensayos químicos arrojó que los agentes químicos presentes en el suelo tienen un nivel de cloruros y sulfatos moderados, mientras que la presencia de sales eleva lo dictado en el artículo 36 de la Norma E.050 “Suelos y Cimentaciones”, por lo que hay que tener consideraciones especiales al trabajar en el terreno de desarrollo del proyecto de muro de contención.

4.2.3 Capacidad Admisible del Terreno

4.2.3.1 Cálculo de la Capacidad de Carga Admisible del Terreno

Para el cálculo de la capacidad admisible del terreno, se ha tenido en consideración los siguientes datos:

- Ángulo de fricción interna (ϕ): 26.3°.
- Cohesión (c): 0.20 kg/cm².
- Tipo de falla por corte: Local.
- Ángulo de Fricción Interna corregido (ϕ_c): 18.24°.
- Cohesión corregida (c)_c: 0.133 kg/cm².
- Peso Unitario de Sobre Carga (γ_1): 1.580 g/cm².
- Peso Unitario del Suelo de Cimentación (γ_2): 1.580 g/cm².
- Relación Ancho / Largo (B/L): 1.00.
- Ancho (diámetro) Inicial de la Cimentación: 3.20 m.
- Cota de Terreno bajo piso terminado: 0.00 m.
- Profundidad de Desplante (Df): 4.00 m.
- Posición del Nivel Freático (N.F.): N/A.
- Inclinación de la carga: 0.0°.
- Factor de Seguridad (F.S. asume 3.0): 3.00.
- Clasificación SUCS del suelo de cimentación: SM.
- Cimentación sugerida: Zapata cuadrada.

Debido a que el suelo donde se cimentará el muro de contención es una arena limosa medianamente densa, se usará el ángulo de fricción y la cohesión corregida. Para el cálculo del ángulo de fricción y la cohesión corregida se hicieron los siguientes cálculos:

- Para el ángulo de fricción:

$$\phi_c = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3} \tan \phi\right)$$

$$\phi_c = \tan^{-1}\left(\frac{2}{3} \tan 26.3^\circ\right)$$

$$\phi_c = 18.24^\circ$$

- Para la cohesión:

$$c_c = \frac{2}{3} * (c)$$

$$c_c = \frac{2}{3} * (0.2 \text{ kg/cm}^2)$$

$$c_c = 0.133 \text{ kg/cm}^2$$

Para el cálculo de los factores de capacidad de carga, de los factores de forma, los factores de inclinación y coeficientes de empuje se realizó el siguiente cálculo:

- Factores de capacidad de carga:

$$N_c = (N_q - 1) \cot \phi_c = 1.443$$

$$N_q = \tan^2\left(45 + \frac{\phi_c}{2}\right) e^{\pi \tan \phi_c} = 5.380$$

$$N_y = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi_c) = 2.092$$

- Factores de forma:

$$S_c = 1 + 0.2 \frac{B}{L} = 1.2$$

$$S_y = 1 - 0.2 \frac{B}{L} = 0.8$$

- Factores de inclinación:

$$i_c = i_q = \left(1 - \frac{\beta}{90}\right)^2 = 1.000$$

$$i_y = \left(1 + \frac{\beta}{\phi}\right)^2 = 1.000$$

Entonces, con la siguiente data, se puede calcular la capacidad admisible del terreno:

En donde:

$$q_d = i_q * \gamma_1 * D_f * N_q + 0.5 * S_y * i_y * \gamma_2 * B' * N_y$$

$$q_{adm} = \frac{q_d}{FS}$$

Y considerando que, para un fondo de cimentación $D_f = 4.00$ m, un factor por nivel freático w y $w' = 1.00$, y un $FS = 3.00$, se tiene que:

$$q_d = 3.82 \text{ kg/cm}^2$$

$$q_{adm} = \frac{3.82}{3} = 1.27 \text{ kg/cm}^2$$

4.2.3.2 Resultado de la Capacidad de Carga Admisible del Terreno

Tabla 22.

Capacidad admisible del terreno

COTA RELATIVA	DESPLANTE Df (m)	ANCHO B (m)	FACTORES POR N.F.		q _d (kg/cm ²)	q _{adm} (kg/cm ²)	Detalle
			W	W'			
-4.00	4.00	3.2	1.00	1.00	3.82	1.27	Zapata Cuadrada

4.2.4 Diseño de Muro de Contención

4.2.4.1 Predimensionamiento

Para el cálculo del diseño del muro de contención, se debió tener gran consideración a la topografía del terreno, ya que su desnivel entre sus dos puntos más críticos es de 14.45m en 64.48m, resultando una pendiente de terreno de $s = 22.41\%$. Es por ello que, esto nos impide dar una altura uniforme a los muros ya que, si consideramos un muro de contención en voladizo con una altura de 14 m, estaría superando el máximo permitido para

la pantalla, que viene a ser de 7.00 m. Por tal motivo, se decidió hacer un diseño de muro de contención de 4 m de alto para adaptarse al terreno.

Además, un factor a considerar en el diseño del muro es la forma a adaptar, ya que al borde tenemos el límite de propiedad de una vivienda, y una vía de acceso clasificada como pasaje de 6.00 m de ancho y de largo 64.00 m, la cual colinda con viviendas de hasta 3 pisos de alto, por lo cual, considerando que el diseño del muro debe ser el más óptimo y la cimentación no debe ocupar un gran porcentaje de la vía para que no afecte ni los cimientos de las viviendas aledañas ni el acceso que provee esa vía, es que se ha considerado pertinente realizar el diseño de un muro de contención en L sin punta, que pueda responder adecuadamente a los requerimientos del terreno. El cálculo de los muros viene de la siguiente manera:

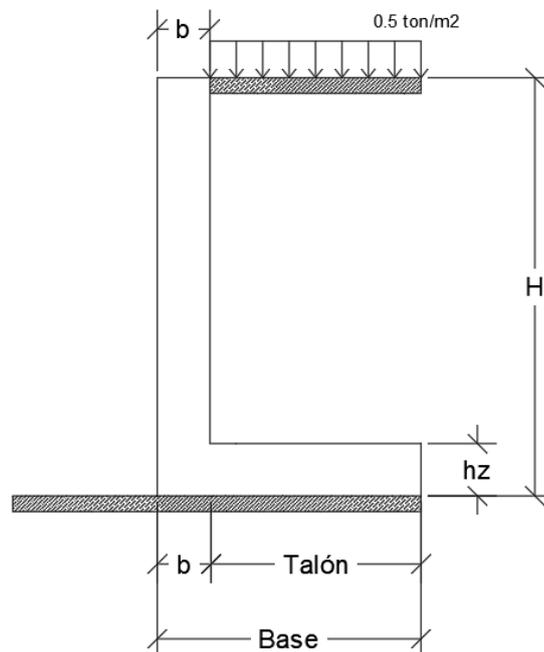
Se tiene los siguientes datos:

- Peso específico del suelo γ : 1.58 g/cm³.
- Ángulo de fricción del suelo ϕ : 26.30°.
- Cohesión c: 0.2 kg/cm².
- Sobrecarga w: 500 kgf/m².
- Altura del muro H: 4.00 m.
- Altura del muro en la cara exterior del muro H_f: 0.00 m.
- Peso unitario del concreto armado: 2.40 ton/m³.

Considerando que el terreno donde va a estar cimentado es una arena limosa medianamente densa, se utilizará los datos de suelo corregidos anteriormente, que vienen a ser $\phi_c = 18.24^\circ$ y $C_c = 0.133 \text{ kg/cm}^2$. Para el predimensionamiento se tiene la siguiente información:

Figura 19.

Predimensionamiento de un muro de contención en L



Se tienen las siguientes consideraciones:

- Corona: $b \geq 0.20 \text{ m.}$
- Base de cimentación: $B = (0.5 - 0.7) * H.$
- Altura de cimentación: $hz = H/12 - H/10.$
- Talón: $T = B - b.$

Entonces, para el diseño de muro, se tiene:

Tabla 23.

Predimensionamiento para muro de contención

Tipo	Altura (H)	Corona (b)	Base cimentación (B)		Altura cimentación (hz)		Talón (T)	
			0.5H	0.7H	H/12	H/10	Menor	Mayor
M-1	4.00 m	0.20 m	2.00 m	2.80 m	0.33 m	0.40 m	1.80 m	2.60 m

Entonces, para asegurar la resistencia al volteo y el deslizamiento, se tiene los siguientes predimensionamientos finales:

Tabla 24.*Predimensionamiento final para muro de contención*

Tipo	Altura (H)	Corona (b)	Base (B)	Alt. Cimentación (hz)	Talón (T)
M-1	4.00 m	0.50 m	3.20 m	0.80 m	2.70 m

4.2.4.2 Cálculo de Momentos Actuantes

Para el cálculo del empuje activo y pasivo del suelo, y el empuje de la sobrecarga, considerando que el terreno en general no presenta un grado de inclinación importante ($\beta = 0^\circ$), se usa las siguientes ecuaciones para los coeficientes de presión activa y pasiva del suelo:

$$k_a = \frac{1 - \sin(\phi_c)}{1 + \sin(\phi_c)}$$

$$k_a = \frac{1 - \sin(18.24^\circ)}{1 + \sin(18.24^\circ)} = 0.523$$

$$k_p = \frac{1 + \sin(\phi_c)}{1 - \sin(\phi_c)}$$

$$k_p = \frac{1 + \sin(18.24^\circ)}{1 - \sin(18.24^\circ)} = 1.911$$

Entonces, se tiene que para el esfuerzo vertical del suelo:

$$\sigma_v = \gamma * H$$

Tabla 25.*Esfuerzo vertical del suelo*

Tipo	Altura (H)	γ	σ_v
M-1	4.00 m	1.58 ton/m	6.32 ton.m/m

Ahora, para el esfuerzo horizontal del suelo:

$$\sigma_h = \sigma_v * k_a$$

Tabla 26.*Esfuerzo horizontal del suelo*

Tipo	σ_v	Ka	σ_h
M-1	6.320 ton.m/m	0.523	3.305 ton.m/m

Con el esfuerzo horizontal del suelo, se puede obtener el empuje activo del suelo de la siguiente forma:

$$E_a = \frac{\sigma_h(H)}{2}$$

Tabla 27.*Empuje activo del suelo*

Tipo	Σh	Altura (H)	Ea
M-1	3.312 ton.m/m	4.000	6.611 ton.m/m

Para hallar el empuje de la sobrecarga, se tiene que la altura libre de la sobrecarga es:

$$H' = \frac{s/c}{\gamma}$$

$$H' = \frac{0.5}{1.58} = 0.316 \text{ m}$$

Entonces, el esfuerzo de la sobrecarga es:

$$\sigma_{s/c} = \frac{k_a * \gamma * H'}{2}$$

$$\sigma_{s/c} = \frac{0.523 * 1.58 * 0.316}{2} = 0.131 \text{ ton. m/m}$$

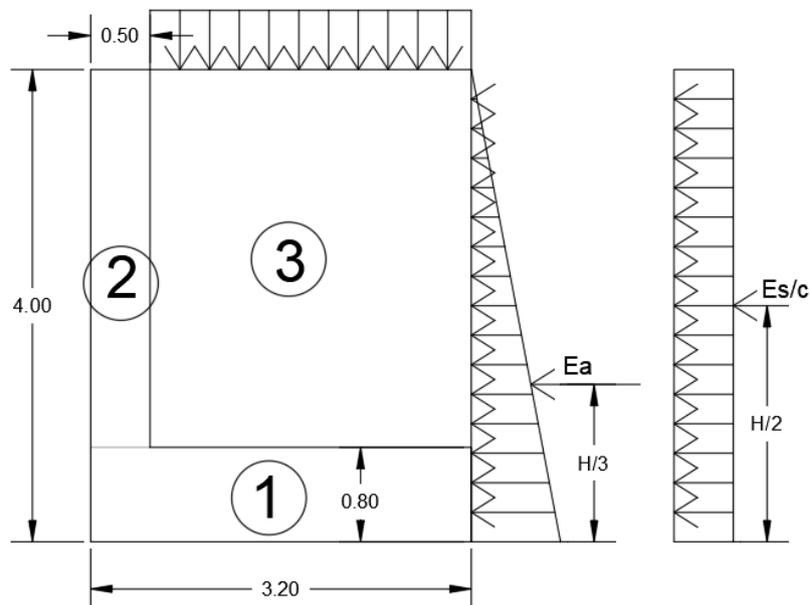
Con esto, se tiene que el empuje de la sobrecarga es:

$$E_{s/c} = \sigma_{s/c} * H$$

Tabla 28.*Empuje de la sobrecarga en el suelo*

Tipo	$\sigma_{s/c}$	H	$E_{s/c}$
M-1	0.131 ton.m/m	4.00 m	0.524 ton.m

Entonces, considerando que el empuje del suelo y de la sobrecarga actúan de la siguiente manera, se tiene que:

Figura 20.*Momentos de volteo y momentos resistentes*

$$M_V = \frac{H}{3} * (E_a) + \frac{H}{2} * (E_{s/c})$$

Tabla 29.*Momentos de volteo*

Tipo	E_a	$E_{s/c}$	H	M_v
M-1	6.611 ton.m/m	0.524 ton.m/m	4.00 m	9.868 ton.m

4.2.4.3 Cálculo de Momentos Resistentes

Y de acuerdo a la Figura 18, el momento resistente se calculará de la siguiente forma:

Para M-1:

Tabla 30.

Momentos resistentes de M-1

Elemento	Peso (Ton)	Momento (ton.m)
1	6.14 ton	9.83 ton.m
2	3.84 ton	0.96 ton.m
3	13.65 ton	25.25 ton.m
TOTAL	23.64 ton	36.05 ton.m

4.2.4.4 Análisis de Estabilidad

4.2.4.4.1 Factor de Seguridad por Volteo

Se tiene que,

$$FS_v = \frac{M_{resistente}}{M_{volteo}} \geq 1.5$$

$$FS_v = \frac{36.05 \text{ ton.m}}{9.868 \text{ ton.m}} = 3.65 \dots Ok$$

Como se ve, al ser el Factor de Seguridad por Volteo mayor al requerido ($3.65 > 2$), entonces el muro propuesto sí cumple con ese factor.

4.2.4.4.2 Factor de Seguridad por Deslizamiento:

$$FS_D = \frac{\mu * Fr + c_c * (B)}{E_a + E_{s/c}} \geq 1.5$$

Donde:

$$\mu = \tan(\phi_c)$$

$$\mu = \tan(18.24) = 0.33$$

Por lo tanto:

$$FS_D = \frac{0.33 * 23.64 + 1.33 * 3.20}{6.615 + 0.524} = 1.69 \dots Ok$$

Por lo tanto, tanto el Factor de Seguridad por Volteo del muro de contención como el Factor de Seguridad por Deslizamiento, cumplen con las condiciones mínimas de seguridad para poder soportar la carga del terreno a contener, sin que se voltee o termine siendo desplazado por el terreno.

4.2.4.4.3 Verificación por Asentamiento

Para poder verificar que el asentamiento presente en el terreno sea uniforme y no se incline hacia un lado u otro:

Se halla el punto de aplicación de la Fuerza Resultante \bar{x} :

$$\bar{x} = \frac{M_{resistente} - M_{volteo}}{Fr}$$

$$\bar{x} = \frac{36.05 - 9,87}{23.64} = 1.11m$$

Entonces, como se tiene que $B = 3.20$ m:

$$\frac{B}{3} < \bar{x} < \frac{2 * B}{3}$$

$$1.07 \text{ m} < 1.11 \text{ m} < 2.13 \text{ m}$$

Verificando que la Carga cae dentro del tercio central de la base, entonces el muro está cumpliendo con dicha condición.

Finalmente, para verificar la capacidad admisible del terreno:

$$q \frac{Max}{min} = -\frac{Fr}{B} * \left(1 \pm \frac{6e}{B}\right)$$

Donde:

$$e = \frac{B}{2} - \bar{x}$$

Por lo tanto:

$$e = \frac{3.20 \text{ m}}{2} - 1.11 \text{ m} = 0.49 \text{ m}$$

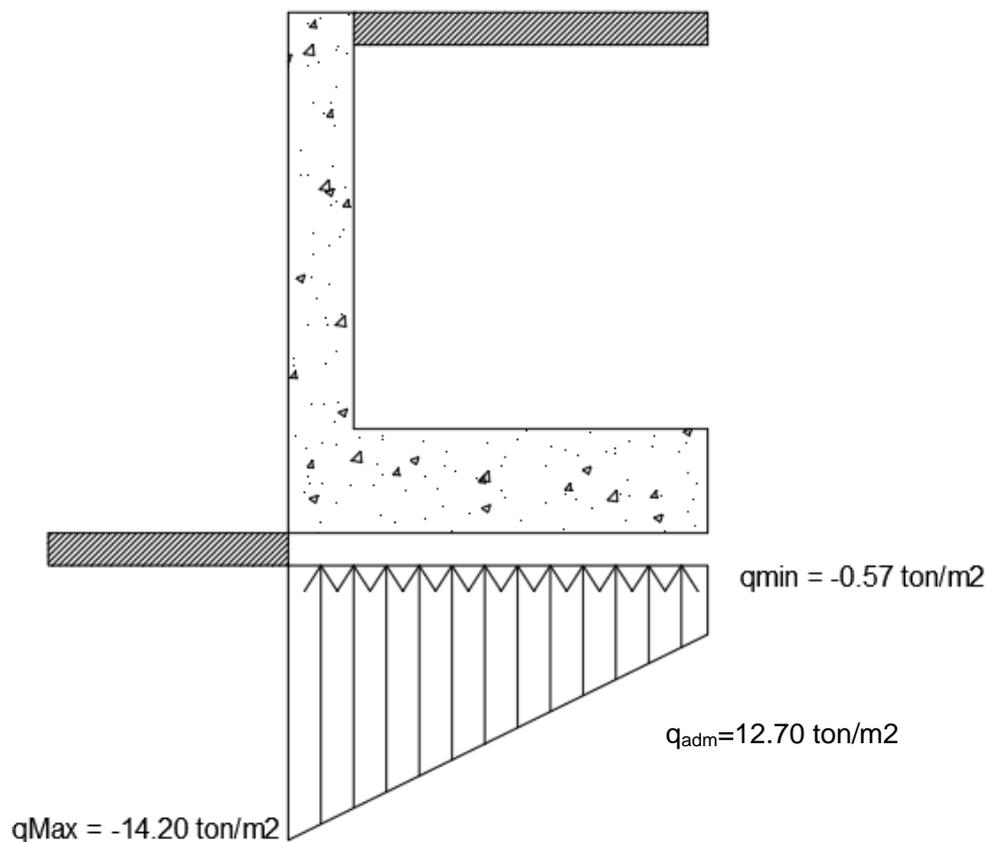
$$q_{max} = -\frac{23.64}{3.20} * \left(1 + \frac{6 * 0.49}{3.20}\right) = -14.20 \text{ ton/m}^2$$

$$q_{min} = -\frac{23.64}{3.20} * \left(1 - \frac{6 * 0.49}{3.20}\right) = -0.57 \text{ ton/m}^2$$

Considerando que la capacidad admisible del terreno de cimentación a 4.00 m de profundidad es de 12.70 ton/m² (Verificar Tabla 22), entonces el terreno a esa profundidad no estaría soportando los esfuerzos producidos cerca la base.

Figura 21.

Verificación de la capacidad admisible del terreno



V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos en la presente investigación se pudo confirmar lo indicado en las investigaciones realizadas por Parra J. y Tarjan Z. (2018) y Zorrilla R. (2019) que, para poder diseñar un óptimo Muro de Contención es necesario contar con los parámetros físicos, químicos y mecánicos del suelo obtenidos mediante la correcta realización de ensayos de campo y laboratorio guiados por la norma E.50 “Suelos y Cimentaciones”.

Habiendo definido la importancia de la realización del Estudio de Mecánica de Suelos y cumpliendo con las indicaciones establecidas en las Normas Técnicas Peruanas pertinentes según el tipo de ensayo a realizar, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 31.

Resultados de los ensayos de campo y laboratorio

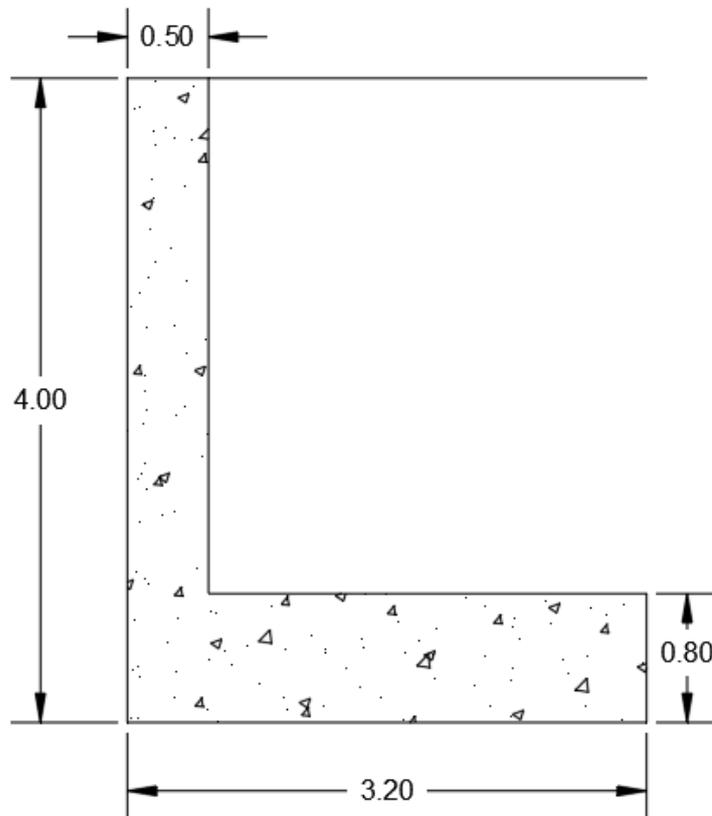
CARACTERÍSTICAS	DESCRIPCIÓN
Contenido de humedad (w%)	w% = 7.6 %
Clasificación SUCS	Arena limosa (SM)
Clasificación AASHTO	Arena Limosa (A-2-4)
Límite Líquido (LL)	No Presenta (N.P.)
Límite Plástico (LP)	No Presenta (N.P.)
Índice de Plasticidad (IP)	No Presenta (N.P.)
Peso específico (γ)	1.58 kg/cm ²
Cohesión (c)	0.2 kg/cm ²
Ángulo de fricción (ϕ)	26.3 °
Sales Solubles (S.S.)	1860 p.p.m
Cloruros Solubles (Cl-)	1214 p.p.m.
Sulfatos Solubles (SO_4^{-2})	616 p.p.m.

Es así como pudimos identificar que, de acuerdo a nuestros resultados, la clasificación de nuestro suelo (Arena Limosa) es similar a lo investigado por Navarro J. (2018).

Posteriormente, se procedió a iniciar la etapa de diseño del muro contención tomando en cuenta los criterios recomendados según las características del terreno investigado. De esta forma, pudimos definir las siguientes dimensiones:

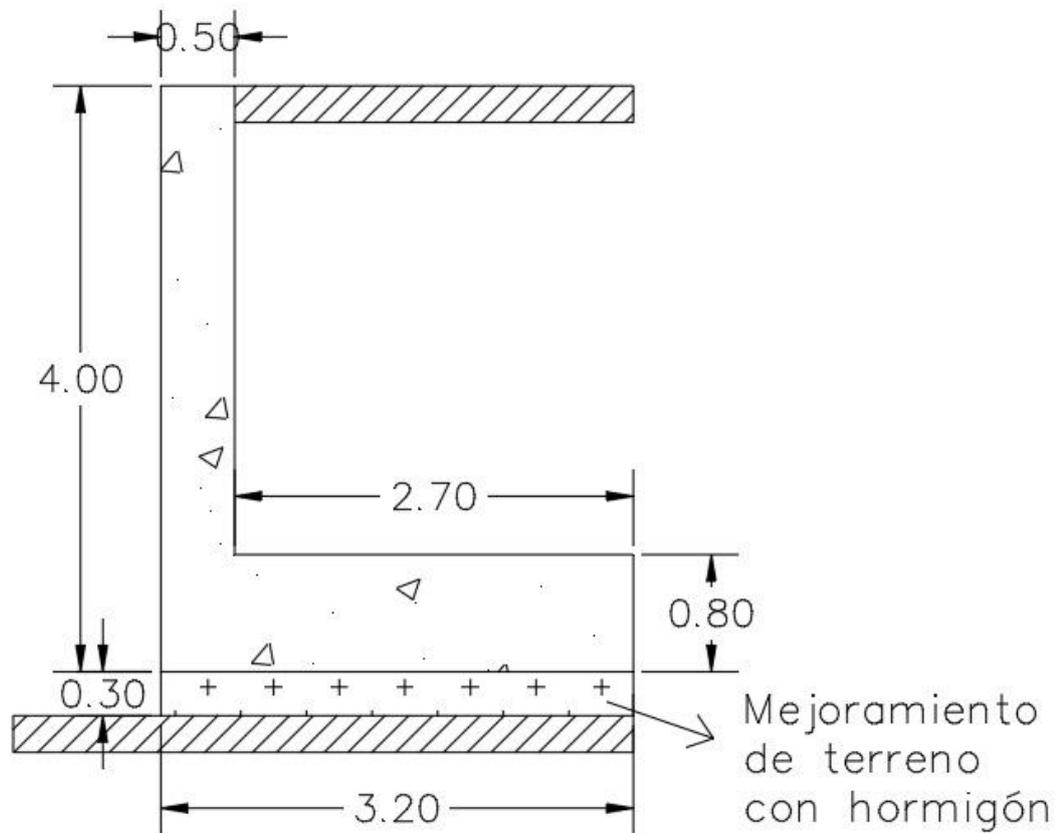
Figura 22.

Dimensiones finales del muro de contención propuesto



Finalmente, al comprobar la estabilidad del Muro se verificó que tanto el Factor de Seguridad por Volteo $FS_V = 3.65$ y por Deslizamiento $FS_D = 1.69$ cumplen con lo reglamentado en la Norma E.50 "Suelos y Cimentaciones". Sin embargo, también se pudo detectar en la verificación por asentamiento que, la carga máxima transmitida hacia el terreno supera la capacidad de carga admisible del suelo, siendo esto semejante a lo sucedido en la investigación realizada por Alarcón E. (2019) donde al analizar la estabilidad del talud se encontró un factor de seguridad $FS=0.813$, definiéndolo como inestable.

Es así que se decidió realizar un mejoramiento de suelo en la cimentación, considerando agregar hormigón compactado con 0.30 cm de espesor, de un peso específico de 2.10 g/cm^2 y un ángulo de fricción de 30° , aumentando así su capacidad admisible a $q_{adm} = 1.73 \text{ kg/cm}^2$, resultando en un nuevo Factor de Seguridad de $FS = 1.22$, siendo así un terreno óptimo para soportar las cargas del terreno.

Figura 23.*Dimensiones del muro con el mejoramiento del suelo***Tabla 32.***Resultados de la verificación del muro de contención*

Verificación	Valor	Observación
Factor de Seguridad por Volteo (FS_v)	3.65	CUMPLE
Factor de Seguridad por Deslizamiento (FS_D)	1.69	CUMPLE
Tercio Central (T.C.)	1.11 m	CUMPLE
Capacidad admisible del terreno (Q_{adm})	17.30 ton/m ²	CUMPLE

CONCLUSIONES

- Se concluye que, de acuerdo al Estudio de Mecánica de Suelos, el terreno evaluado se clasifica como una Arena Limosa SM según SUCS y A-2-4 según AASHTO; por lo que debido a su naturaleza no presenta plasticidad.
- Se concluye que el ángulo de fricción interna $\phi = 26.3^\circ$ y una baja Cohesión $C=0.20 \text{ Kg/cm}^2$, siendo esto coherente debido a que se trata de un suelo granular.
- Se concluye que, respecto a sus propiedades químicas, el resultado de los ensayos arrojó que los agentes presentes en el suelo tienen un nivel de cloruros y sulfatos moderados, mientras que la presencia de sales es alta, lo cual nos sirve para tomar consideración dentro del tipo de cemento a emplear o la incorporación de aditivos.
- Se concluye que, en la etapa de diseño, tomamos en consideración los ámbitos legales al proponer el diseño de muro voladizo, ya que por su naturaleza en sus dimensiones afectaría el terreno colindante en un diseño convencional.
- Es así que concluimos tomando en cuenta los parámetros del suelo obtenidos previamente mediante el Estudio de Mecánica de Suelos, las dimensiones finales para el Muro de contención en L sin punta son: altura = 4.00m, ancho de corona = 0.50 m, pantalla con altura = 3.20 m, base = 3.20 m y un alto de zapata = 0.80 m.
- De acuerdo a los resultados obtenidos para el análisis de estabilidad de la estructura se concluye que, el muro de contención en L sin punta, es seguro por condición de volteo y deslizamiento según la Norma E.050 "Suelos y Cimentaciones". Mientras que, en la verificación por asentamiento, se encontró que, la máxima carga transmitida hacia suelo de fundación supera a la capacidad de carga admisible del terreno; por lo que se propone realizar un mejoramiento en el terreno con material de hormigón compactado de 30 cm de espesor, para de esa manera, mejorar la capacidad admisible y evitar la falla por asentamiento.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que, como un ensayo complementario, se realice ensayos para auscultación con penetrómetro dinámico ligero de punta cónica (DPL) como el ensayo de Consolidación Unidimensional de Suelos, o el ensayo Próctor ya sea Estándar o Modificado, sobre todo para conocer propiedades no abordadas en un siguiente trabajo de investigación, pero necesarias para el desarrollo de un proyecto integral, como el asentamiento, la preconsolidación o si el suelo es normalmente consolidado, etc.
- El terreno tiene un desnivel de hasta 14 m en su punto más alto, a lo largo de 64.48 m, dando una pendiente de 22%, por lo cual se recomienda tomar como referencia inicial el diseño propuesto de 4 metros de altura como un diseño base para poder adaptarse a la topografía del pasaje La Paz.
- Se recomienda también, para un futuro proyecto a desarrollar, que se realice tanto el diseño del acero, como la dosificación del concreto, considerando que, para la cantidad de sulfatos, sales y cloruros solubles presentes en el terreno, se recomienda utilizar un Cemento tipo MS, principalmente para que no evitar daños en el concreto ni termine presencia de salitre en alguna de sus caras, adicional a esta recomendación se puede incluir aditivos al concreto.
- Habiendo concluido que el Muro Propuesto fallaría por asentamiento, se recomienda realizar un mejoramiento previo del suelo donde se desarrollará el cimiento del muro de contención, debido a la baja capacidad admisible del terreno ($q_{adm} = 1.27 \text{ kg/cm}^2$), reemplazando el suelo por un suelo hormigón compactado.
- Por último, se recomienda, al iniciar este tipo de proyectos, tomar en consideración los alcances necesarios para proponer el tipo de muro a diseñar, generando una viabilidad y que no presenten contingencias legales por la naturaleza del diseño de nuestro muro como los límites de terreno colindante y topografía.

Referencias Bibliográficas

- Das, B. (2001). *Fundamentos de Ingeniería Geotécnica*. California State University.
- Canadian Geotechnical Society (2006). The Canadian Foundation Engineering Manual. 4th Edition. National Building Code of Canada.
- Coduto, D. (2001). *Foundation Design: Principle and Practices*. 2nd Edition. Prentice Hall.
- Gerscovich, D. (2013). Estabilidad de Taludes. 1ra Edición. Lemoine Editores
- Harmsen, T. (2002). *Diseño de Estructuras de Concreto Armado*. 3ra Edición. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Juárez E. (1973). El Fenómeno de la Consolidación de los Suelos. En Limusa (Ed.), *Fundamentos de la Mecánica de Suelos Tomo 1* (p.197-261)
- Juárez E. (1973). Propiedades hidráulicas de los suelos. En Limusa (Ed.), *Fundamentos de la Mecánica de Suelos Tomo 1*
- Morales, R. (2006). *Diseño en Concreto Armado*. Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Nij J. (2009). Guía Práctica para el Cálculo de Capacidad de Carga en cimentaciones superficiales, losas de cimentación, pilotes y pilas perforadas [Trabajo de graduación presentado a la Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería al conferírsele el título de Ingeniero Civil]. Universidad de San Carlos de Guatemala
- Hoyos F. (Ed.) (2001). *Geotecnia: Diccionario Básico*. Autoedición
- Gallegos C. (2006). Guía multimedia para el diseño de muros a gravedad, muros en cantiléver y muros con contrafuertes [Tesis de grado previo a la obtención del título de Ingeniería Civil]. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Parra J. y Tajan Z. (2018). Determinación de parámetros para el dimensionamiento de muros de contención sobre suelos arenosos

mal graduados (SP) de la quebrada Aguablanca [Trabajo de grado para optar el título de Ingeniero Civil]. Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, Colombia.

Zorrilla R. (2019). Análisis y Diseño de muro de contención ubicado en la Calle A, Ciudadela Las Cumbres – Cantón Jipijapa [Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Civil]. Universidad Estatal del Sur de Manabí, Ecuador

Vilca A. (2019). Estudio Geotécnico para la Estabilidad del Talud del depósito de Desmonte Santa Rosa del proyecto Santa Rosa - Arequipa [Tesis previo a la obtención del título de Ingeniero Civil]. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Perú

Mitchell J.K. (1981) Soil Improvement – State of the Art Report [Archivo PDF]. [Issmge.org/uploads/publications/1/35/1981_04_0022.pdf](https://www.issmge.org/uploads/publications/1/35/1981_04_0022.pdf)

ANEXOS

Figura 1.

Plano de Calicatas del proyecto.

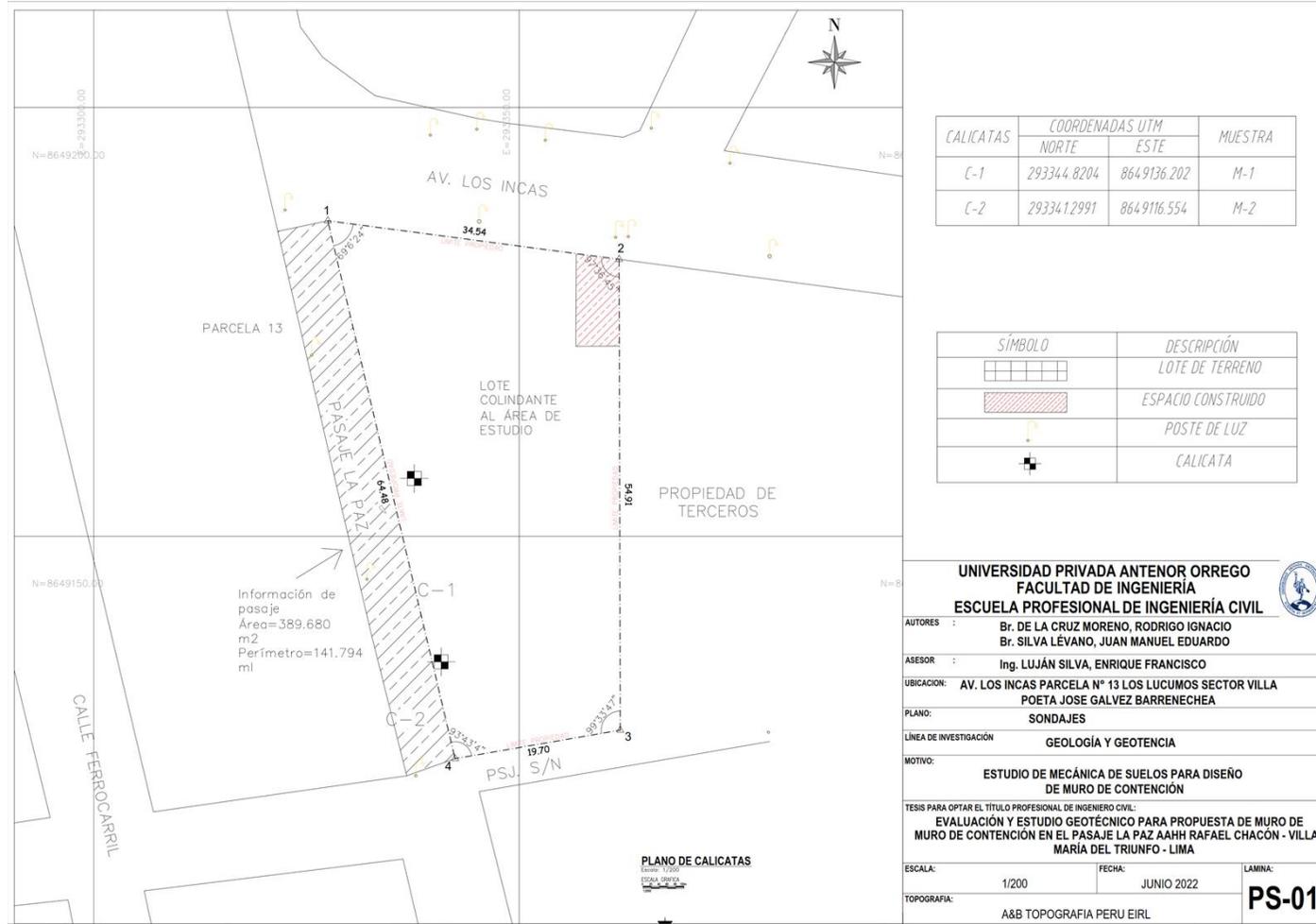


Figura 2.

Excavaciones y reconocimiento de terreno de tesistas



Figura 3.

Reconocimiento del terreno del lado del lote contrario



Figura 5.

Vista isométrica del terreno a contener junto a tesisas



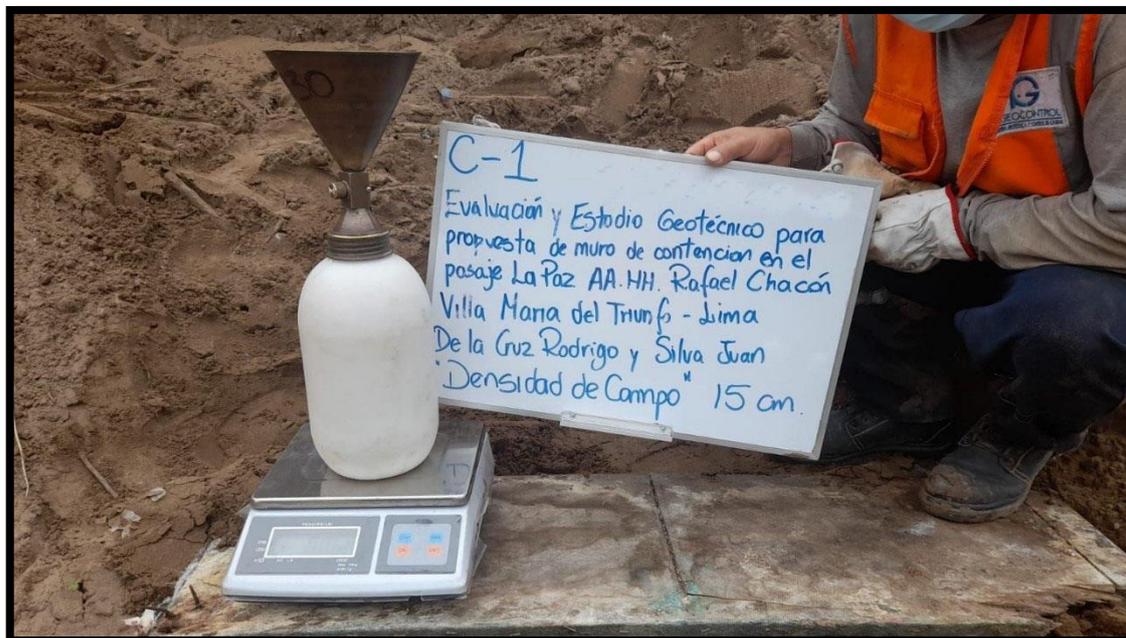
Figura 6.

Tesisas junto a calicata C-1



Figura 7.

Pesado del cono de arena para ensayo de densidad de campo en C-1

**Figura 8.**

Fotografía del ensayo de densidad de campo C-1



Figura 9.

Tesistas junto a calicata C-2

**Figura 10.**

Fotografía del ensayo de densidad de campo C-2



Figura 11.

Fotografía del tablero para ensayo de densidad de campo en C-2

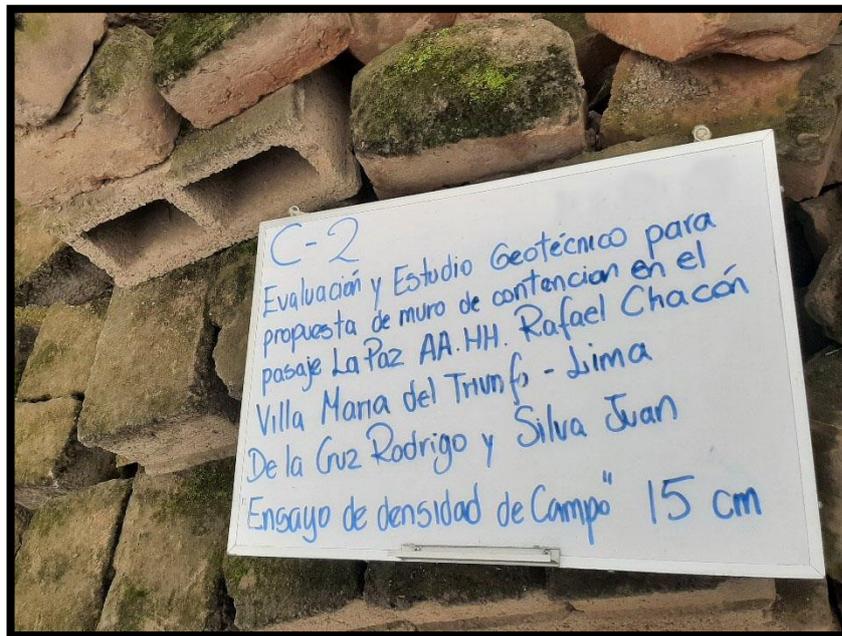


Figura 12.

Tesista Rodrigo de la Cruz desarrollando el ensayo de contenido de humedad



Nota. En esta parte del ensayo, se está desarrollando el secado de la muestra en el horno por 24 horas continuas, para luego hacer el pesado de la muestra y así determinar la cantidad de agua que se ha evaporado.

Figura 13.

Tesista Juan Manuel Silva desarrollando el ensayo de contenido de humedad



Nota. Esta parte del ensayo de contenido de humedad, se centra en hacer el pesado de la muestra después de que haya pasado 24 horas en el horno, para poder hacer la diferencia entre el peso de la muestra húmeda menos la muestra ya seca.

Figura 14.

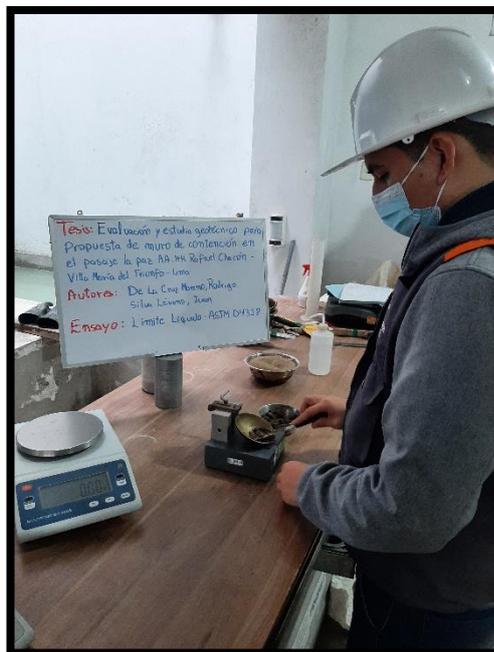
Tesista Juan Manuel Silva desarrollando el ensayo de análisis granulométrico



Nota. Se está desarrollando el ensayo de análisis granulométrico por tamizado, por las características del terreno y por la poca presencia de agregado fino.

Figura 15.

Tesista Rodrigo De La Cruz desarrollando el ensayo de la Copa de Casagrande



Nota. En este ensayo, que es para hallar el Límite Líquido, el terreno se llegaba a cerrar antes de los 25 golpes, lo que daba que el suelo fuera No Plástico (N.P.), y por ende no haya Límite Plástico ni Índice de Plasticidad.

Figura 15.

Tesistas desarrollando el ensayo de sales solubles.

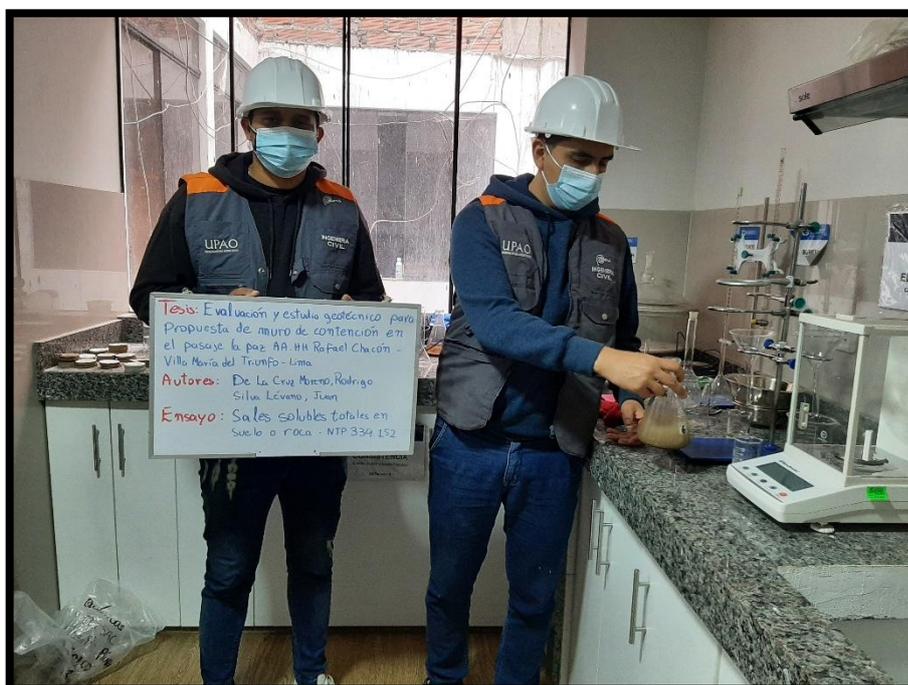


Figura 16.

Ensayo de corte triaxial UU en proceso

