

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**



**INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL  
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN  
MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR  
CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Carlos Ivan Valdez Ramos**

**ORCID: 0000-0002-4572-6345**

**Asesor:**

**Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez**

**ORCID: 0000-0002-6766-7665**

**Para obtener el grado académico de:  
MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**

**TACNA – PERÚ**

**2024**



**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**



**INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL  
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN  
MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR  
CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Carlos Ivan Valdez Ramos**

**ORCID: 0000-0002-4572-6345**

**Asesor:**

**Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez**

**ORCID: 0000-0002-6766-7665**

**Para obtener el grado académico de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**

**TACNA – PERÚ**

**2024**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN GEOTECNIA**

**Tesis**

**“INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL  
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN  
MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR  
CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024”**

Presentada por:

Bach. Carlos Ivan Valdez Ramos

**Tesis sustentada y aprobada el 08 de Noviembre de 2024; ante el siguiente  
jurado examinador:**

**PRESIDENTE:** Dr. Pedro Valerio MAQUERA CRUZ

**SECRETARIO:** Dr. Oscar Walther NOVOA CASTILLO

**VOCAL:** Mtro. Rolando Gonzalo SALAZAR CALDERÓN JUÁREZ

**ASESOR:** Dr. Edgar Vidal HURTADO CHÁVEZ



## **DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD**

Yo, Carlos Ivan Valdez Ramos, en calidad de egresado de la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI 70544137.

Soy autor de la tesis titulada:

“INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024”, con asesor: Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez.

### **DECLARO BAJO JURAMENTO**

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de Maestro en Ingeniería Civil con mención en Geotecnia, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 13 % de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor (a) de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 08 de Noviembre de 2024

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized initial 'C' followed by several loops and a long horizontal stroke extending to the right.

Carlos Ivan Valdez Ramos

DNI 70544137

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a Dios por ser mi guía constante, a mi madre por la confianza y exigencia en el cumplimiento de mis deberes, mis hermanos y a mi familia por apoyarme y a la creación.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por todo, a mi familia, a la Universidad Privada de Tacna por la organización y entrega de nuevos conocimientos, a los docentes y compañeros de la maestría por el intercambio de experiencias que enriquecieron el conocimiento.

A mi asesor Dr. Edgar Vidal Hurtado Chávez por su apoyo y asesoramiento para el desarrollo de la presente tesis. A la Dra. Lena Ingrid Valderrama Pomé por su apoyo para la tesis.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD .....</b>	<b>v</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>vii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS.....</b>	<b>xiv</b>
<b>RESUMEN.....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xix</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: EL PROBLEMA .....</b>	<b>2</b>
1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	2
1.2    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	5
1.2.1.    Interrogante principal .....	5
1.2.2.    Interrogantes secundarias .....	5
1.3    JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	6
1.4    OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	7
1.4.1.    Objetivo general .....	7
1.4.2.    Objetivos específicos .....	7
<b>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>8</b>
2.1    ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	8

2.2	BASES TEÓRICAS .....	12
2.3	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	32
<b>CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO .....</b>		<b>42</b>
3.1	HIPÓTESIS .....	42
3.1.1.	Hipótesis general.....	42
3.1.2.	Hipótesis específicas .....	42
3.2	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....	42
3.2.1.	Identificación de la variable independiente.....	42
3.2.2.	Identificación de la variable dependiente.....	43
3.3	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.4	NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	45
3.5	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	45
3.6	ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	45
3.7	POBLACIÓN Y MUESTRA .....	46
3.7.1.	Unidad de estudio.....	46
3.7.2.	Población.....	46
3.7.3.	Muestra.....	47
3.8	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	47
3.8.1.	Procedimiento .....	47
3.8.2.	Técnicas.....	49
3.8.3.	Instrumentos.....	51
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....</b>		<b>55</b>
4.1	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	55
4.1.1.	Extracción de muestras de campo .....	55
4.1.2.	Pruebas de laboratorio.....	59

4.2	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	60
4.2.1.	Propiedades físicas: .....	60
4.2.2.	Propiedades mecánicas: .....	64
4.2.3.	Revisión del muro de contención .....	70
4.3	RESULTADOS .....	109
4.3.1.	Estabilidad del muro .....	109
4.3.2.	Revisión del deslizamiento del muro .....	111
4.3.3.	Revisión del volteo del muro .....	112
4.3.4.	Efecto de la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural respecto al deslizamiento del muro.....	115
4.3.5.	Efecto de la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural respecto al volteo del muro .....	118
4.4	PRUEBA ESTADÍSTICA .....	121
4.5	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS .....	125
4.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	127
	<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>130</b>
	<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>132</b>
	<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>133</b>
	<b>APÉNDICE .....</b>	<b>142</b>
	<b>Matriz de consistencia.....</b>	<b>143</b>
	<b>Instrumentos utilizados .....</b>	<b>145</b>
	<b>Matriz de datos .....</b>	<b>149</b>
	<b>Resultados de laboratorio.....</b>	<b>151</b>
	<b>Panel fotográfico.....</b>	<b>188</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Velocidad de onda en función del tipo de suelo .....	12
<b>Tabla 2</b> Clasificación del suelo según SUCS .....	34
<b>Tabla 3</b> Relación de peso específico según el tipo de suelo .....	36
<b>Tabla 4</b> Módulo de elasticidad y relación de Poisson según los tipos de suelo ...	39
<b>Tabla 5</b> Matriz de operacionalización de variables .....	44
<b>Tabla 6</b> Coordenada UTM de las calicatas .....	48
<b>Tabla 7</b> Ficha de registro de excavación .....	52
<b>Tabla 8</b> Ficha de la recolección de la revisión de literatura .....	53
<b>Tabla 9</b> Coordenadas UTM de los elementos de la zona de estudio .....	56
<b>Tabla 10</b> Estratigrafía de la muestra de la calicata N°04.....	58
<b>Tabla 11</b> Características del suelo extraído de la calicata N°04 .....	61
<b>Tabla 12</b> Contenido de humedad de la muestra de la calicata N°04 .....	62
<b>Tabla 13</b> Peso específico de la muestra .....	63
<b>Tabla 14</b> Resumen de las propiedades físicas del suelo .....	64
<b>Tabla 15</b> Esfuerzos normal y cortante .....	65
<b>Tabla 16</b> Capacidad portante a diferentes anchos de cimentación .....	68
<b>Tabla 17</b> Resumen de las propiedades mecánicas .....	69
<b>Tabla 18</b> Factor de sitio Fpga en función del PGA .....	73
<b>Tabla 19</b> Fv para la aceleración espectral a 1 .....	74
<b>Tabla 20</b> Resultados de los empujes en GEO5.....	78
<b>Tabla 21</b> Resumen de las cargas con GEO5.....	80
<b>Tabla 22</b> Propiedades de los suelos para el ingreso en Plaxis 8.6.....	82
<b>Tabla 23</b> Características de los edificios .....	89
<b>Tabla 24</b> Características para la simulación de las cargas de los edificios.....	90
<b>Tabla 25</b> Combinaciones de los edificios .....	91



<b>Tabla 26</b> Resultados de las fuerzas en el muro con GEO5.....	95
<b>Tabla 27</b> Resultados de los factores con Slide, GEO5 y Plaxis .....	100
<b>Tabla 28</b> Valores de $C_o$ en función del tipo de perfil de suelo .....	103
<b>Tabla 29</b> Resultados de los factores de desplazamiento.....	111
<b>Tabla 30</b> Resultados de los factores de volteo.....	113
<b>Tabla 31</b> Influencia en los factores de deslizamiento.....	116
<b>Tabla 32</b> Comparación de desplazamiento con SAP 2000 y Plaxis .....	117
<b>Tabla 33</b> Influencia en los factores de volteo .....	119
<b>Tabla 34</b> Resultados de los giros con SAP 2000 y Plaxis .....	120
<b>Tabla 35</b> Valores estadísticos de los factores de desplazamiento .....	122
<b>Tabla 36</b> Estadística descriptiva de los factores de deslizamiento .....	125
<b>Tabla 37</b> Resultados de la hipótesis específica 2.....	126
<b>Tabla 38</b> Estadística descriptiva de los factores de volteo .....	126
<b>Tabla 39</b> Resultados de la hipótesis específica 3.....	127

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Idealización de resortes como apoyo del suelo .....	14
<b>Figura 2</b> Idealización de resortes de Winkler de la interacción suelo-estructura. 15	15
<b>Figura 3</b> Efecto de giro en la estructura considerando de la interacción suelo-estructura .....	15
<b>Figura 4</b> Idealización de un grado de libertad con interacción suelo-estructura.. 16	16
<b>Figura 5</b> Diagrama de fuerzas del mecanismo de falla en un muro de contención .....	18
<b>Figura 6</b> Esquema del empuje activo por el método Coulomb .....	19
<b>Figura 7</b> Modelo gráfico de Coulomb del empuje pasivo.....	21
<b>Figura 8</b> Método de Mononobe-Okabe.....	23
<b>Figura 9</b> Método de Mononobe-Okabe para empuje pasivo.....	24
<b>Figura 10</b> Esquema del método de Bishop .....	25
<b>Figura 11</b> Esquema de las fajas para equilibrio de fuerzas por el método de Bishop .....	26
<b>Figura 12</b> Idealización de zapata corrida con apoyos articulados.....	28
<b>Figura 13</b> Discretización del suelo de fundación de la zapata .....	29
<b>Figura 14</b> Bulbo de esfuerzos en el suelo de fundación de la zapata.....	29
<b>Figura 15</b> Estabilidad de taludes con SLIDE .....	30
<b>Figura 16</b> Estabilidad del muro de contención con GEO5.....	31
<b>Figura 17</b> Intefaz de Plaxis 8.6 .....	31
<b>Figura 18</b> Modelamiento del muro de contención con SAP 2000 .....	32
<b>Figura 19</b> Clasificación de la arena según SUCS .....	35
<b>Figura 20</b> Gráfica de plasticidad .....	35
<b>Figura 21</b> Esquema del esfuerzo cortante en las partículas .....	37
<b>Figura 22</b> Esfuerzo de cortante interno de partículas del suelo .....	38

<b>Figura 23</b> Gráfica de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal de las arenas y gravas .....	38
<b>Figura 24</b> Esquema de edificios en la parte superior del talud .....	40
<b>Figura 25</b> Efecto de desplazamiento en el muro de contención.....	41
<b>Figura 26</b> Efecto por volteo en el muro de contención .....	41
<b>Figura 27</b> Ubicación geográfica del sector de estudio .....	46
<b>Figura 28</b> Ubicación de las calicatas .....	48
<b>Figura 29</b> Zona de estudio.....	56
<b>Figura 30</b> Accesibilidad desde Promart a la zona de estudio .....	57
<b>Figura 31</b> Exploración por calicata .....	57
<b>Figura 32</b> Muestras en laboratorio .....	58
<b>Figura 33</b> Ensayo de corte directo.....	60
<b>Figura 34</b> Granulometría del suelo extraído de la calicata N°04 .....	61
<b>Figura 35</b> Curvas Esfuerzo-Deformación .....	66
<b>Figura 36</b> Envolvente de falla .....	66
<b>Figura 37</b> Esquema de permeámetro.....	67
<b>Figura 38</b> Capacidad portante del suelo para zapatas .....	69
<b>Figura 39</b> Dimensiones del muro de contención.....	70
<b>Figura 40</b> Modelamiento del muro en SLIDE .....	71
<b>Figura 41</b> Representación de las líneas de los factores de seguridad con SLIDE	72
<b>Figura 42</b> Representación de las fajas de talud por SLIDE .....	72
<b>Figura 43</b> Factor de seguridad considerando el sismo en SLIDE.....	76
<b>Figura 44</b> Modelamiento del muro de contención en GEO5 .....	76
<b>Figura 45</b> Modelamiento 3D del muro de contención en GEO5 .....	77
<b>Figura 46</b> Falla del muro con GEO5 .....	77
<b>Figura 47</b> Colocación de los coeficientes sísmicos horizontal y vertical en GEO5 .....	79
<b>Figura 48</b> Representación de empujes en el muro de contención con GEO5 .....	80
<b>Figura 49</b> Modelamiento del muro de contención con Plaxis 8.6.....	83
<b>Figura 50</b> Asignación de propiedades de los suelos en Plaxis 8.6 .....	83

<b>Figura 51</b> Ingreso de la permeabilidad y peso específico de los suelos en Plaxis 8.6.....	84
<b>Figura 52</b> Ingreso de la aceleración horizontal y vertical en función de la aceleración de la gravedad en Plaxis 8.6.....	84
<b>Figura 53</b> Discretización del muro de contención con Plaxis 8.6.....	85
<b>Figura 54</b> Asignación de las fases en Plaxis 8.6 .....	85
<b>Figura 55</b> Falla del muro de contención en Plaxis 8.6 .....	86
<b>Figura 56</b> Factor de seguridad del muro de contención con Plaxis 8.6 .....	86
<b>Figura 57</b> Esfuerzos del muro de contención con Plaxis 8.6 .....	87
<b>Figura 58</b> Desplazamientos del muro de contención con Plaxis 8.6.....	87
<b>Figura 59</b> Curva de desplazamiento vs tiempo en Plaxis 8.6 .....	88
<b>Figura 60</b> Distribución de edificios en el área de estudio .....	89
<b>Figura 61</b> Asignación de las cargas de los edificios en SLIDE .....	92
<b>Figura 62</b> Factor de seguridad con SLIDE.....	92
<b>Figura 63</b> Vista 2D con cargas en GEO5 .....	93
<b>Figura 64</b> Vista 3D del muro con las cargas asignadas con GEO5.....	93
<b>Figura 65</b> Plano de falla con cargas en GEO5 .....	94
<b>Figura 66</b> Esquema de fuerzas en el muro con GEO5 .....	94
<b>Figura 67</b> Asignación de cargas en Plaxis.....	96
<b>Figura 68</b> Dirección de los vectores de deformación del muro con Plaxis 8.6....	96
<b>Figura 69</b> Curva del factor de seguridad con Plaxis 8.6 .....	97
<b>Figura 70</b> Esfuerzos producidos en el muro de contención con Plaxis 8.6.....	98
<b>Figura 71</b> Efecto por desplazamiento del muro de contención con Plaxis 8.6 ....	98
<b>Figura 72</b> Asignación de cargas de la combinación 35 .....	99
<b>Figura 73</b> Efecto de las cargas de la combinación 35 en el muro de contención. 99	
<b>Figura 74</b> Ingreso de los materiales en SAP2000 .....	106
<b>Figura 75</b> Asignación de los empujes en el muro de contención con SAP 2000	106
<b>Figura 76</b> Vista 3D del muro de contención con SAP 2000 .....	107
<b>Figura 77</b> Asignación de las masas inerciales en el muro con SAP 2000.....	107
<b>Figura 78</b> Asignación de las rigideces traslacional y rotacional en SAP 2000 ..	108
<b>Figura 79</b> Deformada del muro de contención con SAP 2000.....	108

<b>Figura 80</b> Deformada del muro con base empotrada con SAP 2000 .....	109
<b>Figura 81</b> Gráfica de los resultados del factor de seguridad .....	110
<b>Figura 82</b> Gráfica de los factores de estabilidad por desplazamiento .....	112
<b>Figura 83</b> Gráfica de los factores de volteo .....	114
<b>Figura 84</b> Histograma del factor de deslizamiento con Minitab .....	122
<b>Figura 85</b> Gráfica de probabilidad del factor de deslizamiento .....	123
<b>Figura 86</b> Histograma del factor por volteo .....	124

## RESUMEN

La finalidad de la presente tesis es analizar si las cargas de las edificaciones que se encuentran en laderas puedan influir en la estabilidad del muro de contención considerando la interacción suelo-estructura. El objetivo principal es determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante un modelamiento virtual en el sector de Challapampa en la ciudad de Arequipa. La investigación es básica, con un enfoque cuantitativo y diseño no experimental. Para ello se realizaron 244 modelos utilizando Slide, GEO5, Plaxis y SAP 2000; donde se revisaron diferentes escenarios para evaluar la estabilidad por deslizamiento y volteo del muro considerando solo el empuje del suelo contenido considerando sismo y luego simular con las cargas de los edificios en la parte superior del talud; además, se adicionó el modelo de Barkan en el comportamiento del suelo de fundación en el muro. Se concluyó que existe influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención ya que el factor de deslizamiento disminuyó en un rango de 47 a 79% y el desplazamiento aumentó aproximadamente 8 cm, para el factor de volteo disminuyó en un rango de 70 a 93%, respecto a los giros, si bien es cierto aumentaron cuando se consideraron la interacción suelo-estructura, pero no fueron mayores a 0.057 radianes.

**Palabras clave:** Interacción suelo-estructura, comportamiento estructural, muro de contención, modelamiento virtual.

## ABSTRACT

The purpose of this thesis is to analyze whether the loads of buildings located on stairs can influence the stability of the retaining wall considering the soil-structure interaction. The main objective is to determine the influence of the soil-structure interaction on the structural behavior of the retaining wall through virtual modeling in the Challapampa sector in the city of Arequipa. The research is basic, with a quantitative approach and non-experimental design. For this, 244 models were made using Slide, GEO5, Plaxis and SAP 2000; where different scenarios were reviewed to evaluate the stability by gradual and overturning of the wall considering only the pressure of the contained soil considering earthquake and then simulating with the loads of the buildings on the upper part of the slope; In addition, the Barkan model was added for the behavior of the foundation soil in the wall. I know conclusions that exist influence of the soil-structure interaction on the structural behavior of the retaining wall since the reduction factor reduced in a range of 47 to 79% and the displacement increased approximately 8 cm, for the overturning factor reduced in a range of 70 to 79%. 93%, with respect to the turns, although it is true that they increased when the soil-structure interaction was considered, but they were not greater than 0.057 radians.

**Keywords:** Soil-structure interaction, structural behavior, retaining wall, virtual modeling.

## INTRODUCCIÓN

El riesgo de colapso de edificios o estructuras asentadas en laderas considerando el sismo como potencial activador de la dinámica del suelo, lleva a la necesidad de utilizar como posible solución de retención para que mitigue el peligro, la construcción de muros de contención. Por lo tanto, es necesario optimizar el análisis del comportamiento estructural, revisando de qué manera afecta a la estabilidad del muro sometido a cargas estáticas como dinámicas considerando de esta manera el modelo dinámico de la interacción suelo-estructura. Por lo tanto, el presente estudio abordará por medio de los modelamientos virtuales en qué afecta la interacción mencionada.

El trabajo de tesis consta de cuatro capítulos que se indicará a continuación:

El primer capítulo aborda el problema de investigación, indicando los objetivos y justificación de la investigación.

El segundo capítulo se presentan los antecedentes, bases teóricas de la interacción suelo-estructura, comportamiento y estabilidad del muro de contención

El tercer capítulo presenta el marco metodológico donde se presentan las hipótesis, las variables y sus indicadores, tipo, nivel y diseño de la investigación; así como los procedimientos, técnicas e instrumentos empleados en el estudio.

El cuarto capítulo, se abordan los resultados obtenidos mediante tablas y figuras, así como la aplicación de pruebas estadísticas para verificar las hipótesis planteadas y la discusión de resultados con otros autores.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones provenientes del estudio, además, de una bibliografía consultada y los anexos que complementan la investigación.



## **CAPÍTULO I**

### **EL PROBLEMA**

#### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

En los últimos años, en Arequipa, se va teniendo un incremento poblacional por el crecimiento de la natalidad, debido al flujo migracional de distritos, provincias y departamentos vecinos, lo que genera una demanda de obras de construcción, sea por motivo de vivienda, educación, vías, etc. Esta demanda poblacional obliga a un crecimiento urbano que muchas veces escapa del control municipal generando asentamientos marginales y ocupando espacios muchas veces inapropiados para una habitabilidad adecuada, por lo que, estos pobladores se ven en la necesidad de construir sus viviendas en zonas de laderas, muchas veces, con suelos inestables, por lo que recurren a la construcción de muros de contención sin el apoyo técnico especializado, además, son elementos sólidos y compuestos de material natural sostenible y amigable al medio ambiente, por lo tanto, está relacionado a los objetivos del desarrollo sostenible, específicamente al ODS 11 de ciudades y comunidades sostenibles y al objetivo específico 19 y 21 referido al desarrollo sostenible y gestión ambiental y al desarrollo en infraestructura y vivienda respectivamente (Organización de las Naciones Unidas, 2022).

El comportamiento estructural de muros de contención es un grave riesgo que se observa en diferentes asentamientos del distrito de Cerro Colorado, donde por las características de los suelos se requiere determinar la influencia de la relación suelo estructura en el comportamiento estructural del muro para fines de contención y de seguridad estructural a los ciudadanos. Debido a que Arequipa se encuentra en zona sísmica según el Reglamento

Nacional de Edificaciones, pudiendo ser causante en la mayoría de los casos del deslizamiento de suelos, lo que puede ocasionar el colapso del muro de contención y otras estructuras. Al respecto de lo mencionado, como posibles tecnologías para las soluciones pueden utilizarse modelos computarizados en software geotécnicos como Slide, Plaxis, que permite evaluar adecuadamente estas demandas.

Según Salem et al. (2020) manifiestan que estas estructuras de contención representan con frecuencia elementos clave para proporcionar soporte lateral de suelo y rellenos. No obstante, no solo se requiere colocar los muros de contención, sino, se debe tener en cuenta, un análisis más aproximado para evitar colapsos de esta estructura, generando un riesgo, tal como ocurrió en el distrito de Paucarpata donde cuarenta viviendas estaban en riesgo por colapso del muro de contención (Correo, 1-4-2023), de igual manera ocurrió en el distrito Arequipa, donde se puso en riesgo a las viviendas aledañas del muro, lo que generó la evacuación de las familias del sector (El Comercio, 3-1-2021).

Según Keivanian et al. (2023) indican que los muros deben tener un correcto comportamiento estructural, debido a que están diseñados para resistir una combinación de carga de tierra e hidrostática en la construcción de carreteras, vías férreas, autopistas, puentes, etc., donde hay un cambio en elevación del terreno, por ello, se debe tener optimizar el análisis del muro. Sin embargo, un número significativo de variables de diseño independientes aumentan exponencialmente el tamaño del dominio de búsqueda, mientras que las restricciones altamente no lineales involucradas en el procedimiento de diseño aumentan la complejidad de esta tarea. Por tanto, los métodos de optimización automatizados y simulados pueden ofrecer una solución eficaz a este problema.

De lo mencionado, se destaca la necesidad de optimizar el comportamiento estructural del muro de contención que tiene una función importante de reducir el riesgo geotécnico de colapso, reforzando esta necesidad se cita a Li et al. (2021), que indican que los peligros geotécnicos

ocurren con frecuencia en zonas con topografía de pendiente pronunciada y que podrían causar enormes pérdidas humanas y pérdidas económicas, además, que muchos peligros geotécnicos implican problemas de interacción suelo-estructura.

Es necesario agregar que el problema geotécnico se puede agravar con la presencia de activación sísmica, tal como pasó en Corea del Sur, (Aghamolaei et al., 2021) que fue asolada por el terremoto de Pohang de 2017, que generaron numerosas fallas en los muros de contención, tales como vuelcos, deslizamientos, fallas de soporte; un desplazamiento aproximado de 13.5 y 7 cm en algunos casos.

Históricamente la ciudad de Arequipa, según Aguilar & Valdivia (2020), los terrenos inundables son ocupados por la migración y expansión urbana, sin control de posición. El departamento tiene una población de 1.15 millones de habitantes, el 71.3% de los cuales reside en la capital, la ciudad de Arequipa (Municipalidad Provincial de Arequipa, 2023). Identificando 23 zonas críticas como peligros naturales, haciendo vulnerables a las obras de infraestructura como los muros de contención, las zonas críticas están ubicadas en distritos de Alto Selva Alegre, Cerro Colorado, Cayma, Miraflores y Mariano Melgar. Además, se tiene el derrumbe de muros de contención por evento sísmicos, tal como indicó el subgerente de Defensa Civil que el sismo de 19 de diciembre del 2020 con epicentro a 28 km del suroeste de Atico, un muro de contención falló y dañó una vivienda en el distrito de Paucarpata.

Las causas de los derrumbes de muro de contención, puede ser por la ubicación y la falta de análisis más aproximado para el diseño de estas estructuras; referido a la ubicación se tienen los peligros, que según la Municipalidad Provincial de Arequipa (2023) son de origen natural (geodinámica interna y geodinámica externa), así mismos peligros inducidos por la acción humana, por actividad sísmica, por actividad volcánica, por erosión hídrica, por inundaciones pluviales y por lluvias intensas.

Es por ello, que estas estructuras de contención que están sometidas a los peligros mencionados en zonas sísmicamente activas, ya que se requiere

estas estructuras como sistemas de retención del suelo de soporte para laderas adyacentes a las viviendas y carreteras. Según Barbosa Méndez et al., (2019), las cargas laterales dinámicas que se generan detrás del muro producto de los sismos incrementan las presiones horizontales en éste, induciendo excesivos desplazamientos y sobre carga en sus refuerzos, generándose daños y/o el colapso de la estructura; siendo necesario, considerar la interacción suelo-estructura.

Para optimizar el análisis en la estructura es necesario recurrir a la simulación del comportamiento complejo del suelo por medio del modelamiento virtual, debido a que según Comodromos (2021) estima el mecanismo no lineal que puede desarrollar la estructura de contención, el suelo y la carga de las edificaciones adyacentes, teniendo al Slide, Plaxis. Por tanto, los métodos de optimización automatizados y simulados pueden ofrecer una solución eficaz a este problema.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

De lo descrito, se observa que, en la ciudad de Arequipa debido a sus características mencionadas, se requiere un análisis más exacto en los muros de contención que considere la interacción suelo-estructura que produciría los edificios asentados en la ladera.

### **1.2.1. Interrogante principal**

¿Cómo puede determinarse la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante un modelamiento virtual, en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024?

### **1.2.2. Interrogantes secundarias**

- ¿Cómo puede caracterizarse las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024?

- ¿Cómo influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa 2024?
- ¿Cómo influye la interacción suelo-estructura en el volteo estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa 2024?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

La presente investigación se justifica por la relevancia social en la propuesta de mejorar la seguridad estructural de muros de contención siendo a una solución para reducir el colapso de infraestructura asentadas en laderas; por lo que, se tiene en cuenta el ODS 11 que menciona la Organización de las Naciones Unidas (2022) como objetivos específicos al desarrollo sostenible y gestión ambiental (19) y el desarrollo en infraestructura y vivienda (21).

Se justifica metodológicamente porque se plantea una secuencia adecuada para establecer las presiones tanto del suelo como edificaciones en los muros de contención para luego trabajar el modelamiento con los programas Slide y Plaxis como aporte tecnológico en el presente proyecto. Tal como indica Phuor et al. (2021) que para resolver en parte, los problemas comunes de ingeniería geotécnica, es necesario utilizar software comerciales de elementos finitos como el Plaxis, además, considerando que al tener peligros geotécnicos propios de la ciudad; es vital determinar las características propias del suelo para estimar el empuje adicional al muro proveniente de la interacción suelo-estructura de los edificios en la ladera, lográndose en parte con la simulación de software geotécnico para finalmente evaluar los esfuerzos que se generarían en la estructura de contención.

Se considera que esta investigación tiene una justificación práctica porque va a permitir que otros investigadores puedan aplicar como ejemplo y aplicación directa la implementación de los efectos de la interacción suelo en el comportamiento estructural del muro de contención.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante un modelamiento virtual, en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.
- Determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el desplazamiento estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.
- Determinar la influencia la interacción suelo-estructura en el volteo estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se presentan los antecedentes e investigaciones relacionadas a la presente investigación sobre la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante un modelamiento virtual se tienen:

##### **Antecedentes internacionales**

Morales & Espinosa (2020) en su artículo “Influencia de la interacción suelo estructura (ISE) de cimentaciones superficiales en suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos y un subsuelo” afirman que para un correcto diseño estructural de edificaciones o superestructura se emplean apoyos de base rígida idealizado por resortes que podría aumentar los movimientos de entrada más reales de un terremoto, concluyendo que al no considerar ISE se genera errores muy graves en el cálculo de los esfuerzos internos de la estructura. Siendo relevante para la presente investigación debido a que se toma en cuenta los parámetros importantes para considerar en estructuras asentadas en una zona sísmica considerable.

Xu & Hatami (2019) en su artículo “Sliding stability and lateral displacement análisis of reinforced soil retaining walls” proponen un método de análisis para determinar el comportamiento estructural enfocado al desplazamiento lateral y volteo de muros de contención que incluye la resistencia al corte del suelo y un mecanismo de falla; concluyendo que al

considerar este método se obtiene resultados más precisos en las deformaciones de las paredes del suelo considerando las cargas estáticas y dinámicas horizontales y verticales como la aceleración del terreno producido por el sismo y el tipo de suelo. La metodología presentada permitiría revisar los mecanismos de falla que se considerarían para analizar el comportamiento estructural del muro.

Sucasaca & Sáez (2021) en su artículo “Topographical and structure-soil-structure interaction effects on dynamic behavior of shear-wall” investigan numéricamente la influencia de la topografía de la pendiente, la estratigrafía del suelo y la interacción dinámica entre edificios de muros de corte cercanos de proyectos residenciales típicos; teniendo como conclusión principal que el perfil de la superficie tiene un gran efecto en la respuesta dinámica de un rígido; es decir, que la interacción suelo-estructura en laderas puede generar cargas considerables y adicionales. El análisis y resultados de este estudio permitirán comparar la estabilidad del muro de los muros según la topografía de pendiente elevada en laderas.

Xu et al. (2020) en su artículo “Bearing capacity and failure mechanisms of two-tiered reinforced soil retaining walls under footing load” indican que las simulaciones numéricas para un análisis más aproximado es necesario considerar el método de elementos finitos debido a que se ha validado en muchas investigaciones resultados de ensayos de prueba a modelos con los obtenidos por simulación numérica, es por ello, que al aplicar el método en el análisis de cargas y mecanismos de falla en los muros de contención se pudo determinar la relación de la capacidad de carga y el deslizamiento en base a la resistencia de tracción en las capas del muro incluyendo el esfuerzo que tomaría la zapata.

Gómez de Santos (2019) en su tesis doctoral “Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas”, estudió las propiedades y qué métodos se debe considerar para los suelos arcillosos expansivos compactados con respuesta a cargas estáticas y dinámicas; y la factibilidad del uso de materiales granulares como mejora



de estas propiedades; concluyendo que el suelo arcilloso puede considerarse como un posible potencial de aumento de peligro geotécnico por lo que debería considerarse aspectos complementarios como la interacción suelo-estructura si tuviese una estructura asentada en este suelo. Los resultados del comportamiento geotécnico de los suelos de este estudio permitirán comparar los resultados que tendría el suelo de asentamiento de edificios y de empuje para el muro de contención.

Bakr & Ahmad (2018) en su artículo “A finite element performance-based approach to correlate movement of a rigid retaining wall with seismic earth pressure”, mencionan que para modelar el suelo se debe adoptar un modelo de suelo endurecido con deformación pequeña teniendo en cuenta el amortiguamiento de Rayleigh considerando para el análisis del modelo se utilizó la teoría de los elementos finitos, concluyendo que es necesario incluir la presión sísmica activa del suelo para un correcto diseño del muro de contención, siendo significativo para el desarrollo de la presente investigación.

Finn et al. (2021) en su artículo “Modeling soil–foundation–structure interaction” analizaron las diversas formas, utilizadas en la práctica, para considerar la interacción suelo-estructura en el análisis y diseño, que van desde un análisis completo del sistema total combinado de cimientos, suelo y estructura hasta modelos aproximados del sistema; concluyendo que el tipo de suelo y su relación a la capacidad portante del suelo puede influir adicionando más presión a la estructura y en la cimentación; por lo que, es necesario analizar esa relación e incluir en la normatividad vigente en cada país. Este estudio permitirá revisar su metodología y resultados congruentes a la influencia de suelo-estructura que tendría la cimentación del muro de contención.

Sang et al. (2024) en su artículo “A hybrid contact approach for modeling soil-structure interaction using the material point method”; presenta un nuevo enfoque de contacto híbrido para que el modelo donde simula diferentes combinaciones de cargas para evaluar cómo varía las interacción

del suelo y la estructura. El enfoque simula varios casos típicos, como el colapso granular, la capacidad de carga y la deformación de un muro de contención, para demostrar la solidez del enfoque propuesto en el estudio realiza comparaciones con el método de elementos finitos y soluciones analíticas. Finalmente, el método propuesto se utiliza para simular el impacto del flujo de arena sobre una estructura deformable. Los resultados muestran que el enfoque puede describir bien el fenómeno de los problemas de interacción suelo-estructura.

### **Antecedentes nacionales**

Puyen (2022) en su tesis de maestría titulado “Modelación numérica de muro de contención” tuvo como propósito evaluar por medio de la teoría de los elementos finitos para el análisis de las estructuras de contención. Como metodología utilizó la recopilación de información de los parámetros del sitio para luego modelar la estructura con el software Abaqus, logrando calibrar los resultados con ensayos experimentales a escala; concluyendo que es posible optimizar el resultado de análisis con un software que utiliza la teoría de elementos finitos. Este estudio es relevante porque permite simular el comportamiento estructural del muro de contención con un programa computacional.

Araca et al. (2020) en su artículo de investigación titulado “Influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento de las viviendas aporticadas con zapatas aisladas en la ciudad de Juliaca”, tiene como finalidad determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento del suelo y de las viviendas aporticadas en Juliaca, para ello incorporaron la flexibilidad del suelo para verificar el desempeño de la estructura. Como conclusión se tiene que sí influye en el análisis, pero depende del tipo de suelo. Esta investigación muestra parámetros según normativas internacionales que se considerará para optimizar y comparar los resultados con el presente estudio.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

### Interacción suelo-estructura

Asadi-Ghoozhdi & Attarnejad (2020) indican que la interacción suelo-estructura influye en el comportamiento cinemático e inercial ante sollicitaciones dinámicas en el terreno, por medio de la simulación de resortes y en función de las propiedades elásticas del suelo, además que se debería incluir los parámetros geológicos y geotécnicos del sitio, como elemento importante en la seguridad de las estructuras.

La interacción suelo-estructura puede incluirse en todo tipo de estructuras que están asentadas en el suelo, siendo un acercamiento estimable para casos de suelos inestables y no uniformes; pudiendo requerir técnicas y métodos semi-analíticos que requieren programas computacionales para optimizar el análisis (Hurtado, 2023).

Morales & Espinosa (2020) indican que al modelar a la cimentación de toda estructura como empotramiento perfecto vendría ser una simplificación de la interacción suelo-estructura y se estaría considerando que el suelo es rígido. Al asumir que el suelo es uniforme se estaría simplificando el comportamiento geotécnico del suelo de fundación, el mismo que podría volverse en un potencial amplificador de la energía del sismo, todo ello propiciado por la velocidad de onda; a continuación, se presenta la tabla 1 del tipo de suelo según los perfiles de suelo.

**Tabla 1**

*Velocidad de onda en función del tipo de suelo*

Tipo	Descripción	Vs a 30 m/s
A	Roca rígida	>1500
B	Roca de rigidez media	760 a 1500
C	Suelos muy densos o roca	360 a 760
D	Suelos rígidos	180 a 360
E	Arcillas blandas	<180
F	Suelos especiales	

*Nota.* Tomado de la *E.030 Diseño Sismorresistente*

Según Menzies & Ng. (2017) la amplificación del movimiento del suelo genera un daño extenso en zonas de gran extensión, especialmente cuando se tienen depósitos constituidos por sedimentos blandos y poco compactados. Los mecanismos pueden generar efectos de amplificación de la señal en el suelo debido a la amplificación geométrica y la amplificación dinámica o resonancia.

Asadi-Ghoozhdi & Attarnejad (2020) afirma que para la amortiguación del suelo se debe considerar el concepto de Winkler por medio de la rigidez no infinita para los grados de libertad de traslación y rotación.

Suponiendo una base cuadrada rígida de longitud  $L$ , se consideran la idealización del comportamiento del suelo con una rigidez traslacional y amortiguamiento utilizándolos con un par paralelo resorte-amortiguador, con coeficientes que se estiman con las siguientes ecuaciones:

$$kh = \frac{4.5\rho V_s^2 L}{2 - \nu}$$

$$ch = \rho V_s A b$$

Donde  $\rho$ ,  $\nu$  y  $V_s$  son la densidad del suelo, coeficiente de Poisson y la velocidad de onda de corte,  $A$  es el área de fundación o zona de contacto.

Por lo tanto, cuando la cimentación o estructura que tiene contacto con el suelo, este puede formar, según Villarreal (2020) como un semiespacio elástico agregando a la acción sísmica como un proceso ondulatorio, se puede tener fallos de difracción de ondas en la fundación.

Además, al no considerar al suelo infinitamente rígido, es decir, de manera ideal, no se estaría considerando la flexibilidad del suelo de fundación, el cual podría reflejar resultados diferentes en los períodos, frecuencias y formas de vibración libre de las estructuras, lo que estaría reduciendo la correcta redistribución de esfuerzos (Galicia & León, 2017) .

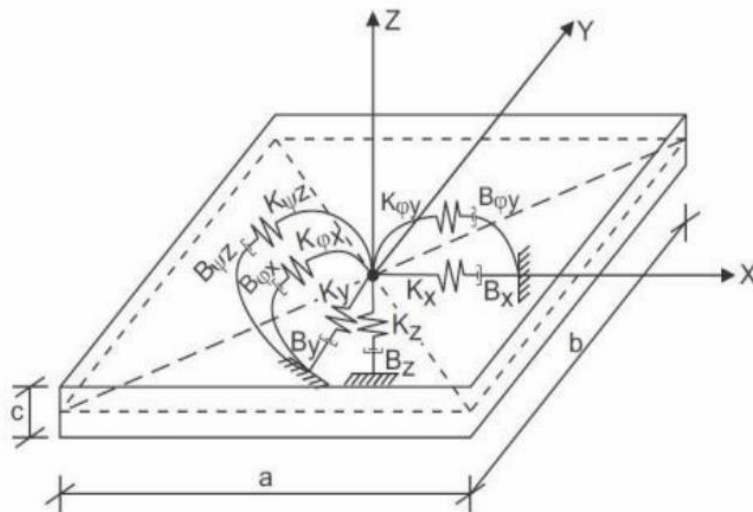
La interacción suelo-cimiento-estructura podría afectar altamente el comportamiento sísmico de las estructuras, particularmente las que se asientan sobre estratos blandos, ya que se puede dar: asentamientos que pueden afectar el comportamiento estructural; las capas blandas de suelo con

alta deformabilidad pueden amplificar las ondas sísmicas y el comportamiento dinámico de las estructuras podría verse modificado por la presencia del suelo (Romero et al., 2024).

Para la interacción suelo-estructura es necesario utilizar algunas teorías que se basen en la rigidez variable del suelo (Muñoz & Requejo, 2022). A continuación, se presenta la figura 1, donde se simula que el centro de la estructura está sostenido por rigideces idealizadas como resorte proveniente del suelo.

### Figura 1

*Idealización de resortes como apoyo del suelo*

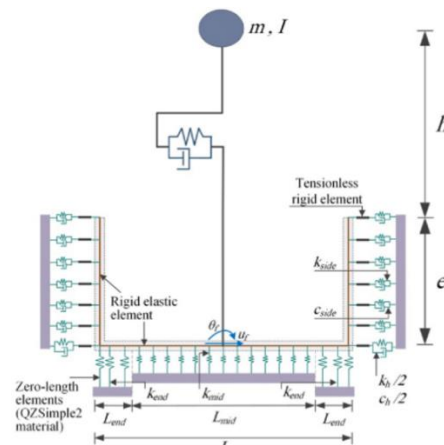


*Nota.* Tomado de Muñoz & Requejo (2022).

A continuación, se presenta un esquema donde Asadi-Ghoozhdí & Attarnejad (2020) idealiza el comportamiento del suelo como un conjunto de resortes de longitud finita, en función de las propiedades geotécnicas del suelo.

**Figura 2**

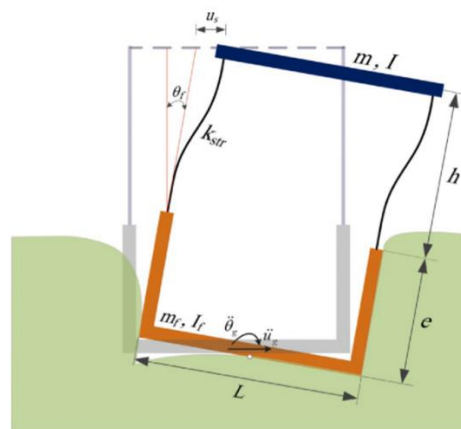
*Idealización de resortes de Winkler de la interacción suelo-estructura*



*Nota.* Se presenta el sistema de resortes que consideran la rigidez de los laterales y cimentación del muro. Tomado de Asadi-Ghoozhdi & Attarnejad (2020).

**Figura 3**

*Efecto de giro en la estructura considerando de la interacción suelo-estructura*



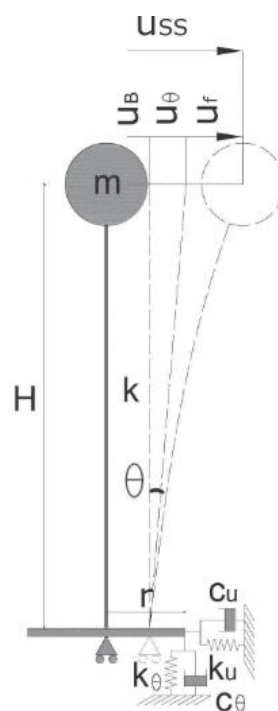
*Nota.* Tomado de Asadi-Ghoozhdi & Attarnejad (2020).

Además, según De Silva et al. (2015) el suelo es menos rígido que la estructura, el período fundamental del sistema suelo-estructura aumenta y

parte de la energía sísmica se irradia a través del subsuelo, por lo que el desplazamiento y la flexión pueden ser afectados. Para estudiar los efectos de interacción, la estructura se puede asimilar a un oscilador de un solo grado de libertad con masa  $m$ , altura  $H$  y rigidez a la flexión  $k$ .

#### Figura 4

*Idealización de un grado de libertad con interacción suelo-estructura*



*Nota.* Tomado de De Silva et al. (2015).

La deformabilidad del suelo se puede modelar mediante una combinación de resortes y amortiguadores con rigidez  $k_u$ ,  $k_\theta$ , y amortiguación  $c_u$ ,  $c_\theta$ , para los grados de libertad de traslación y rotación (S. Chen et al., 2024).

Para el presente estudio se considera el modelo Barkan-Savinov, el cual según Villarreal (2020) se requieren los coeficientes de rigidez que simularán el comportamiento del suelo. Estos coeficientes requieren las características del área de contacto de la estructura como el área y espesor y

las propiedades del suelo como el coeficiente de Poisson, módulo de elasticidad y de la carga estática “p” que tomará la estructura en contacto con el suelo.

A continuación, se presentan las fórmulas para determinar los coeficientes de rigidez dinámica:

$$Kx = Ky = Cx * A$$

$$Kz = Cz * A$$

$$K\phi x = C\phi x * Ix$$

$$K\phi y = C\phi y * Iy$$

Donde se presentan las rigideces traslacionales y rotacionales en la dirección X,Y y Z; y de las coeficientes de rigidez (Cx, Cz), el momento de inercia (I) y el área de la superficie de contacto de la estructura con el suelo (A). Para ello, se determinan los valores de los coeficientes de rigidez traslacional y rotacional por medio de las siguientes fórmulas:

$$Cx = Do * \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A}\right) * \sqrt{\frac{p}{po}}$$

$$Cz = Co * \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta A}\right) * \sqrt{\frac{p}{po}}$$

$$C\phi x = Co * \left(1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta A}\right) * \sqrt{\frac{p}{po}}$$

$$C\phi y = Co * \left(1 + \frac{2(a+3b)}{\Delta A}\right) * \sqrt{\frac{p}{po}}$$

Según Villarreal (2020) se puede asumir valores de  $po = 0.2 \frac{kgf}{cm^2}$  ;

para el valor de p, este se calculará con:

$$p = \frac{\text{Carga estática} + \text{Peso de la estructura}}{\text{Área de la estructura}}$$

$$Do = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5 * \mu} * Co$$

Donde Co se definirá en función del tipo de suelo.



### Comportamiento estructural del muro de contención

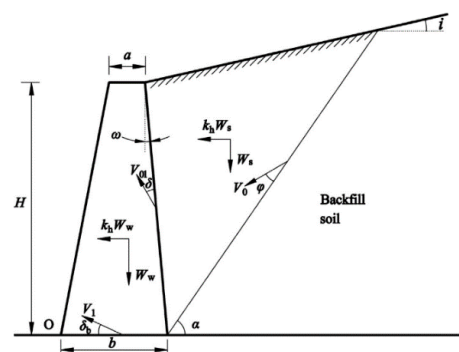
Según X. Li et al.(2019) existen métodos de análisis y diseño racionales para estructuras de contención que se han llevado a cabo durante varias décadas, pese a ello, se han observado deformaciones que van desde ligeros desplazamientos hasta fallas catastróficas en muchas estructuras de contención de tierra durante los grandes terremotos recientes.

Para lograr la estabilidad y optimizar el comportamiento estructural del muro de contención no debería solo establecerse el análisis límite al equilibrio límite, debido a que la aplicación de los teoremas del análisis límite requieren incluir la dinámica de los suelos, mientras que el método del equilibrio límite se basa únicamente en el equilibrio de fuerzas y momentos (Michalowski, 2013).

Es por ello, que para la estabilidad del muro se debe considerar la secuencia de pasos del análisis del estado límite, el cual establece que el sistema suelo-muro podría manifestar un mecanismo de falla traslacional por deslizamiento y volteo; por su propio peso más la fuerza de inercia inducida por el terremoto y cualquier otra carga, como las provenientes de las edificaciones (X. Li et al., 2019). A continuación, se presenta en la figura 5 el esquema del mecanismo de falla traslacional de un muro de contención:

#### Figura 5

*Diagrama de fuerzas del mecanismo de falla en un muro de contención*



*Nota:* Se presenta el muro con un conjunto de empujes laterales y ortogonales a su plano. Tomado de X. Li et al. (2019)

Para evaluar el comportamiento estructural, se revisará los métodos analíticos por las presiones estáticas, ya que según Jurado (2012) los muros de contención, estribos de puentes, muros sótanos; ya que estas presiones existen antes de la activación del sismo; mientras que las presiones dinámicas activadas por el terremoto contra el muro es dependiente del movimiento del suelo y del muro.

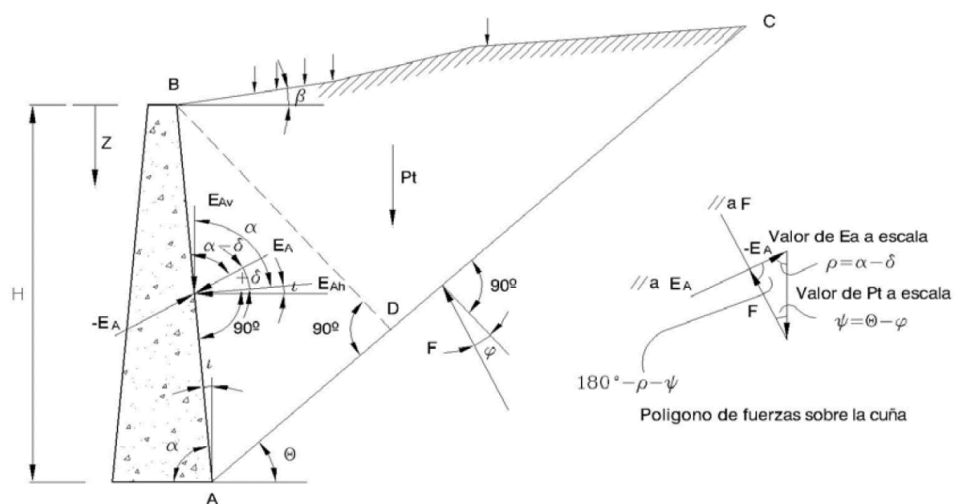
Para las condiciones estáticas se puede considerar los empujes activo dado por el suelo contenido, el empuje pasivo y en reposo (Báez & Echeverri, 2018).

Para el empuje activo y reposo se tiene el método de Coulomb que mantiene las siguientes hipótesis:

- El suelo contenido es homogéneo e isótropo.
- La resistencia a cortante del suelo tiende a deslizarse.
- El ángulo de rozamiento o fricción es constante.
- El rozamiento entre el muro y el terreno es considerado en el análisis.

### Figura 6

*Esquema del empuje activo por el método Coulomb*



*Nota.* Se aprecia que el empuje activo se calcula por medio del método de polígono de fuerza sobre la cuña. Tomado de Jurado (2012).

Donde:

Pt: peso de las tierras contenidas

Ea: empuje activo en el trasdós

-Ea: empuje del trasdós sobre el terreno

F: reacción del suelo sobre la cuña

$\phi$ : ángulo de fricción interno del suelo

$\delta$ : ángulo de fricción muro-suelo

$\Theta$ : ángulo que forma la cuña con la horizontal

$\alpha$ : ángulo del trasdós del muro con la horizontal

i: ángulo del trasdós del muro con la vertical

Por lo tanto, el empuje activo en suelos granulares según Coulomb:

$$Ea = \frac{1}{2} \gamma H^2 * \frac{\cos^2(\varphi - i)}{\cos^2 i * \cos(\delta + i) * \left(1 + \left(\sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) * \text{sen}(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + i) * \cos(\beta - i)}}\right)^2\right)^2}$$

Simplificando considerando a Ka como el coeficiente de empuje activo.

$$Ka = \frac{\cos^2(\varphi - i)}{\cos^2 i * \cos(\delta + i) * \left(1 + \left(\sqrt{\frac{\text{sen}(\varphi + \delta) * \text{sen}(\varphi - \beta)}{\cos(\delta + i) * \cos(\beta - i)}}\right)^2\right)^2}$$

Por lo tanto:

$$Ea = \frac{1}{2} \gamma H^2 Ka$$

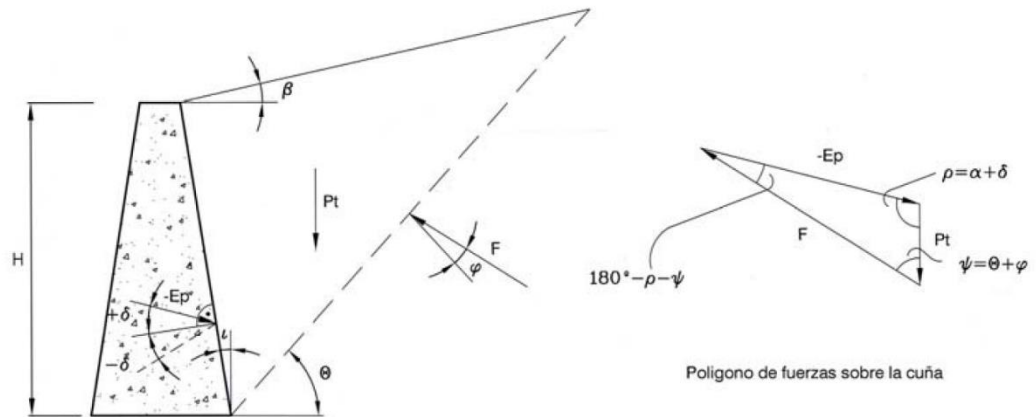
Según Jurado (2012), puede considerarse para el caso de empuje activo  $\delta \leq$

$$\frac{2}{3} \varphi.$$

Para el empuje pasivo, se presenta en la figura 7 el modelo gráfico de Coulomb:

**Figura 7**

*Modelo gráfico de Coulomb del empuje pasivo*



*Nota:* Tomado de Jurado (2012).

Por lo tanto:

$$E_p = \frac{1}{2} \gamma H^2 * \frac{\cos^2(\varphi + i)}{\cos^2 i * \cos(\delta - i) * \left(1 - \left(\frac{\sin(\varphi + \delta) * \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\delta - i) * \cos(\beta - i)}\right)^2\right)}$$

Simplificando considerando a  $K_p$  como el coeficiente de empuje pasivo.

$$K_p = \frac{\cos^2(\varphi + i)}{\cos^2 i * \cos(\delta - i) * \left(1 - \left(\frac{\sin(\varphi + \delta) * \sin(\varphi + \beta)}{\cos(\delta - i) * \cos(\beta - i)}\right)^2\right)}$$

Por lo tanto:

$$E_a = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_p$$

Según Jurado (2012), puede considerarse para el caso de empuje pasivo:

$$\delta = 0 \text{ ó } \delta \leq \frac{2}{3} \varphi$$

Para las presiones sísmicas generadas por el suelo sobre el muro depende según Liu et al. (2024) por las características del suelo de fundación de la estructura, la respuesta del terreno en el trasdós, las características inerciales del muro y de los movimientos aplicados en el terreno.

Existen diferentes métodos analíticos para determinar los empujes sísmicos del suelo contenido considerando los métodos completamente plásticos, que suponen que el trasdós del muro una rotura plastificada; preconizando un valor del empuje sísmico que considerará tanto el empuje estático como el dinámico para calcular el empuje total y el momento de vuelco; se tienen los métodos dado por Mononobe-Okabe, además, se tienen a los de Steedman-Zeng, Prakash.

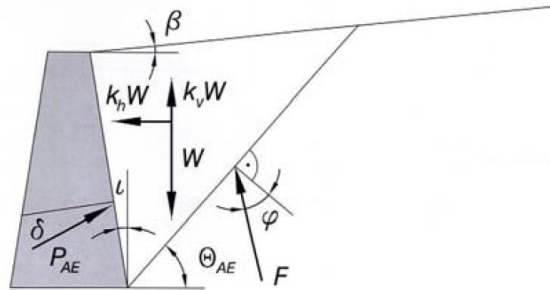
Además, existen métodos basados en la teoría elástica de ondas; las cuales suponen que el compuesto muro-terreno dentro del rango elástico sometida a acción de movimiento armónico; de este tipo se tiene el método de Wood, Scott y el de Veletsos y Younan.

Por último, se encuentran los métodos basados en comportamiento inelástico dinámica que asumen un modelo elasto-plástico que está relacionado al desplazamiento y al momento de los muros, para ello se tienen los métodos de Clough y Duncan, Lee y Harrington (Sang et al., 2024).

Respecto al método de Mononobe-Okabe viene a desarrollar el método de Coulomb para analizar el muro respecto al empuje del suelo contenido en condiciones sísmicas. Cabe indicar que según Jurado (2012) el relleno esté compuesto por el material granular con ángulo de fricción interna  $\varphi$  y la cohesión nula; el deslizamiento de la cuña del terreno se puede asumir como sólido rígido considerando que la aceleración sea constante en todos sus nodos.

**Figura 8**

*Método de Mononobe-Okabe*



*Nota.* Tomado de Jurado (2012).

Considerando a la pared del muro con trasdós vertical ( $i=0$ ), la superficie del terreno horizontal ( $\beta=0$ ) y para  $k_h$  y  $k_v$ , que vienen a ser los coeficientes sísmicos en función de la gravedad; por lo tanto, el empuje sísmico activo será:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 * (1 - k_v) \frac{\cos^2(\varphi - \psi)}{\cos \psi * \cos(\delta + \psi) * \left(1 - \left(\frac{\sin(\delta + \psi) * \sin(\varphi - \psi)}{\cos(\delta + \psi)}\right)^2\right)}$$

Además:

$$\psi = \arctan\left(\frac{k_h}{1 - k_v}\right)$$

Por lo tanto:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 K_{ae}$$

Para el caso donde la pared del muro con trasdós vertical ( $i \neq 0$ ), la superficie del terreno horizontal ( $\beta \neq 0$ ), el empuje sísmico activo será:

$$P_{ae} = \frac{1}{2} \gamma H^2 * (1 - k_v) \frac{\cos^2(\varphi - i - \psi)}{\cos \psi * \cos^2 i * \cos(\delta + i + \psi) * \left(1 - \left(\frac{\sin(\delta + \varphi) * \sin(\varphi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + i + \psi) * \cos(\beta - i)}\right)^2\right)}$$

Además:

$$\psi = \arctan\left(\frac{kh}{1 - kv}\right); \varphi - i \geq \psi$$

Por lo tanto:

$$Pae = \frac{1}{2} \gamma H^2 Kae$$

$$Kae = (1 - kv) \frac{\cos^2(\varphi - i - \psi)}{\cos \psi * \cos^2 i * \cos(\delta + i + \psi) * \left(1 - \left(\frac{\sin(\delta + \varphi) * \sin(\varphi - \beta - \psi)}{\cos(\delta + i + \psi) * \cos(\beta - i)}\right)^2\right)}$$

Para el empuje pasivo se tendrá la siguiente expresión:

$$Ppe = \frac{1}{2} \gamma H^2 * (1 - kv) \frac{\cos^2(\varphi + i - \psi)}{\cos \psi * \cos^2 i * \cos(\delta - i + \psi) * \left(1 - \left(\frac{\sin(\delta + \varphi) * \sin(\varphi + \beta - \psi)}{\cos(\delta - i + \psi) * \cos(\beta - i)}\right)^2\right)}$$

Además:

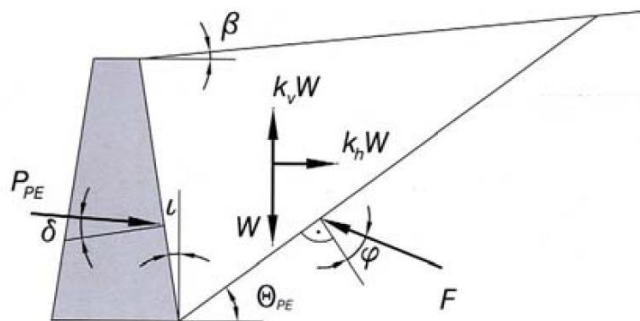
$$\psi = \arctan\left(\frac{kh}{1 - kv}\right)$$

Por lo tanto:

$$Ppe = \frac{1}{2} \gamma H^2 Kpe$$

### Figura 9

*Método de Mononobe-Okabe para empuje pasivo*



*Nota.* Tomado de Jurado (2012)

### Método de Bishop

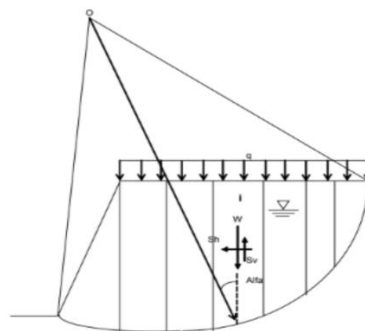
El método de equilibrio límite de cuerpos rígidos es el método de análisis más utilizado en taludes para revisar su estabilidad. Por lo tanto, debido a que los diferentes modos de falla del talud tienen diferentes formas de superficie de deslizamiento, es necesario utilizar diferentes métodos de análisis y fórmulas de cálculo para analizar la estabilidad del talud. Los métodos de análisis de equilibrio límite bidimensional comúnmente utilizados incluyen principalmente el método de Bishop, el método de empuje residual, el método de Janbu, el método de Spencer, el método de Morgenstern-Price (Gao et al., 2024).

Cuando la superficie de deslizamiento es un arco, el método de Bishop generalmente se usa para el cálculo; mientras que la superficie de deslizamiento es una línea discontinua o una curva, generalmente se utiliza el método de empuje residual para el cálculo (T. Zhang et al., 2017).

Para el método de Bishop, según Kinde et al. (2024) la masa del deslizamiento se considera y la superficie de deslizamiento se consideran como un cuerpo rígido.

### Figura 10

*Esquema del método de Bishop*



*Nota.* Tomado de Kinde et al. (2024).

El giro del cuerpo rígido de la masa deslizante se produce alrededor de un centro del eje; la superficie de deslizamiento es cilíndrica y pasa a través



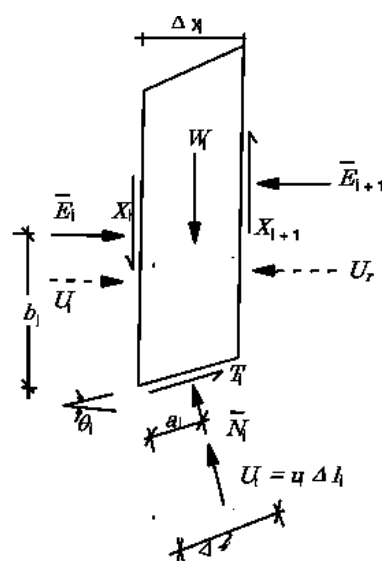
del pie de pendiente delantero o por debajo del pie de pendiente; La fuerza cortante está en dirección vertical entre las tiras en forma de rebanadas como columnas vecinas en dirección circular; La fuerza resultante de la presión del suelo en los lados de cualquier corte vertical dentro de la masa deslizante siempre es en dirección radial.

El coeficiente de estabilidad de la pendiente cóncava se define como un coeficiente de reserva de fuerza de la máxima resistencia al corte en la superficie inferior del deslizamiento de cortes verticales, y su solución sigue las condiciones de equilibrio de torsión de la masa del deslizamiento (Alcántara et al., 2021).

Según los principios básicos del método Bishop, el par de deslizamiento lo proporciona la gravedad de la rebanada, mientras que el par antideslizante lo proporciona la resistencia de la cortante de la superficie deslizante inferior de la rebanada. La fuerza horizontal y la fuerza de corte entre cortes verticales vecinos en la dirección radial también ejercerán una cierta influencia en la estabilidad general (Domínguez, 2018).

### Figura 11

*Esquema de las fajas para equilibrio de fuerzas por el método de Bishop*



*Nota.* Tomado de Domínguez (2018)

$$F = \frac{\sum_{i=1}^n (c\Delta x_i + (W_i - u_i * \Delta x_i) \tan \phi) \left( \frac{1}{M_i} \theta \right)}{\sum_{i=1}^n W_i * \sin \theta_i}$$

$$M_i(\theta) = \cos \theta_i \left( 1 + \frac{\tan \theta_i * \tan \phi}{F} \right)$$

### **Modelamiento virtual**

El concepto del modelamiento virtual abarca modelos matemáticos que representan no sólo los aspectos geométricos, sino también los comportamientos físicos de un edificio a lo largo de su ciclo de vida (Yoon, 2024). Por lo tanto, el modelamiento virtual consta de simulaciones computacionales que representan los entornos físicos operativos del edificio objetivo, abarcando variables físicas, equipos, sistemas, entornos interiores y comportamientos estructurales y materiales.

Sun et al. (2020) afirman que para el análisis geotécnico es válido seguir utilizando el método de elementos finitos, cabe decir, que esta técnica se ha utilizado ampliamente y se ha convertido gradualmente en el medio principal para realizar tareas de estabilidad de taludes.

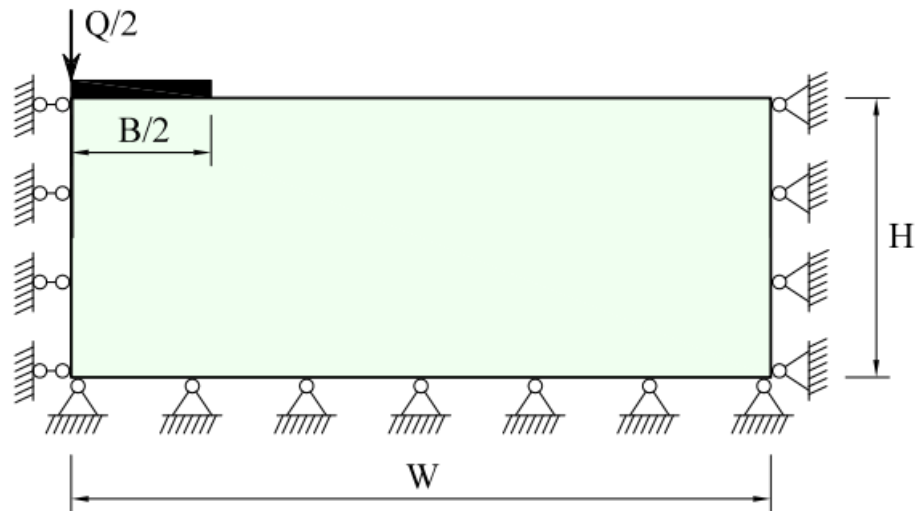
Actualmente con el avance de la tecnología informática; la aplicación del método de elementos finitos y de la automatización reduce el tiempo de cálculo y mejora la exactitud de los resultados.

Además, Le et al. (2021) afirman que los métodos de análisis de límites de elementos finitos han demostrado ser más eficientes y se han desarrollado rápidamente en los últimos años, y ahora permiten obtener soluciones de problemas prácticos a gran escala en ingeniería geotécnica. Tanto el enfoque de análisis de límites cinemático como el estático pueden proporcionar eficientemente factores de seguridad.

A continuación, se presenta en la figura 12, la asignación de apoyos de una zapata corrida considerando su geometría, dimensiones por medio del modelamiento por simulación computacional.

**Figura 12**

*Idealización de zapata corrida con apoyos articulados*

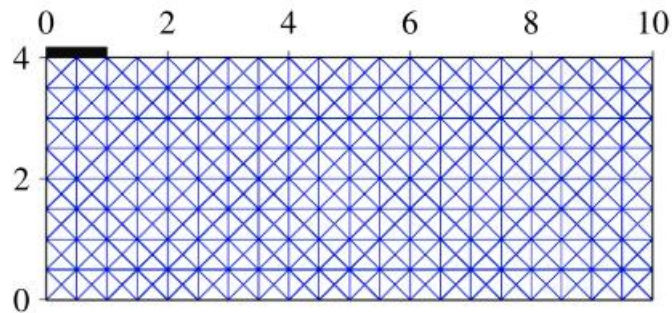
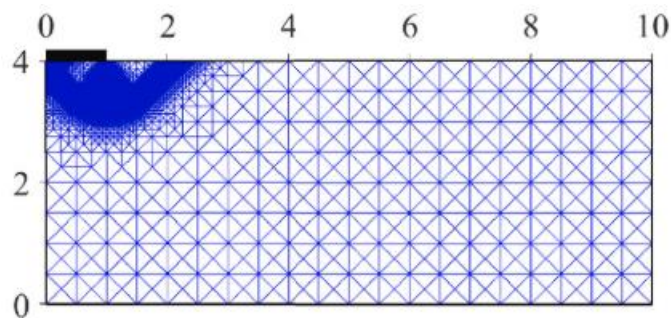


*Nota.* Tomado de Le et al. (2021).

Además, al construir elementos finitos basados en tensiones, se deben el equilibrio en las interfaces de los elementos y las relaciones entre la distribución de tensiones internas y la carga externa. Debido a estas condiciones adicionales, la construcción de elementos basados en tensión es a menudo más difícil que la de elementos basados en desplazamiento.

Un paso crítico de cualquier esquema de refinamiento de malla adaptativa es determinar qué áreas del dominio computacional se refinarán. Para problemas de análisis límite, en el estado límite, las tasas de deformación y los esfuerzos son grandes en las regiones plásticas, lo que permite evaluar el comportamiento del talud y el muro de contención (Kavitha et al., 2016).

Existen softwares computacionales geotécnicos como Slide, Geo5, Plaxis en complemento con SAP 2000, que permite simular el comportamiento del suelo con la estructura. Se presenta a continuación, la discretización del suelo, lo que permite revisar el comportamiento del suelo al soportar cargas.

**Figura 13***Discretización del suelo de fundación de la zapata**Nota.* Tomado de Kavitha et al. (2016).**Figura 14***Bulbo de esfuerzos en el suelo de fundación de la zapata**Nota.* Tomado de Kavitha et al. (2016).

Desai & Zaman (2014) afirman que antes de la llegada de la computadora, el análisis y diseño de problemas de ingeniería se basaban muy a menudo en consideraciones empíricas y en el uso de soluciones de forma cerrada de ecuaciones matemáticas simplificadas que gobiernan el comportamiento.

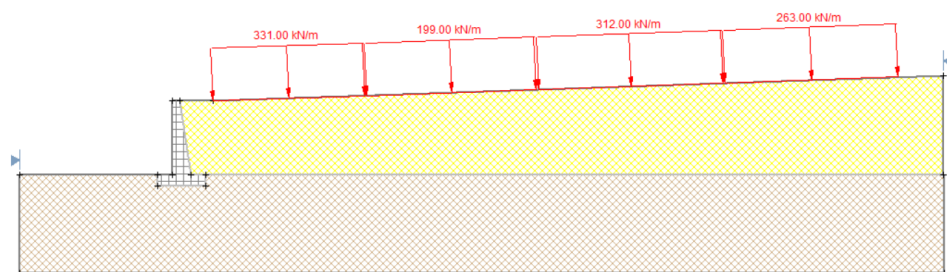
Sin embargo, estos métodos generalmente no eran capaces de tener en cuenta aspectos de comportamiento como la respuesta no lineal de los materiales y las interfaces, la geometría compleja y las cargas. Con el uso de la computadora para métodos como elementos finitos, se pueden tener en

cuenta muchos factores complejos, lo que no era posible con las soluciones empíricas y matemáticas de forma cerrada. Aunque las computadoras se pueden usar para soluciones de formato cerrado, se pueden usar mucho de manera más eficiente para la solución de problemas más realistas que involucran comportamiento no lineal, condiciones de contorno complejas, naturaleza no homogénea de sistemas materiales y condiciones de carga realistas.

Slide es un programa de estabilidad de taludes 2D para evaluar la estabilidad de superficies de falla circulares o no circulares en taludes de suelo o roca, es muy sencillo de utilizar y puede analizar modelos complejos de forma rápida y sencilla, alterando la carga externa, el agua subterránea y el soporte se pueden modelar de diversas maneras (Rocscience, 2008).

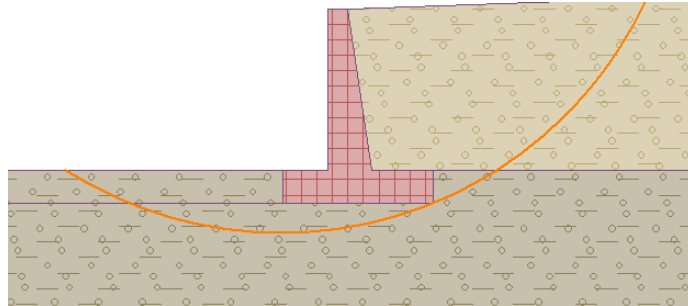
### Figura 15

*Estabilidad de taludes con SLIDE*

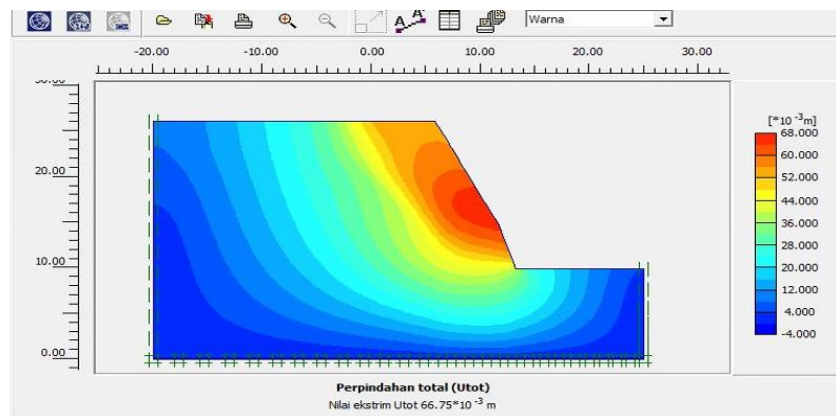


*Nota.* Tomado de Desai & Zaman (2014).

GEO5 es una herramienta muy útil para evaluar la estabilidad del talud de manera práctica, pudiendo optimizar el diseño del muro de contención; además, que se puede visualizar los empujes activos, pasivos, por sismo y factores de estabilidad del muro de contención.

**Figura 16***Estabilidad del muro de contención con GEO5*

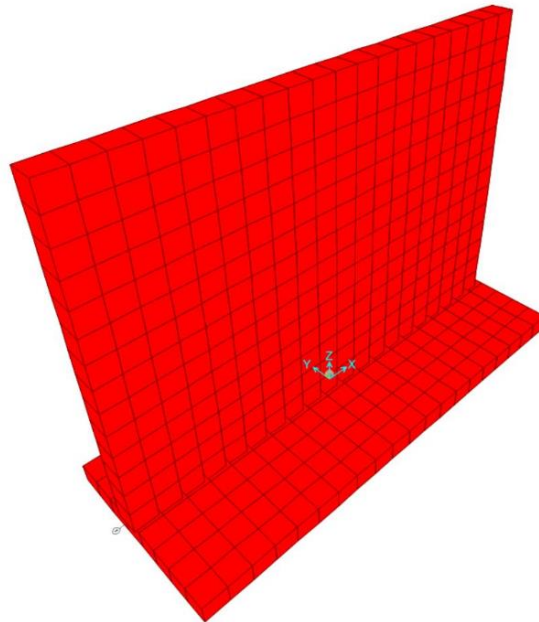
PLAXIS es un paquete de elementos finitos que ha sido desarrollado específicamente para el análisis de deformación y estabilidad en proyectos de ingeniería geotécnica. Los sencillos procedimientos de entrada gráficos permiten una generación rápida de modelos complejos de elementos finitos, y las funciones de salida mejoradas proporcionan una presentación detallada de los resultados computacionales y el cálculo en sí está totalmente automatizado y se basa en procedimientos numéricos sólidos (Toit et al., 2005).

**Figura 17***Intefaz de Plaxis 8.6*

SAP 2000 es un programa desarrollado por la empresa Computer and Structures, Inc., es una herramienta eficiente y rápido de usar sobre la base de una intuitiva interfaz gráfica para modelaje, análisis, que se basa en el método de elementos finitos; servirá para modelar los apoyos para simular la interacción suelo-estructura del muro de contención (Fung et al., 2003).

### **Figura 18**

*Modelamiento del muro de contención con SAP 2000*



## **2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS**

### **Propiedades geotécnicas del suelo**

Según Das (2012), las define como su distribución granulométrica, plasticidad, compresibilidad y resistencia cortante, se pueden evaluar mediante ensayo de laboratorio adecuadas; considerando ensayos que permiten la determinación in situ de las propiedades de resistencia y deformación del suelo, puesto que este proceso evita alterar las muestras durante la exploración de campo.

Actualmente, se han establecido métodos por medio de ensayos para determinar los parámetros del suelo con mejor precisión, ya sea por el uso de laboratorio y en el campo; además, se pueden extraer tablas referentes en base a estudios; por ejemplo: el módulo de elasticidad, el coeficiente de poisson que pueden determinarse en función del tipo de suelo; por ello, es necesario realizar una clasificación del suelo para poder inferir algunas propiedades.

### **Clasificación del suelo**

Coduto (1994) afirma que es necesario para realizar el diseño geotécnico o estructural se debe realizar una clasificación de suelos por lo que, se necesita un sistema para clasificar los suelos con fines de ingeniería.

Estos sistemas deben centrarse en las características que afectan su comportamiento de ingeniería y que muchos ingenieros han tratado de clasificar basados en la distribución granulométrica y límites de Atterberg (Tomlinson, 2001).

En base a ello se tiene al sistema de clasificación de suelos AASHTO, Shenbaga (2008) menciona que Terzaghi y Hogentogler desarrollaron uno de los primeros sistemas de clasificación de ingeniería en 1928; pero que estaba destinado específicamente para su uso en la construcción de carreteras, donde se clasifica los suelos según su idoneidad para soportar pavimentos de carreteras y continúa utilizándose ampliamente en este tipo de proyectos.

El sistema AASHTO utiliza tanto la distribución del tamaño de grano como Atterberg limita los datos a asignar una clasificación de grupo y un índice de grupo al suelo. La clasificación del grupo va desde A-1 (mejores suelos) hasta A-8 (peores suelos). Los valores del índice de grupo cercanos a 0 indican suelos buenos, mientras que los valores de 20 o más indican suelos muy pobres. Sin embargo, es importante recordar que un suelo que es "bueno" para su uso como subrasante de carreteras puede ser "muy pobre" para algún otro propósito.

Chowdhury & Dasgupta (2019) menciona que Arthur Casagrande desarrolló un nuevo sistema de clasificación de suelos de ingeniería para la Armada de los Estados Unidos durante la Segunda Guerra Mundial en 1948.



Desde entonces, se ha actualizado y ahora está estandarizado en ASTM D2487 como Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS). A diferencia del sistema AASHTO, el SUCS no se limita a ningún tipo particular de proyecto; debido a que es un sistema multiuso y se ha convertido en el sistema de clasificación de suelos más común entre los ingenieros geotécnicos actualmente. Donde se presenta en la tabla 2, la simbología en SUCS.

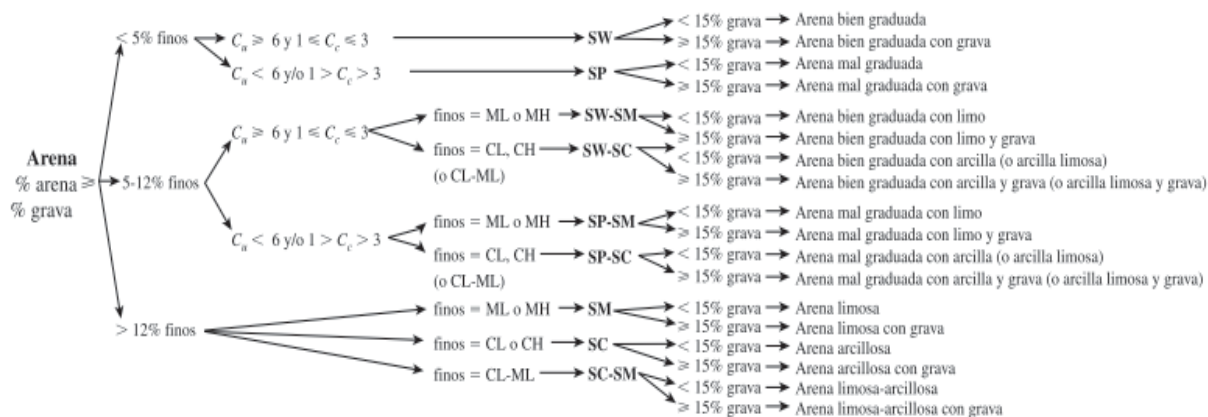
**Tabla 2**

*Clasificación del suelo según SUCS*

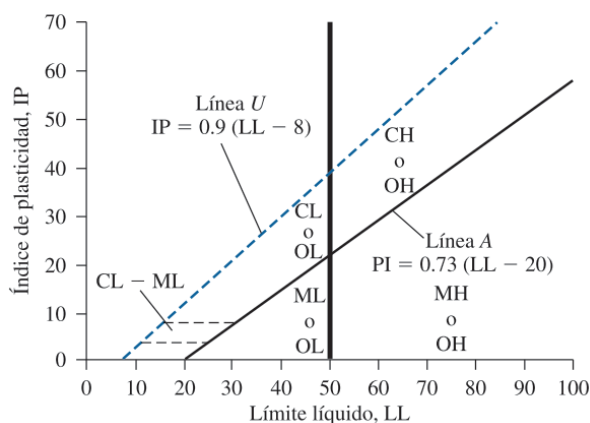
Símbolo	Descripción
G	Grava
S	Arena
M	Limo
C	Arcilla
O	Limos orgánicos y arcilla
Pt	Turba y suelos altamente orgánicos
H	Alta plasticidad
L	Baja plasticidad
W	Bien graduado
P	Mal graduado

*Nota.* Tomado de Chowdhury & Dasgupta (2019)

A continuación, se presenta en la figura 19, para clasificar la arena.

**Figura 19***Clasificación de la arena según SUCS*

Además, se tiene la gráfica de plasticidad en base a los límites de Atterberg presentada en la figura 20.

**Figura 20***Gráfica de plasticidad*

*Nota.* Tomado de Chowdhury & Dasgupta (2019)

### Peso específico

El peso unitario de muestras de suelo inalteradas se puede determinar por ensayos en el laboratorio; midiendo sus dimensiones físicas y pesándolas. Este método produce evaluaciones confiables para muchos suelos; sin embargo, se

ve afectado por la alteración de la muestra, especialmente en suelos arenosos y con grava (Coduto, 1994).

A continuación, se muestra la tabla 3, de valores aproximados de peso específico según la clasificación SUCS:

**Tabla 3**

*Relación de peso específico según el tipo de suelo*

Tipo de suelo (SUCS)	Peso específico seco (KN/m <sup>3</sup> )	Peso específico húmedo (KN/m <sup>3</sup> )
GP	17.5-20.5	19.5-22.0
GW	17.5-22.0	19.5-23.5
GM	16.0-20.5	19.5-22.0
GC	16.0-20.5	19.5-22.0
SP	15.0-19.5	19.0-21.0
SW	12.5-21.0	17.5-22.0
SM	13.5-20.5	17.5-21.0
SC	11.5-17.5	12.5-20.5
ML	11.5-17.5	11.5-20.5
CL	12.5-17.5	11.5-20.5
CH	12.5-17.5	11.0-19.5

*Nota.* Tomado de (Coduto, 1994).

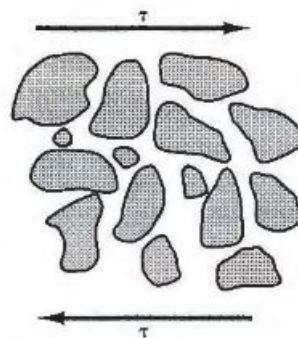
Según Desai & Zaman (2014) para la mayoría de los cálculos geotécnicos, el peso unitario es más útil que la densidad porque sirve para calcular las tensiones debidas al peso del suelo. Una excepción notable son los análisis dinámicos que deben considerar los efectos inerciales que se presentan mejor en términos de masa.

### Resistencia al corte del suelo

La resistencia al corte de los materiales de ingeniería comunes, como el acero, está controlada por su estructura molecular. La falla generalmente requiere romper los enlaces moleculares que mantienen unido el material y, por lo tanto, depende de la fuerza de estos enlaces. Por ejemplo, el acero tiene enlaces moleculares muy fuertes y, por lo tanto, tiene una alta resistencia al corte, mientras que el plástico tiene enlaces mucho más débiles y, en consecuencia, una resistencia al corte más baja.

### Figura 21

*Esquema del esfuerzo cortante en las partículas*



*Nota.* Tomado de Katzenbach et al. (2017)

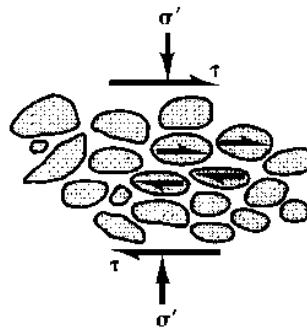
Sin embargo, según Katzenbach et al. (2017), los mecanismos físicos que controlan el corte producen la resistencia en el suelo es muy diferente. El suelo es un material particulado, por lo que, la falla por corte ocurre cuando las tensiones entre las partículas son tales que se deslizan o ruedan unas sobre otras. Aunque puede ocurrir alguna trituración de partículas, la resistencia al corte depende principalmente de las interacciones entre las partículas, no de su resistencia interna. Teniendo dos categorías amplias: fuerza de fricción y fuerza de cohesión friccional (W. Chen & Scawthorn, 2002).

La fuerza de fricción es la resistencia a la fricción en los suelos, de forma similar que la fricción por deslizamiento de la física básica. La fuerza

que resiste el deslizamiento es igual a la fuerza normal multiplicada por el coeficiente de fricción. (Coduto, 1994)

### Figura 22

*Esfuerzo de cortante interno de partículas del suelo*



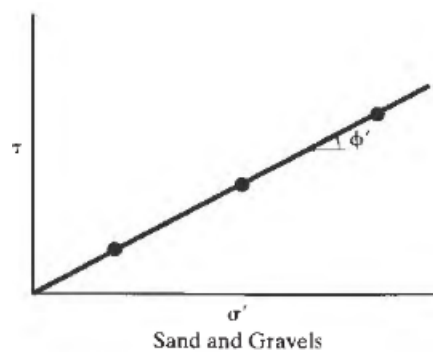
*Nota.* Tomado de Katzenbach et al. (2017)

### Resistencia cohesiva

Algunos suelos tienen resistencia al corte incluso cuando la tensión efectiva,  $\sigma'$ , es cero, o al menos parece ser cero. Esta fuerza se llama fuerza cohesiva y se la describe usando la variable  $c'$ , la cohesión efectiva. En la figura 23, se presenta la resistencia al corte en función del esfuerzo efectivo para arenas y gravas.

### Figura 23

*Gráfica de esfuerzo cortante vs esfuerzo normal de las arenas y gravas*



*Nota.* Tomado de (Coduto, 1994).

### Módulo de elasticidad del suelo

El módulo de elasticidad del suelo es un parámetro crucial en ingeniería geotécnica ya que se utiliza para analizar el movimiento del suelo y el asentamiento que tendría el suelo en un rango elástico; pudiéndose estimar por la teoría de la elasticidad considerando los términos de tensión principal y deformación principal bajo simetría axial (Chindaprasirt et al., 2022).

Respecto a la propiedad del módulo de elasticidad y relación de Poisson, se considerará la siguiente tabla:

**Tabla 4**

*Módulo de elasticidad y relación de Poisson según los tipos de suelo*

Tipo de suelo	Módulo de elasticidad (MN/m <sup>2</sup> )	Relación de Poisson, u
Arena suelta	10.35 – 24.15	0.20-0.40
Arena densa media	17.25 – 27.60	0.25-0.40
Arena densa	34.50 – 55.20	0.30-0.45
Arena limosa	10.35 – 17.25	0.20-0.40
Arena y grava	69.00 – 172.50	0.15-0.35
Arcilla suave	4.1 – 20.7	0.15-0.35
Arcilla media	20.7 – 41.4	0.20-0.45
Arcilla firme	41.4 – 96.6	0.20-0.45

Nota: Tomada de (Chowdhury & Dasgupta, 2009)

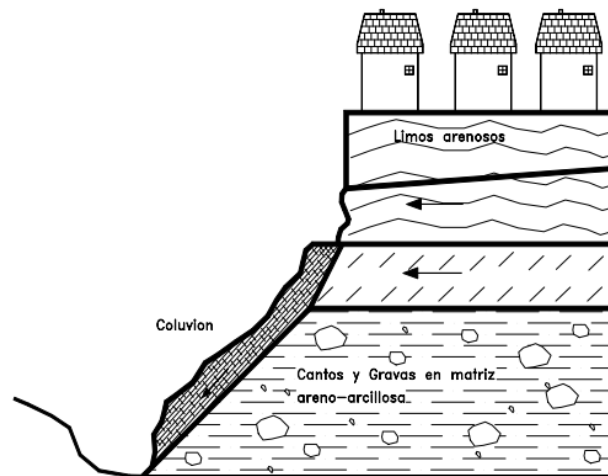
### Cargas de la edificación

Según Hu et al. (2023) son las cargas gravitacionales tanto vivas y permanentes que en estado estático esfuerzan a los elementos verticales y horizontales de los edificios, que toman el peso de los elementos estructurales y no estructurales y la sobrecarga.

Además, se tienen las cargas laterales como los producidos por efecto del viento y sismo; las cuales generan un comportamiento dinámico en la estructura. En base ello se de considerar los impactos del nivel de dispersión de cargas del edificio en su mejor precisión de pronóstico de carga, que influye en el desempeño sísmico o eólico del mismo (Suarez, 1998) .

### Figura 24

*Esquema de edificios en la parte superior del talud*



*Nota.* Tomado de Hu et al. (2023).

### Muro de contención

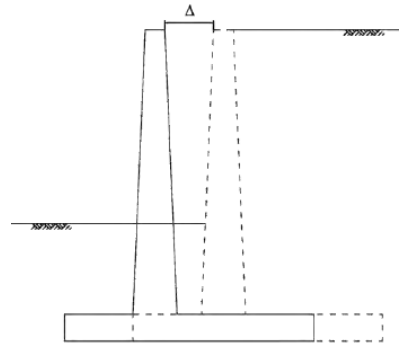
Estructura que sirve como soporte lateral a una masa de suelo y que depende de su estabilidad al deslizamiento y al volteo (Puyen, 2022).

Respecto a su estabilidad, esta depende de la distribución de la presión lateral del suelo. El diseño de muros de contención debe satisfacer tanto la estabilidad externa como la estabilidad interna.

La estabilidad externa incluye el deslizamiento, vuelco (excentricidad) y capacidad de carga. Para la estabilidad interna y externa se aprecia en la figura 25, el efecto por deslizamiento; el deslizamiento de la pared se debe simplemente a que el empuje lateral excede la resistencia lateral (X. Zhang et al., 2022).

### Figura 25

*Efecto de desplazamiento en el muro de contención*

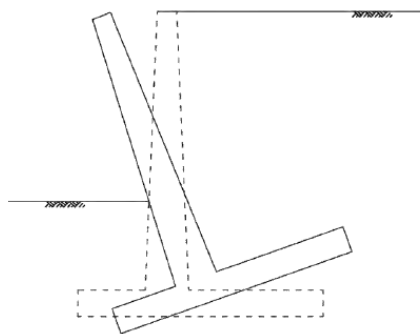


*Nota.* Tomado de Kavazanjian et al. (2011)

Las estructuras de contención pueden soportar cantidades sustanciales de desplazamiento deslizante a menos que sea sensible al desplazamiento con estructuras ubicadas dentro de la cuña sísmica activa. En la figura 26, se observa el efecto del vuelco del muro (Kavazanjian et al., 2011).

### Figura 26

*Efecto por volteo en el muro de contención*



*Nota.* Tomado de Kavazanjian et al. (2011)

La carga sísmica tiene un doble efecto sobre la presión lateral del suelo aplicada a la pared y la base del suelo de contención; el efecto puede generar momentos de flexión dentro de la pared, la punta y el talón de la base de la pared.



## CAPÍTULO III

### MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 HIPÓTESIS

##### 3.1.1. Hipótesis general

La interacción suelo-estructura influye directamente en el comportamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.

##### 3.1.2. Hipótesis específicas

- Las propiedades físico-mecánicas de los suelos de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024 se determinan en laboratorio.
- La interacción suelo-estructura influye directamente en el desplazamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.
- La interacción suelo-estructura influye directamente en el volteo estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.

#### 3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

##### 3.2.1. Identificación de la variable independiente

La variable independiente es: Interacción suelo-estructura. Esta variable se operacionaliza a través de sus dimensiones: Propiedades

físicas y propiedades mecánicas. Los indicadores correspondientes a cada dimensión, sus escalas y los rangos de medición pueden visualizarse en la Tabla 5 correspondiente a la operacionalización de variables.

### **3.2.2. Identificación de la variable dependiente**

La variable dependiente es: Comportamiento estructural del muro de contención. Esta variable se operacionaliza a través de sus dimensiones: Desplazamiento y volteo. Los indicadores correspondientes a cada dimensión, sus escalas y los rangos de medición pueden visualizarse en la Tabla 5 correspondiente a la operacionalización de variables.

**Tabla 5***Matriz de operacionalización de variables*

Variable	Definición de variables	Marco teórico operacional	Dimensión	Indicador	Unidad de medida	Escala de medición	Tipo de variable
<b>Variable independiente:</b> Interacción suelo-estructura	La interacción suelo – estructura es el análisis más completo para determinar el comportamiento real de la estructura ante la aplicación de cargas dinámicas en función de las condiciones geológicas y geotécnicas del sitio (Araca et al., 2020).	La interacción suelo estructura se operacionaliza mediante análisis previo de la acción suelo en la estructura del muro de contención, para luego, en conjunción con las estructuras de las edificaciones sobre el talud ver cómo influyen en el muro de contención.	Propiedades físicas	Granulometría	mm	Razón	Discreta
				Contenido de humedad	%	Razón	Discreta
				Límites de consistencia	Índice de plasticidad	Razón	Continua
			Propiedades mecánicas	Resistencia al corte	kgf/cm <sup>2</sup>	Razón	Continua
				Permeabilidad	mm/h – cm/s	Razón	Continua
				Capacidad de carga	kgf/cm <sup>2</sup>	Razón	Continua
<b>Variable dependiente:</b> Comportamiento estructural de muros de contención	Es el desempeño o respuesta que tienen los muros de contención que son una parte importante de la infraestructura que contiene cargas generadas por empuje del suelo considerando deslizamiento y volteo (Tiwari & Lam, 2021).	El comportamiento estructural en muros de contención se operacionaliza para ver la influencia de la interacción suelo estructura, sobre el muro de contención para evaluar si influye en su desplazamiento, volteo o fisuramiento.	Desplazamiento	Factor de seguridad al desplazamiento o	Coeficiente de desplazamiento	Razón	Continua
			Volteo	Factor de seguridad al volteo	Coeficiente de volteo	Razón	Continua

### **3.3 TIPO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es básica, debido a que se pretende producir conocimiento complementario o deducir teorías (Hernández Sampieri et al., 2014, p.4).

#### **Enfoque de investigación**

El enfoque de investigación es cuantitativo, porque según Hernández Sampieri et al. (2014) se utiliza la recolección de datos para probar la hipótesis con base en la medición numérica considerando el análisis para establecer las pautas del comportamiento teórico (p.4).

### **3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación es explicativo, porque describe, relaciona y determinará la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención, Hernández Sampieri et al. (2014, p.95) indican que están dirigidos a explicar por qué ocurre un fenómeno o por qué se relacionan dos variables.

### **3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El diseño es no experimental porque según Hernández Sampieri et al.(2014) no se manipulará de manera intencional una variable sino que se investigará lo existente (p.126).

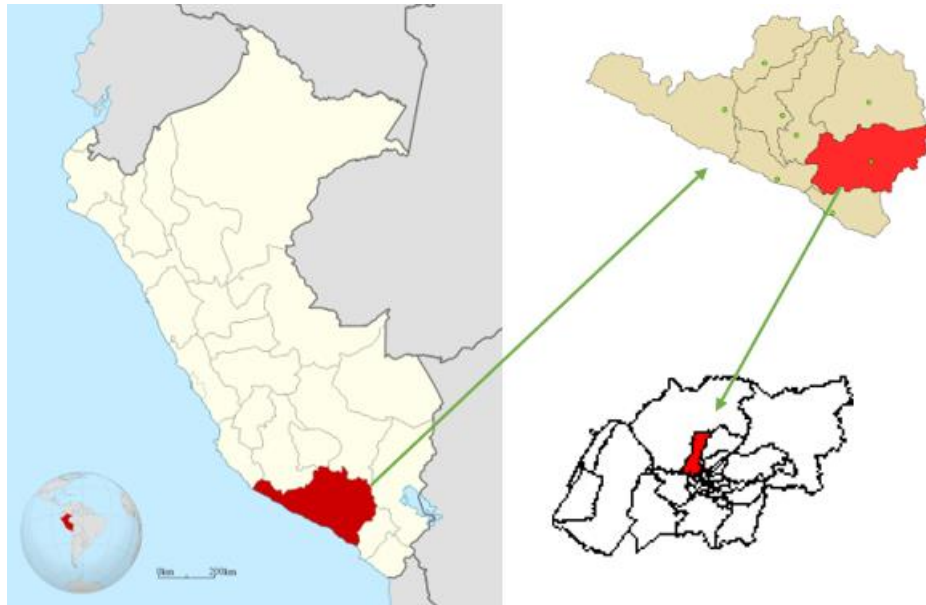
### **3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN**

El ámbito en la investigación corresponderá a la zona donde se ubica el muro de contención que se encuentra el sector Challapampa ubicado en el distrito de Cerro Colorado, provincia y departamento de Arequipa con coordenadas 16°23'22.5"S y 71°33'43.2"O.

El tiempo social, este estudio se desarrollará en el período de marzo - junio de 2024.

**Figura 27**

*Ubicación geográfica del sector de estudio*



### 3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA

#### 3.7.1. Unidad de estudio

La unidad de estudio es el muro de contención donde se evaluará su comportamiento estructural debido a que se someterá a cargas provenientes de las edificaciones y analizar el efecto que tendrá cuando se asume la interacción suelo-estructura en el muro; en función del desplazamiento, volteo; en todos los casos bajo sollicitación sísmica.

#### 3.7.2. Población

Hernández Sampieri et al. (2014, p.174) define a la población como el conjunto de todos los casos que concuerdan con determinadas especificaciones.

En este estudio se considerará como población identificada 50 metros lineales del muro de contención de la margen derecha de la calle las Dalias en el sector de Challapampa.

### 3.7.3. Muestra

Hernández Sampieri et al. (2014, p.173) indican que la muestra es un subgrupo de la población de interés del universo sobre el cual se recolectarán datos con precisión, además de que debe ser representativo de la población.

La muestra se ha definido como no probabilística por conveniencia, siendo 50 metros lineales de diseño, la muestra es igual a la población por tratarse de determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en todo el muro de contención. El muestreo se hace en un metro lineal de diseño de muro de contención sometido a la simulación virtual.

## 3.8 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

### 3.8.1. Procedimiento

Para el procedimiento de recolección de datos se dividieron en las siguientes etapas:

**Extracción de muestras de campo:** Para determinar las propiedades del suelo contenido se realizaron cuatros puntos de exploración para extraer muestras inalteradas; para determinar la ubicación de los puntos se tomó en cuenta dos aspectos: la accesibilidad a los puntos de extracción y la posición del muro; por lo tanto; se ubicaron dos puntos C-1 y C-3 en la parte superior del talud con posición cercana a las edificaciones y las otras dos C-2 y C-4, en la zona inferior del talud; de tal manera que se pueda tener información del suelo tanto del retenido como el de fundación. A continuación, se presenta la ubicación de las calicatas en la figura 28 y las coordenadas UTM en la tabla 6.

**Figura 28***Ubicación de las calicatas*

*Nota.* Se presenta el área de estudio donde se resalta la ubicación de las calicatas y la zona donde se ubican los edificios.

**Tabla 6***Coordenada UTM de las calicatas*

Calicata	Coordenada	Coordenada	Profundidad
	Norte	Este	
C-1	8186137	226366	3.00 m
C-2	8186129	226345	3.00 m
C-3	8186195	226352	3.00 m
C-4	8186182	226339	3.00 m

**Procesamiento de los resultados de los ensayos de muestras:** En esta etapa se realizaron los diferentes ensayos en laboratorio de las muestras extraídas en campo; aplicando la normativa ASTM; obteniendo diferentes valores que deberán procesarse por medio de fórmulas

indicadas en la norma, de tal manera, que se pueda clasificar y se determine las propiedades físicas y mecánicas de todas las muestras.

**Simulación virtual:** En esta fase, con las propiedades del suelo contenido, de fundación; y con las dimensiones del muro; se procedió a modelar el muro de contención con el suelo; simulando diferentes casos; considerando la estabilidad del talud con sollicitación sísmica; otros con las cargas provenientes de los edificios; y el caso cinemático del suelo; de tal manera, que se pueda comparar los factores de seguridad de deslizamiento y de volteo; para la simulación se requirió los softwares Slide, GEO5, Plaxis y SAP 2000 para comparar los desplazamientos y giros del muro producto de la interacción suelo-estructura.

**Análisis de los resultados:** Todos los resultados obtenidos de las simulaciones se compararon y se procesaron por medio de hojas de cálculo con Microsoft Excel, donde se representará por medio de gráficas y resultados adjuntos en tablas para una mejor interpretación de resultados; en conjunto de un procesador de textos para la presentación de los datos.

### 3.8.2. Técnicas

Las técnicas de recolección de datos empleadas en la presente investigación son:

**Técnica de campo:** En campo se necesitaron realizar calicatas, la cual consiste en explorar el terreno por medio de perforación para la toma de muestras. Para este estudio se realizarán cuatro calicatas a cielo abierto de 3.00 m de profundidad distanciadas en 30 m entre ellas; por lo que se pudo apreciar el perfil estratigráfico de la zona, de tal manera que se pueda cubrir el área de influencia del suelo que se tomará en esta investigación. Considerando tres testigos por calicata y como unidad de



análisis será un testigo de 40 kg inalterado y dos testigos alterados por calicata.

**Documental:** Consiste en la búsqueda de información complementaria, la cual servirá para inferir algunos datos, especialmente algunas propiedades del suelo; que ya están caracterizadas por diferentes investigadores; además, de algunos parámetros sísmicos que están especificados en la norma E.030 y AASTHO como el coeficiente sísmico que se podrá determinar por medio del perfil del suelo; para ello se requerirá la búsqueda de tablas de fuente normativo y teórico.

**Observación:** Se requiere de la observación para realizar la caracterización de los suelos por medio de los ensayos requeridos revisando que se estén realizando correctamente y la revisión de los resultados de las simulaciones.

**Laboratorio de materiales:** Permitieron realizar los ensayos para determinar las propiedades de los suelos, es necesario realizar correctamente los procedimientos según la normativa; cabe indicar que todos los resultados de los ensayos deben ser anotados para ser procesados y de esta manera, se pueda determinar las propiedades de las diferentes muestras de suelo.

**Simulación virtual:** Los diferentes softwares permitieron realizar numerosas simulaciones, pudiendo proponer diferentes combinaciones, lo que permitiría revisar cómo y en qué influyen en el comportamiento del muro de contención; por medio de simulaciones virtuales del comportamiento del suelo y estructural del muro utilizando diferentes métodos que permitiría, además, reducir el tiempo de análisis y revisar el comportamiento gráfico de la estructura optimizado por el método de elementos finitos.

### 3.8.3. Instrumentos

Los instrumentos que se aplicaron en la investigación son:

**Protocolo de extracción de testigos:** Se requirió tener un protocolo para la correcta extracción de las muestras de estudio; se tomaron muestras inalteradas por medio de la muestra inalterada en bloque (Mib) por medio de la normativa NTP 339.151; para ello se realizó un corte del terreno del lado lateral de la calicata considerando un cubo de 30 x 30 cm; se selló con capas de parafinas para resguardar la muestra. Para el caso de las muestras alteradas, se basó en la misma norma ya mencionada; se utilizaron recipientes herméticamente cerrados (Mah), los cuales fueron protegidos para remitirlos al laboratorio para la ejecución de los ensayos.

**Ficha de observación de campo:** Sirvió para revisar de manera visual-manual del suelo bajo la norma ASTM D-2488 y NTP 339.150 describiendo e identificando el suelo por medio del registro de excavación.

**Tabla 7***Ficha de registro de excavación*

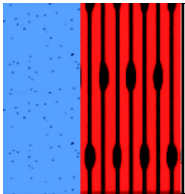
Profundidad (m)	Gráfico	Descripción del suelo	Clasificación SUCS	N° Muestra
0.00 0.50 1.00 1.50 2.00 2.50 3.00		Material de arena de grano fino a medio limosa,	Arena bien gradada con limo, grava y bloques SW/SM	M-4

Foto de Campo:



**Análisis documental:** Se utilizaron fichas documentales durante la revisión de literatura obtenida de los artículos científicos, tesis de posgrado, libros y normas para seleccionar información bibliográfica que servirá como fuente de información teórica y que servirá para realizar la discusión de resultados. A continuación, se presenta en la tabla 8, una ficha documental.

**Tabla 8***Ficha de la recolección de la revisión de literatura*

Item	Descripción
Título de la investigación	Assessment of SSI interaction effects for deep walls and adjacent buildings considering spatial variability of parameters, post-peak behavior and concrete cracking
Autor	Comodromos, Emilios M.
Año	2021
Objetivo general	Analizar totalmente acoplado de un muro con múltiples apuntalamientos de una estación subterránea con una losa de soporte en el fondo de la excavación.
Finalidad	Comprender el comportamiento no lineal del suelo en los efectos de agrietamiento del muro de contención
Metodología	Se realizaron simulaciones considerando 5 tipos de suelo, con propiedades con diferentes valores; se utilizó el software Plaxis.
Resultado	Los análisis del estado límite de servicio considerando la interacción suelo-estructura con respecto a la respuesta del muro, la distribución del momento flector a lo largo del muro y el campo de desplazamiento en el suelo circundante y los edificios adyacentes.
Conclusión	Influyó en el factor de desplazamiento en una reducción del 12% y generaron fisuras mínimas de 3 a 4 mm.
DOI	10.1016/j.tust.2021.104112
URL	<a href="https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104112">https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104112</a>

**Ficha de laboratorio de materiales:** Por medio de fichas donde se anotaron los resultados de los ensayos del suelo para determinar por medio de la normativa las propiedades del suelo, las fichas están colocadas en el anexo de esta investigación.

**Equipos de laboratorio utilizados:** Para ensayar las muestras se requirieron de diferentes equipos para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, dichos equipos deben estar calibrados, los cuales se adjuntan los certificados de calibración en el anexo.

**Paquetes informáticos de simulación virtual:** Para la simulación se requerirán diferentes softwares geotécnicos, los cuales realizarán el análisis en base al método de elementos finitos como Slide, GEO5, SAP 2000 y Plaxis.

## CAPÍTULO IV

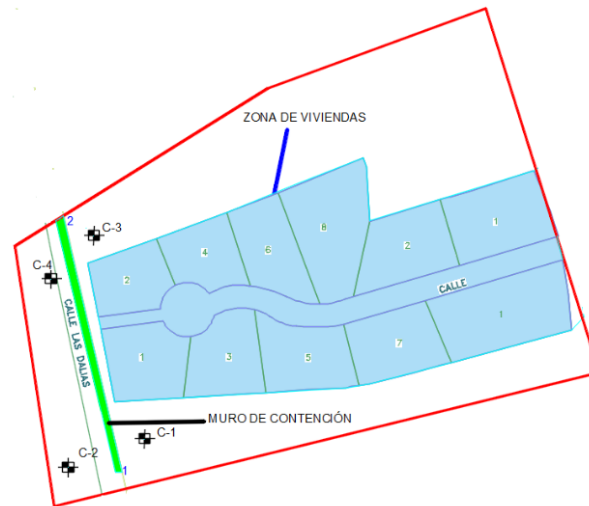
### RESULTADOS

#### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

##### 4.1.1. Extracción de muestras de campo

Para el presente estudio se requirió determinar las propiedades del suelo; por lo tanto, se extrajeron muestras; para ello, se usó la técnica de la calicata donde se extrajeron las muestras alteradas e inalteradas; es por ello, que se hicieron cuatro calicatas en la zona del sector de Challapampa a cielo abierto ubicadas estratégicamente, para la ubicación de las calicatas se tomó en cuenta dos aspectos: la accesibilidad a la zona para extraer las muestras y la necesidad de extraer información del suelo contenido y de fundación; por lo que, dos calicatas se ubicaron en la parte superior y dos en la zona inferior del talud en ambos extremos del muro de tal manera que se logre cubrir razonablemente el área a investigar.

En la figura 29 se aprecia la ubicación de las calicatas, el muro (resaltado de verde), zona de edificios (celeste) y el polígono cerrado de color rojo que representa el área de estudio y la tabla 9, se tienen las coordenadas UTM WGS84 de las calicatas y del muro.

**Figura 29***Zona de estudio***Tabla 9***Coordenadas UTM de los elementos de la zona de estudio*

Elemento	Nomenclatura	Norte	Este	Altitud
Calicata	C-1	8186137	226366	2353
Calicata	C-2	8186129	226345	2349
Calicata	C-3	8186195	226352	2354
Calicata	C-4	8186182	226339	2349
Muro - Punto	1	8186184	226396	2349
Muro - Punto	2	8186197	226345	2349

### Accesibilidad a la zona de estudio

Está ubicado a 800 m aproximadamente del establecimiento comercial Promart, tomando como referencia la av. Rímac, ubicado en el distrito de Cerro Colorado, provincia de Arequipa, departamento de Arequipa. En la figura 30 se presenta el área resaltada en celeste, la cual representa Promart y el camino en rojo donde se presente el camino a la zona de estudio resaltado en amarillo.

**Figura 30**

*Accesibilidad desde Promart a la zona de estudio*



**Figura 31**

*Exploración por calicata*

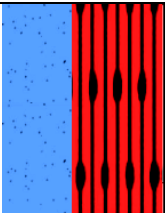




Respecto a las dimensiones de las calicatas fueron aproximadamente de 2.00 x 2.50 x 3.00 m cada calicata; obteniendo el siguiente perfil estratigráfico mostrado en la tabla 10.

**Tabla 10**

*Estratigrafía de la muestra de la calicata N°04*

Prof.	Gráfico	Estrato	Clasificación		Límites de Atterberg	Humedad natural	Descripción
			AASHTO	SUCS			
3.00 m		E-01	Fragmentos de roca, grava y arena A-1n	Arena bien gradada con limo, grava y bloques SW/SM	La muestra no tiene plasticidad.	3.20 %	Arena bien gradada con limo, grava y bloques

Se preservó y transportaron las muestras en contenedores sellados y herméticos; de tal manera que se aseguró contra la rotura y pérdida de humedad de las muestras; las inalteradas se las protegió con tela de yute y cera; colocadas en cajas de embarque; para las alteradas, se utilizaron bolsas herméticas; colocadas en sacos; luego se llevaron las muestras al laboratorio; todo según lo indicado en la NTP 339.151.

**Figura 32**

*Muestras en laboratorio*



*Nota.* Recojo de muestras alteradas del suelo de estudio.

#### **4.1.2. Pruebas de laboratorio**

Se efectuaron los siguientes ensayos estándar de laboratorio, siguiendo las normas establecidas por la American Society for Testing Materials (ASTM) y la NTP mencionada en la E.050 respecto a Suelos del Reglamento Nacional de Edificaciones.

##### **Análisis Granulométrico por Tamizado (ASTM-D-422 / NTP 339.128)**

Este ensayo consistió en pasar una muestra de suelo seco a través de una serie de mallas de dimensiones estandarizadas a fin de determinar las proporciones relativas de los diversos tamaños de las partículas.

##### **Contenido de Humedad (ASTM-D-2216 / NTP 339.127)**

Es un ensayo que sirvió para determinar la cantidad de agua presente en una cantidad dada de suelo en términos de su peso en seco.

##### **Límites de Consistencia (NTP 339.129)**

Estos ensayos sirvieron para expresar cuantitativamente el efecto de la variación del contenido de humedad en las características de plasticidad de un suelo cohesivo. Los ensayos se efectúan en la fracción de muestra de suelo que pasa la malla N°4. La obtención de los límites líquido y plástico de una muestra de suelo permiten determinar un tercer parámetro que es el índice de plasticidad.

##### **Ensayo corte directo (ASTM D-3080 / NTP 339.171)**

Se obtuvo parámetros del suelo y la relación esfuerzo-deformación a través de la determinación del esfuerzo cortante, los parámetros de resistencia ( $\phi$  y  $c$ ) de un suelo.

**Figura 33***Ensayo de corte directo*

*Nota.* Medición de la deformación en el dial en el ensayo de corte directo

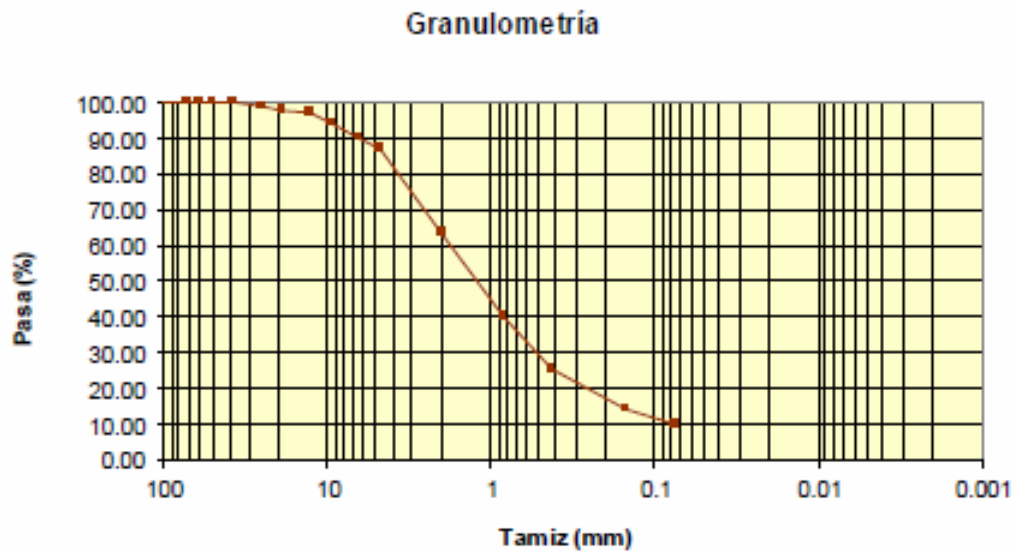
**4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS****4.2.1. Propiedades físicas:****a) Granulometría**

Se tiene el análisis granulométrico por tamizado según ASTM D422 clasificando como arena bien gradada con limo según el Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS).

A continuación, se tiene el análisis granulométrico de la calicata muestra N°04.

**Figura 34**

*Granulometría del suelo extraído de la calicata N°04*



Al tener este tipo de suelo, significa que se tiene un suelo con graduación continua de tamaños de las partículas del mismo; lo que podría indicar que se puede tener un comportamiento casi uniforme del mismo. Además, al ser arena indicaría que no se tendría que calcular los límites líquido y plástico.

**Tabla 11**

*Características del suelo extraído de la calicata N°04*

Características	Valor
Pasa tamiz N°04 (5mm)	87.00 %
Pasa tamiz N° 200 (0.080 mm)	10.00 %
D60:	1.84 mm
D30:	0.56 mm
D10 (diámetro efectivo)	0.07 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	24.88
Grado de curvatura (Cc):	2.31

### b) Contenido de humedad

Se considera a esta propiedad como la humedad de suelo a la cantidad total de agua que hay en los poros del suelo; para ello se considerarán las normas MTC E-108 y ASTM D-2216 para determinar esta propiedad obtenida de la muestra de la calicata N°04; teniendo un valor de 3.20 % del contenido humedad.

**Tabla 12**

*Contenido de humedad de la muestra de la calicata N°04*

Descripción	1	2
Peso de la tara (gr)	150.00	150.00
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1187.68	1185.89
Peso de la tara + muestra seca	1155.60	1153.70
Peso del agua contenida (gr)	32.08	32.19
Peso de la muestra seca (gr)	1005.60	1003.70
Contenido de Humedad (%)	3.19	3.21
Contenido de Humedad Promedio (%)	3.20	

Al tener un valor de 3.20 % se tendría un suelo con menos presencia de líquido en los poros del suelo; por lo que, se podría tener un comportamiento uniforme del suelo, debido a su baja humedad.

### c) Peso específico de la muestra

Para obtener el peso específico de la muestra se realiza el método del Proctor modificado, según la norma ASTM D1557. En la tabla 12 se presentan el resultado del ensayo.

**Tabla 13***Peso específico de la muestra*

Determinación	N°	1	2	3
Peso suelo húmedo + molde	Gr	10300	10438	10465
Peso del molde	gr.	6442	6442	6442
Peso del suelo húmedo	gr/cc	3858	3966	4023
Densidad del suelo húmedo	gr/cc	1.754	1.803	1.829
Cápsula	N°	5	6	7
Suelo húmedo + Tara	gr.	1000.00	1000.00	1000.00
Peso del suelo seco + tara	gr.	965.00	965.00	930.00
Peso del agua	gr.	35.00	45.00	70.00
Peso de la tara	gr.	0.00	0.00	0.00
Peso del suelo seco	gr.	965.00	965.00	930.00
Humedad	%	3.63%	4.71%	7.53%
Densidad del suelo seco	gr/cc	1.69	1.72	1.70

El resultado del peso específico de la muestra de la calicata N°01 es 1.71 grf/cm<sup>3</sup>; lo que serviría para determinar el empuje del suelo contenido.

**d) Cuadro resumen de todas las propiedades físicas**

**Tabla 14**

*Resumen de las propiedades físicas del suelo*

<b>Calicata N°</b>	<b>Clasificación del suelo (SUCS)</b>	<b>Humedad</b>	<b>Peso específico</b>	<b>Índice de plasticidad</b>
01	Arena bien gradada con limo	2.60 %	1.73	NP
02	Arena bien gradada con limo	2.80 %	1.72	NP
03	Arena bien gradada con limo	3.00 %	1.74	NP
04	Arena bien gradada con limo	3.20 %	1.71	NP

Se observa que el suelo tanto el contenido por el muro como el suelo en la zona inferior del talud; tienen valores muy similares en su clasificación, humedad, peso específico e índice de plasticidad.

**4.2.2. Propiedades mecánicas:**

**a) Ángulo de fricción y cohesión**

Para ello se determinaron dos parámetros fundamentales como el ángulo de fricción cuya propiedad del material granular está relacionado al ángulo de reposo o máximo ángulo probable para la pendiente de un conjunto que podría influir en la resistencia interna de la arena frente a las deformaciones y deslizamientos.

El segundo parámetro es la cohesión, la cual es la atracción entre partículas debido a las fuerzas internas moleculares.

Para el cálculo de estas propiedades, se realizará el ensayo de corte directo según la ASTM D-3080.

Es por ello, que se requieren los esfuerzos normal y cortante de las muestras ensayadas, a continuación, se presentan los resultados colocados en la tabla 15.

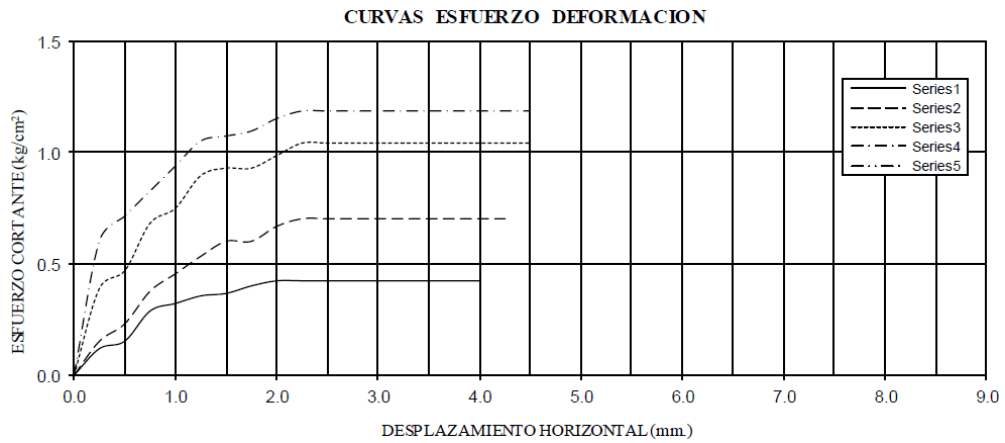
**Tabla 15**

*Esfuerzos normal y cortante*

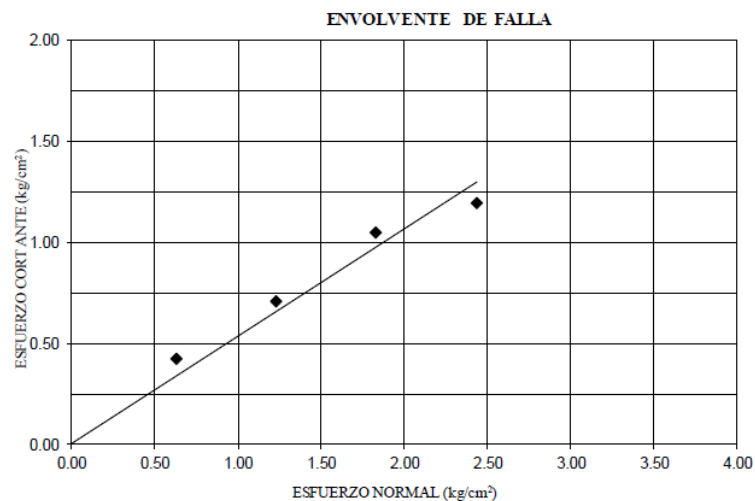
Tangencial d (mm)	S (kgf/cm <sup>2</sup> ) 0.630	S (kgf/cm <sup>2</sup> ) 1.232	S (kgf/cm <sup>2</sup> ) 1.833	S (kgf/cm <sup>2</sup> ) 2.434
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.12	0.15	0.39	0.60
0.50	0.15	0.23	0.47	0.72
0.75	0.29	0.38	0.68	0.83
1.00	0.32	0.46	0.75	0.94
1.25	0.36	0.54	0.90	1.05
1.50	0.37	0.60	0.93	1.08
1.75	0.40	0.60	0.93	1.10
2.00	0.42	0.67	0.99	1.16
2.25	0.42	0.71	1.04	1.19
2.50	0.42	0.71	1.04	1.19
2.75	0.42	0.71	1.04	1.19
3.00	0.42	0.71	1.04	1.19

En la figura 35 se presentan las curvas de esfuerzo-deformación para determinar el esfuerzo cortante para el cálculo de la cohesión y ángulo de fricción.



**Figura 35***Curvas Esfuerzo-Deformación*

A continuación, se presentan la gráfica del ensayo de corte directo:

**Figura 36***Envolvente de falla*

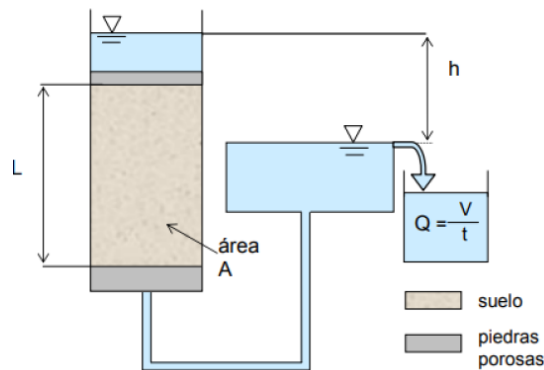
Se aprecia que no tiene cohesión debido a que se tiene un suelo tipo granular y por ello, tiende a no tener cohesión por lo tanto no existirá la unión débil de los gránulos del suelo. Para el caso del ángulo de fricción de la muestra de la calicata N°04 se tiene un valor de  $28^\circ$ .

### b) Permeabilidad

La permeabilidad es la propiedad que se asocia a la capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna. Para ello, se requiere de un permeámetro, además, el procedimiento consiste en mantener un nivel de carga constante, regulando el flujo de agua en el permeámetro para que la diferencia entre la entrada y salida del agua se mantenga estable.

**Figura 37**

*Esquema de permeámetro*



Considerando:

L: 30 cm

A: 78.54 cm<sup>2</sup>

h: 21cm

V: 2356.2 cm<sup>3</sup>

T: 60482 s

i: 0.7

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{2356.2}{60482}$$

$$Q = 0.03896 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Calculando la permeabilidad:

$$k = \frac{V}{t * i * A} = \frac{Q}{i * A} = \frac{0.03896}{21 * 78.54}$$

$$k = 0.0007086 \text{ cm/s}$$

La permeabilidad del suelo de la muestra de la calicata N°04 es 0.0007086 cm/s; corresponde a un suelo cuya capacidad lenta de drenar el fluido.

### c) Capacidad de carga

Es necesario determinar la capacidad de carga debido a que se debe identificar el esfuerzo que se aplica a un suelo para producir una falla en el subsuelo por resistencia al esfuerzo cortante.

Considerando para zapatas:

$c$ : 0 kgf/cm<sup>2</sup>

Angulo de fricción: 25.80°

Peso específico: 0.00165 kgf/cm<sup>3</sup>

Factor de seguridad: 3, Densidad relativa: 90

$N_c$ : 21.94,  $N_q$ : 11.60,  $N_\gamma$ : 10.25

$$q_{ult} = (1.3 * c * N_c) + (\gamma * D_f * N_q) + (0.4 * \gamma * B * N_\gamma)$$

$$q_{ult}: 4.51 \frac{kgf}{cm^2}$$

Se tendrá una capacidad última de 4.51 kgf/cm<sup>2</sup>, para la cimentación del muro considerando zapatas de diferentes anchos, se tendrá las siguientes cargas portantes; considerando el factor de seguridad.

**Tabla 16**

*Capacidad portante a diferentes anchos de cimentación*

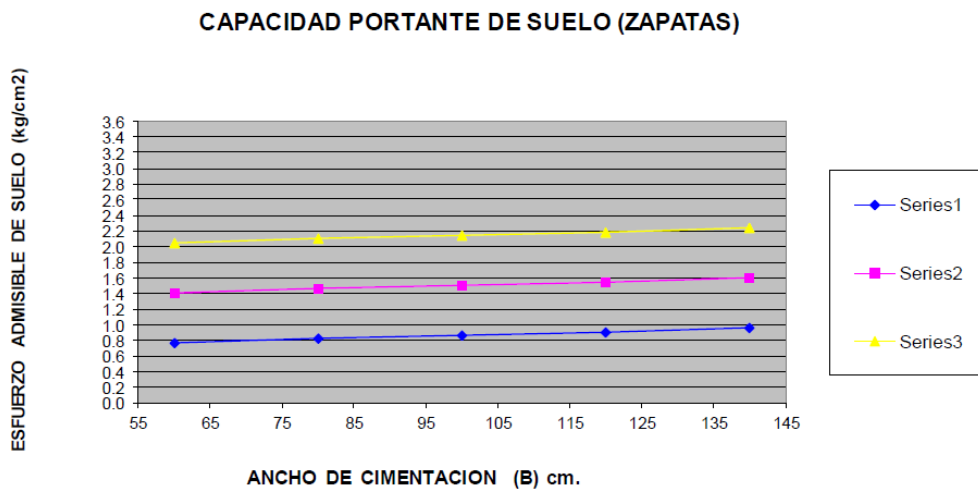
Ancho (cm)	Profundidad de cimentación (Df)		
	1 m	2 m	3 m
B	1 m	2 m	3 m
60	0.77	1.41	2.05
80	0.82	1.46	2.10
100	0.86	1.50	2.14
120	0.91	1.55	2.19
140	0.95	1.59	2.23

*Nota.* Tomado del estudio de mecánica de suelos adjunto a este estudio.

A continuación, se presentan la capacidad portante de suelo, teniendo un valor de  $1.50 \text{ kgf/cm}^2$  respecto al suelo de fundación.

**Figura 38**

*Capacidad portante del suelo para zapatas*



**d) Cuadro resumen de todas las propiedades mecánicas**

Se presentan los resultados de las propiedades mecánicas, donde se observan que los valores corresponden a un suelo arenoso con limos.

**Tabla 17**

*Resumen de las propiedades mecánicas*

Calicata N°	Ángulo de fricción (°)	Cohesión (kgf/cm <sup>2</sup> )	Permeabilidad (cm/s)	Capacidad portante (kgf/cm <sup>2</sup> )
01	26°	0	0.0006112	1.30
02	25°	0	0.0005784	1.20
03	27°	0	0.0007196	1.40
04	28°	0	0.0007086	1.50

*Nota.* Se presentan las propiedades mecánicas del suelo, las cuales tienen valores parecidos.

### 4.2.3. Revisión del muro de contención

#### a) Descripción del muro de contención

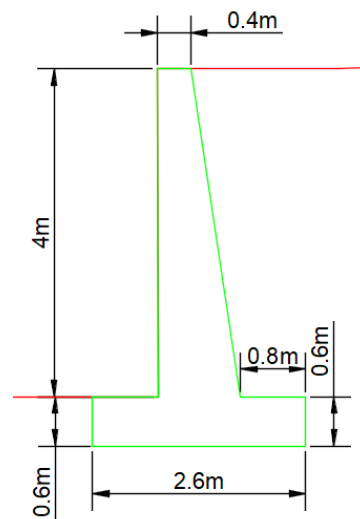
Para el siguiente caso se tendrán diferentes cargas que pueden afectar el comportamiento estructural del muro de contención; por lo tanto, se analizarán las cargas provenientes del suelo contenido considerando el empuje activo, empuje pasivo y por acciones sísmicas a lo que se denominarán método convencional.

Además, se adicionarán las cargas que se generarían las cargas de las edificaciones que se encuentran en la zona superior del talud y se revisarán la influencia de la interacción suelo- estructura tanto de las cargas de la edificación como la del muro de contención.

Considerando la sección del muro en voladizo, cuyo  $f'c$  es  $280 \text{ kgf/cm}^2$ , se muestra en la figura 39.

**Figura 39**

*Dimensiones del muro de contención*



Para el suelo contenido se asignarán las propiedades determinadas en la calicata C-1 y para el suelo de fundación se considerarán las propiedades de la calicata C-4.

## b) Análisis del muro de contención

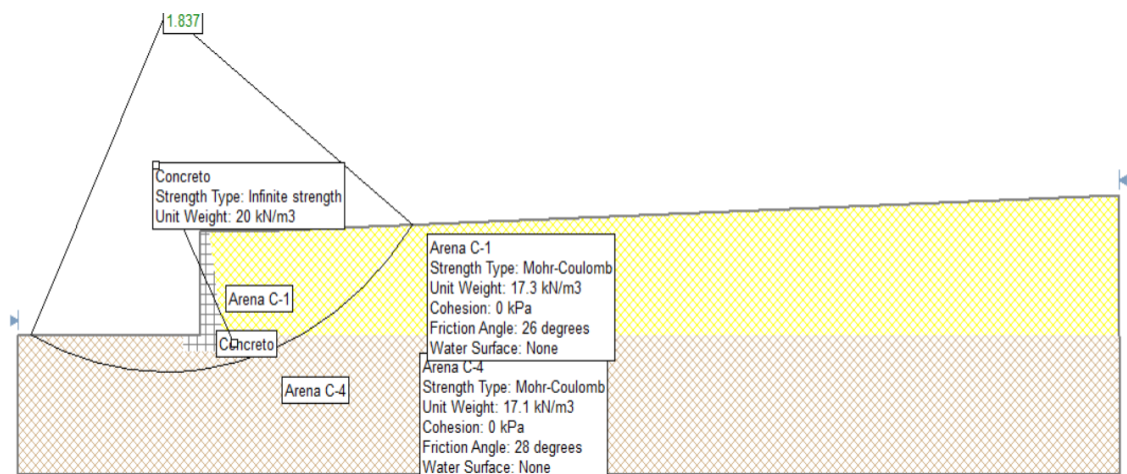
### b.1) Caso del muro de contención sometido al suelo contenido sin considerar las cargas provenientes por la edificación:

- Estabilidad del talud con el muro de contención con Slide

Primero, se determinarán la estabilidad del muro sin cargas de los edificios con el software Slide, a continuación, se presenta en la figura 40.

**Figura 40**

*Modelamiento del muro en SLIDE*

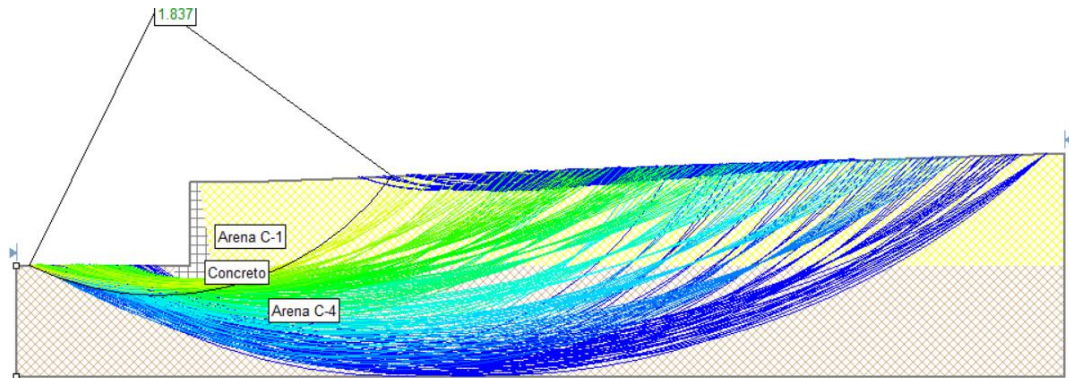


Se observa que el factor de seguridad del talud es 1.837 siendo mayor al permisible de 1.50 en consideraciones estáticas; por lo que, se determina que es estable.

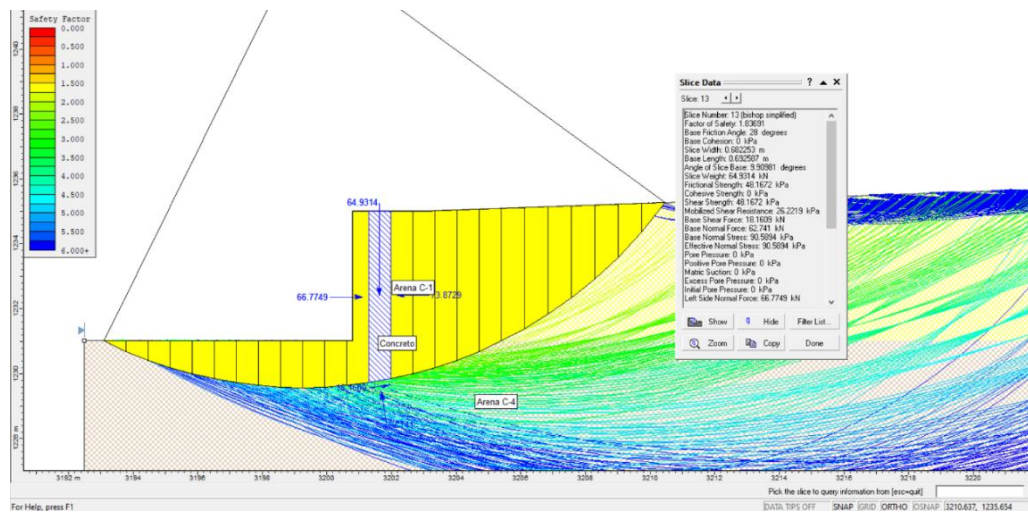
A continuación, se presenta las líneas de factores de seguridad mayores a 1.50 por el método de Bishop.

**Figura 41**

*Representación de las líneas de los factores de seguridad con SLIDE*

**Figura 42**

*Representación de las fajas de talud por SLIDE*



- Estabilidad del talud con el muro de contención con Slide considerando el sismo:

Para la inclusión del sismo en la simulación se deberá considerar a los coeficientes sísmico horizontal y vertical; se considerará lo propuesto por FHWA, tal como indicó Kavazanjian et al. (2011) la cual es útil para todo tipo de taludes; además, que considera el posible valor

máximo del coeficiente sísmico  $k_{max}$ , el cual se calcula con la siguiente expresión:

$$k_{max} = F_{pga} * PGA$$

Donde:

PGA: coeficiente de aceleración según la zonificación de la E.030

$F_{pga}$ : factor de sitio por del PGA propuesto por AASHTO descrito por Kavazanjian et al. (2011)

A continuación, se presenta la tabla del factor de sitio  $F_{pga}$  en función del PGA.

**Tabla 18**

*Factor de sitio  $F_{pga}$  en función del PGA*

Clase de sitio	Coeficiente aceleración pico del terreno (PGA)					
	PGA <	PGA =	PGA =	PGA =	PGA =	PGA >
	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
C	1.3	1.2	1.1	1.0	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
E	2.4	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1
F	*	*	*	*	*	

*Nota.* Tomado de Kavazanjian et al. (2011)

Según la Tabla 1 que trata sobre las clases según el perfil del suelo; el cual para la presente investigación será de tipo C.

Por lo tanto, según la zonificación de la ubicación de la zona de estudio, se tiene un valor de Z de 0.35g para la zona 3 según la norma E.030 Diseño Sismo resistente (2018). Para el caso del  $F_{pga}$  este será según la tabla A y para el tipo de suelo C, un valor de 1.0.



Por ello,  $k_{max}$  será:

$$k_{max} = 1.0 * 0.35 g = 0.35 g$$

Se considera que la aceleración a considerar en esta investigación según el FHWA se puede reducir logrando obtener una aceleración pico promedio ( $K_{av}$ ).

$$K_{av} = \alpha * k_{max}$$

Respecto al cálculo de  $\alpha$ , éste viene a ser un factor de reducción de la altura del talud y se puede calcular con la siguiente expresión:

$$\alpha = 1 + 0.01 * H * (0.5 * \beta - 1)$$

Donde:

$\beta$ : Función de la forma de la respuesta espectral de la aceleración

H: altura del talud en pies

$$\beta = Fv * \frac{S1}{k_{max}}$$

Además:

Fv: Es el factor de sitio de AASHTO para la aceleración espectral a 1 segundo

S1: Aceleración espectral a 1 segundo, teniendo un valor de 1.

**Tabla 19**

*Fv para la aceleración espectral a 1*

Clase de sitio	Coeficiente factor de sitio Fv en período de 1 s					
	S1 ≤ 0.1	S1 = 0.2	S1 = 0.3	S1 = 0.4	S1 = 0.5	S1 ≥ 0.6
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
C	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.4
D	2.4	2.2	2.0	1.9	1.17	1.17
E	4.2	3.2	2.8	2.4	2.4	2.4
F	*	*	*	*	*	*

Nota: Para \* se debe llevar a cabo investigaciones geotécnicas del sitio.

En este caso se tendrá un suelo tipo C y un valor de 1 para S1, por lo tanto, se tendrá un valor de Fv de 1.3.

Con estos datos, se calcula B:

$$\beta = S1 * \frac{Fv}{kmax}$$

$$\beta = 0.3g * \frac{1.5}{0.35g}$$

Considerando una altura de 4 metros convertido a pies será 13.123 pies

$$\alpha = 1 + 0.1 * H * (0.5 * \beta - 1)$$

$$\alpha = 1 + 0.1 * 13.123 * \left( 0.5 * 0.3g * \frac{1.5}{0.35g} - 1 \right)$$

$$\alpha = 0.437$$

Por lo tanto, se tendrá el coeficiente sísmico horizontal:

$$Kav = \alpha * kmax$$

$$Kav = 0.437 * 0.35 g$$

$$Kav = 0.15 g$$

Para el caso del coeficiente sísmico vertical, según la E.030 se puede considerar como los 2/3 del coeficiente sísmico horizontal, por ello:

$$Kah = \frac{2}{3} Kav$$

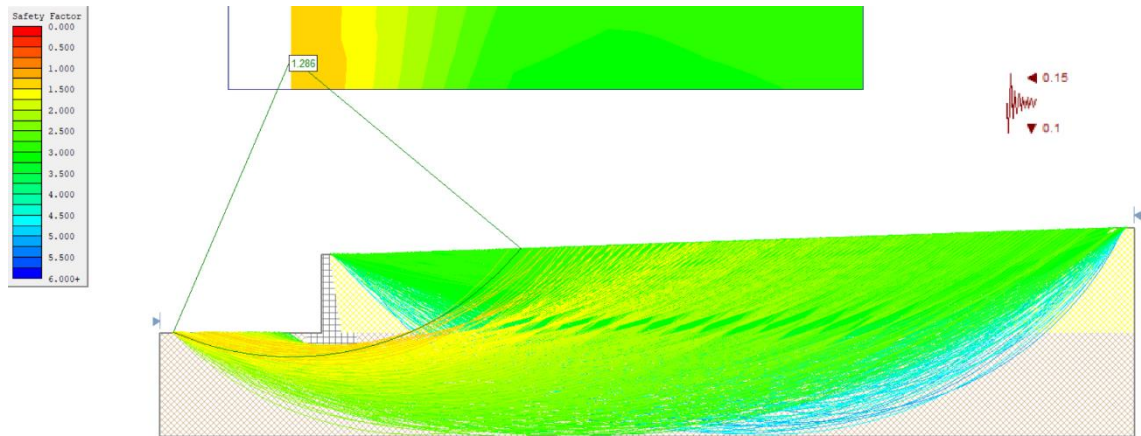
$$Kav = \frac{2}{3} * 0.15 g$$

$$Kav = 0.10 g$$

A continuación, se presenta la figura 43, donde se colocaron en el modelo de Slide los coeficientes sísmico horizontal y vertical calculado anteriormente, el cual muestra el factor de seguridad del talud considerando el sismo, obteniendo un factor de 1.286; siendo mayor a 1.25 según lo indicado en la E.050; por lo que, se tiene estabilidad.

**Figura 43**

*Factor de seguridad considerando el sismo en SLIDE*

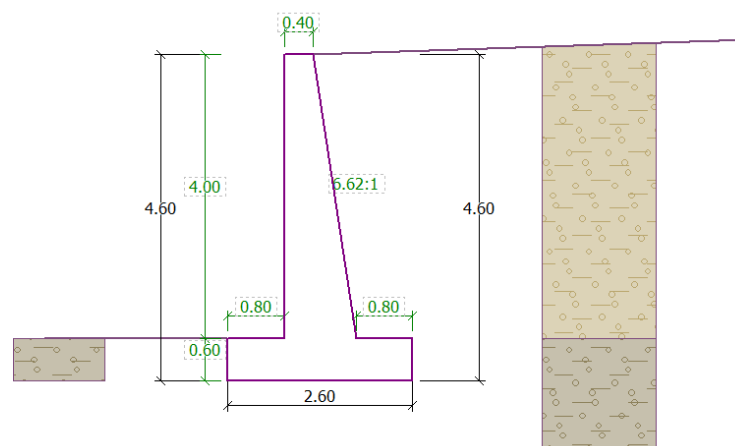


- Estabilidad del talud con el muro de contención con GEO5 considerando el sismo:

A continuación, se presenta en la figura 44 las dimensiones del muro de contención con los estratos de suelo contenido en 2D como en 3D en la figura 45 y de fundación considerando el mismo tipo que se realizó en SLIDE.

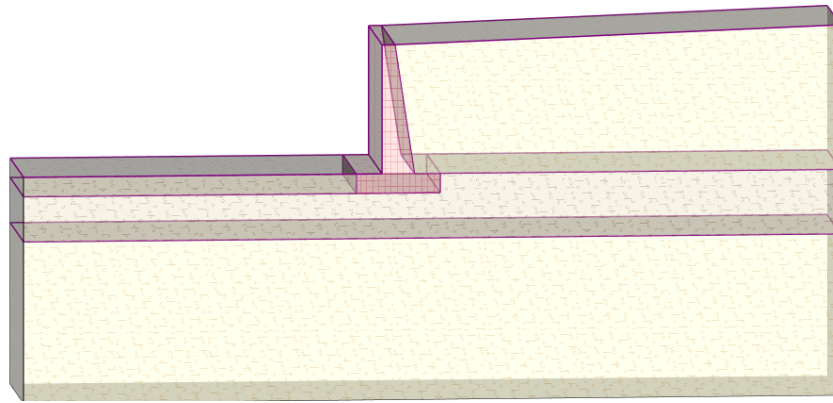
**Figura 44**

*Modelamiento del muro de contención en GEO5*



**Figura 45**

*Modelamiento 3D del muro de contención en GEO5*



De la misma manera, se analiza el talud con el muro de contención; donde se determinó un Factor de seguridad (F.S) de 1.68, siendo mayor al valor de 1.50, el cual según la E.050 es el mínimo para cargas estáticas, por el método de Bishop. En la figura 46 se tiene la falla del talud con el muro.

Verificación de la estabilidad del talud con Bishop

Sumatoria de fuerzas activas:  $F_a = 199.20 \text{ kN/m}$

Sumatoria de fuerzas pasivas:  $F_p = 334.75 \text{ kN/m}$

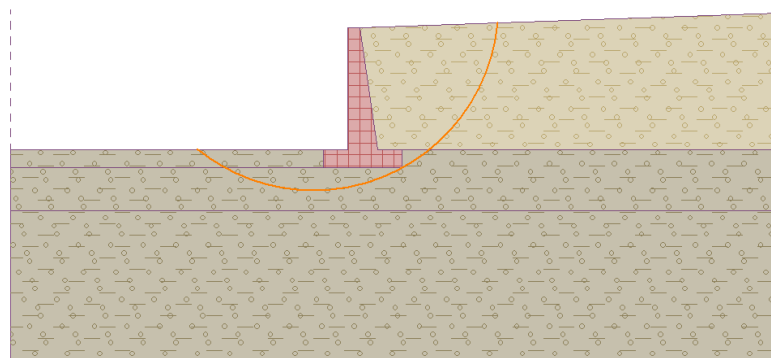
Momento actuante:  $M_a = 1543.80 \text{ kN.m/m}$

Momento resistente:  $M_p = 2594.30 \text{ kN.m/m}$

F.S. = 1.68

**Figura 46**

*Falla del muro con GEO5*



- Factor de deslizamiento del muro de contención con GEO5 sin considerar el sismo:

Considerando las cargas actuantes del peso y de los empujes activos y pasivos que se presentan a continuación con GEO5 en la tabla 20 .

**Tabla 20**

*Resultados de los empujes en GEO5*

Fuerza	Fx (kN/m)	Fz (kN/m)	Punto de aplicación	
			x (m)	Z(m)
Peso del muro	0	151.21	1.68	-1.52
Resistencia	15.16	0	0	-0.27
Peso de la tierra	0	126.04	2.8	-2.93
Presión activa	-78.54	2.75	3.70	-1.65

Revisión de la estabilidad de deslizamiento:

$$F.S. \text{ deslizamiento} = \frac{\text{Fuerza resistente}}{\text{Fuerza activa}}$$

$$F.S. \text{ deslizamiento} = \frac{95.11}{63.38}$$

$$F.S. \text{ deslizamiento} = 1.50$$

- Factor de volteo del muro de contención con GEO5 sin considerar el sismo:

Con ello, se verifica la estabilidad del muro por volteo:

$$F.S. \text{ volteo} = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento activo}}$$

$$F.S. \text{ volteo} = \frac{616.69 \text{ kNm/m}}{125.84 \text{ kNm/m}}$$

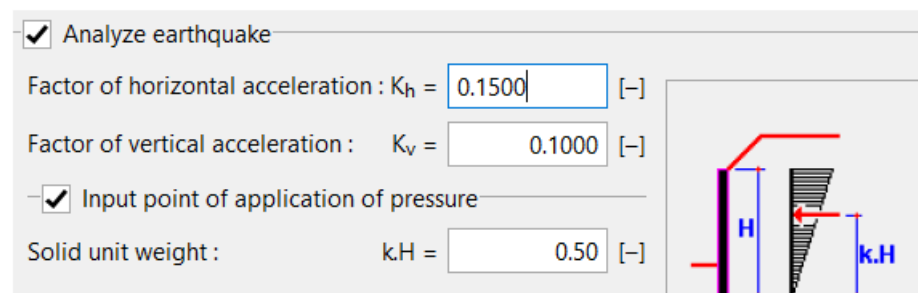
$$F.S. \text{ volteo} = 4.90$$

Se tiene un valor mayor a 1.50, lo que significa que es estable al volteo.

- Factor de seguridad del talud con GEO5 considerando el sismo:  
Se analiza el talud con el muro de contención; donde se determinó un Factor de seguridad (F.S) de 1.27, siendo mayor al valor de 1.25, el cual según la E.050 es el mínimo para cargas con sismo, las cuales serán las mismas que se colocaron en SLIDE calculado previamente, por el método de Bishop. En la figura 47 se tiene la falla del talud con el muro.

### Figura 47

*Colocación de los coeficientes sísmicos horizontal y vertical en GEO5*



Verificación de la estabilidad del talud con Bishop

Sumatoria de fuerzas activas:  $F_a = 313.46 \text{ kN/m}$

Sumatoria de fuerzas pasivas:  $F_p = 398.61 \text{ kN/m}$

Momento actuante:  $M_a = 3473.19 \text{ kN.m/m}$

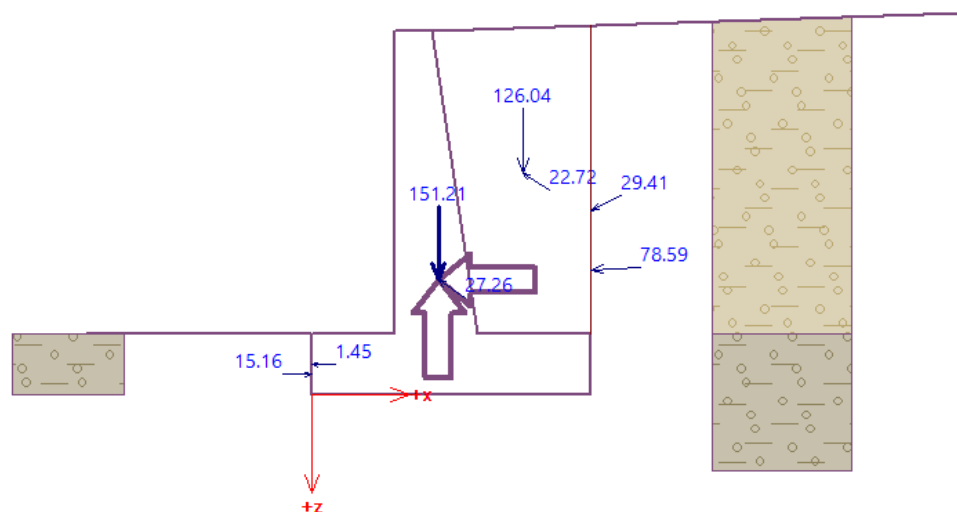
Momento resistente:  $M_p = 4416.56 \text{ kN.m/m}$

F.S. = 1.27

Considerando las cargas actuantes del peso y de los empujes activos y pasivos que se presentan a continuación con GEO5 en la tabla 21 y en la figura 48.

**Tabla 21***Resumen de las cargas con GEO5*

Fuerza	Fx	Fz	Punto de aplicación	
	(kN/m)	(kN/m)	x (m)	Z(m)
Weight - wall	0.00	151.21	1.68	-1.52
Earthq.- constr.	-22.68	-15.12	1.68	-1.52
FF resistance	15.16	0.00	0.00	-0.27
Earthq.- face	-1.45	0.00	0.00	-0.40
Weight - earth wedge	0.00	126.04	2.80	-2.93
Earthquake - soil wedge	-18.91	-12.60	2.80	-2.93
Active pressure	-78.54	2.75	3.70	-1.65
Earthq.- act.pressure	-26.55	12.65	3.70	-2.44

**Figura 48***Representación de empujes en el muro de contención con GEO5*

- Factor por deslizamiento del muro de contención con GEO5 considerando el sismo:

$$F.S. \text{ deslizamiento} = \frac{\text{Fuerza resistente}}{\text{Fuerza activa}}$$

$$F.S. \text{ deslizamiento} = \frac{139.99}{132.97}$$

$$F.S. \text{ deslizamiento} = 1.05$$

Se tiene un valor menor a 1.25, lo que significa que es inestable por deslizamiento.

- Factor por volteo del muro de contención con GEO5 considerando el sismo:

Con ello, se verifica la estabilidad del muro por volteo:

$$F.S. \text{ volteo} = \frac{\text{Momento resistente}}{\text{Momento activo}}$$

$$F.S. \text{ volteo} = \frac{602.89 \text{ kNm/m}}{280.96 \text{ kNm/m}}$$

$$F.S. \text{ volteo} = 2.15$$

Se tiene un valor mayor a 1.25, lo que significa que es estable al volteo.

- Factor de seguridad del talud con Plaxis 8.6. considerando el sismo:

Se modeló el muro de contención en Plaxis considerando las siguientes propiedades tanto del suelo como el concreto, las cuales están adjuntas en la siguiente tabla:



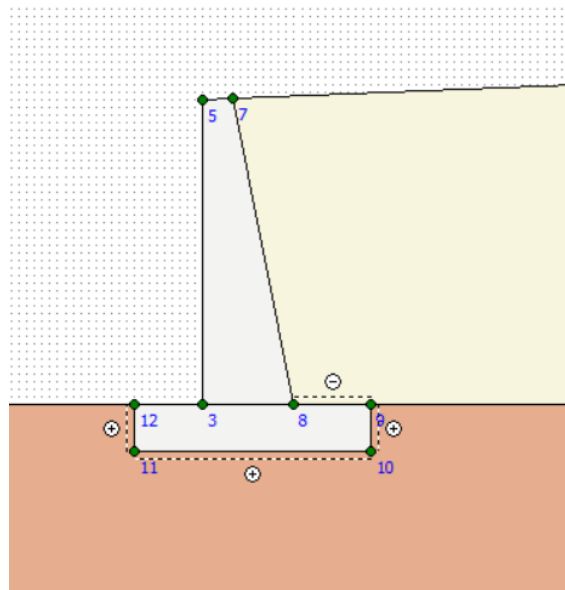
**Tabla 22***Propiedades de los suelos para el ingreso en Plaxis 8.6*

Parámetro	Arena C-1	Arena C-4	Concreto 280	Unidad
Tipo de comportamiento del material (Type).	Drenado	Drenado	No poroso Lineal elástico	-
Unidad de peso del suelo por encima del nivel freático ( $\gamma_{sat}$ )	17.50	17.40	24	KN/m <sup>3</sup>
Unidad de peso del suelo por encima del nivel freático ( $\gamma_{sat}$ )	17.30	17.10	-	KN/m <sup>3</sup>
Permeabilidad horizontal (kx)	0.528	0.612	-	m/día
Permeabilidad vertical (ky)	0.528	0.612	-	m/día
Módulo de Young (Eref.)	20000	20000	24614495.37	KN/m <sup>2</sup>
Relacion de Poisson (v)	0.3	0.3	0.15	-
Cohesión (c <sub>ref</sub> )	0	0	-	KN/m <sup>2</sup>
Ángulo de fricción ( $\phi$ )	26	28	-	°
Ángulo de dilatancia ( $\Psi$ )	0	0	-	°
Factor de reducción de la interfaz (R <sub>inter</sub> )	-	-	rígido	-

A continuación, se muestra el muro de contención modelado en Plaxis considerando los diferentes estratos en base a lo modelado en Slide y GEO5.

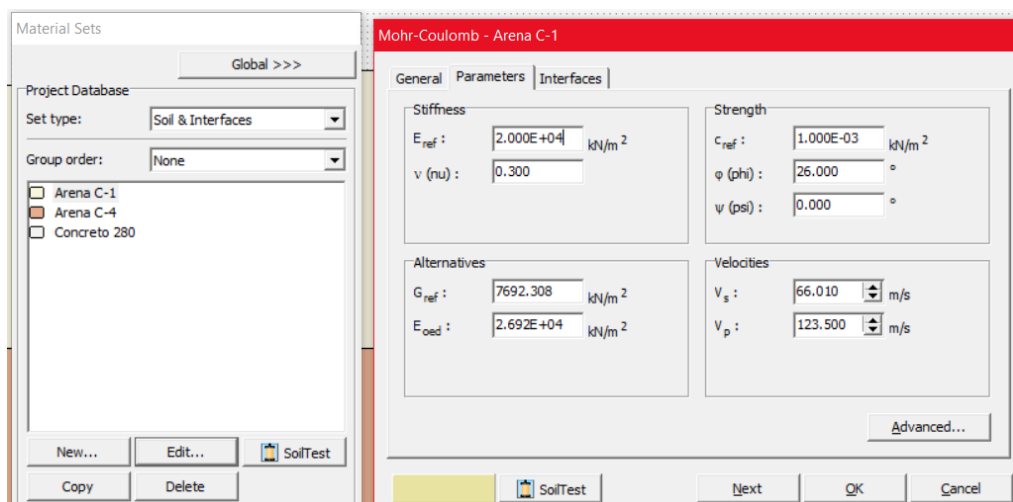
**Figura 49**

*Modelamiento del muro de contención con Plaxis 8.6*



**Figura 50**

*Asignación de propiedades de los suelos en Plaxis 8.6*



Se observa en la figura 51 el ingreso de la permeabilidad y peso específico saturado y seco de los suelos.

### Figura 51

*Ingreso de la permeabilidad y peso específico de los suelos en Plaxis 8.6*

Se observa en la figura 52 el ingreso del sismo en ambas direcciones.

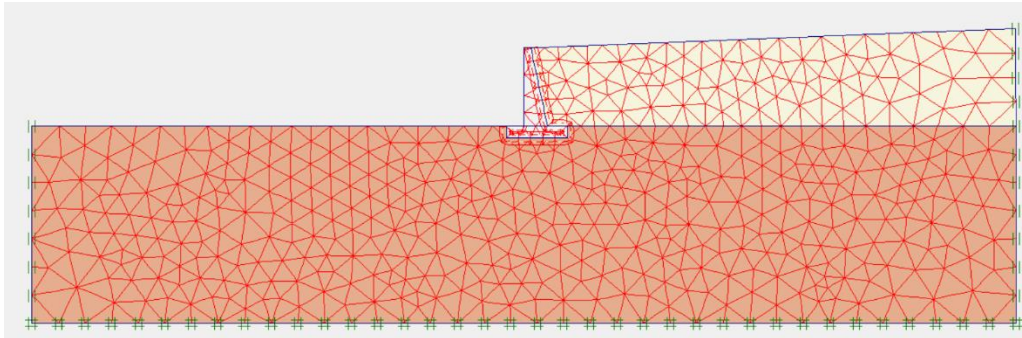
### Figura 52

*Ingreso de la aceleración horizontal y vertical en función de la aceleración de la gravedad en Plaxis 8.6*

Se realiza la discretización para el análisis con el método de elementos finitos, la cual se visualiza en la figura 53.

### Figura 53

*Discretización del muro de contención con Plaxis 8.6*



En la figura 54 se asigna las fases para revisar el comportamiento y estabilidad del muro por las cargas ingresadas en Plaxis.

### Figura 54

*Asignación de las fases en Plaxis 8.6*

General | Parameters | Multipliers | Preview

Phase  
 Number / ID.: 3 <Phase 3>  
 Start from phase: 0 - Initial phase

Calculation type  
 Dynamic analysis  
 Advanced

Log info

Comments

Parameters

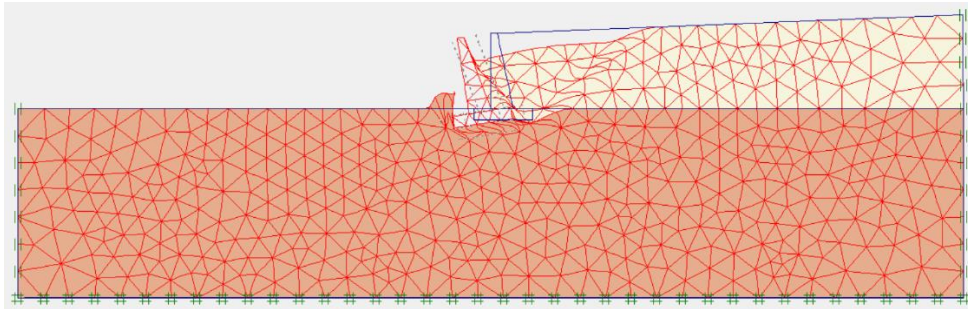
Next Insert Delete...

Identification	Phase no.	Start from	Calculation	Loading input	Time	Water	First
Initial phase	0	N/A	N/A	N/A	0.00 ...	0	0
→ <Phase 2>	2	0	Phi/c reduction	Incremental multipliers	0.00 ...	0	
→ <Phase 3>	3	0	Dynamic analysis	Total multipliers	0.50 s	0	

En la figura 55 se considera también la discretización del muro cuando falla por las cargas ingresadas en Plaxis.

### Figura 55

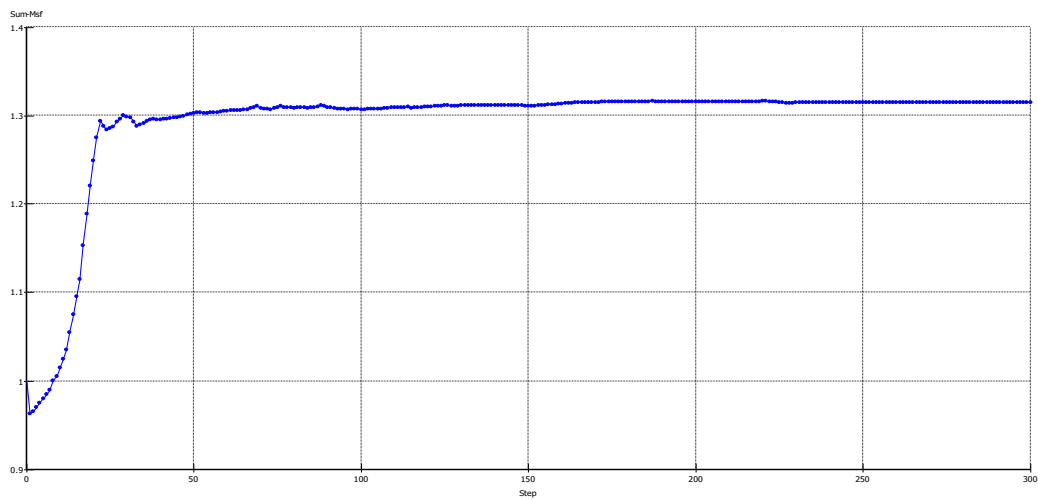
*Falla del muro de contención en Plaxis 8.6*



Se observa la curva del factor de seguridad en la figura 56, donde se tiene un valor de 1.32 tanto para el factor de deslizamiento como volteo; superando el valor mínimo de 1.25.

### Figura 56

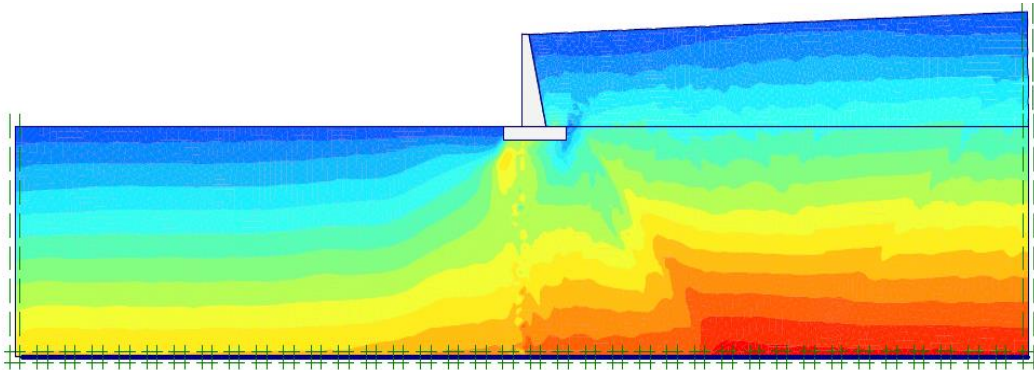
*Factor de seguridad del muro de contención con Plaxis 8.6*



Se observa el bulbo de esfuerzos en la figura 57.

### Figura 57

*Esfuerzos del muro de contención con Plaxis 8.6*

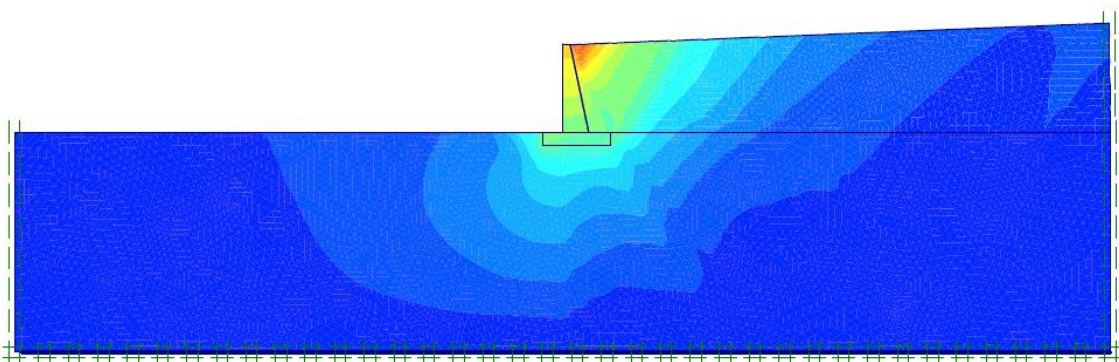


*Nota.* Los esfuerzos generan mayor empuje en la parte superior del muro de contención que podría generar un efecto de desplazamiento.

Se observa los desplazamientos en la figura 58.

### Figura 58

*Desplazamientos del muro de contención con Plaxis 8.6*

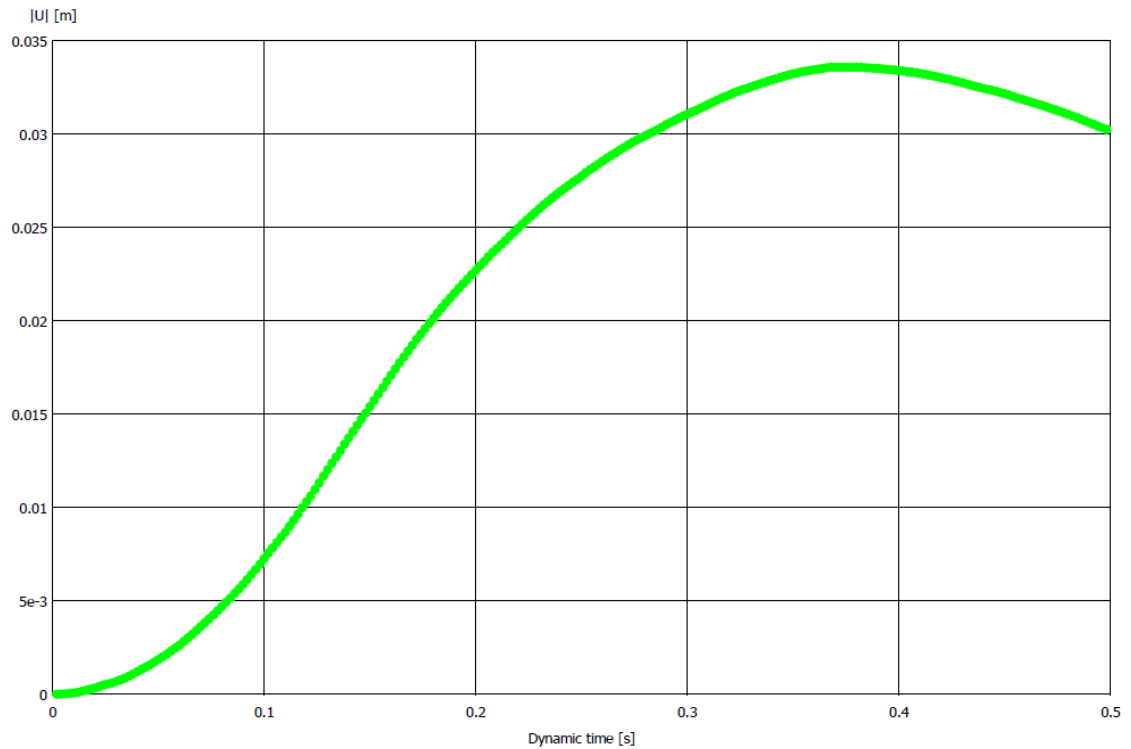


*Nota.* Los desplazamientos se aprecian en la parte superior del muro; pero en la parte inferior no se aprecia el aumento de esfuerzos; por lo que, quizás no exista problemas de vuelco en el muro de contención.

Se observa los desplazamientos vs el tiempo en la figura 59.

### Figura 59

*Curva de desplazamiento vs tiempo en Plaxis 8.6*

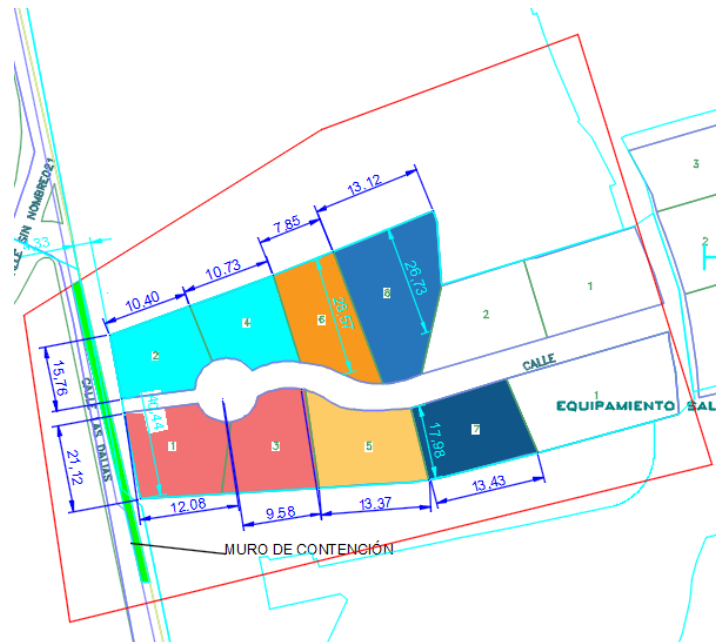


### **b.3) Caso del muro de contención sometido al suelo contenido considerando las cargas provenientes por la edificación:**

Para este caso se considerarán la influencia de las cargas provenientes de los edificios, los cuales están especificados en la figura 60, que se encuentran en la parte superior del talud contenido por el muro de contención.

**Figura 60**

*Distribución de edificios en el área de estudio*



Los edificios tendrán las siguientes características las cuales se indicarán en la siguiente tabla 23.

**Tabla 23**

*Características de los edificios*

Edificio	Área (m <sup>2</sup> )	Color	Peso por área tributaria (tonf/m <sup>2</sup> )	Dimensiones del edificio		Carga lineal (tonf/m)	Carga lineal (KN/m)
				Ortogonal	Transversal		
1	255.505	Naranja	1	12.08	21.16	12.08	118.4
2	200.805	Celeste	1	10.40	19.32	10.40	101.9
3	230.06	Naranja	1	9.58	24.03	9.58	93.9
4	200.045	Celeste	1	10.73	18.65	10.73	105.2
5	259.11	Naranja	1	13.37	19.39	13.37	131.1
6	227.5	Naranja	1	7.85	28.98	7.85	77.0
7	246.94	Azul	1	13.43	18.39	13.43	131.7
8	347.215	Azul	1	13.37	25.98	13.37	131.1

Para realizar las simulaciones, se considerarán las 36 combinaciones considerando las 20 primeras cargas aisladas



considerando la carga repartida de cada edificio aislado y aumentando el número de niveles; de tal manera, que se pueda obtener influencia del aumento de carga por el aumento de pisos; y las otras 16 combinaciones se formula para determinar la combinación alterna de los edificios actuando simultáneamente considerando el aumento de niveles; en todos los casos se consideró el sismo ya calculado anteriormente.

A continuación, se presentan las cargas promedio de los 20 casos de edificios de tal manera que se determine las cargas promedio superficiales provenientes de los edificios para luego realizar las combinaciones en las simulaciones mostradas en la tabla 24.

**Tabla 24**

*Características para la simulación de las cargas de los edificios*

Nomenclatura	Edificios	Carga promedio	Número de pisos	Carga promedio	Longitud de aplicación (m)	Punto de aplicación inicial (m)	Punto de aplicación final (m)
ED1	1 y 2	110.2	1.0	110	11	3	14
ED2	3 y 4	99.5	1.0	100	10	14	24
ED3	5 y 6	104.0	1.0	104	11	24	35
ED4	7 y 8	131.4	1.0	131	11	35	46
ED5	1 y 2	110.2	2.0	220	11	3	14
ED6	3 y 4	99.5	2.0	199	10	14	24
ED7	5 y 6	104.0	2.0	208	11	24	35
ED8	7 y 8	131.4	2.0	263	11	35	46
ED9	1 y 2	110.2	3.0	331	11	3	14
ED10	3 y 4	99.5	3.0	299	10	14	24
ED11	5 y 6	104.0	3.0	312	11	24	35
ED12	7 y 8	131.4	3.0	394	11	35	46
ED13	1 y 2	110.2	4.0	441	11	3	14
ED14	3 y 4	99.5	4.0	398	10	14	24
ED15	5 y 6	104.0	4.0	416	11	24	35
ED16	7 y 8	131.4	4.0	526	11	35	46
ED17	1 y 2	110.2	5.0	551	11	3	14
ED18	3 y 4	99.5	5.0	498	10	14	24
ED19	5 y 6	104.0	5.0	520	11	24	35
ED20	7 y 8	131.4	5.0	657	11	35	46

Las 36 combinaciones se mostrarán en la tabla 25.

**Tabla 25**

*Combinaciones de los edificios*

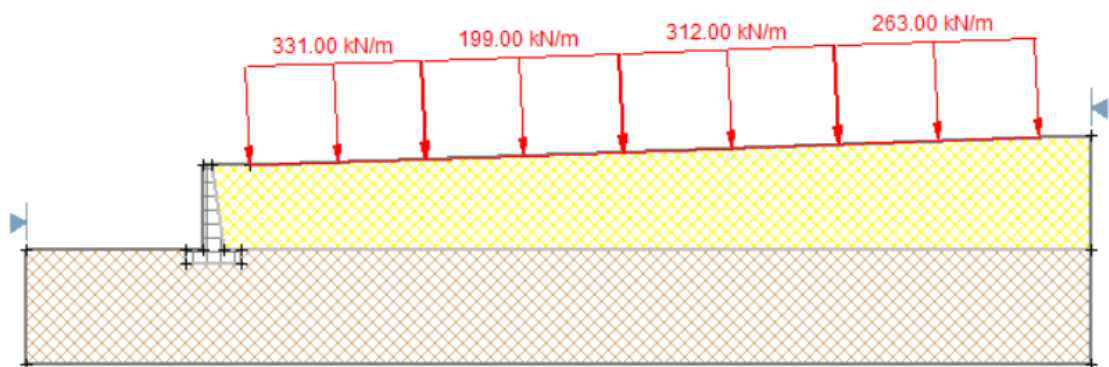
Nomenclatura	Combinación
COMB1	ED1
COMB2	ED2
COMB3	ED3
COMB4	ED4
COMB5	ED5
COMB6	ED6
COMB7	ED7
COMB8	ED8
COMB9	ED9
COMB10	ED10
COMB11	ED11
COMB12	ED12
COMB13	ED13
COMB14	ED14
COMB15	ED15
COMB16	ED16
COMB17	ED17
COMB18	ED18
COMB19	ED19
COMB20	ED20
COMB21	ED1+ED2
COMB22	ED1+ED2+ED3
COMB23	ED1+ED2+ED3+ED4
COMB24	ED5+ED6
COMB25	ED5+ED6+ED7
COMB26	ED5+ED6+ED7+ED8
COMB27	ED9+ED10
COMB28	ED9+ED10+ED11
COMB29	ED9+ED10+ED11+ED12
COMB30	ED13+ED14
COMB31	ED13+ED14+ED15
COMB32	ED13+ED14+ED15+ED16
COMB33	ED17+ED18
COMB34	ED17+ED18+ED19
COMB35	ED17+ED18+ED19+ED20
COMB36	ED9+ED6+ED11+ED8

- Factor de seguridad del muro de contención con Slide:

Se colocan las cargas en el modelo en Slide, se presentan a continuación, en la figura 61, la asignación de las cargas de los edificios de acuerdo a la combinación N°36 considerando el sismo.

**Figura 61**

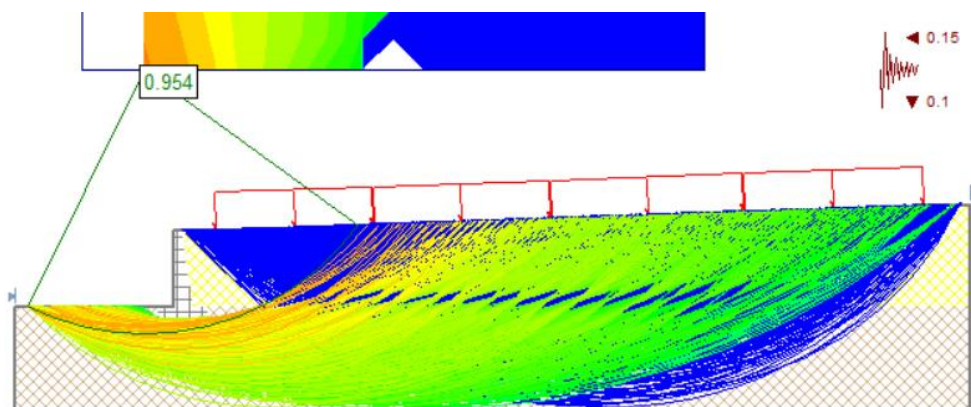
*Asignación de las cargas de los edificios en SLIDE*



Primero, se determinarán la estabilidad del muro con las cargas de los edificios con el software Slide considerando el sismo en todos los casos, a continuación, se presenta en la figura 62,

**Figura 62**

*Factor de seguridad con SLIDE*



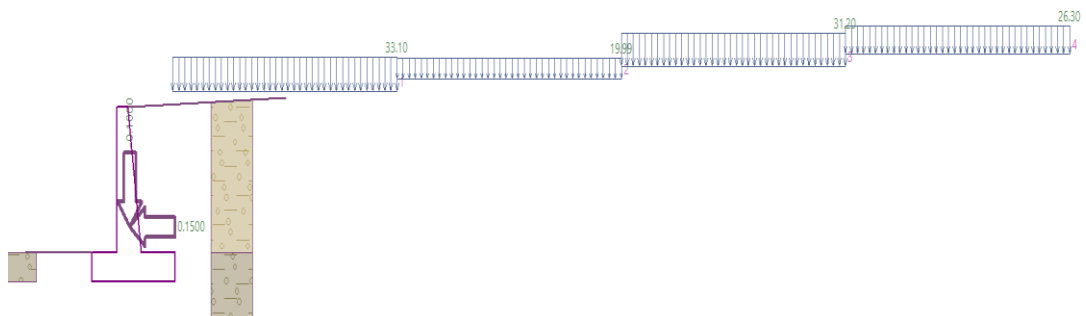
Se observa que el factor de seguridad del talud es 0.954 siendo menor al permisible de 1.25 en consideraciones dinámicas; por lo que, se determina que es estable.

- Factor de seguridad del muro de contención con GEO 5:

A continuación, se presenta en la figura 63, las cargas provenientes de los edificios en KN/m y los coeficientes sísmicos horizontal y vertical considerando el mismo tipo que se realizó en SLIDE en la vista 2D y para la vista en 3D se muestra en la figura 64.

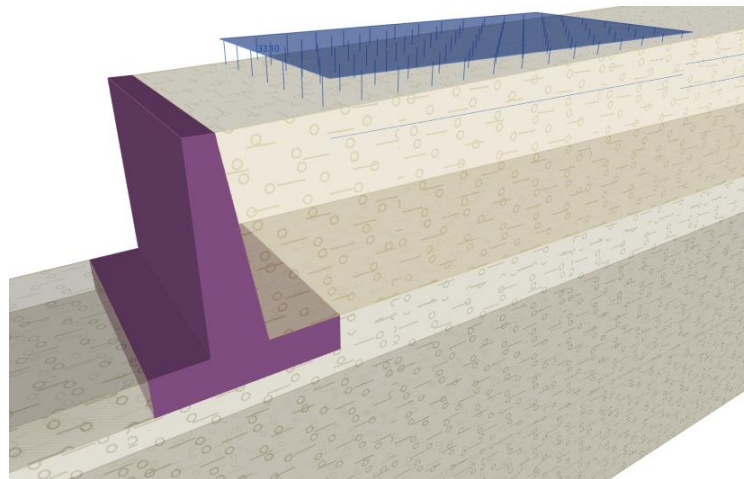
**Figura 63**

*Vista 2D con cargas en GEO5*



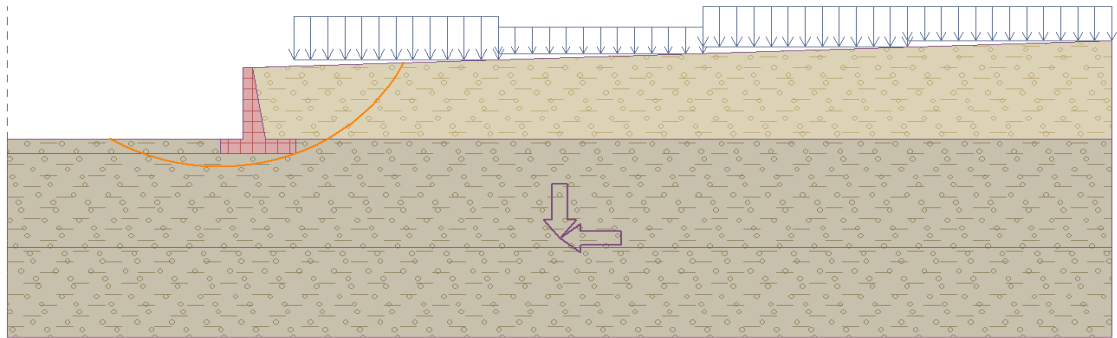
**Figura 64**

*Vista 3D del muro con las cargas asignadas con GEO5*



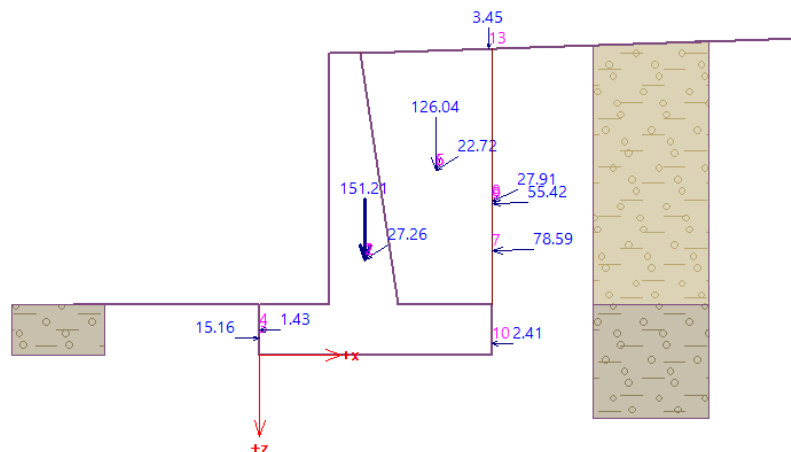
De la misma manera, se analiza el talud con el muro de contención; donde se determinó un Factor de seguridad de 1.06, siendo menor al valor de 1.25, el cual según la E.050 es el mínimo para cargas dinámicas, por el método de Bishop. En la figura 65 se tiene la falla del talud con el muro.

**Figura 65**  
*Plano de falla con cargas en GEO5*



- Factor de deslizamiento del muro de contención con GEO 5:  
Considerando las cargas actuantes del peso del muro, los empujes activos, pasivos y de las cargas provenientes de los edificios considerando el sismo por el método de Mononobe-Okabe, se presentan a continuación con GEO5 en la figura 66.

**Figura 66**  
*Esquema de fuerzas en el muro con GEO5*



**Tabla 26***Resultados de las fuerzas en el muro con GEO5*

N°	Fuerza	Fx	Fz	Punto de aplicación	
		[kN/m]	[kN/m]	x [m]	z [m]
1	Weight - wall	0.00	151.21	1.68	-1.52
2	Earthq.- constr.	-22.68	15.12	1.68	-1.52
3	FF resistance	15.16	0.00	0.00	-0.27
4	Earthq.- face	-1.43	0.00	0.00	-0.40
5	Weight - earth wedge	0.00	126.04	2.80	-2.93
6	Earthquake - soil wedge	-18.91	12.60	2.80	-2.93
7	Active pressure	-78.54	2.75	3.70	-1.65
8	Earthq.- act.pressure	-25.20	12.00	3.70	-2.44
9	COMB36A	-55.39	1.94	3.70	-2.41
10	COMB36B	-2.41	0.09	3.70	-0.18
11	COMB36C	0.00	0.00	3.70	-4.87
12	COMB36D	0.00	0.00	3.70	-4.87
13	COMB36A	0.00	3.45	3.65	-4.87

Con ello, se verifica la estabilidad del muro por deslizamiento:

$$F.D. = \frac{F_{res}}{F_{act}} = \frac{110.47 \text{ KN/m}}{189.40 \text{ KN/m}} = 0.58$$

Se tiene un valor menor a 1.25, lo que significa que es inestable al deslizamiento.

- Factor por volteo del muro de contención con GEO 5:

Con ello, se verifica la estabilidad del muro por deslizamiento:

$$F.V. = \frac{M_{res}}{M_{act}} = \frac{741.89 \text{ KN/m}}{411.38 \text{ KN/m}} = 1.80$$

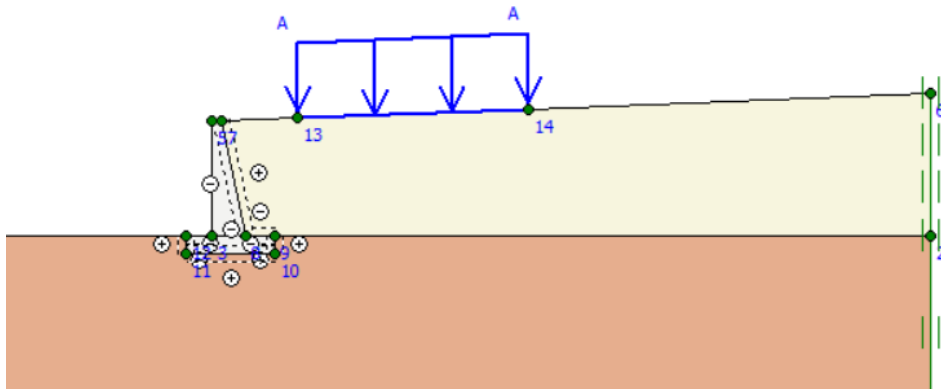
Se tiene un valor mayor a 1.25, lo que significa que es estable al volteo.

- Factor de seguridad del muro de contención con Plaxis 8.6:

Se modeló el muro de contención en Plaxis considerando las cargas de los edificios 5 y 6 las cuales se muestra en la figura 67.

**Figura 67**

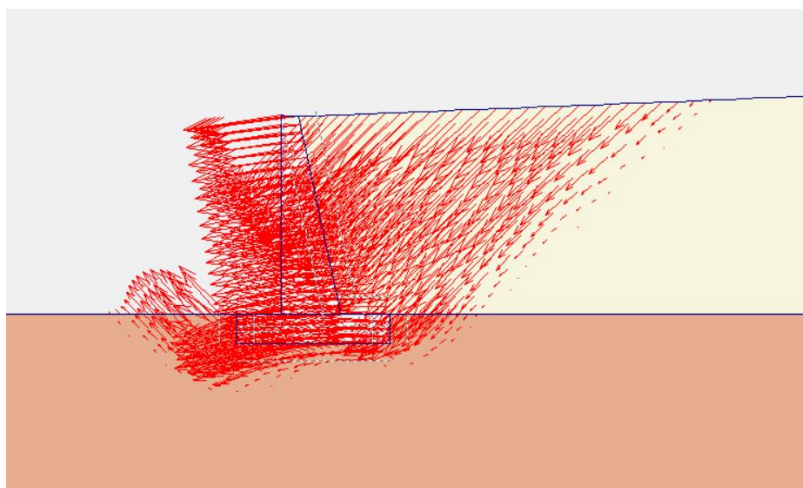
*Asignación de cargas en Plaxis*



En la figura 68 se observa la dirección del empuje de las cargas provenientes de los edificios considerando en la combinación N°01; donde se aprecia la influencia de las cargas en el muro; verificando que el empuje es lateral en la dirección ortogonal al plano del muro y genera un levantamiento en el suelo lateral inferior del muro, favoreciendo el deslizamiento en el apoyo del talón.

**Figura 68**

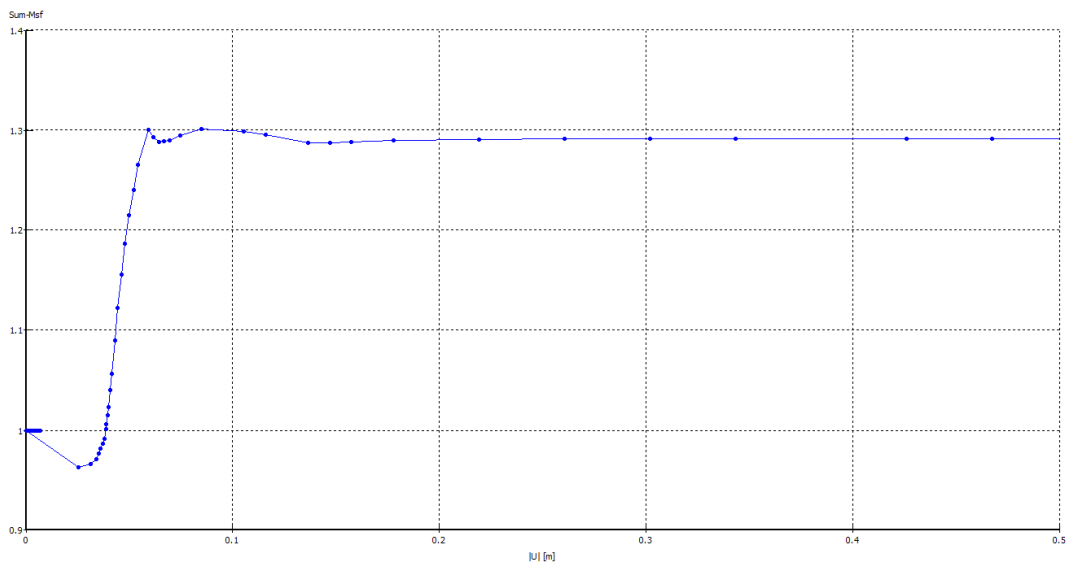
*Dirección de los vectores de deformación del muro con Plaxis 8.6*



Se obtuvo un factor de seguridad con un valor de 1.30 tanto para el factor de deslizamiento como volteo; superando el valor mínimo de 1.25.

**Figura 69**

*Curva del factor de seguridad con Plaxis 8.6*

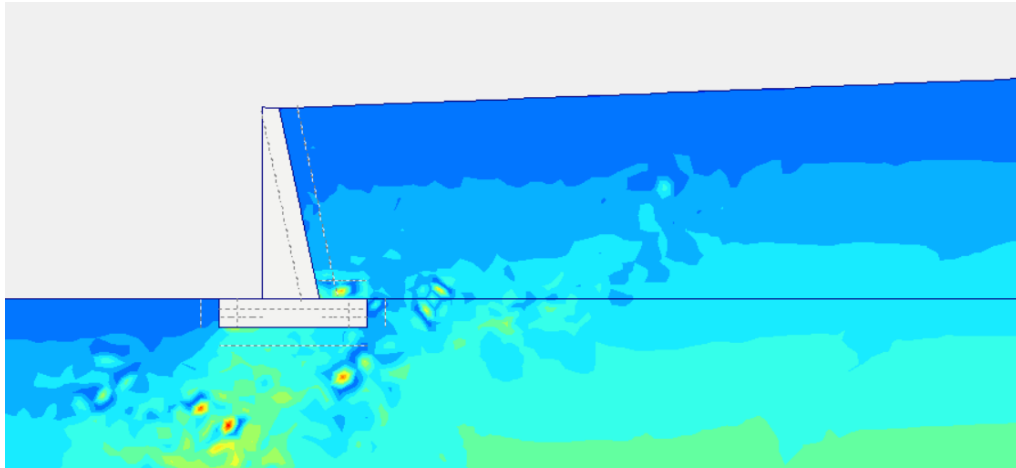


Se aprecia que los esfuerzos que se tiene sobre el muro son por medio de capas que generan que el muro se traccione en la cara interna del muro por consecuencia de la acción del empuje proveniente de la edificación considerada en la combinación N°01.



**Figura 70**

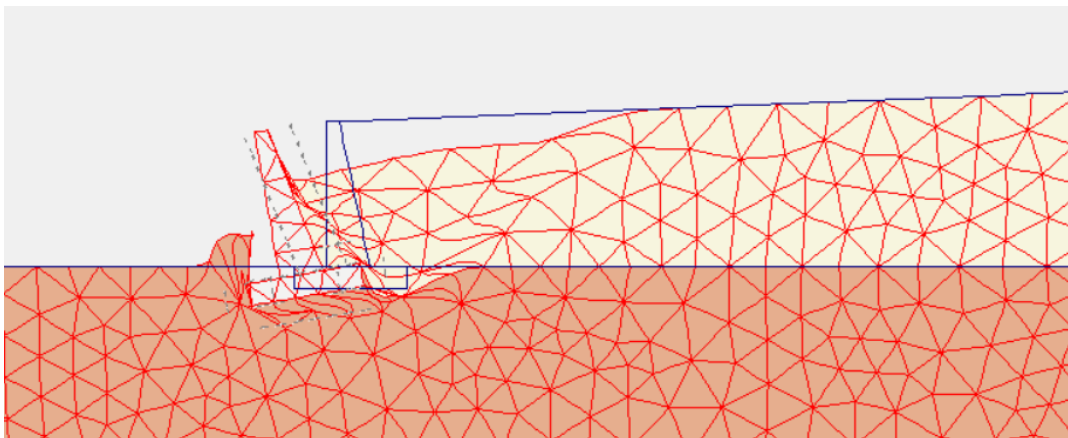
*Esfuerzos producidos en el muro de contención con Plaxis 8.6*



Al añadir más carga se observa el desplazamiento en masa del terreno sobre el muro; provocando que las cargas de los edificios, al aumentar niveles generan esfuerzos más críticos al borde o cercano al muro, por lo que favorece aún más al desplazamiento que al volteo.

**Figura 71**

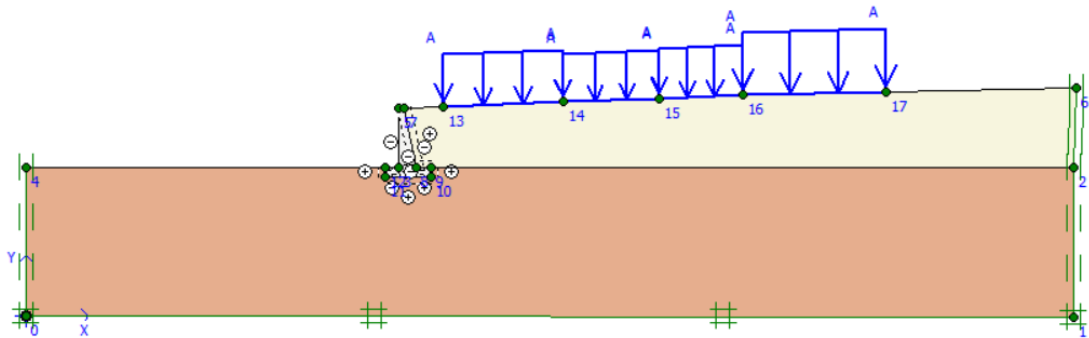
*Efecto por desplazamiento del muro de contención con Plaxis 8.6*



En la figura 72 se tiene la asignación de cargas de la combinación N°35.

### Figura 72

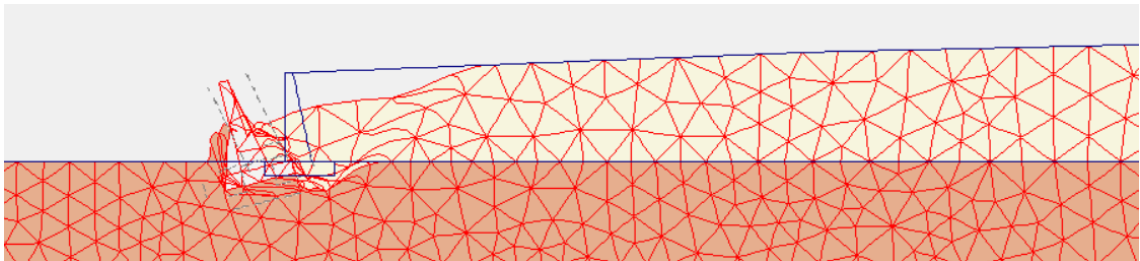
*Asignación de cargas de la combinación 35*



Se observa en la figura 73, que, al aumentar las cargas de las edificaciones alejadas del muro, éstas no aumentan el efecto en el muro a comparación cuando se tenía solo una carga cercana al muro.

### Figura 73

*Efecto de las cargas de la combinación 35 en el muro de contención*



#### 4.2.4. Modelamiento con empuje

##### a) Combinaciones de carga

Se realizaron las simulaciones para las distintas combinaciones de cargas de edificaciones para evaluar su influencia en el comportamiento estructural del muro considerando el factor de seguridad con los softwares Slide, GEO5 y Plaxis considerando en todos los casos la acción sísmica, estos resultados se adjuntarán en la siguiente tabla 27.

**Tabla 27***Resultados de los factores con Slide, GEO5 y Plaxis*

Nomenclatura	Combinación	Slide Factor Global	GEO 5 Factor Global	PLAXIS Factor Global
COMB1	ED1	1.057	1.17	1.301
COMB2	ED2	1.178	1.27	1.309
COMB3	ED3	1.286	1.27	1.309
COMB4	ED4	1.286	1.27	1.309
COMB5	ED5	0.988	1.13	1.201
COMB6	ED6	1.088	1.25	1.3
COMB7	ED7	1.286	1.27	1.3
COMB8	ED8	1.286	0.9	1.3
COMB9	ED9	0.954	1.06	1.291
COMB10	ED10	1.099	1.25	1.3
COMB11	ED11	1.235	1.27	1.3
COMB12	ED12	1.148	0.8	1.3
COMB13	ED13	0.934	1.02	1.261
COMB14	ED14	0.946	0.8	1.28
COMB15	ED15	1.163	1.27	1.28
COMB16	ED16	1.064	0.74	1.28
COMB17	ED17	0.921	0.99	0.976
COMB18	ED18	0.899	0.75	0.9
COMB19	ED19	1.097	1.16	1.01
COMB20	ED20	1.011	0.7	1.01
COMB21	ED1+ED2	1.057	1.18	1.06
COMB22	ED1+ED2+ED3	1.057	1.17	1.06
COMB23	ED1+ED2+ED3+ED4	1.057	1.17	1.06
COMB24	ED5+ED6	0.988	1.11	0.99
COMB25	ED5+ED6+ED7	0.988	1.11	0.99
COMB26	ED5+ED6+ED7+ED8	0.988	1.11	0.99
COMB27	ED9+ED10	0.954	1.06	0.962
COMB28	ED9+ED10+ED11	0.954	1.06	0.963
COMB29	ED9+ED10+ED11+ED12	0.954	1.06	0.963
COMB30	ED13+ED14	0.934	1.02	0.965
COMB31	ED13+ED14+ED15	0.934	1.02	0.965
COMB32	ED13+ED14+ED15+ED16	0.934	1.02	0.965
COMB33	ED17+ED18	0.921	0.98	0.965
COMB34	ED17+ED18+ED19	0.921	0.98	0.965
COMB35	ED17+ED18+ED19+ED20	0.921	0.98	0.964
COMB36	ED9+ED6+ED11+ED8	0.954	1.06	0.967

*Nota.* Se observa que existe efecto por las cargas distribuidas de los edificios en la estabilidad del muro.

### b) Considerando la interacción suelo-cimentación del muro

Luego de revisar el efecto de la interacción de la estructura que vendría ser el muro de contención con los esfuerzos del suelo presionado por las cargas de las combinaciones de los edificios; se procede a revisar la influencia que tendría también en el muro considerando que el suelo no se comporte infinitamente rígido en su base considerando la hipótesis del modelo dinámico Barkan ; para ello se considerará el software SAP 2000; donde se colocarán las cargas obtenidas por el empuje activo, pasivo, sismo por el método de Mononobe-Okabe; las mismas que serán extraídas por el software GEO5.

Para ello, se determinarán las masas de traslación y de rotación de la zapata del muro de contención, el análisis se realizará a 1m de ancho; por lo que, las dimensiones de esta serán de 2.60 m (a) x 1.00 m (b) desde el plano horizontal y la altura de la zapata es de 0.60 m (c).

$$Mt = Mx = My = Mz$$

$$Mt = \frac{\text{Peso específico de la zapata} * a * b * c}{g}$$

$$Mt = \frac{2.4 * 2.60 * 1.00 * 0.60}{9.8}$$

$$Mt = 0.38204 \text{ tonf.} \frac{\text{S}^2}{\text{m}}$$

$$Mox' = Mt \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{Mt(b^2 + c^2)}{12}$$

$$Mox' = 0.07768 \text{ tonf.} \frac{\text{S}^2}{\text{m}}$$

$$Moy' = Mt \left(\frac{c}{2}\right)^2 + \frac{Mt(a^2 + c^2)}{12}$$

$$Moy' = 0.26106 \text{ tonf.} \frac{\text{S}^2}{\text{m}}$$

$$Moz' = \frac{Mt(a^2 + b^2)}{12}$$

$$Moz' = 0.24705 \text{ tonf} \cdot \frac{\text{s}^2}{\text{m}}$$

Se calcula la presión estática del suelo “p”:

$$p = \frac{\text{Peso total del muro incluida la zapata}}{\text{Área de la planta de la zapata del muro}}$$

$$p = \frac{15.121 \text{ tonf}}{2.60 \times 1.00}$$

$$p = 5.85 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^2}$$

$$p = 0.585 \text{ kgf/cm}^2$$

Ahora se calcula el coeficiente  $D_o$ , el cual permitirá calcular el coeficiente de compresión, para ello se tendrá al coeficiente de Poisson un valor de 0.30; además para  $C_o$  se tomará en cuenta la tabla 27 dada por Barkan:

**Tabla 28***Valores de Co en función del tipo de perfil de suelo*

Tipo de perfil	Característica de la base de fundación	Suelo	Co (kgf/cm <sup>2</sup> )
S1	Roca o suelos muy rígidos	Arcilla y arena arcillosa dura (IL<0)	3.0
		Arena compacta (IL<0)	2.2
		Cascajo, grava, canto rodado, arena densa	2.6
		Arcilla y arena arcillosa plástica (0.25 < IL<0.5)	2.0
S2	Suelos intermedios	Arena plástica (0<=IL<0.5)	1.6
		Arena polvorosa medio densa	1.4
		Arenas de grano fino, mediano y grueso, independientes de su densidad y humedad	1.8
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor	Arcilla y arena arcillosa de baja plasticidad	0.8
		Arena plástica	1.0
		Arenas polvorosa, saturada, porosa	1.2
S4	Condiciones excepcionales	Arcilla y arena arcillosa muy blanda	0.6
		Arena movediza	0.6

*Nota.* Tomado de Kavazanjian et al. (2011)

En base a la tabla anterior se considera un valor de Co de 1.6 kgf/cm<sup>2</sup> considerando un po de 0.2 kgf/cm<sup>2</sup>; por lo tanto, se calcula Do con la siguiente expresión:

$$D_o = \frac{1 - \mu}{1 - 0.5\mu} * C_o$$

$$D_o = \frac{1 - 0.3}{1 - 0.5 * 0.3} * 1.6$$

$$D_o = 1.318 \text{ kgf/cm}^3$$

Se procede a calcular los coeficientes  $C_x$ ,  $C_y$ ,  $C_z$ ,  $C_{ox}$ ,  $C_{oy}$  con las siguientes expresiones:

$$C_z = C_o * \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A}\right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

$$C_x = C_y = D_o * \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A}\right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

$$C_\phi = C_o * \left(1 + \frac{2(a+b)}{\Delta * A}\right) * \sqrt{\frac{p}{p_o}}$$

Donde:

$C_o, D_o$ : coeficientes para  $p = p_o$

$a, b$ : dimensiones de la base de la estructura en el plano

$\Delta$ : coeficiente empírico que se asume por fines prácticos como  $1 \text{ m}^{-1}$

En base a ello, se calculan los coeficientes:

$$C_z = 1.6 * \left(1 + \frac{2(2.6 + 1)}{1 * 2.6 * 1}\right) * \sqrt{\frac{0.585}{0.2}}$$

$$C_z = 10.32 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$$

$$C_z = 10320 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^3}$$

$$C_x = C_y = 1.318 * \left(1 + \frac{2(2.6 + 1)}{1 * 2.6 * 1}\right) * \sqrt{\frac{0.585}{0.2}}$$

$$C_x = C_y = 7.558 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^3}$$

$$C_x = C_y = 7558 \frac{\text{tonf}}{\text{m}^3}$$

$$C_\phi = 1.6 * \left(1 + \frac{2(2.6 + 3 * 1)}{1 * 2.6 * 1}\right) * \sqrt{\frac{0.585}{0.2}}$$

$$C\varphi = 13.388 \frac{kgf}{cm^3}$$

$$C\varphi = 13388 \frac{tonf}{m^3}$$

Se procede a calcular los coeficientes de rigidez propuesto por Barkan con las siguientes expresiones:

$$Kz = Cz * A$$

$$Kx = Cx * A$$

$$Ky = Cy * A$$

$$K\varphi = C\varphi * I$$

Donde:

*Cz, Cφ: coeficientes de compresión elástica uniforme y no uniforme*

*Cx: coeficiente de desplazamiento elástico uniforme*

*A: área de la estructura*

*I: momento de inercia de la base respecto al eje principal*

$$Kx = Ky = 7558 \frac{tonf}{m^3} * 2.6 * 1m^2$$

$$Kx = Ky = 19651 \frac{tonf}{m}$$

$$Kz = 10320 \frac{tonf}{m^3} * 2.6 * 1m^2$$

$$Kz = 26816 \frac{tonf}{m}$$

$$K\varphi x = 13388 \frac{tonf}{m^3} * \frac{1 * 2.6^3}{1}$$

$$K\varphi x = 235302 \text{ tonf} \cdot m$$

$$K\varphi y = 13388 \frac{tonf}{m^3} * \frac{2.6 * 1^3}{2.6}$$

$$K\varphi y = 13388 \text{ tonf} \cdot m$$

A continuación, se realiza el modelamiento con SAP 2000, se definirá los materiales de concreto del muro y de la zapata colocados en la figura 74.



## Figura 74

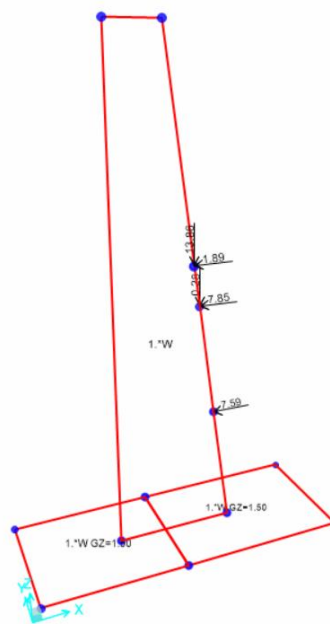
*Ingreso de los materiales en SAP2000*

General Data	
Material Name and Display Color	Concreto Fc 280
Material Type	Concrete
Material Grade	fc 280
Material Notes	Modify/Show Notes...
Weight and Mass	
Weight per Unit Volume	2.4
Mass per Unit Volume	0.2447
Units Tonf, m, C	
Isotropic Property Data	
Modulus Of Elasticity, E	2534564.
Poisson, U	0.15
Coefficient Of Thermal Expansion, A	9.900E-06
Shear Modulus, G	1101984.3
Other Properties For Concrete Materials	
Specified Concrete Compressive Strength, fc	2800.
Expected Concrete Compressive Strength	2800.

Considerando un muro con un ancho tributario de 1m, se presentan las cargas provenientes de los empujes laterales obtenidas en GEO5 en unidades de tonf/m; estas se presentan en la figura 75.

## Figura 75

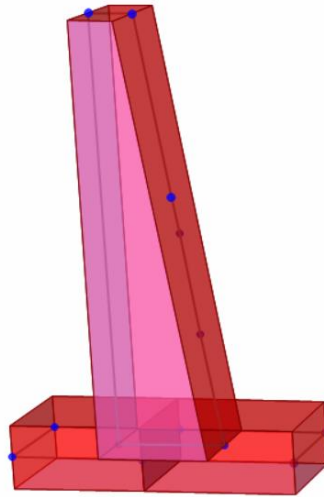
*Asignación de los empujes en el muro de contención con SAP 2000*



Se tiene el modelo en 3D del muro presentado en la figura 76.

### Figura 76

*Vista 3D del muro de contención con SAP 2000*



A continuación, se presentan las masas en dirección traslacional y rotacional calculadas previamente, siendo estas asignadas en los nodos de la zapata, las cuales serán colocadas en el software SAP 2000 y mostradas en la figura 77:

### Figura 77

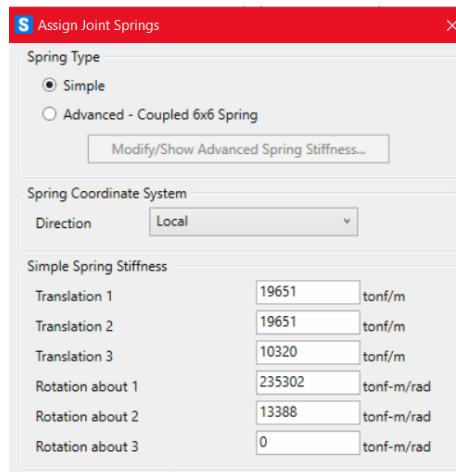
*Asignación de las masas inerciales en el muro con SAP 2000*

S Assign Joint Masses	
Specify Joint Mass	
<input checked="" type="radio"/> As Mass	
<input type="radio"/> As Weight	
<input type="radio"/> As Volume and Material Property	
Material	A992Fy50
Mass Coordinate System	
Direction	GLOBAL
Mass	
Translation Global X	0.38204 tonf-s <sup>2</sup> /m
Translation Global Y	0.38204 tonf-s <sup>2</sup> /m
Translation Global Z	0.38204 tonf-s <sup>2</sup> /m
Mass Moment of Inertia	
Rotation about Global X	0.0777 tonf-m-s <sup>2</sup>
Rotation about Global Y	0.2611 tonf-m-s <sup>2</sup>
Rotation about Global Z	0.2471 tonf-m-s <sup>2</sup>

Se presenta la asignación de las rigideces traslacional y rotacional correspondiente al modelo propuesto por Barkan calculado previamente y mostrado en la figura 78.

### Figura 78

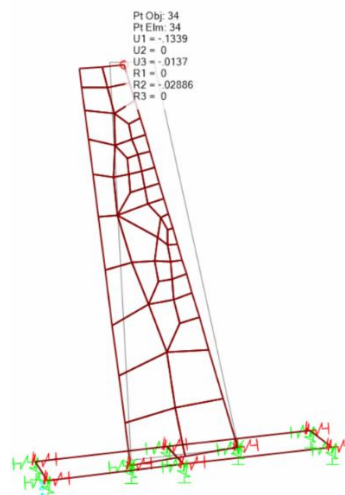
*Asignación de las rigideces traslacional y rotacional en SAP 2000*



Al correr el programa, considerando el modelo con la interacción suelo-estructura se tiene un desplazamiento máximo del muro teniendo un valor de 0.134 m que estaría ligado al deslizamiento y una rotación de 0.03 radianes que estaría relacionado al volteo, la cual se muestra en la figura 79.

### Figura 79

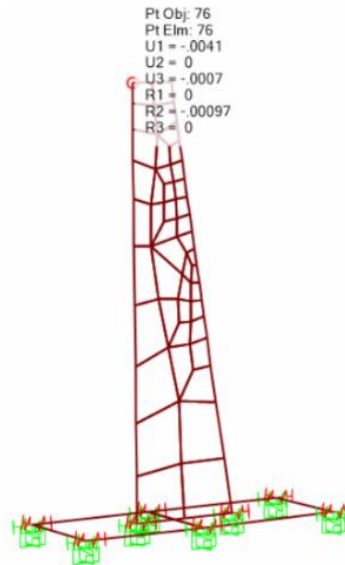
*Deformada del muro de contención con SAP 2000*



Para el caso de una base empotrada infinitamente rígida se tendrá un desplazamiento máximo de 0.004 m y un giro de 0.001 radianes mostrada en la figura 80.

### Figura 80

*Deformada del muro con base empotrada con SAP 2000*



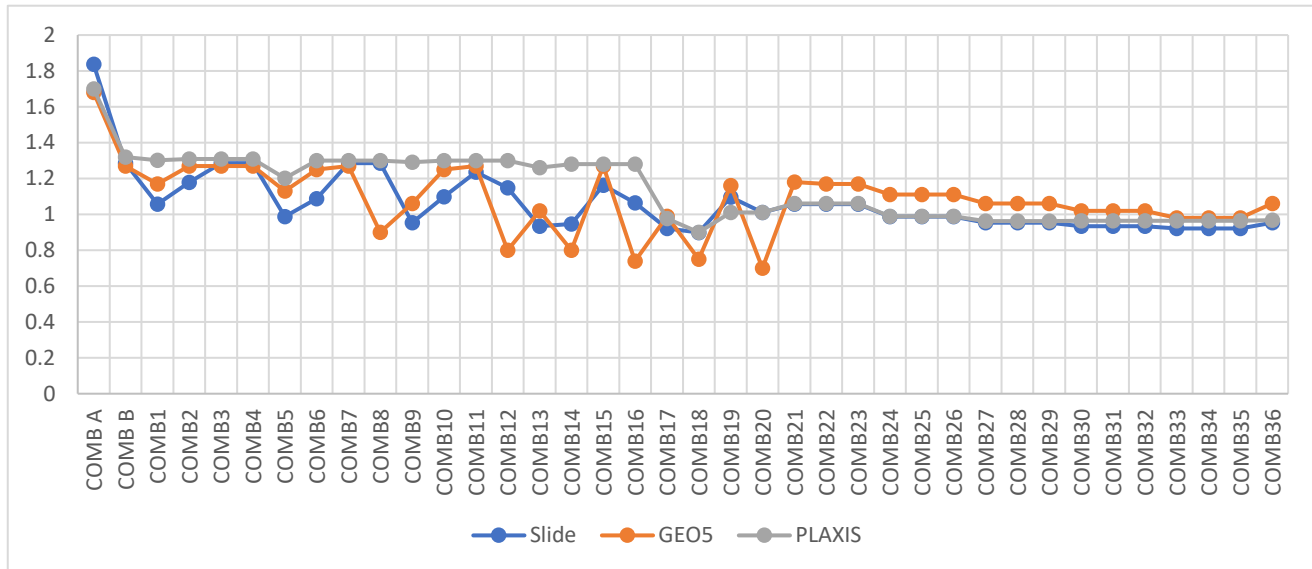
## 4.3 RESULTADOS

### 4.3.1. Estabilidad del muro

Luego de realizar las simulaciones para el caso del muro conteniendo el empuje del suelo por el talud (Comb. A), para el caso considerando el sismo (Comb. B) y para las 36 combinaciones de las cargas continuas y alternadas debido a las edificaciones que se encuentran en la parte superior del talud; se muestran los resultados obtenidos en los diferentes softwares como Slide, GEO5 y Plaxis de los factores en la figura 81:

**Figura 81**

*Gráfica de los resultados del factor de seguridad*



Se observa que al considerar las edificaciones el factor de seguridad se ve afectado notoriamente del caso Comb.A que no considera a los edificios con el Comb. B, el cual sí considera el sismo, al comparar éste último con las demás combinaciones; se reduce a valores en un rango de 0.9 a 0.7, producido por las combinaciones 8,12,16,18 y 20; en donde el edificio está próximo al muro; por lo que, se tendría que el comportamiento integral del muro estaría directamente influenciado por las cargas provenientes del edificio debido al aumento de niveles; además, si se agrega que la posición de esta carga influye debido a que el resto de combinaciones tienen un comportamiento en la gráfica casi lineal pese a que se agrega en las simulaciones más niveles o pisos, al estar más alejada de la posición del muro están siguen manteniendo un factor casi constante, como se observa entre las combinaciones Comb.21 a 35, por lo tanto, el suelo empujado por las cargas del edificio y su posición en el muro influye en el comportamiento estructural del muro.

Además, los resultados dados por GEO 5, son los valores más afectados en las combinaciones mencionadas anteriormente a comparación de los generados con Slide y Plaxis.

#### 4.3.2. Revisión del deslizamiento del muro

Al verificar la estabilidad por deslizamiento del muro, se presenta a continuación en la tabla 29 los factores obtenidos en todas las combinaciones mencionadas anteriormente.

**Tabla 29**

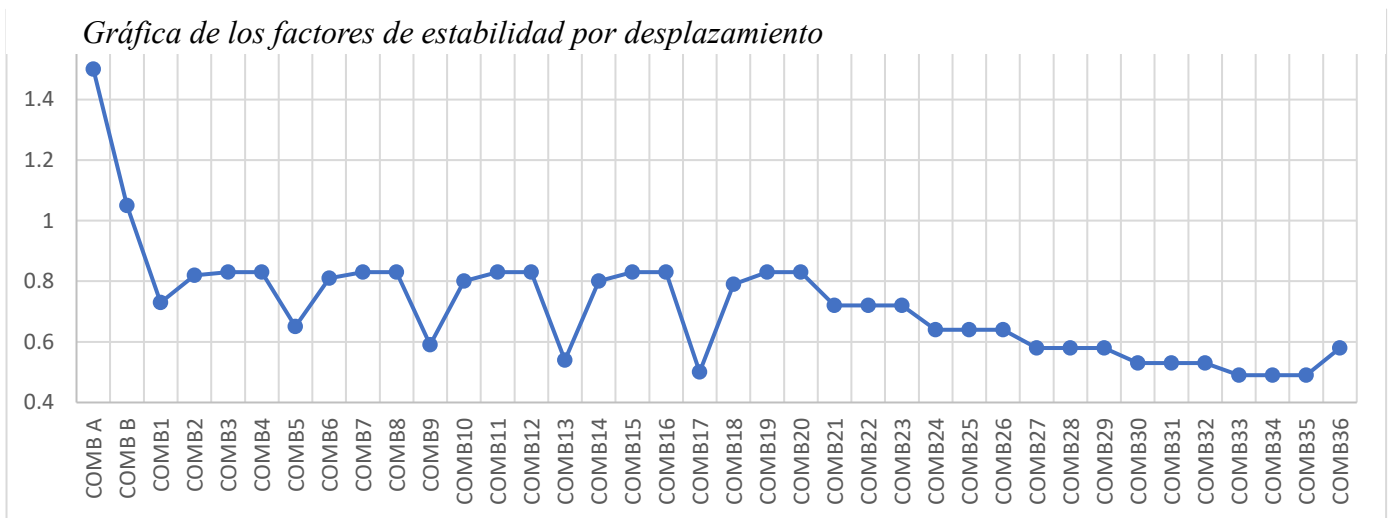
*Resultados de los factores de desplazamiento*

Nomenclatura	Factor Deslizamiento
COMB A	1.5
COMB B	1.05
COMB1	0.73
COMB2	0.82
COMB3	0.83
COMB4	0.83
COMB5	0.65
COMB6	0.81
COMB7	0.83
COMB8	0.83
COMB9	0.59
COMB10	0.8
COMB11	0.83
COMB12	0.83
COMB13	0.54
COMB14	0.8
COMB15	0.83
COMB16	0.83
COMB17	0.5
COMB18	0.79
COMB19	0.83
COMB20	0.83
COMB21	0.72
COMB22	0.72
COMB23	0.72
COMB24	0.64
COMB25	0.64
COMB26	0.64
COMB27	0.58
COMB28	0.58
COMB29	0.58
COMB30	0.53
COMB31	0.53
COMB32	0.53
COMB33	0.49
COMB34	0.49
COMB35	0.49
COMB36	0.58

En la figura 82 se muestra la gráfica de los factores de las distintas combinaciones de carga; donde se aprecia que para las combinaciones Comb.1 a Comb.36, tienen valores menores a 1.25, cuyo valor es el factor que debería tener una estructura de contención sometida a sismo.

**Figura 82**

*Gráfica de los factores de estabilidad por desplazamiento*



Además, en el comb. B, que es el caso que considera el sismo pero sin las cargas de los edificios, se tiene un factor de 1.05, el cual se reduce a un rango entre 0.81 a 0.50 para los casos que consideran a los edificios; por ello, es que se infiere que los esfuerzos que se producen en el suelo contenido, va a generar un efecto de deslizamiento; con la consideración que las cargas van a ser críticos en las combinaciones 1, 5, 9, 13, 17 y 35 debido a que son los menores factores de seguridad; y por ello, que la posición del edificio influye también en el comportamiento estructural del muro.

#### 4.3.3. Revisión del volteo del muro

Al verificar la estabilidad por volteo del muro, se presenta a continuación en la tabla 30 los factores obtenidos en todas las combinaciones mencionadas anteriormente.

**Tabla 30***Resultados de los factores de volteo*

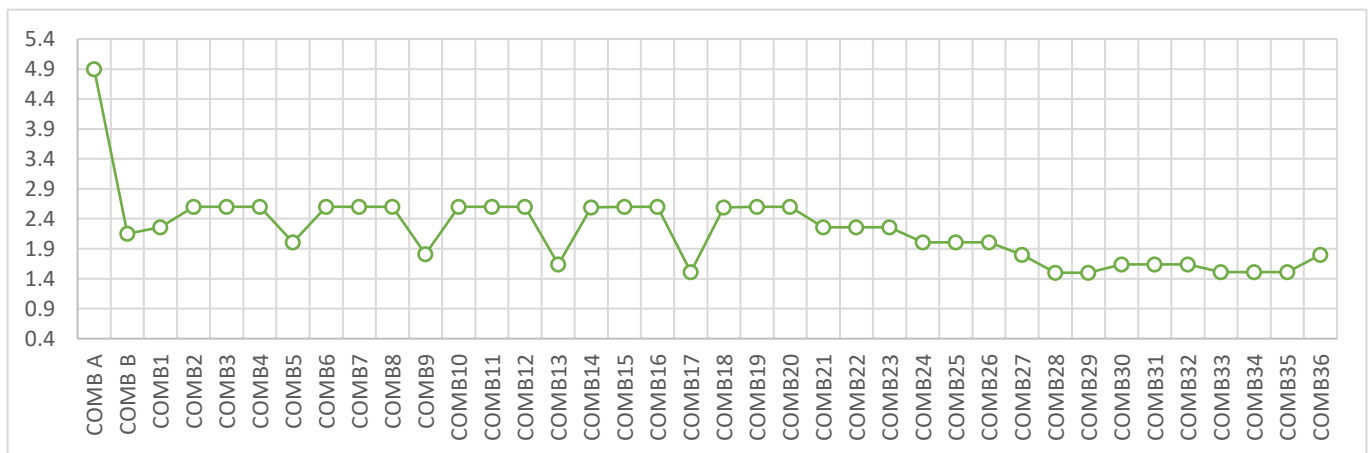
Nomenclatura	Factor Volteo
COMB A	4.9
COMB B	2.15
COMB1	2.26
COMB2	2.6
COMB3	2.6
COMB4	2.6
COMB5	2.01
COMB6	2.6
COMB7	2.6
COMB8	2.6
COMB9	1.81
COMB10	2.6
COMB11	2.6
COMB12	2.6
COMB13	1.64
COMB14	2.59
COMB15	2.6
COMB16	2.6
COMB17	1.51
COMB18	2.59
COMB19	2.6
COMB20	2.6
COMB21	2.26
COMB22	2.26
COMB23	2.26
COMB24	2.01
COMB25	2.01
COMB26	2.01
COMB27	1.8
COMB28	1.5
COMB29	1.5
COMB30	1.64
COMB31	1.64
COMB32	1.64
COMB33	1.51
COMB34	1.51
COMB35	1.51
COMB36	1.8



En la figura 83 se muestra la gráfica de los factores de las distintas combinaciones de carga; donde se aprecia que para las combinaciones Comb.1 a Comb.36, tienen valores mayores a 1.25, cuyo valor es el factor que debería tener una estructura de contención sometida a sismo.

**Figura 83**

*Gráfica de los factores de volteo*



Además, en el comb. B, que es el caso que considera el sismo pero sin las cargas de los edificios, se tiene un factor de 2.15, el cual tiene una variación entre 2.40 para las combinaciones donde los edificios se encuentran no adyacentes al muro y un rango entre 1.80 a 1.50 para los casos que consideran a los edificios a la vez; por ello, es que se infiere que los esfuerzos que se producen en el suelo contenido, va a generar un efecto de volteo; con la consideración que las cargas van a ser críticas en las combinaciones 1, 5, 9, 13, 17 y 35 debido a que son los menores factores de seguridad; por ello, la posición y los niveles del edificio influyen también en el comportamiento estructural del muro.

#### **4.3.4. Efecto de la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural respecto al deslizamiento del muro**

Al revisar anteriormente el efecto de las cargas provenientes de los edificios, es notable que existe influencia del suelo contenido considerando las cargas mencionadas; sea por la posición del edificio respecto al muro como aumento de niveles; a continuación, en la tabla 31, se presentan el porcentaje de influencia que tienen las combinaciones considerando los edificios en comparación a la combinación sin edificio (Comb. B), en todos los casos se considera el sismo.

**Tabla 31***Influencia en los factores de deslizamiento*

Combinación	Factor de deslizamiento	Influencia (%)
COMB B	1.05	
COMB1	0.73	78%
COMB2	0.82	79%
COMB3	0.83	79%
COMB4	0.83	62%
COMB5	0.65	77%
COMB6	0.81	79%
COMB7	0.83	79%
COMB8	0.83	56%
COMB9	0.59	76%
COMB10	0.8	79%
COMB11	0.83	79%
COMB12	0.83	51%
COMB13	0.54	76%
COMB14	0.8	79%
COMB15	0.83	79%
COMB16	0.83	48%
COMB17	0.5	75%
COMB18	0.79	79%
COMB19	0.83	79%
COMB20	0.83	69%
COMB21	0.72	69%
COMB22	0.72	69%
COMB23	0.72	61%
COMB24	0.64	61%
COMB25	0.64	61%
COMB26	0.64	55%
COMB27	0.58	55%
COMB28	0.58	55%
COMB29	0.58	50%
COMB30	0.53	50%
COMB31	0.53	50%
COMB32	0.53	47%
COMB33	0.49	47%
COMB34	0.49	47%
COMB35	0.49	55%
COMB36	0.58	70%

Al revisar la tabla 31 se tiene que, al considerar los edificios, el factor de seguridad por deslizamiento se reduce a un rango de valores entre 47 a 79%, teniendo una influencia directa en el comportamiento estructural del muro de contención.

Si bien es cierto, al realizar el análisis de los empujes por medio de la simulación se obtuvo la deducción mencionada el párrafo anterior, se revisará la influencia suelo-estructura considerando que la cimentación del muro no está empotrada en el suelo, sino que el suelo tiene un comportamiento de tipo amortiguador considerando a las rigideces traslacional y rotacional en los grados de libertad de la base; por lo que, se revisarán los resultados del desplazamiento del muro de contención mostrados en la tabla 32.

**Tabla 32**

*Comparación de desplazamiento con SAP 2000 y Plaxis*

Nomenclatura	Plaxis (cm)	SAP 2000 con base empotrada (cm)	SAP 2000 con ISE (cm)
COMB1	0.25	0.24	10.20
COMB2	0.08	0.06	6.50
COMB5	0.72	0.65	18.00
COMB9	0.42	0.32	12.10
COMB13	0.48	0.42	14.30
COMB17	1.00	0.96	26.30
COMB28	1.60	0.33	12.30
COMB35	0.87	0.44	16.10
COMB36	0.60	0.41	13.40

Se observa en la tabla 32 que los resultados obtenidos con Plaxis y SAP 2000 son parecidos cuando se considera la base completamente empotrada, a diferencia cuando se considera la base con grados de libertad bajo la hipótesis de Barkan; que los desplazamientos han sido afectados notablemente, es por ello, que la interacción suelo-estructura del suelo con la cimentación del muro también influye en el comportamiento estructural del muro respecto al deslizamiento.

#### **4.3.5. Efecto de la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural respecto al volteo del muro**

Al revisar anteriormente el efecto de las cargas provenientes de los edificios, es notable que existe influencia del suelo contenido considerando las cargas mencionadas; sea por la posición del edificio respecto al muro como aumento de niveles; a continuación, en la tabla 33, se presentan el porcentaje de influencia que tienen las combinaciones considerando los edificios en comparación a la combinación sin edificio (Comb. B) que tiene un factor de seguridad de 2.15, en todos los casos se considera el sismo.

**Tabla 33***Influencia en los factores de volteo*

Combinación	Factor de Seguridad	Influencia
COMB1	2.26	105%
COMB2	2.6	121%
COMB3	2.6	121%
COMB4	2.6	121%
COMB5	2.01	93%
COMB6	2.6	121%
COMB7	2.6	121%
COMB8	2.6	121%
COMB9	1.81	84%
COMB10	2.6	121%
COMB11	2.6	121%
COMB12	2.6	121%
COMB13	1.64	76%
COMB14	2.59	120%
COMB15	2.6	121%
COMB16	2.6	121%
COMB17	1.51	70%
COMB18	2.59	120%
COMB19	2.6	121%
COMB20	2.6	121%
COMB21	2.26	105%
COMB22	2.26	105%
COMB23	2.26	105%
COMB24	2.01	93%
COMB25	2.01	93%
COMB26	2.01	93%
COMB27	1.8	84%
COMB28	1.5	70%
COMB29	1.5	70%
COMB30	1.64	76%
COMB31	1.64	76%
COMB32	1.64	76%
COMB33	1.51	70%
COMB34	1.51	70%
COMB35	1.51	70%
COMB36	1.8	84%

Al revisar la tabla 33 se tiene que al considerar los edificios de manera aislada, el factor de seguridad por volteo aumenta en un rango de 105 a 121% respecto a las combinaciones 2 a la 23, las cuales representa que se van alejando del muro; a diferencia de las combinaciones 1, 5,9,13 y 17 las cuales son aquellas que van aumento el número de los niveles a la edificación que se encuentra adyacente al muro; mientras que las combinaciones 24 a la 36, que representan los edificios alternados, reducen en un rango de valores entre 70 a 93%, probablemente al edificio cercano al muro; por lo tanto, se deduce que existe una influencia directa en el comportamiento estructural del muro de contención respecto al volteo.

Además, al igual que para la revisión del desplazamiento se revisarán los resultados del giro del muro de contención, los cuales serán mostrados en la tabla 34.

**Tabla 34**

*Resultados de los giros con SAP 2000 y Plaxis*

Nomenclatura	Plaxis	SAP 2000 con base empotrada	SAP 2000 con ISE
	Giro (rad)	Giro (rad)	Giro (rad)
COMB1	0.0006	0.0005	0.0210
COMB2	0.0001	0.0000	0.0140
COMB5	0.0010	0.0018	0.0400
COMB9	0.0006	0.0007	0.0260
COMB13	0.0010	0.0010	0.0310
COMB17	0.0020	0.0030	0.0570
COMB28	0.0100	0.0007	0.0260
COMB35	0.0120	0.0010	0.0350
COMB36	0.0143	0.0010	0.0290

Se observa en la tabla 34 que los resultados obtenidos con Plaxis y SAP 2000 son parecidos cuando se considera la base completamente empotrada, a diferencia cuando se considera la base con grados de

libertad bajo la propuesta de Barkan; los desplazamientos han sido afectados, pero sin provocar la desestabilización del muro, pero, se mantiene que la interacción suelo-estructura del suelo con la cimentación del muro también influye en el comportamiento estructural del muro respecto al volteo.

#### **4.4 PRUEBA ESTADÍSTICA**

La hipótesis general del presente estudio de investigación es: la interacción suelo-estructura influye directamente en el comportamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa.

##### **Respecto a la hipótesis específica 1:**

Las propiedades físico-mecánicas de los suelos de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024 se determinaron por medio de ensayos de laboratorio.

##### **Respecto a la hipótesis específica 2:**

La interacción suelo-estructura influye directamente en el desplazamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.

Para ello, se revisará si los factores de seguridad considerando la interacción suelo-estructura han influido en el desplazamiento; tomando como valor referencial a 1.05, el cual es el caso que no se considera el empuje proveniente por las cargas de los edificios ubicados en la parte superior del talud.

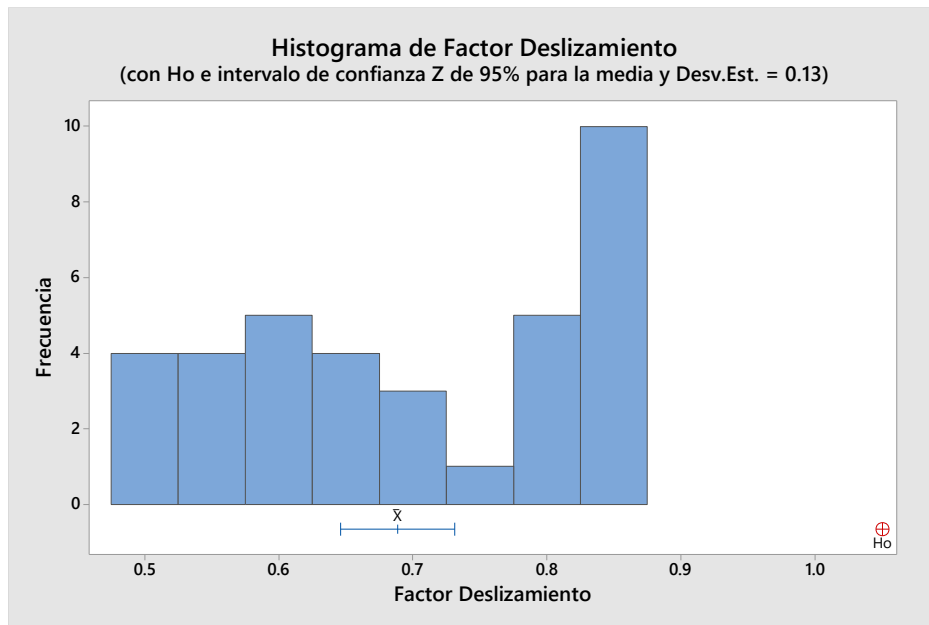
Por lo tanto, se realizará la prueba de hipótesis por medio del estadístico z, la cual se utiliza para muestras mayores a 30; como en este caso, que se tendrá un  $N= 36$ ; para ello, se utilizará el software Minitab.



A continuación, se presenta en la figura 84 el histograma de los factores de deslizamiento:

**Figura 84**

*Histograma del factor de deslizamiento con Minitab*



Se realizó la prueba de normalidad de Anderson-Darling utilizando el software Minitab, se determinaron los valores estadísticos mostrados en la siguiente tabla:

**Tabla 35**

*Valores estadísticos de los factores de desplazamiento*

Parámetro	Valor
A-cuadrado	1.93
Valor p	<0.005
Media	0.68861
Desv.Est.	0.12968
Varianza	0.01682
Asimetría	-0.21722
Curtosis	-1.60598
N	36
Mínimo	0.49

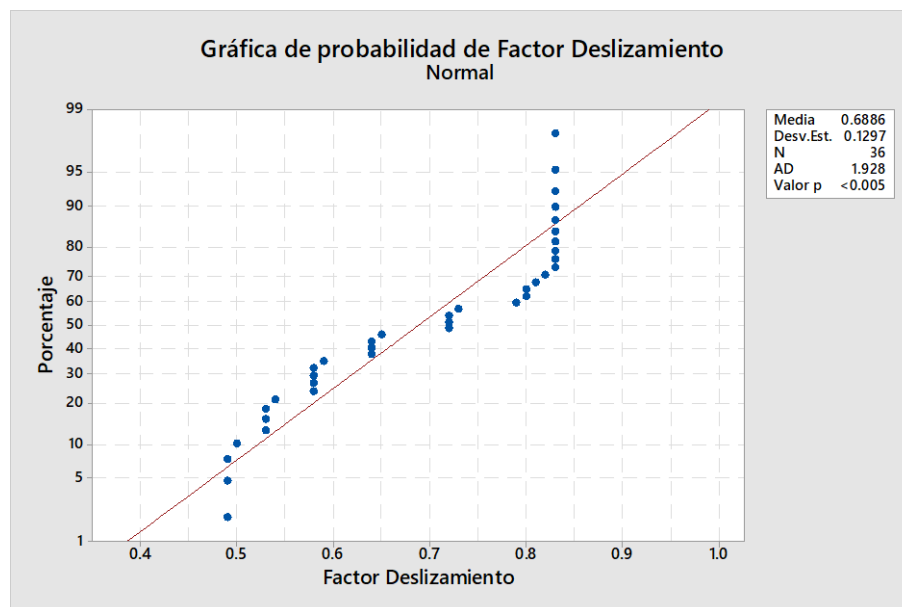
1er cuartil	0.58
Mediana	0.72
3er cuartil	0.83
Intervalo de confianza de 95% para la media	
0.64473	0.73249
Intervalo de confianza de 95 % para la mediana	
0.58735	0.80265
Intervalo de confianza de 95 % para la desviación estándar	
0.10518	0.16917

---

Se presenta en la figura 85 la gráfica de probabilidad del factor de deslizamiento:

### Figura 85

*Gráfica de probabilidad del factor de deslizamiento*



Considerando que:

H<sub>0</sub>: Hipótesis nula: La interacción suelo-estructura no influye directamente en el desplazamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa.

H<sub>1</sub>: Hipótesis alterna: La interacción suelo-estructura influye directamente en el desplazamiento estructural del muro de contención modelado con los

programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa.

Por lo tanto:

$$H_0: u = 1.05$$

$$H_1: u \neq 1.05$$

### Respecto a la hipótesis específica 3:

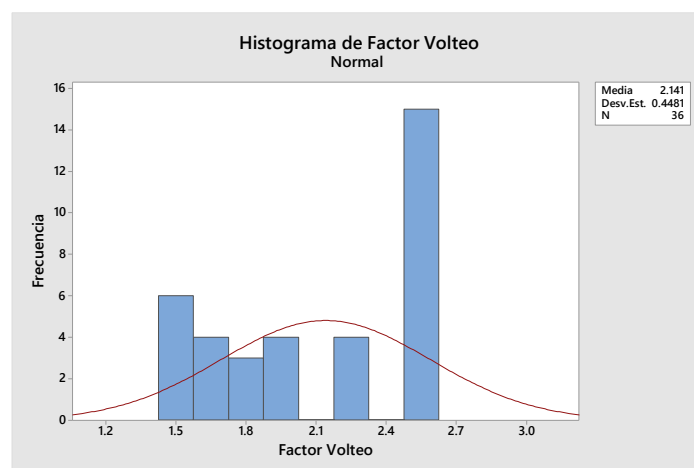
La interacción suelo-estructura influye directamente en el volteo estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.

Se tomará en cuenta la prueba estadística z y Minitab para realizar la comprobación, en este caso se considera a 1.99 para el factor de seguridad por volteo.

A continuación, se presenta en la figura 86 el histograma de los factores de volteo:

### Figura 86

*Histograma del factor por volteo*



$H_0$ : Hipótesis nula: La interacción suelo-estructura no influye directamente en el volteo estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa.

$H_1$ : Hipótesis alterna: La interacción suelo-estructura influye directamente en el volteo estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa.

Por lo tanto:

$$H_0: u = 1.99$$

$$H_1: u \neq 1.99$$

Para las dos últimas hipótesis específicas se considerará un nivel de confianza de 95% y un nivel de significancia de 0.05. Por ello, se tendrán dos escenarios:

Valor  $P >$  nivel de significancia (0.05): no se rechaza la hipótesis nula.

Valor  $P <$  nivel de significancia (0.05): se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna.

#### 4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Respecto a la hipótesis específica 2:

Se tiene la estadística de los factores de deslizamiento considerando el efecto de la interacción suelo-estructura colocada en la tabla 36.

**Tabla 36**

*Estadística descriptiva de los factores de deslizamiento*

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
36	0.6886	0.1297	0.0217	(0.6461; 0.7311)

$\mu$ : media de Factor Deslizamiento

Desviación estándar conocida = 0.13

Para la comprobación de la hipótesis se tiene el resultado de la prueba colocada en la tabla 37:

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 1.05$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 1.05$

**Tabla 37**

*Resultados de la hipótesis específica 2*

Valor Z	Valor p
-16.68	0.000

Donde se observa en el resultado de la prueba, el valor P es igual a 0.000 y es menor que el nivel de significancia (0.05) por lo que se rechaza la hipótesis nula. De esta manera, se comprueba que la hipótesis específica 2 planteada es correcta, que la interacción suelo-estructura influye en el desplazamiento estructural del muro de contención.

Respecto a la hipótesis específica 3:

Se tiene la estadística de los factores de volteo considerando el efecto de la interacción suelo-estructura colocada en la tabla 38.

**Tabla 38**

*Estadística descriptiva de los factores de volteo*

N	Media	Desv.Est.	Error estándar de la media	IC de 95% para $\mu$
36	2.1408	0.4481	0.0747	(1.9945; 2.2872)

$\mu$ : media de Factor Volteo

Desviación estándar conocida = 0.448

Para la comprobación de la hipótesis se tiene el resultado de la prueba mostrada en la tabla 39:

Hipótesis nula  $H_0: \mu = 1.99$

Hipótesis alterna  $H_1: \mu \neq 1.99$

**Tabla 39**

*Resultados de la hipótesis específica 3*

Valor Z	Valor p
2.02	0.043

Donde se observa en el resultado de la prueba, el valor P es igual a 0.043 y es menor que el nivel de significancia (0.05) por lo que se rechaza la hipótesis nula. De esta manera, se comprueba que la hipótesis específica 3 planteada es correcta, que la interacción suelo-estructura influye en el volteo del muro de contención.

Comprobadas las hipótesis específicas se deduce que la hipótesis general: la interacción suelo-estructura influye directamente en el comportamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa.

#### 4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos respecto al objetivo general que corresponde a determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención por medio de la simulación, revelaron una disminución promedio de 34% para el desplazamiento y 5% respecto al volteo; además, que las cargas provenientes

de los edificios que estén más cercanos al muro tendrán mayor impacto con una disminución promedio de 38 % en el factor de deslizamiento, mientras que para el factor de volteo, disminuyó solo 7% del factor sin considerar las cargas.

Estos hallazgos concuerdan con los resultados obtenidos por Xu et al. (2020), quienes concluyeron que la interacción suelo-estructura tiene un impacto negativo significativo en el comportamiento estructural de los muros de contención. Utilizando el método de elementos finitos, observaron una reducción promedio del factor de seguridad del 25 % para el deslizamiento y del 10 % para el volteo.

Los resultados obtenidos respecto al objetivo específico 1, que consistió en determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en el sector de Challapampa, el suelo se clasificó como arena bien gradada con limos, presentando un peso específico de  $17.3 \text{ kN/m}^3$  y un ángulo de fricción de  $28^\circ$ , con cohesión nula. Estos hallazgos son consistentes con los valores reportados en el estudio de X. Li et al. (2019), quienes investigaron la estabilidad de un muro de contención variando su altura, encontrando que el suelo consistía en arena con un peso específico de  $19 \text{ kN/m}^3$  y un ángulo de fricción de  $32^\circ$ . Además, destacaron que el suelo tipo arena tiende a resistir mejor al volteo que al deslizamiento.

Los resultados obtenidos respecto al objetivo específico 2, que consistió en determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el desplazamiento estructural del muro de contención mediante modelos virtuales, mostraron una reducción del 19% por Slide, 16% por GEO5 y 34% por Plaxis, además de un aumento de 10 cm en el desplazamiento por SAP 2000. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de Comodromos (2021), quien investigó diversos parámetros que afectan la interacción suelo-estructura, incluyendo el factor de desplazamiento que experimentó una reducción del 12%. Este efecto, según Comodromos, puede provocar fisuras mínimas de 3 a 4 mm.

También lo corroboran Dewoolkar et al. (2018) debido que por medio de la simulación por Plaxis obtuvieron factores por desplazamiento reducidos por 20 %; mientras que Bakr & Ahmad (2018) determinaron una reducción de 50 %; debido a que su estudio tiene un suelo blando por ello, recomiendan que para suelos blandos se aplique el criterio de interacción suelo-estructura. Finn et al. (2021) también corrobora la influencia por medio del cálculo del desplazamiento, el cual le dio un aumento de 8 cm de desplazamiento en la parte superior del muro de contención.

Los resultados obtenidos respecto al objetivo específico 3, que consistió en determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el volteo estructural del muro de contención mediante modelos virtuales, mostraron una reducción del 12% por Slide, 10% por GEO5 y 27% por Plaxis, además de un aumento de 0.057 radianes en el desplazamiento por SAP 2000. Estos hallazgos son congruentes con los resultados obtenidos por Comodromos (2021), quien en su estudio identificó varios parámetros que afectan la interacción suelo-estructura, incluyendo el factor de desplazamiento que experimentó una reducción del 12%. Según Comodromos, este efecto puede resultar en fisuras mínimas de 3 a 4 mm.

Además, Dewoolkar et al. (2018) respaldan estos hallazgos al obtener, mediante simulaciones en Plaxis, una reducción del 12% en los factores de volteo. Por otro lado, Bakr & Ahmad (2018) reportaron una reducción del 30% en sus estudios debido al tipo de suelo blando analizado, sugiriendo la aplicación del criterio de interacción suelo-estructura para suelos de esta naturaleza. Además, Sang et al. (2024) determinaron que la interacción suelo-estructura influye significativamente en el desplazamiento máximo de 5 cm en la parte superior del muro y en un giro de 0.02 radianes evaluado por SAP 2000.



## CONCLUSIONES

1. Se comprobó que existe influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante 244 modelamientos virtuales, debido a que los factores de seguridad al deslizamiento y volteo se alteraron en las diferentes combinaciones y punto de aplicación de las cargas, así como el tipo de apoyo en la base del muro.
2. Se determinaron las propiedades físicas de los suelos del sector de estudio, caracterizando al suelo como arena bien gradada con limos, con un peso específico de  $17.3 \text{ KN/m}^3$ , permeabilidad de  $0.0007196 \text{ m/s}$ ; humedad del 3%; además, se determinaron las propiedades mecánicas como el ángulo de fricción, cuyo valor fue de  $28^\circ$  y la cohesión fue nula.
3. Se determinó la influencia de la interacción suelo-estructura en el desplazamiento estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide, Geo5 y Plaxis en el sector de estudio, obteniendo que los factores de deslizamiento disminuyeron en un rango de 47 a 79% del factor inicial; donde la posición del edificio que se encuentra en la parte superior del talud influye directamente en el empuje del suelo contenido por el muro; obteniendo que el edificio más cercano al muro produce mayor impacto; además, considerando el caso con base flexible del muro según la teoría de Barkan simulado con SAP 2000 se obtuvieron desplazamientos cercanos a 10 cm en la parte superior del muro. En contraste, al simular con la base empotrada, se registraron valores aproximados de 1.60 cm, lo que representa alrededor del 16% de la magnitud obtenida anteriormente. Estos resultados confirman la influencia moderada de la interacción suelo-estructura en la estabilidad por deslizamiento del muro de contención.

4. Se determinó la influencia de la interacción suelo-estructura en el volteo estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide, Geo5 y Plaxis en el sector de estudio, donde el factor de volteo, considerando las cargas de los edificios, disminuyó en un rango de 70% a 93% en comparación con el factor calculado sin considerar los edificios; caso opuesto cuando se alternaron las cargas de los edificios, el factor de volteo aumentó en un rango de 105% a 121%. Además, al modelar la base con apoyo flexible del muro de contención bajo la teoría de Barkan con SAP 2000 se obtuvieron valores cercanos a 0.057 radianes en la parte superior del muro; mientras que, para la base empotrada se obtuvieron valores cercanos a 0.0143 radianes, siendo aproximado al 25 % del anterior mencionado; por lo que, se comprueba la influencia moderada de la interacción suelo-estructura en la estabilidad por volteo en el muro de contención.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los investigadores relacionados a la geotecnia realizar ensayos a escala para determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el muro de contención de tipo voladizo de tal manera que se analice las distorsiones y establecer los niveles de desempeño del muro.
2. Se recomienda a los involucrados en proyectos de contención considerar la interacción suelo-estructura en el diseño de muros de contención, debido a que el análisis de empujes considera las cargas simplificadas; pero que podría agravarse al tener presencia de edificios o suelos que no se comporten como fundación de manera infinitamente rígido.
3. Se recomienda a las empresas del sector construcción que, al realizar la construcción o reparación de muros de contención asentados en suelos clasificados como arena, se verifique que en el expediente técnico se considere el análisis considerando la interacción suelo-estructura en el muro de contención.
4. Se recomienda a los planificadores urbanos considerar que, en nuevas zonas urbanas, las edificaciones estén alejadas en lo posible ocho metros de la parte superior del talud contenido debido al aumento del empuje generado por el deslizamiento y volteo estructural en el muro de contención.
5. Se recomienda a los investigadores y estudiantes de postgrado en esta línea de investigación que se analice la influencia de la interacción suelo-estructura del muro de contención considerando diferentes variables como la altura del talud y del muro, las propiedades del suelo y el nivel freático.

## REFERENCIAS

- Aghamolaei, M., Saeedi, A., Baziar, M., & Ghavami, S. (2021). Performance-based analysis of cantilever retaining walls subjected to near-fault ground shakings. *Computers and Geotechnics*, 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103924>
- Aguilar, R., & Valdivia, D. (2020). Opinión Técnica N ° 006-2020 Problemática de la torrentera Chullo. In *Ingemmet*. [https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/10009\\_opinion-tecnica-no-006-2020-problematica-de-la-torrentera-chullodistrito-yanahuara-provincia-arequipa-region-arequipa.pdf](https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/storage/biblioteca/10009_opinion-tecnica-no-006-2020-problematica-de-la-torrentera-chullodistrito-yanahuara-provincia-arequipa-region-arequipa.pdf)
- Alcántara, R., Garagorri, D., Lizárraga, W., & Ramos, J. (2021). *Análisis de estabilidad de un talud crítico de la Costa Verde en el distrito de San Miguel* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/21552>
- Araca, F., Gómez, L., Cahui, A., & Marín, G. (2020). Influence of soil-structure interaction on the behaviour of houses framed with isolated footings in the city of Juliaca. *Revista Científica de La UCSA*, 7(2), 70–81. <https://doi.org/10.18004/ucsa/2409-8752/2020.007.02.070>
- Asadi-Ghoozhd, H., & Attarnejad, R. (2020). A Winkler-based model for inelastic response of soil–structure systems with embedded foundation considering kinematic and inertial interaction effects. *Structures*, 28(12), 589–603. <https://doi.org/10.1016/j.istruc.2020.09.009>
- Báez, L., & Echeverri, P. (2018). *Contención considerando interacción suelo-estructura* [Pontificia Universidad Javeriana].

<https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/21408/BaezLozadaLuisCarlos2016.pdf?sequence=1>

- Bakr, J., & Ahmad, S. M. (2018). A finite element performance-based approach to correlate movement of a rigid retaining wall with seismic earth pressure. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *114*, 460–479. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2018.07.025>
- Barbosa Méndez, C. A., Barbosa Méndez, J. A., & Terreros Arias, J. C. (2019). *Análisis de la interacción suelo estructura en muros de contención de concreto reforzado en voladizo sobre suelos arcillosos colombianos*. 1–7. <http://hdl.handle.net/11396/3391>
- Chen, S., Ji, D., Zhai, C., Liu, Q., & Xie, L. (2024). A discrete model for dynamic structure-soil-structure interaction systems with embedded foundations. *Computers and Geotechnics*, *168*(April). <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2024.106154>
- Chen, W., & Scawthorn, C. (2002). Earthquake engineering handbook. In *Earthquake Engineering Handbook*. McGraw-Hill Companies. <https://doi.org/10.5860/choice.40-5239>
- Chindaprasirt, P., Sriyorch, A., Arngbunta, A., Chetchotisak, P., Jitsangiam, P., & Kampala, A. (2022). Estimation of modulus of elasticity of compacted loess soil and lateritic-loess soil from laboratory plate bearing test. *Case Studies in Construction Materials*, *16*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00837>
- Chowdhury, I., & Dasgupta, S. (2009). *Dynamics of structure and foundation* (First). Taylor & Francis Group.
- Chowdhury, I., & Dasgupta, S. P. (2019). Soil dynamics and earthquake engineering. In *GeoPlanet: Earth and Planetary Sciences* (Vol. 3). Taylor & Francis Group.
- Coduto, D. (1994). Geotechnical Engineering: Principles and Practices. In *Geotechnical Engineering* (1ra ed., Vol. 1). Prentice Hall.

- Comodromos, E. (2021). Assessment of SSI interaction effects for deep diaphragm walls and adjacent buildings considering spatial variability of parameters, post-peak behavior and concrete cracking. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 116, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.tust.2021.104112>
- Correo. (2023, Abril). *Arequipa : 40 viviendas en riesgo por colapso de muro de contención en Paucarpata*. <https://diariocorreo.pe/edicion/arequipa/arequipa-40-viviendas-en-riesgo-por-colapso-de-muro-de-contencion-en-paucarpata-noticia/>
- Das, B. (2012). *Fundamentos de ingeniería de cimentaciones*. (7ma ed.). Cengage Learning. <http://latinoamerica.cengage.com>
- De Silva, F., Ceroni, F., Sica, S., Pecce, M. R., & Silvestri, F. (2015). Effects of soil-foundation-structure interaction on the seismic behavior of monumental towers: The case study of the Carmine Bell Tower in Naples. *Rivista Italiana Di Geotecnica*, 49(3), 7–27. [https://associazionegeotecnica.it/wp-content/uploads/2018/01/3\\_2015\\_007desilva.pdf](https://associazionegeotecnica.it/wp-content/uploads/2018/01/3_2015_007desilva.pdf)
- Desai, C. S., & Zaman, M. (2014). Advanced Geotechnical Engineering. In *Advanced geotechnical engineering*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b15578>
- Dewoolkar, M., Chan, A., Ko, H.-Y., & Pak, R. (2018). Finite element simulations of seismic effects on retaining walls with liquefiable backfill. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 30(13), 791–816. <https://doi.org/10.1002/nag.748>
- Domínguez, M. (2018). *Análisis de taludes por el método Bishop* [Universidad Nacional Autónoma de México]. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/15591/tesis.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- El Comercio. (2021, Enero 3). *Arequipa : torrenteras ocasionan derrumbe de muro de contención y pone en riesgo de colapso a viviendas*.

<https://elcomercio.pe/peru/arequipa/arequipa-torrenteras-ocasionan-derrumbe-de-muro-de-contencion-y-pone-en-riesgo-de-colapso-a-viviendas-nnpp-noticia/?ref=ecr>

- Finn, L., Pandey, B., & Ventura, C. (2021). Modeling soil–foundation–structure interaction. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*. <https://doi.org/10.1002/tal.735>
- Fung, Y., Tong, P., & Bechtel, S. (2003). Classical and computational solid mechanics. In *Applied Mechanics Reviews* (Vol. 1). World Scientific Publishing Co.
- Galicia, C., & León, J. (2017). Interacción sísmica suelo-estructura en edificaciones de albañilería confinada con plateas de cimentación. *Universidad Privada Antenor Orrego, 1*, 1–48.
- Gao, J., Wang, S., Ye, L., Jiang, J., & Sun, J. (2024). Optimization design method of 2D + 3D slope shape for landslide prevention in open-pit coal mine. *Geohazard Mechanics*, 1–23. <https://doi.org/10.1016/j.ghm.2024.05.004>
- Gómez de Santos, C. (2019). Comportamiento geotécnico de suelos arcillosos compactados, respuesta a cargas estáticas y dinámicas [Universidad Complutense de Madrid]. In *Universidad Complutense De Madrid*. <https://hdl.handle.net/20.500.14352/17170>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación científica y educativa. In Interamericana Editores (Ed.), *Metodología de la investigación científica y educativa* (6ta ed.). McGraw-Hill Inc. <https://doi.org/10.22533/at.ed.696231809>
- Hu, M., Stephen, B., Browell, J., Haben, S., & Wallom, D. (2023). Impacts of building load dispersion level on its load forecasting accuracy: Data or algorithms and importance of reliability and interpretability in machine learning. *Energy and Buildings, 285*, 1–21. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.112896>
- Hurtado, H. (2023). Análisis estructural de muros de contención con anclajes activos

- para infraestructura vial [Universidad Nacional de Colombia]. In *Universidad Nacional de Colombia*. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/83160>
- Jurado, C. (2012). *Problemas de interacción suelo estructura en cimentaciones y muros de contención. Influencia de los fenómenos de despegue y deslizamiento* [Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/13731/>
- Katzenbach, R., Leppla, S., & Krajewski, W. (2017). Numerical analysis and verification of the soil-structure-interaction in the course of large construction projects in inner cities. *Geotechnical Engineering*, 01, 1–7. <https://doi.org/10.3233>
- Kavazanjian, E., Wang, J., Martin, G., Shamsabadi, A., Lam, I., Dickenson, S., & Hung, J. (2011). *LRFD Seismic analysis and design of transportation geotechnical features and structural foundations - reference manual* (Vol. 2011, Issue 3). <https://rosap.ntl.bts.gov/view/dot/40372>
- Kavitha, P., Beena, K., & Narayanan, K. (2016). Numerical investigations on the influence of soil structure interaction in the dynamic response of SDOF system. *Procedia Technology*, 25, 178–185. <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.08.095>
- Keivanian, F., Raymond, C., Kashani, A., & Gandomi, A. (2023). A fuzzy adaptive metaheuristic algorithm for identifying sustainable, economical, and earthquake-resistant. *Journal of Computational Science*, 70, 1–7. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jocs.2023.101978>
- Kinde, M., Getahun, E., & Jothimani, M. (2024). Geotechnical and slope stability analysis in the landslide-prone area: A case study in Sawla – Laska road sector, Southern Ethiopia. *Scientific African*, 23, 1–32. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2024.e02071>
- Le, C., Ho, P., Ly, H., Nguyen, T., & Nguyen, P. (2021). Collapse analysis of soils by adaptive pseudo-static limit analysis. *Computers and Geotechnics*, 139(104423), 1–18. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104423>



- Li, S., Cai, X., Jing, L., Xu, H., Huang, X., & Zhu, C. (2021). Lateral displacement control of modular-block reinforced soil retaining walls under horizontal seismic loading. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, *141*, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2020.106485>
- Li, X., Zhao, S., He, S., Yan, Q., & Lei, X. (2019). Seismic stability analysis of gravity retaining wall supporting  $c-\phi$  soil with cracks. *Soils and Foundations*, *59*(4), 1103–1111. <https://doi.org/10.1016/j.sandf.2019.01.004>
- Liu, B., Xue, J., Lehane, B., & Yin, Z. (2024). Time-dependent soil–structure interaction analysis using a macro-element foundation model. *Engineering Structures*, *308*(118046), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2024.118046>
- Menzies, B., & Ng., C. (2017). Advanced unsaturated soil mechanics and engineering. In *Universitas Nusantara PGRI Kediri* (2do ed., Vol. 1). Taylor & Francis Group. [www.tandfbuiltenvironment.com](http://www.tandfbuiltenvironment.com)
- Michalowski, R. (2013). Stability assessment of slopes with cracks using limit analysis. *Canadian Geotechnical Journal*, *50*, 1011–1021. <https://doi.org/10.1139/cgj-2012-0448>
- Morales, L., & Espinosa, A. (2020). Influencia de la interacción suelo estructura (ISE) de cimentaciones superficiales en suelos no cohesivos en el comportamiento estructural de una edificación de 8 pisos y un subsuelo. *Ingenio*, *3*(1), 5–26. <https://doi.org/10.29166/ingenio.v3i1.2391>
- Municipalidad Provincial de Arequipa. (2023). *Plan de prevención y reducción de riesgo de desastres*. [https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/gestionriesgos/PP\\_RRD\\_2023\\_2025.pdf](https://www.muniarequipa.gob.pe/descargas/transparencia/gestionriesgos/PP_RRD_2023_2025.pdf)
- Muñoz, W., & Requejo, F. (2022). *Comparación de los efectos de la interacción suelo-estructura considerando el modelo de Barkan y Norma Rusa en una edificación de 10 niveles con sótano* (Issue 8.5.2017) [Universidad

- Tecnológica del Perú].  
<https://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/6698>
- Organización de las Naciones Unidas. (2022). *Pagina ODS11.pdf*. Objetivos de Desarrollo Sostenible. <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/cities/>
- Phuor, T., Harahap, I., Ng, C., & Al-Bared, M. (2021). Development of the skew boundary condition for soil-structure interaction in three-dimensional finite element analysis. *Computers and Geotechnics*, 137, 13. <https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2021.104264>
- Puyen, V. (2022). *Modelación numérica de muros de contención de piedra* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/24728>
- Rocscience. (2008). *2D limit equilibrium slope stability for soil and rock slopes* (p. 207).
- Romero, E., Requena, M., & Morales, A. (2024). Impact of the soil-foundation-structure interaction in the seismic behaviour of a heritage masonry tower: The Giralda of Seville. *Engineering Failure Analysis*, 163(June). <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2024.108580>
- Salem, A. N., Ezzeldine, O. Y., & Amer, M. I. (2020). Seismic loading on cantilever retaining walls: Full-scale dynamic analysis. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 130(105962), 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2019.105962>
- Sang, Q., Xiong, Y., Zheng, R., Bao, X., Ye, G., & Zhang, F. (2024). A hybrid contact approach for modeling soil-structure interaction using the material point method. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 16(5), 1864–1882. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2023.11.028>
- Shenbaga, K. (2008). *Design aids in soil mechanics and foundation*. Tata McGraw-Hill. <https://www.abebooks.com/book-search/publisher/mc-graw-hill-india/>
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en zonas Tropicales*.

*Deslizamientos: Análisis Geotécnico, Geotecnia*, 117–148.  
<https://www.erosion.com.co/>

Sucasaca, J., & Sáez, E. (2021). Topographical and structure-soil-structure interaction effects on dynamic behavior of shear-wall buildings on coastal scarp. *Engineering Structures*, 247, 1–16.  
<https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.113113>

Sun, G., Lin, S., Zheng, H., Tan, Y., & Sui, T. (2020). The virtual element method strength reduction technique for the stability analysis of stony soil slopes. *Computers and Geotechnics*, 119(103349), 1–9.  
<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2019.103349>

Tiwari, R., & Lam, N. (2021). Modelling of seismic actions in earth retaining walls and comparison with shaker table experiment. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 150(106939), 1–14.  
<https://doi.org/10.1016/j.soildyn.2021.106939>

Toit, D., Kradenburg, V., & Lochner, F. (2005). Plaxis version 8 tutorial manual. In *Plaxis* (p. 110). Plaxis.

Tomlinson, M. (2001). *Foundation Design and Construction* (P. Hall (ed.); 7ma ed.). Pearson Education. [www.pearsoneduc.com](http://www.pearsoneduc.com)

Villarreal, G. (2020). Soil Structure Interaction in Buildings With Isolated Foundations. *Revista Internacional de Estructuras*, 25, 311–332.  
<http://dx.doi.org/10.24133/riie.v25i3.1689>

Xu, P., & Hatami, K. (2019). Sliding stability and lateral displacement analysis of reinforced soil retaining walls. *Geotextiles and Geomembranes*, 47(4), 483–492. <https://doi.org/10.1016/j.geotexmem.2019.03.004>

Xu, P., Hatami, K., Bao, J., & Li, T. (2020). Bearing capacity and failure mechanisms of two-tiered reinforced soil retaining walls under footing load. *Computers and Geotechnics*, 128(103833), 1–17.  
<https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2020.103833>

- Yoon, S. (2024). Virtual building models in built environments. *Developments in the Built Environment*, 18(100453), 1–12.  
<https://doi.org/10.1016/j.dibe.2024.100453>
- Zhang, T., Cai, Q., Han, L., Shu, J., & Zhou, W. (2017). 3D stability analysis method of concave slope based on the Bishop method. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(2), 365–370.  
<https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2017.01.020>
- Zhang, X., Wang, T., Jiang, M., Xu, M., & Mei, G. (2022). Supporting mechanism of rigid-flexible composition retaining structure in sand ground using discrete element method. *Computers and Geotechnics*, 151.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compgeo.2022.104967>

## APÉNDICE

**Matriz de consistencia**

**Instrumentos utilizados**

**Matriz de datos**

**Resultados de laboratorio**

**Panel fotográfico**

### **Matriz de consistencia**

**INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES, DIMENSIONES E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>INTERROGANTE PRINCIPAL</b> ¿Cómo puede determinarse la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante un modelamiento virtual, en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024?</p> <p><b>INTERROGANES ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿Cómo puede caracterizarse las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024?</li> <li>• ¿Cómo influye la interacción suelo-estructura en el desplazamiento estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa 2024?</li> <li>• ¿Cómo influye la interacción suelo-estructura en el volteo estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa 2024?</li> </ul>	<p><b>OBJETIVO GENERAL</b> Determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el comportamiento estructural del muro de contención mediante un modelamiento virtual, en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024</p> <p><b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos del sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.</li> <li>• Determinar la influencia de la interacción suelo-estructura en el desplazamiento estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.</li> <li>• Determinar la influencia la interacción suelo-estructura en el volteo estructural del muro de contención mediante el modelo virtual utilizando Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.</li> </ul>	<p><b>HIPÓTESIS GENERAL</b> La interacción suelo-estructura influye directamente en el comportamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024</p> <p><b>HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Las propiedades físico-mecánicas de los suelos de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024 se determinan en laboratorio.</li> <li>• La interacción suelo-estructura influye directamente en el desplazamiento estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.</li> <li>• La interacción suelo-estructura influye directamente en el volteo estructural del muro de contención modelado con los programas Slide y Plaxis en el sector de Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, 2024.</li> </ul>	<p><b>Variable independiente (X)</b> Interacción suelo-estructura</p> <p><b>Dimensión 1:</b> Propiedades físicas</p> <p><b>Indicadores:</b> -Granulometría -Contenido de humedad -Límites de consistencia</p> <p><b>Dimensión 2:</b> - Propiedades mecánicas</p> <p><b>Indicadores:</b> -Resistencia al corte -Permeabilidad -Capacidad de carga</p> <p><b>Variable dependiente (Y)</b> Comportamiento estructural del muro de contención</p> <p><b>Dimensión 1:</b> Desplazamiento</p> <p><b>Indicadores:</b> -Factor de seguridad al desplazamiento.</p> <p><b>Dimensión 2:</b> Volteo</p> <p><b>Indicador:</b> Factor de seguridad al volteo.</p>	<p><b>-Tipo de investigación</b> Básica</p> <p><b>-Enfoque de investigación</b> Cuantitativa</p> <p><b>-Nivel de investigación</b> Explicativo</p> <p><b>-Diseño de la investigación</b> No experimental</p> <p><b>-Ámbito de estudio</b> Se realizará en el sector Challapampa, Cerro Colorado-Arequipa, en el período de marzo - junio del 2024.</p> <p><b>-Población</b> 50 metros lineales del muro de contención de la margen derecha de la calle las Dalias en el sector de Challapampa.</p> <p><b>-Muestra</b> 50 metros lineales de diseño de muro de contención sometido a la simulación virtual. No probabilístico por conveniencia.</p> <p><b>Unidad muestral:</b> 3 testigos por calicata.</p> <p><b>Unidad de análisis:</b> 1 Testigo de 40 kg inalterado y dos testigos alterados por calicata.</p> <p><b>-Técnicas de recolección de datos</b> Técnica de campo Análisis documental Observación Laboratorio de materiales Técnica de simulación virtual</p> <p><b>-Instrumentos</b> Protocolo de extracción de testigos Ficha de observación de campo Ficha documental Ficha de laboratorio de materiales Equipos de laboratorio utilizados Programas de cómputo Slide y Plaxis</p>
<p><b>Relevancia de la investigación</b> Es relevante por la propuesta de mejorar la seguridad estructural de muros de contención considerando la interacción suelo-estructura; siendo una solución para reducir el colapso de infraestructura asentadas en laderas, optimizando el uso de los recursos naturales; por lo que, se tiene en cuenta el ODS 11 que mencionan como objetivos específicos al desarrollo sostenible y gestión ambiental (19) y el desarrollo en infraestructura y vivienda (21).</p>				

## **Instrumentos utilizados**

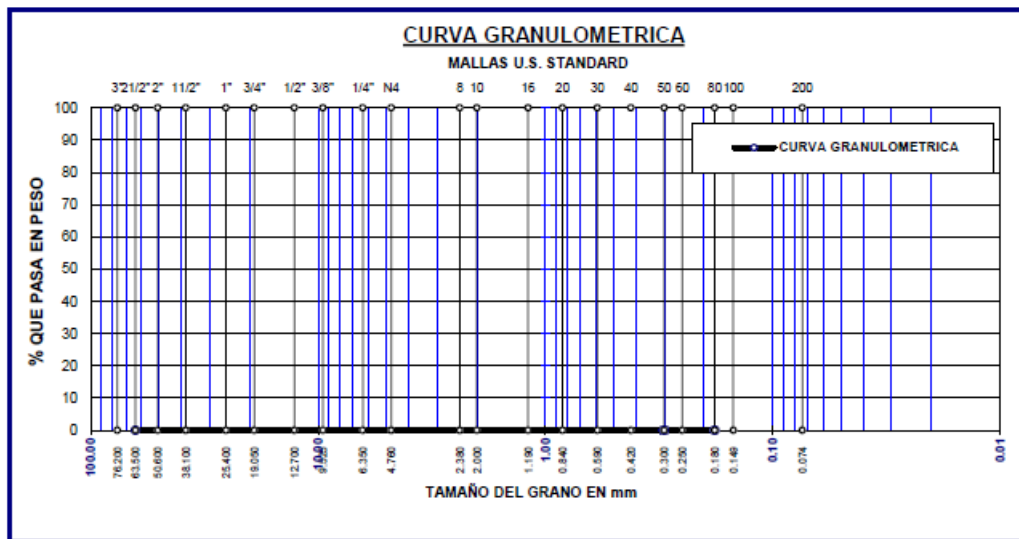


**ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO (ASTM D422)**  
**ENSAYOS ESTANDAR DE CLASIFICACION ( D2216 - D854 - D4318 - D427 - D2487 )**

PROYECTO: \_\_\_\_\_ SOLICITADO : \_\_\_\_\_  
 LUGAR : \_\_\_\_\_ CANTERA : \_\_\_\_\_  
 FECHA : \_\_\_\_\_ CAPAS : \_\_\_\_\_  
 MUESTRA : \_\_\_\_\_

TAMICES ASTM	ABERTURA mm	PESO RETENIDO	PESO RET CORREGIDO	% RET PARCIAL	% RET ACUM	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76.200						P. I. =
2 1/2"	63.500						P. L. =
2"	50.800						P. P. =
1 1/2"	38.100						
1"	25.400						LIMITES DE CONSISTENCIA:
3/4"	19.050						L. L. =
1/2"	12.700						L. P. =
3/8"	9.525						I. P. =
1/4"	6.350						
No4	4.760						CARACT. GRANULOMETRICAS:
No8	2.380						D10= --- Cu=----
No10	2.000						D30= --- Cc=----
No16	1.190						D60= ---
No20	0.840						
No30	0.590						CLASIFICACION:
No40	0.420						S.U.C.S. :
No 50	0.300						AASHTO :
No60	0.250						
No80	0.180						
No100	0.149						
No200	0.074						
BASE							
TOTAL							
% PERDIDA							

Obs:



OBSERVACIONES:

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO**  
**ASTM D2216**

PROYECTO:		MUESTRA:	
SOLICITANTE:		CALICATA Nº:	
UBICACION:		ESTADO:	
FECHA:		PROFUNDIDAD:	

Código del recipiente	01	02	Obs.
A. Peso del recipiente (g).			
B. Peso del recipiente más muestra húmeda (g).			
C. Peso del recipiente más muestra seca (g).			
D. Peso del agua Ww (g): B-C			
E. Peso de los sólidos Ws (g): C-A			
F. Contenido de humedad w(%): (D/E)*100			
Promedio.			

Observaciones:

.....

.....

Conclusiones:

.....

.....

**PESO VOLUMETRICO DE SUELO COHESIVO**  
**NTP 339.139**

PROYECTO:		MUESTRA:	
SOLICITANTE:		CALICATA Nº:	
UBICACION:		ESTADO:	
FECHA:		PROFUNDIDAD:	

**MÉTODO DE MEDICIÓN LINEAL**

A. Masa del molde (g)		
B. Masa del molde más muestra (g)		
C. Masa de la muestra, $m_s$ (g): B-A		
D. Diámetro promedio (cm)		
E. Altura promedio (cm)		
F. Volumen, V (cm <sup>3</sup> ): $(\pi D^2/4)*E$		
G. Densidad húmeda, $\rho$ (g/cm <sup>3</sup> ): C/F		
H. Contenido de humedad (w%):		
I. Densidad seca, $\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> ): $G/(1+H/100)$		



**Matriz de datos**

Nomenclatura	Combinación	Factor	
		Deslizamiento	Volteo
COMB B	Talud con sismo	1.05	2.15
COMB1	ED1	0.73	2.26
COMB2	ED2	0.82	2.6
COMB3	ED3	0.83	2.6
COMB4	ED4	0.83	2.6
COMB5	ED5	0.65	2.01
COMB6	ED6	0.81	2.6
COMB7	ED7	0.83	2.6
COMB8	ED8	0.83	2.6
COMB9	ED9	0.59	1.81
COMB10	ED10	0.8	2.6
COMB11	ED11	0.83	2.6
COMB12	ED12	0.83	2.6
COMB13	ED13	0.54	1.64
COMB14	ED14	0.8	2.59
COMB15	ED15	0.83	2.6
COMB16	ED16	0.83	2.6
COMB17	ED17	0.5	1.51
COMB18	ED18	0.79	2.59
COMB19	ED19	0.83	2.6
COMB20	ED20	0.83	2.6
COMB21	ED1+ED2	0.72	2.26
COMB22	ED1+ED2+ED3	0.72	2.26
COMB23	ED1+ED2+ED3+ED4	0.72	2.26
COMB24	ED5+ED6	0.64	2.01
COMB25	ED5+ED6+ED7	0.64	2.01
COMB26	ED5+ED6+ED7+ED8	0.64	2.01
COMB27	ED9+ED10	0.58	1.8
COMB28	ED9+ED10+ED11	0.58	1.5
COMB29	ED9+ED10+ED11+ED12	0.58	1.5
COMB30	ED13+ED14	0.53	1.64
COMB31	ED13+ED14+ED15	0.53	1.64
COMB32	ED13+ED14+ED15+ED16	0.53	1.64
COMB33	ED17+ED18	0.49	1.51
COMB34	ED17+ED18+ED19	0.49	1.51
COMB35	ED17+ED18+ED19+ED20	0.49	1.51
COMB36	ED9+ED6+ED11+ED8	0.58	1.8

## **Resultados de laboratorio**

# C1

  
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
-----  
WILBERT A. PAREDES CHOQUE HUANCA  
INGENIERO CIVIL CIP N° 131855  
JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**PERFIL ESTRATIGRAFICO**

SOLICITA : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
 PROYECTO : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCION  
 MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
 FECHA : ABRIL DEL 2024 CALICATA : C-01

PROF.	GRAFICO	ESTRATO Espesor	CLASIFICACIÓN		LIMITES DE ATTERBERG	HUM. NAT.	DESCRIPCIÓN
			AASHTO	SUCS	INDICE DE PLASTICIDAD		
3.00 m		E-01	FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA A-1-b	ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO, GRAVA Y BLOQUES SW/SM	LA MUESTRA NO TIENE PLASTICIDAD	2.60 %	ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO, GRAVA Y BLOQUES

OBS.:  
 \*NO SE ENCONTRO NIVEL FREATICO

  
 GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 I.F.T.E. DE CALIDAD DE LABORATORIO



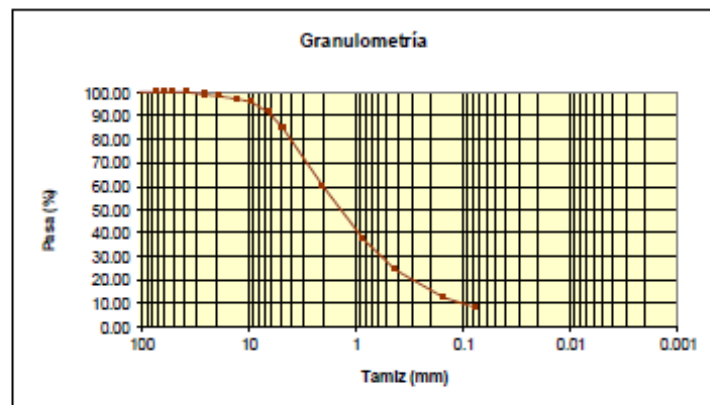
## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D422

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 CALICATA 01

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido acumulado (%)	Retenido parcial (%)
4"	100.00	100.00	0.00	0.00
3"	100.00	100.00	0.00	0.00
2 1/2"	100.00	100.00	0.00	0.00
2"	100.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2"	100.00	100.00	0.00	0.00
1"	99.05	99.05	0.95	0.95
3/4"	98.10	98.10	1.90	0.95
1/2"	97.14	97.14	2.86	0.96
3/8"	96.00	96.00	4.00	1.14
1/4"	91.20	91.20	8.80	4.80
Nº4	85.00	85.00	15.00	6.20
Nº10	60.01	60.01	39.99	24.99
Nº20	37.17	37.17	62.83	22.84
Nº40	24.02	24.02	75.98	13.15
Nº100	12.19	12.19	87.81	11.83
Nº200	8.00	8.00	92.00	4.19

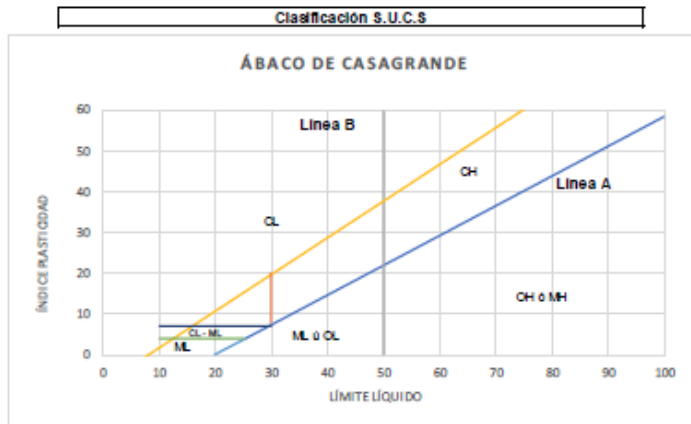
Pasa tamiz Nº 4 (5mm):	85.00 %
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):	8.00 %
D <sub>60</sub> :	2.00 mm
D <sub>30</sub> :	0.62 mm
D <sub>10</sub> (diámetro efectivo):	0.11 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	18.13
Grado de curvatura (Cc):	1.72



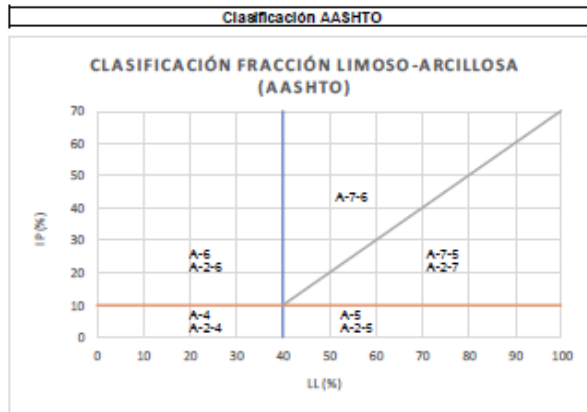
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOCUHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 137855  
 OFICINA DE CALIDAD DE LABORATORIO

**CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN SUCS Y AASHTO**

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCION SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCION MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 C-01



**Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)**  
 Suelo de partículas gruesas. ( Nomenclatura con símbolo doble).  
**Arena bien graduada con limo SW SM**



**Material granular**  
 Excelente a bueno como subgrado  
**A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena**

**Valor del índice de grupo (IG):**

**GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.**  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUE TALAUNCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 11.085  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

## CONTENIDO DE HUMEDAD

(MTC E-108 / ASTM D-2216)

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA** : C-01

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)	150.00	150.00
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1182.45	1179.40
Peso de la tara + muestra seca (gr)	1156.80	1152.90
Peso del agua contenida (gr)	25.65	26.50
Peso de la muestra seca (gr)	1006.80	1002.90
Contenido de Humedad (%)	2.55 %	2.64 %
Contenido de Humedad Promedio (%)	2.60 %	

  
 GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 IITE DE CALIDAD DE LABORATORIO

## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

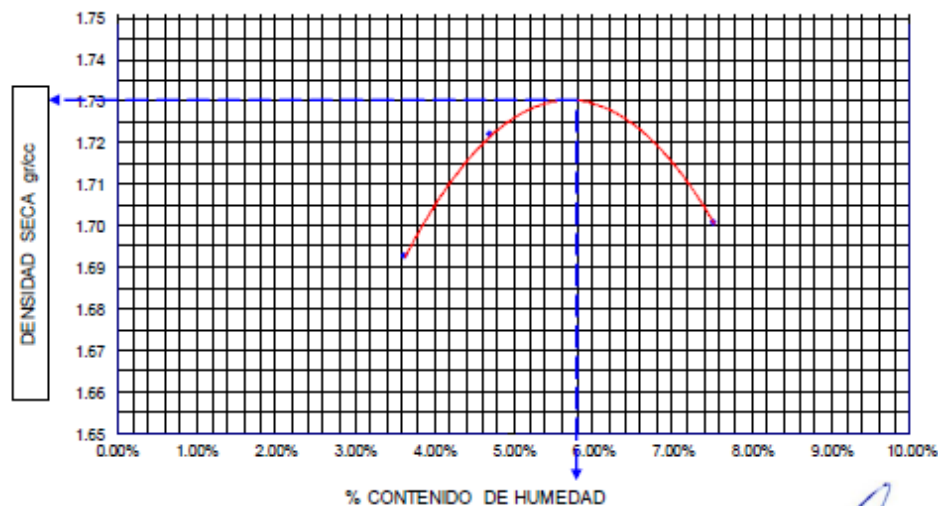
ASTM D1557

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA 01**

MOLDE N° N° DE CAPAS	1			VOLUMEN DEL MOLDE			2200	cm <sup>3</sup>
	5			GOLPES POR CAPA			56	golpes
<b>DETERMINACION</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>				
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10300	10408	10466				
Peso del Molde	gr.	6442	6442	6442				
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	3858	3966	4023				
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.754	1.803	1.829				
<b>CAPSULA</b>	<b>N°</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>				
Suelo Humedo + Tara	gr.	1000.0	1000.0	1000.0				
Peso del Suelo Seco + Tara	gr.	965.0	955.0	930.0				
Peso del Agua	gr.	35.00	45.00	70.00				
Peso de la Tara	gr.	0.00	0.00	0.00				
Peso del Suelo Seco	gr.	965.00	955.00	930.00				
Humedad	%	3.63%	4.71%	7.53%				
Promedio de Humedad	%	3.63%	4.71%	7.53%				
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.69	1.72	1.70				

DENSIDAD SECA : 1.73 g/cm<sup>3</sup>

HUMEDAD OPTIMA : 5.8 %



GEOECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

*[Firma manuscrita]*

**CAPACIDAD PORTANTE (c-01)**

PROPIEDADES :

Cohesion c (Kg/cm2) :	0
Angulo de friccion $\phi$ (deg) :	24.67
Peso Especifico $\gamma$ (Kg/cm3) :	0.00163
Factor de seguridad :	3
Densidad Relativa :	90

Nc =	20.25
Nq =	10.30
N $\gamma$ =	8.542

Tipo de Falla =	Falla General
-----------------	---------------

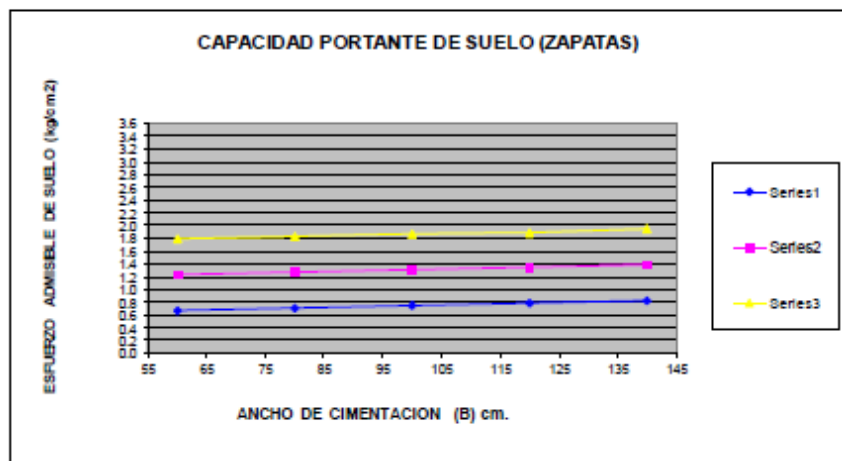
A.- PARA ZAPATAS

$$q_{ult} = (1.3 * c * Nc) + (\gamma * Df * Nq) + (0.4 * \gamma * B * N \gamma)$$

$$q_{ult} = 3.91 \text{ Kg/cm}^2$$

ancho (cm)	profundidad de cimentacion (Df)		
	1m	2m	3m
60	0.67	1.23	1.79
80	0.71	1.27	1.83
100	0.75	1.30	1.86
120	0.78	1.34	1.90
140	0.82	1.38	1.94

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CP N° 127855  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO



\* La capacidad portante para zapata a 2.00m. de profundidad es de 1.30kg/cm2.

**CORTE DIRECTO (C-01)**

( ASTM D-3080 )

**SOLICITA:** BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO:** TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**UBICACIÓN:** CERRO COLORADO - AREQUIPA  
**FECHA:** ABRIL DEL 2024

Contenido de Humedad				
Ensayo N°	1	2	3	4
Contenido de Humedad Inicial	NA	NA	NA	NA
Contenido de Humedad Final	NA	NA	NA	NA

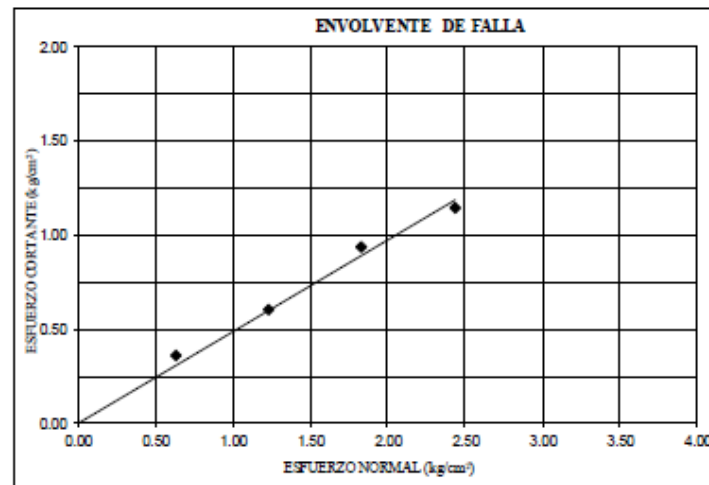
Características de la Muestra	Lado	5.95	Area	35.40
	Altura	2.05	Volumen	72.56

Características del Equipo de Corte Directo	N° Serie : 1885-2-1114	Modelo : EL 26-2114 / 01
	Factor del Anillo de Corte ( D. a + b ) : a=0.3992959152 b=0.6105351672	

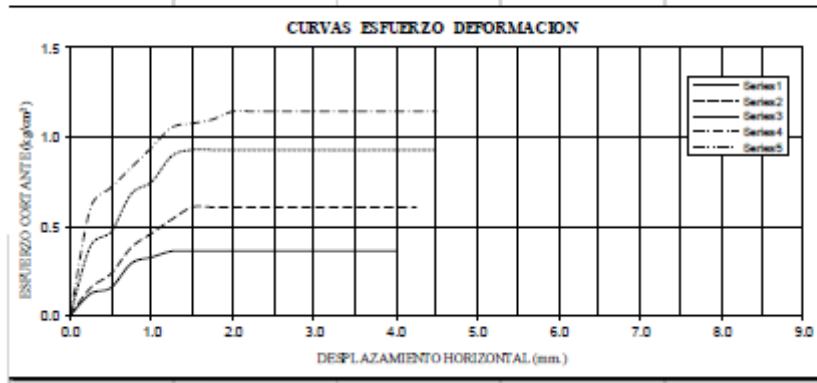
## APLICACIONES DE CARGA

Velocidad de Carga (mm/mIn)	0.500	0.500	0.500	0.500
Peso de la semi caja superior (kg)	0.499	0.499	0.499	0.499
Peso del Pistón de Carga (kg)	0.540	0.540	0.540	0.540
Carga Normal ( kg )	22.319	43.599	64.879	86.159
Esfuerzo Normal ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.630	1.232	1.833	2.434
Esfuerzo Tangencial ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.356	0.604	0.931	1.145

Cohesión (kg/cm<sup>2</sup>) Ang. F. =  $\emptyset$  °

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT ALVARO CHOCOL HUANCÁ  
 INGENIERO CIVIL N° 17485  
 REFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

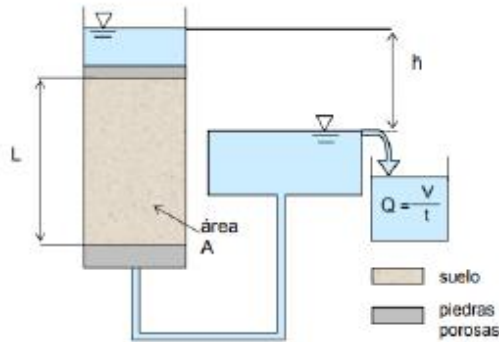
CORTE DIRECTO				
(ASTM D-3080)				
SOLICITA:	BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS			
PROYECTO:	TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024			
UBICACIÓN:	CERRO COLORADO - AREQUIPA			
FECHA:	ABRIL DEL 2024			
TANGENCIAL	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )
dh (mm.)	0.630	1.232	1.833	2.434
	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.12	0.15	0.39	0.60
0.50	0.15	0.23	0.47	0.72
0.75	0.29	0.38	0.68	0.83
1.00	0.32	0.46	0.75	0.94
1.25	0.36	0.54	0.90	1.05
1.50	0.36	0.60	0.93	1.08
1.75	0.36	0.60	0.93	1.10
2.00	0.36	0.60	0.93	1.15
2.25	0.36	0.60	0.93	1.15
2.50	0.36	0.60	0.93	1.15
2.75	0.36	0.60	0.93	1.15
3.00	0.36	0.60	0.93	1.15
3.25	0.36	0.60	0.93	1.15
3.50	0.36	0.60	0.93	1.15
3.75	0.36	0.60	0.93	1.15
4.00	0.36	0.60	0.93	1.15
4.25		0.60	0.93	1.15
4.50			0.93	1.15
4.75				
5.00				
5.25				
5.50				
5.75				
6.00				
6.25				
6.50				
6.75				
7.00				
7.25				
7.50				
7.75				



  
 GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHODIT HUAYCA  
 INGENIERO CIVIL CP N° 134885  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD (CARGA CONSTANTE)**

CALICATA N°01



L: 30 cm  
 A: 78.54 cm<sup>2</sup>  
 h: 18 cm

V: 2356.2 cm<sup>3</sup>  
 T: 81800 seg.  
 i: 0.6

$Q = V/T$   
 0.028804401 cm<sup>3</sup>/seg.

$k = \frac{V}{t \cdot i \cdot A} = \frac{V \cdot L}{t \cdot h \cdot A}$

**k = 0.0006112 cm/s**

0.000x

TIPO DE SUELO	K(m/seg)
Grava limpia	100 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.01
Arena fina	0.01 - 0.001
Arcilla limosa	0.001 - 0.00001
Arcilla	0.000001



**OBSERVACIONES :**

\* El suelo presenta una permeabilidad alta (arenoso)

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
  
**WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA**  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 IETE DE CALIDAD DE LABORATORIO

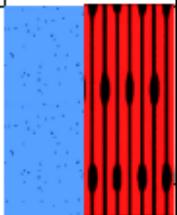


# C2

  
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
-----  
WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
INTE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**PERFIL ESTRATIGRAFICO**

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA** : C-02

PROF.	GRAFICO	ESTRATO Espesor	CLASIFICACIÓN		LIMITES DE ATTERBERG	HUM. NAT.	DESCRIPCIÓN
			AASHTO	SUCS	INDICE DE PLASTICIDAD		
3.00m		E-01	FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA A-1-b	ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO, GRAVA Y BLOQUES SW/SM	LA MUESTRA NO TIENE PLASTICIDAD	2.80 %	ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO, GRAVA Y BLOQUES

**OBS.:**  
 \*NO SE ENCONTRO NIVEL FREATICO

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP. N° 157855  
 IETE DE CALIDAD DE LABORATORIO

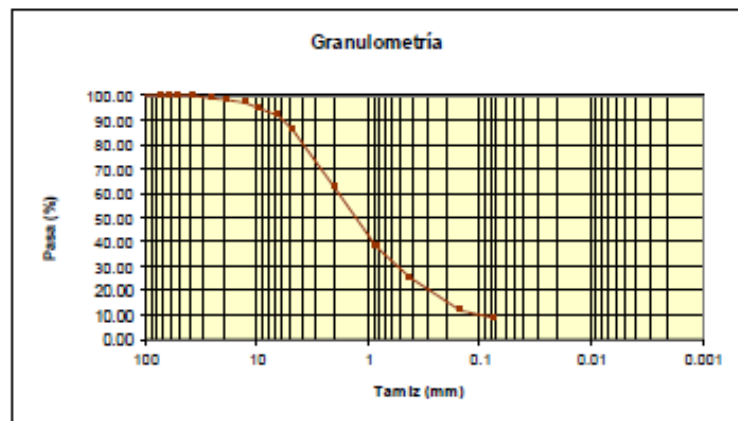
## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D422

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA 02**

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido acumulado (%)	Retenido parcial (%)
4"	100.00	100.00	0.00	0.00
3"	100.00	100.00	0.00	0.00
2 1/2"	100.00	100.00	0.00	0.00
2"	100.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2"	100.00	100.00	0.00	0.00
1"	99.22	99.22	0.78	0.78
3/4"	98.19	98.19	1.81	1.03
1/2"	97.46	97.46	2.54	0.73
3/8"	95.00	95.00	5.00	2.46
1/4"	91.55	91.55	8.45	3.45
Nº4	86.00	86.00	14.00	5.55
Nº10	62.04	62.04	37.96	23.96
Nº20	38.01	38.01	61.99	24.03
Nº40	25.37	25.37	74.63	12.64
Nº100	11.80	11.80	88.20	13.57
Nº200	9.00	9.00	91.00	2.80

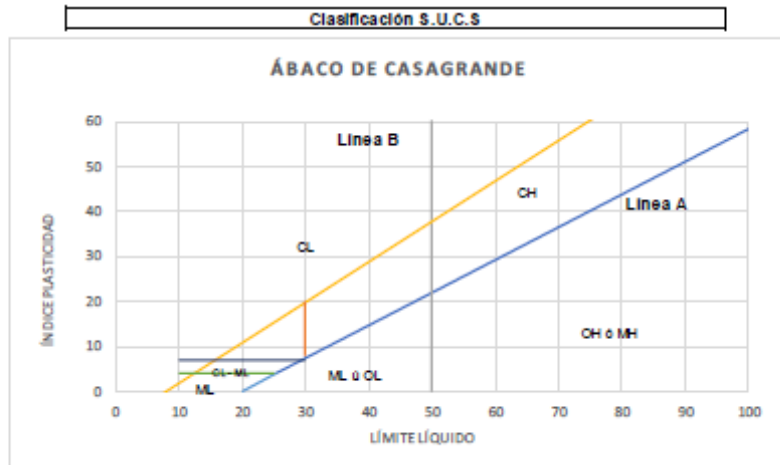
Pasa tamiz Nº 4 (5mm):	86.00 %
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):	9.00 %
D <sub>60</sub> :	1.90 mm
D <sub>30</sub> :	0.58 mm
D <sub>10</sub> (diámetro efectivo):	0.10 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	18.81
Grado de curvatura (Cc):	1.73



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 13785  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

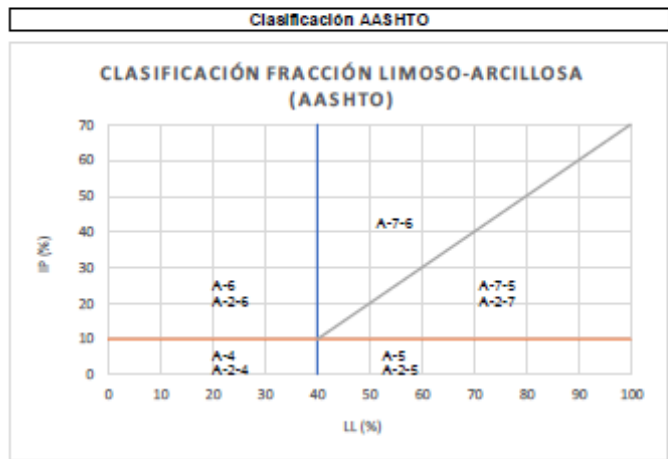
**CLASIFICACION DE SUELOS SEGUN SUCS Y AASHTO**

SOLICITA :BACH. CARLOS MAN VALDEZ RAMOS  
 PROYECTO :TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
 FECHA : ABRIL DEL 2024 C-02



Sistema unificado de clasificación de suelos (S.U.C.S.)

Suelo de partículas gruesas.( Nomenclatura con símbolo doble).  
**Arena bien graduada con limo SW SM**



**Material granular**  
 Excelente a bueno como subgrado  
**A-1-b Fragmentos de roca, grava y arena**

**Valor del índice de grupo (IG):**

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOLI HUANCAY  
 INGENIERO CIVIL (CIP N° 113885)  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E-108 / ASTM D-2216)

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024

**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA** : C-02

Descripcion	1	2
Peso de tara (gr)	150.00	150.00
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1183.33	1180.27
Peso de la tara + muestra seca (gr)	1154.45	1152.95
Peso del agua contenida (gr)	28.88	27.32
Peso de la muestra seca (gr)	1004.45	1002.95
Contenido de Humedad (%)	2.88 %	2.72 %
Contenido de Humedad Promedio (%)	2.80 %	

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**CAPACIDAD PORTANTE (c-02)**

PROPIEDADES :

Cohesion c (Kg/cm2) :	0
Angulo de friccion $\phi$ (deg) :	24.00
Peso Especifico $\gamma$ (Kg/cm3) :	0.00162
Factor de seguridad :	3
Densidad Relativa :	90

Nc =	19.32
Nq =	9.60
N $\gamma$ =	7.661

Tipo de Falla =	Falla General
-----------------	---------------

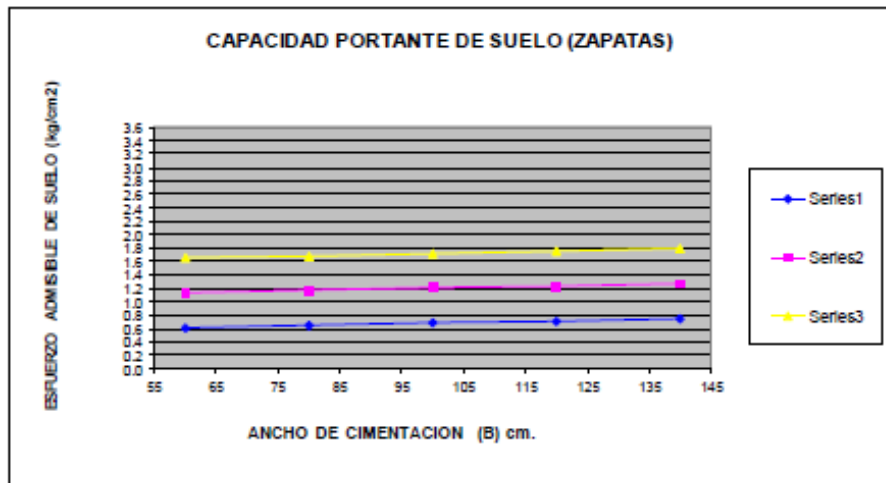
A.- PARA ZAPATAS

$$q_{ult} = (1.3 * c * N_c) + (\gamma * D_f * N_q) + (\beta.4 * \gamma * B * N_{\gamma})$$

$$q_{ult} = 3.61 \text{ Kg/cm}^2$$

Q ADMISIBLE			
anocho (cm)	profundidad de cimentacion (Df)		
	1m	2m	3m
B			
60	0.62	1.14	1.66
80	0.65	1.17	1.69
100	0.68	1.20	1.72
120	0.72	1.24	1.75
140	0.75	1.27	1.79

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOLICHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP. N° 134885  
 COMITE DE CALIDAD DE LABORATORIO



\* La capacidad portante para zapata a 2.00m. de profundidad es de 1.20kg/cm2.

**CORTE DIRECTO (C-02)**

(ASTM D-3080)

**SOLICITA:** BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO:** TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**UBICACIÓN:** CERRO COLORADO - AREQUIPA  
**FECHA:** ABRIL DEL 2024

**Contenido de Humedad**

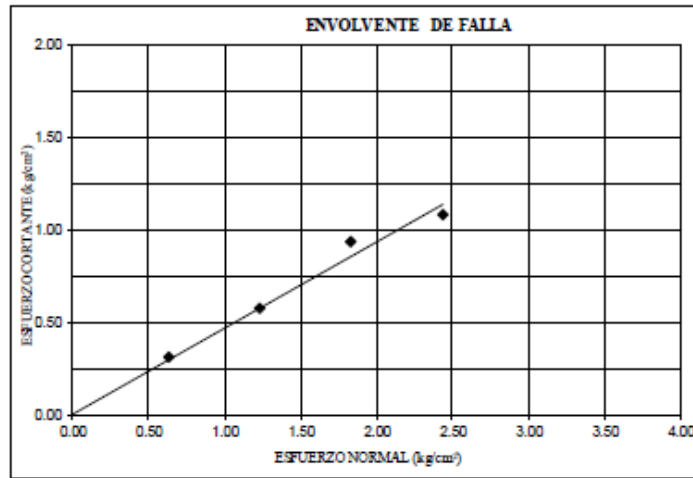
Ensayo N°	1	2	3	4
Contenido de Humedad Inicial	NA	NA	NA	NA
Contenido de Humedad Final	NA	NA	NA	NA

Características de la Muestra	Lado	5.95	Area	35.40
	Altura	2.05	Volumen	72.58

Características del Equipo de Corte Directo	N° Serie : 1885-2-1114	Modelo : EL 26-2114 / 01
	Factor del Anillo de Corte ( D, a + b ) : a=0.3992959152 b=0.6105351672	

**APLICACIONES DE CARGA**

	0.500	0.500	0.500	0.500
Velocidad de Carga (mm/min)	0.500	0.500	0.500	0.500
Peso de la semi caja superior (kg)	0.499	0.499	0.499	0.499
Peso del Pistón de Carga (kg)	0.540	0.540	0.540	0.540
Carga Normal ( kg )	22.319	43.599	64.879	86.159
Esfuerzo Normal ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.630	1.232	1.833	2.434
Esfuerzo Tangencial ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.310	0.570	0.931	1.077



Cohesión (kg/cm<sup>2</sup>)

Ang. F. =  $\emptyset$   °

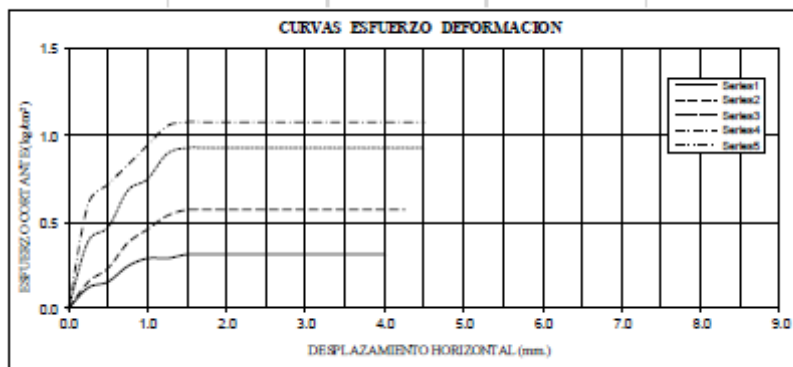
**GEOTECNIA PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.**  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 127885  
 I.E.T.E. DE CALIDAD DE LABORATORIO

**CORTE DIRECTO**  
(ASTM D-3080)

**SOLICITA:** BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO:** TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**UBICACIÓN:** CERRO COLORADO - AREQUIPA  
**FECHA:** ABRIL DEL 2024

TANGENCIAL	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )
dh (mm.)	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.12	0.15	0.39	0.60
0.50	0.15	0.23	0.47	0.72
0.75	0.24	0.38	0.68	0.83
1.00	0.29	0.46	0.75	0.94
1.25	0.29	0.54	0.90	1.05
1.50	0.31	0.57	0.93	1.08
1.75	0.31	0.57	0.93	1.08
2.00	0.31	0.57	0.93	1.08
2.25	0.31	0.57	0.93	1.08
2.50	0.31	0.57	0.93	1.08
2.75	0.31	0.57	0.93	1.08
3.00	0.31	0.57	0.93	1.08
3.25	0.31	0.57	0.93	1.08
3.50	0.31	0.57	0.93	1.08
3.75	0.31	0.57	0.93	1.08
4.00	0.31	0.57	0.93	1.08
4.25		0.57	0.93	1.08
4.50			0.93	1.08
4.75				
5.00				
5.25				
5.50				
5.75				
6.00				
6.25				
6.50				
6.75				
7.00				
7.25				
7.50				
7.75				

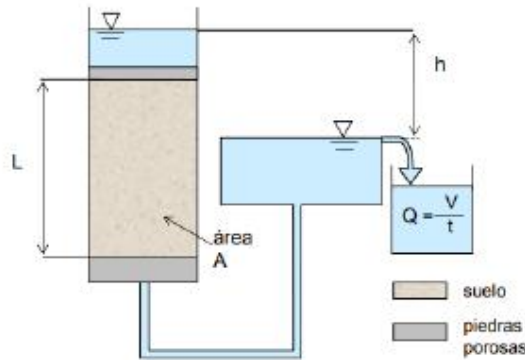
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 17885  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO





**ENSAYO DE PERMEABILIDAD (CARGA CONSTANTE)**

CALICATA N°02



L: 30  
 A: 78.54  
 h: 19

V: 2356.2  
 T: 81900  
 i: 0.633333333

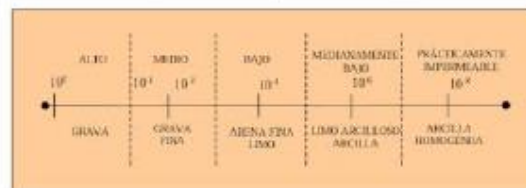
$Q = V/T$   
 0.028769231 cm<sup>3</sup>/seg.

$$k = \frac{V}{t \cdot i \cdot A} = \frac{V \cdot L}{t \cdot h \cdot A}$$

**k = 0.0005784**

0.000x

TIPO DE SUELO	K(cm/seg)
Grava limpia	100 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.01
Arena fina	0.01 - 0.001
Arcilla limosa	0.001 - 0.00001
Arcilla	0.000001



OBSERVACIONES :  
 ° El suelo presenta una permeabilidad alta (arenoso)

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUI HUANCA  
 INGENIERO CIVIL CP. N° 131855  
 (ETE DE CALIDAD DE LABORATORIO)

C3

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
  
WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
INGENIERO CIVIL CIP N° 147855  
JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO


**PERFIL ESTRATIGRAFICO**

SOLICITA : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
 PROYECTO : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN  
 MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
 FECHA : ABRIL DEL 2024 CALICATA : C-03

PROF.	GRAFICO	ESTRATO	CLASIFICACIÓN		LIMITES DE ATTERBERG	HUM. NAT.	DESCRIPCIÓN
		Esesor	AASHTO	SUCS	INDICE DE PLASTICIDAD		
3.00m		E-01	FRAGMENTOS DE ROCA, GRAVA Y ARENA A-1-b	ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO, GRAVA Y BLOQUES SW/SM	LA MUESTRA NO TIENE PLASTICIDAD	3.00 %	ARENA BIEN GRADUADA CON LIMO, GRAVA Y BLOQUES

OBS.:  
 \*NO SE ENCONTRO NIVEL FREATICO

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 137855  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO



## CONTENIDO DE HUMEDAD

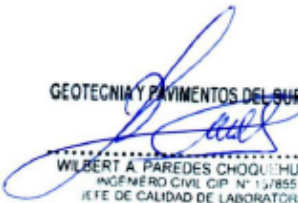
(MTC E-108 / ASTM D-2216)

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024

**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA** : C-03

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)	150.00	150.00
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1186.10	1184.23
Peso de la tara + muestra seca (gr)	1156.12	1153.87
Peso del agua contenida (gr)	29.98	30.36
Peso de la muestra seca (gr)	1006.12	1003.87
Contenido de Humedad (%)	2.98 %	3.02 %
Contenido de Humedad Promedio (%)	3.00 %	

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP. N° 137855  
 IITE DE CALIDAD DE LABORATORIO

## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

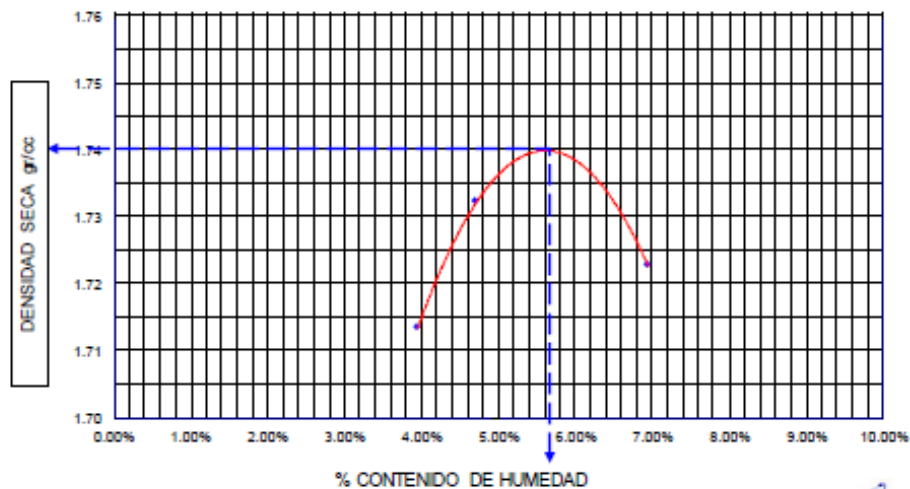
ASTM D1557

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA 03**

MOLDE N° N° DE CAPAS	1			VOLUMEN DEL MOLDE			2200	cm <sup>3</sup>
	5			GOLPES POR CAPA			56	golpes
<b>DETERMINACION</b>	<b>N°</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>				
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10360	10432	10495				
Peso del Molde	gr.	6442	6442	6442				
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	3918	3990	4053				
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.781	1.814	1.842				
<b>CAPSULA</b>	<b>N°</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>7</b>				
Suelo Humedo + Tara	gr.	1000.0	1000.0	1000.0				
Peso del Suelo Seco + Tara	gr.	962.0	955.0	935.0				
Peso del Agua	gr.	38.00	45.00	65.00				
Peso de la Tara	gr.	0.00	0.00	0.00				
Peso del Suelo Seco	gr.	962.00	955.00	935.00				
Humedad	%	3.95%	4.71%	6.95%				
Promedio de Humedad	%	3.95%	4.71%	6.95%				
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.71	1.73	1.72				

DENSIDAD SECA : 1.74 g/cm<sup>3</sup>

HUMEDAD OPTIMA : 5.7 %



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

  
**WILBERT A. PAREDES CHOQUI HUANCA**  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

## CAPACIDAD PORTANTE (c-03)

PROPIEDADES :

Cohesion $c$ (Kg/cm <sup>2</sup> ) :	0
Angulo de friccion $\phi$ (deg) :	25.25
Peso Especifico $\gamma$ (Kg/cm <sup>3</sup> ) :	0.00164
Factor de seguridad :	3
Densidad Relativa :	90

$N_c$ =	21.09
$N_q$ =	10.95
$N_\gamma$ =	9.383

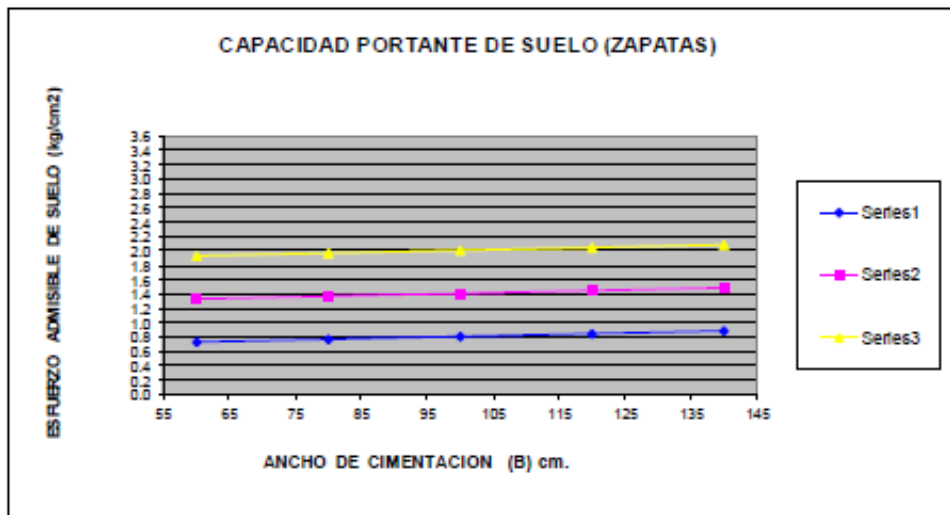
Tipo de Falla =	Falla General
-----------------	---------------

A.- PARA ZAPATAS

$$q_{ult} = (1.3 * c * N_c) + (\gamma * D_f * N_q) + (\beta * 4 * \gamma * B * N_\gamma)$$

$$q_{ult} = 4.21 \text{ Kg/cm}^2$$

ancho (cm)	profundidad de cimentacion (Df)		
	1m	2m	3m
B			
60	0.72	1.32	1.92
80	0.76	1.36	1.96
100	0.80	1.40	2.00
120	0.84	1.44	2.04
140	0.89	1.48	2.08



\* La capacidad portante para zapata a 2.00m. de profundidad es de 1.40kg/cm<sup>2</sup>.

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOULLI HUANCRA  
 INGENIERO CIVIL (CIP. N° 117385)  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**CORTE DIRECTO (C-03)**

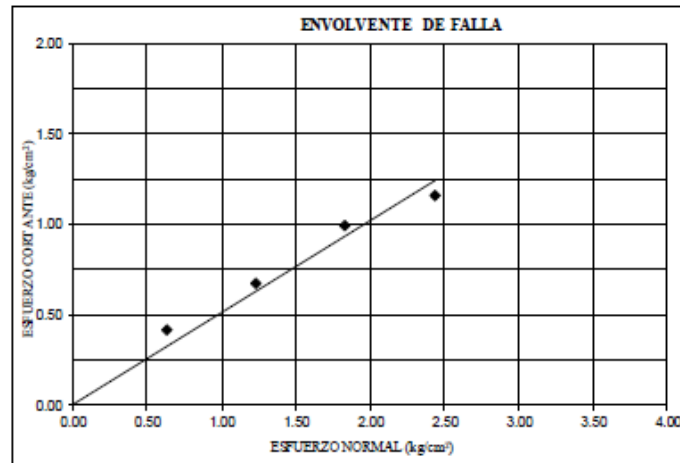
(ASTM D-3080)

**SOLICITA:** BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO:** TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**UBICACIÓN:** CERRO COLORADO - AREQUIPA  
**FECHA:** ABRIL DEL 2024

Contenido de Humedad				
Ensayo N°	1	2	3	4
Contenido de Humedad Inicial	NA	NA	NA	NA
Contenido de Humedad Final	NA	NA	NA	NA
Características de la Muestra	Lado	5.95	Area	35.40
	Altura	2.05	Volumen	72.58
Características del Equipo de Corte Directo	N° Serie :	1885-2-1114	Modelo :	EL 26-2114 / 01
	Factor del Anillo de Corte ( D. a + b ) : a=0.3992959152 b=0.6105351672			

## APLICACIONES DE CARGA

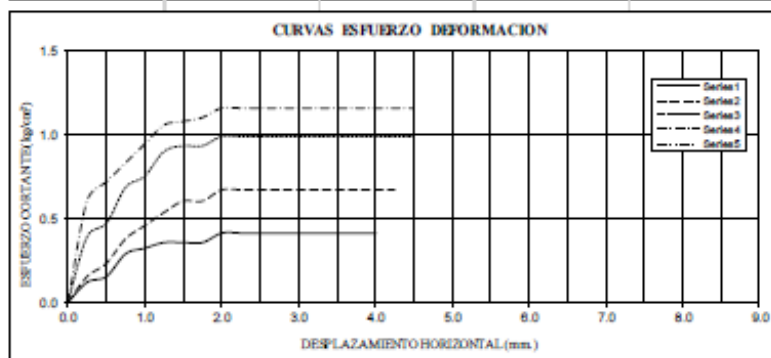
Velocidad de Carga (mm/min)	0.500	0.500	0.500	0.500
Peso de la semi caja superior (kg)	0.499	0.499	0.499	0.499
Peso del Pistón de Carga (kg)	0.540	0.540	0.540	0.540
Carga Normal ( kg )	22.319	43.599	64.879	86.159
Esfuerzo Normal ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.630	1.232	1.833	2.434
Esfuerzo Tangencial ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.412	0.671	0.987	1.156

Cohesión (kg/cm<sup>2</sup>) Ang. F. =  $\phi$  °

  
**GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.**  
 WILBERT A. PAREDES CHOC  
 INGENIERO CIVIL, CIP. N° 173855  
 D.E.F. DE FIRMAS DE INGENIEROS



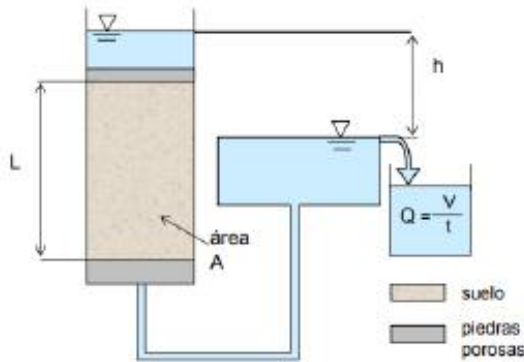
CORTE DIRECTO				
(ASTM D-3080)				
SOLICITA:	BACH. CARLOS NAN VALDEZ RAMOS			
PROYECTO:	TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024			
UBICACIÓN:	CERRO COLORADO - AREQUIPA			
FECHA:	ABRIL DEL 2024			
TANGENCIAL	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )
dh (mm.)	0.630	1.232	1.833	2.434
	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.12	0.15	0.39	0.60
0.50	0.15	0.23	0.47	0.72
0.75	0.29	0.38	0.68	0.83
1.00	0.32	0.46	0.75	0.94
1.25	0.36	0.54	0.90	1.05
1.50	0.36	0.60	0.93	1.08
1.75	0.36	0.60	0.93	1.10
2.00	0.41	0.67	0.99	1.16
2.25	0.41	0.67	0.99	1.16
2.50	0.41	0.67	0.99	1.16
2.75	0.41	0.67	0.99	1.16
3.00	0.41	0.67	0.99	1.16
3.25	0.41	0.67	0.99	1.16
3.50	0.41	0.67	0.99	1.16
3.75	0.41	0.67	0.99	1.16
4.00	0.41	0.67	0.99	1.16
4.25		0.67	0.99	1.16
4.50			0.99	1.16
4.75				
5.00				
5.25				
5.50				
5.75				
6.00				
6.25				
6.50				
6.75				
7.00				
7.25				
7.50				
7.75				



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.I

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD (CARGA CONSTANTE)**

CALICATA N°03



L: 30 cm  
 A: 78.54 cm<sup>2</sup>  
 h: 20 cm

V: 2356.2 cm<sup>3</sup>  
 T: 62535 seg.  
 i: 0.666666667

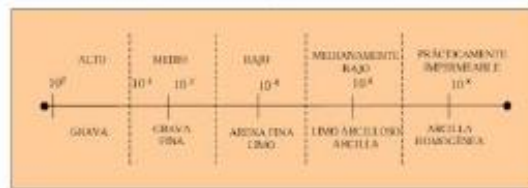
Q = V/T  
 0.0376781 cm<sup>3</sup>/seg.

$$k = \frac{V}{t \cdot i \cdot A} = \frac{V \cdot L}{t \cdot h \cdot A}$$

**k = 0.0007196 cm/s**

0.000x

TIPO DE SUELO	K (cm/seg)
Grava limpia	100 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.01
Arena fina	0.01 - 0.001
Arcilla limosa	0.001 - 0.00001
Arcilla	0.00001



**OBSERVACIONES :**

\* El suelo presenta una permeabilidad alta (arenoso)

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 137855  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

# C4

  
GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
INGENIERO CIVIL CIP. N° 137855  
IETE DE CALIDAD DE LABORATORIO

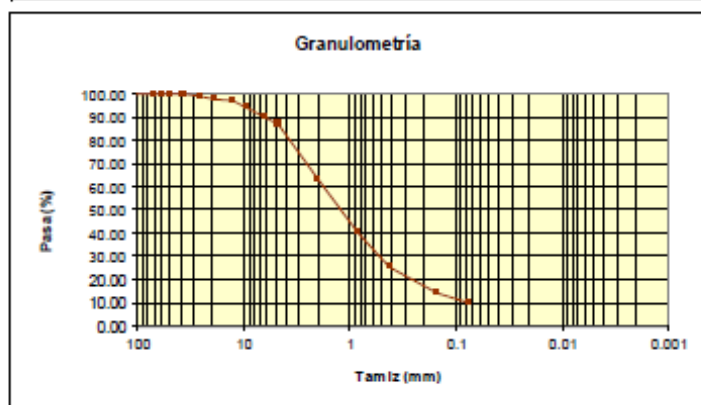
## ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO

ASTM D422

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA** 04

Tamiz (mm)	Pasa (%)	Pasante (%)	Retenido acumulado (%)	Retenido parcelal (%)
4"	100.00	100.00	0.00	0.00
3"	100.00	100.00	0.00	0.00
2 1/2"	100.00	100.00	0.00	0.00
2"	100.00	100.00	0.00	0.00
1 1/2"	100.00	100.00	0.00	0.00
1"	99.02	99.02	0.98	0.98
3/4"	98.05	98.05	1.95	0.97
1/2"	97.11	97.11	2.89	0.94
3/8"	94.00	94.00	6.00	3.11
1/4"	90.28	90.28	9.72	3.72
Nº4	87.00	87.00	13.00	3.28
Nº10	63.19	63.19	36.81	23.81
Nº20	40.08	40.08	59.94	23.13
Nº40	25.08	25.08	74.92	14.98
Nº100	14.16	14.16	85.84	10.92
Nº200	10.00	10.00	90.00	4.16

Pasa tamiz Nº 4 (5mm):	87.00 %
Pasa tamiz Nº 200 (0,080 mm):	10.00 %
D <sub>60</sub> :	1.84 mm
D <sub>30</sub> :	0.56 mm
D <sub>10</sub> (diámetro efectivo):	0.07 mm
Coefficiente de uniformidad (Cu):	24.88
Grado de curvatura (Cc):	2.31



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CP. N° 12785  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

## CONTENIDO DE HUMEDAD

(MTC E-108 / ASTM D-2216)

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024

**FECHA** : ABRIL DEL 2024

**CALICATA** : C-04

Descripción	1	2
Peso de tara (gr)	150.00	150.00
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	1187.68	1185.89
Peso de la tara + muestra seca (gr)	1155.60	1153.70
Peso del agua contenida (gr)	32.08	32.19
Peso de la muestra seca (gr)	1005.60	1003.70
Contenido de Humedad (%)	3.19 %	3.21 %
Contenido de Humedad Promedio (%)	3.20 %	

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUIHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 1137855  
 JEFE DE CALIDAD DE LABORATORIO

## ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO

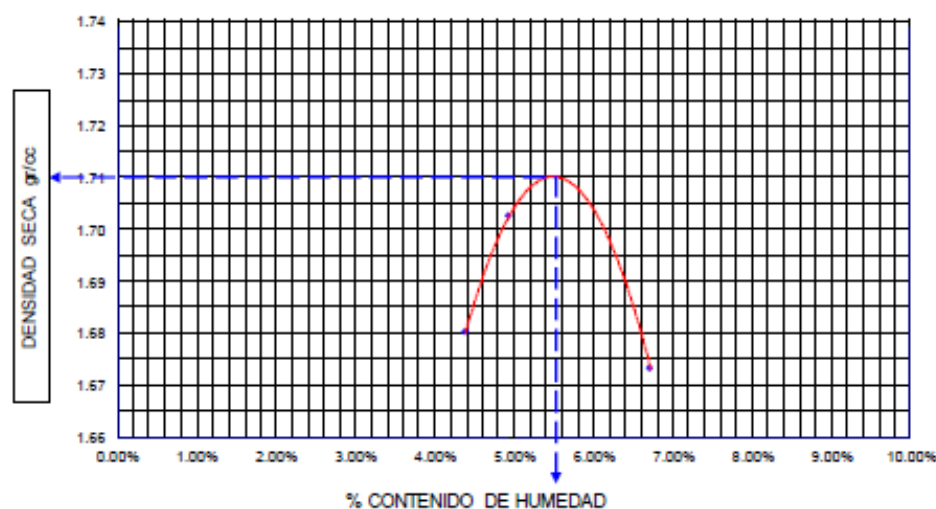
ASTM D1557

**SOLICITA** : BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO** : TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**FECHA** : ABRIL DEL 2024 **CALICATA 04**

MOLDE N°		1	2	3	
N° DE CAPAS		5	5	5	
		VOLUMEN DEL MOLDE			2200 cm <sup>3</sup>
		GOLPES POR CAPA			56 golpes
DETERMINACION	N°	1	2	3	
Peso Suelo Humedo + Molde	gr.	10300	10372	10370	
Peso del Molde	gr.	6442	6442	6442	
Peso del Suelo Humedo	gr/cc	3858	3930	3928	
Densidad del Suelo Humedo	gr/cc	1.754	1.786	1.785	
CAPSULA	N°	5	6	7	
Suelo Humedo + Tara	gr.	1000.0	1000.0	1000.0	
Peso del Suelo Seco + Tara	gr.	958.0	953.0	937.0	
Peso del Agua	gr.	42.00	47.00	63.00	
Peso de la Tara	gr.	0.00	0.00	0.00	
Peso del Suelo Seco	gr.	958.00	953.00	937.00	
Humedad	%	4.38%	4.93%	6.72%	
Promedio de Humedad	%	4.38%	4.93%	6.72%	
Densidad del Suelo Seco	gr/cc	1.88	1.70	1.87	

DENSIDAD SECA : 1.71 g/cm<sup>3</sup>

HUMEDAD OPTIMA : 5.6 %



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUECHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 IETE DE CALIDAD DE LABORATORIO

**CAPACIDAD PORTANTE (c-04)**

PROPIEDADES :

Cohesion c (Kg/cm2) :	0
Angulo de friccion $\phi$ (deg) :	25.80
Peso Especifico $\gamma$ (Kg/cm3) :	0.00165
Factor de seguridad :	3
Densidad Relativa :	90

Nc =	21.94
Nq =	11.60
N $\gamma$ =	10.253

Tipo de Falla =	Falla General
-----------------	---------------

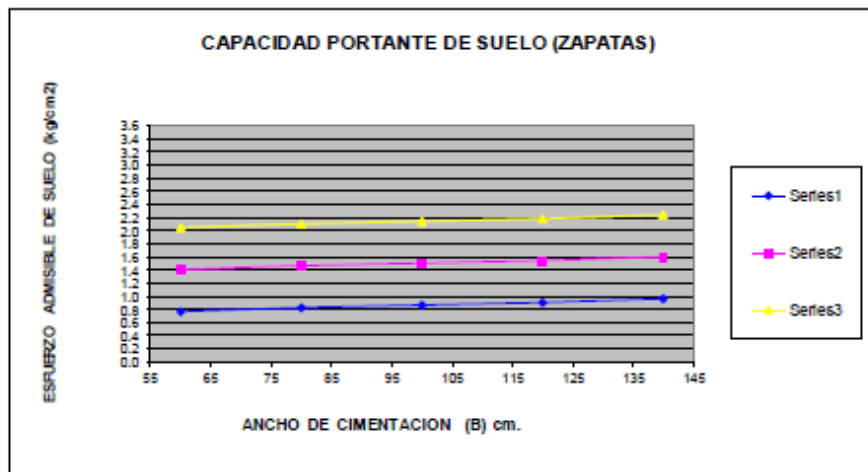
A.- PARA ZAPATAS

$$q_{ult} = (1.3 * c * N_c) + (\gamma * D_f * N_q) + (0.4 * \gamma * B * N_{\gamma})$$

$$q_{ult} = 4.51 \text{ Kg/cm}^2$$

ancho (cm)	profundidad de cimentacion (Df)		
	1m	2m	3m
B	0.77	1.41	2.05
60	0.82	1.46	2.10
80	0.86	1.50	2.14
100	0.91	1.55	2.19
120	0.95	1.59	2.23
140			

GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CP. N° 13855  
 IITE DE CALIDAD DE LABORATORIO



\* La capacidad portante para zapata a 2.00m. de profundidad es de 1.50kg/cm2.

**CORTE DIRECTO (C-04)**

(ASTM D-3080)

**SOLICITA:** BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO:** TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**UBICACIÓN:** CERRO COLORADO - AREQUIPA  
**FECHA:** ABRIL DEL 2024

**Contenido de Humedad**

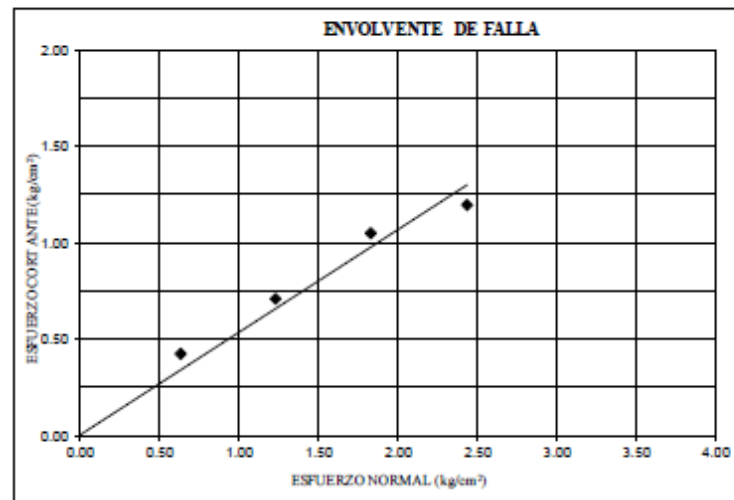
Ensayo Nº	1	2	3	4
Contenido de Humedad Inicial	NA	NA	NA	NA
Contenido de Humedad Final	NA	NA	NA	NA

Características de la Muestra	Lado	5.95	Area	35.40
		Altura	2.05	Volumen

Características del Equipo de Corte Directo	Nº Serie : 1885-2-1114	Modelo : EL 26-2114 / 01
	Factor del Anillo de Corte ( D, a + b ) : a=0.3992959152 b=0.6105351672	

**APLICACIONES DE CARGA**

Velocidad de Carga (mm/min)	0.500	0.500	0.500	0.500
Peso de la semi caja superior (kg)	0.499	0.499	0.499	0.499
Peso del Pistón de Carga (kg)	0.540	0.540	0.540	0.540
Carga Normal ( kg )	22.319	43.599	64.879	86.159
Esfuerzo Normal ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.630	1.232	1.833	2.434
Esfuerzo Tangencial ( kg/cm <sup>2</sup> )	0.423	0.705	1.044	1.190

Cohesión (kg/cm<sup>2</sup>) Ang. F. =  $\phi$  

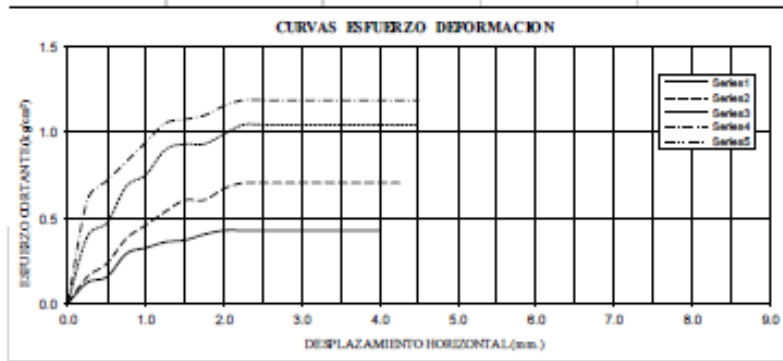
GEOTECNIA Y FUNDACIONES DEL SUR S.A.C.  
 WILBER A. PAREDES CHOQUEHUANCA  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 137855  
 I.C.TE. DE CALIDAD DE LABORATORIO



**CORTE DIRECTO**  
(ASTM D-3080)

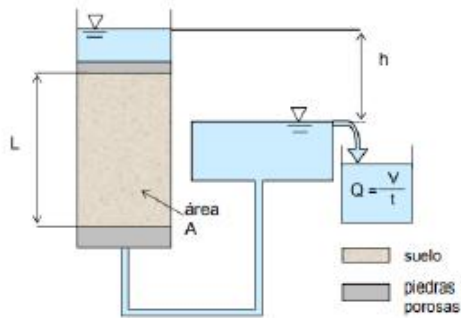
**SOLICITA:** BACH. CARLOS IVAN VALDEZ RAMOS  
**PROYECTO:** TESIS: INFLUENCIA DE INTERACCIÓN SUELO-ESTRUCTURA EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL MURO DE CONTENCIÓN MEDIANTE UN MODELLAMIENTO VIRTUAL, EN EL SECTOR CHALLAPAMPA, CERRO COLORADO-AREQUIPA, 2024  
**UBICACIÓN:** CERRO COLORADO - AREQUIPA  
**FECHA:** ABRIL DEL 2024

TANGENCIAL	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )	s (kg/cm <sup>2</sup> )
dh (mm.)	0.630	1.232	1.833	2.434
	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )	t (kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.25	0.12	0.15	0.39	0.60
0.50	0.15	0.23	0.47	0.72
0.75	0.29	0.38	0.68	0.83
1.00	0.32	0.46	0.75	0.94
1.25	0.36	0.54	0.90	1.05
1.50	0.37	0.60	0.93	1.08
1.75	0.40	0.60	0.93	1.10
2.00	0.42	0.67	0.99	1.16
2.25	0.42	0.71	1.04	1.19
2.50	0.42	0.71	1.04	1.19
2.75	0.42	0.71	1.04	1.19
3.00	0.42	0.71	1.04	1.19
3.25	0.42	0.71	1.04	1.19
3.50	0.42	0.71	1.04	1.19
3.75	0.42	0.71	1.04	1.19
4.00	0.42	0.71	1.04	1.19
4.25		0.71	1.04	1.19
4.50			1.04	1.19
4.75				
5.00				
5.25				
5.50				
5.75				
6.00				
6.25				
6.50				
6.75				
7.00				
7.25				
7.50				
7.75				



**GEOECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.**  
 WILBERT A. PAREDES CHOCI - HUANCÁ  
 INGENIERO CIVIL CP. N° 13885  
 OFICINA DE CALIDAD DE LABORATORIO

**ENSAYO DE PERMEABILIDAD (CARGA CONSTANTE)**  
CALICATA N°04



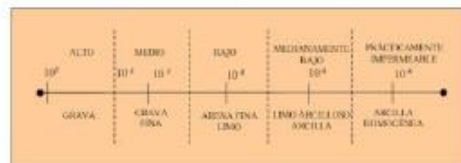
L: 30 cm  
 A: 78.54 cm<sup>2</sup>  
 h: 21 cm  
 V: 2356.2 cm<sup>3</sup>  
 T: 60482 seg.  
 i: 0.7  
 Q = V/T  
 0.038957045 cm<sup>3</sup>/seg.

$$k = \frac{V}{t \cdot i \cdot A} = \frac{V \cdot L}{t \cdot h \cdot A}$$

**k = 0.0007086 cm/s**

0.000x

TIPO DE SUELO	Numero
Grava limpia	100 - 1.00
Arena gruesa	1.00 - 0.01
Arena fina	0.01 - 0.001
Arcilla limosa	0.001 - 0.00001
Arcilla	0.000001



**OBSERVACIONES :**

\* El suelo presenta una permeabilidad alta (arenoso)

  
**GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.**  
**WILBERT A. PAREDES CHOQUEHUANCA**  
 INGENIERO CIVIL CIP N° 157855  
 IETE DE CALIDAD DE LABORATORIO

### **Panel fotográfico**



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
WILBERT A. PAREDES CHOQUILLI  
INGENIERO CIVIL CP. N° 11985  
SITE DE CALIDAD DE LABORATORIO



GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
  
WILBERT A. PAREDES CHOLI - HUANCAY  
INGENIERO CIVIL, CIP N° 13885  
RETE DE CALIDAD DE LABORATORIO







**Certificados de calibración**





Laboratorio PP

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

### LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 083 -2023

Página : 1 de 2

Expediente : T 073-2023  
 Fecha de emisión : 2023-04-09

1. Solicitante : GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

Dirección : CAL. JORGE CHAVEZ MZA. S LOTE. 01 P.J. SAN FRANCISCO - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA

2. Descripción del Equipo : MÁQUINA DE ENSAYO UNIAxIAL

Marca de Prensa : PINZUAR  
 Modelo de Prensa : PC-160  
 Serie de Prensa : 204  
 Capacidad de Prensa : 1000 kN

Marca de indicador : PINZUAR  
 Modelo de Indicador : NO INDICA  
 Serie de Indicador : NO INDICA

Marca de Transductor : NO INDICA  
 Modelo de Transductor : NO INDICA  
 Serie de Transductor : D8811

Bomba Hidraulica : ELÉCTRICA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precision S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración  
 CARRETERA BINACIONAL MZ. LL LOTE 01 CHEN CHEN - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA  
 01 - ABRIL - 2023

4. Método de Calibración  
 La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4 .

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 106-2021	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

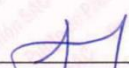
#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	24,1	24,1
Humedad %	46	45

7. Resultados de la Medición  
 Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

8. Observaciones  
 Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



**PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 083 -2023

Página : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kN	SERIES DE VERIFICACIÓN (kN)				PROMEDIO "B" kN	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
100	99,234	99,658	0,766	0,342	99,446	0,557	-0,424
200	198,542	198,741	0,729	0,629	198,642	0,684	-0,100
300	297,125	297,458	0,958	0,847	297,292	0,911	-0,111
400	396,258	396,642	0,936	0,840	396,450	0,895	-0,096
500	495,326	496,025	0,935	0,795	495,676	0,872	-0,140
600	594,256	595,987	0,957	0,669	595,122	0,820	-0,288
700	693,178	693,654	0,975	0,907	693,416	0,950	-0,068

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  $E_p = ((A-B) / B) * 100$        $R_p = \text{Error}(2) - \text{Error}(1)$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %
- Coefficiente Correlación :  $R^2 = 1$

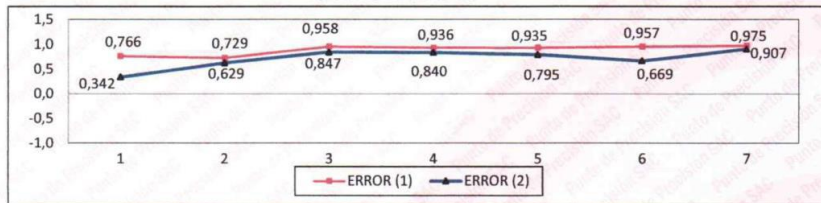
Ecuación de ajuste :  $y = 1,0096x - 0,4016$

Donde: x : Lectura de la pantalla  
y : Fuerza promedio (kN)

GRÁFICO N° 1



GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO



*[Firma]*  
Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.





**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 033**



**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-055-2023**

Página: 1 de 3

Expediente : T 073-2023  
 Fecha de Emisión : 2023-04-09

1. Solicitante : GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

Dirección : CAL. JORGE CHAVEZ MZA. S LOTE. 01 P.J. SAN FRANCISCO - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA

2. Instrumento de Medición : BALANZA

Marca : OHAUS

Modelo : R21PE30ZH

Número de Serie : 8349380697

Alcance de Indicación : 30 000 g

División de Escala de Verificación ( e ) : 1 g

División de Escala Real ( d ) : 1 g

Procedencia : CHINA

Identificación : NO INDICA

Tipo : ELECTRÓNICA

Ubicación : LABORATORIO

Fecha de Calibración : 2023-02-01

La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura  $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Método de Calibración

La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.

4. Lugar de Calibración

LABORATORIO de GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
 CARRETERA BINACIONAL MZ. LL LOTE 01 CHEN CHEN - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com

PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.







Laboratorio PP

## PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.

### LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 087 - 2023

Página : 1 de 2

Expediente : T 073-2023  
Fecha de emisión : 2023-04-09

1. Solicitante : GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.  
Dirección : CAL JORGE CHAVEZ MZA. S LOTE. 01 P.J. SAN FRANCISCO - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA

2. Descripción del Equipo : PRENSA CBR

Marca de Prensa : METROTEST  
Modelo de Prensa : NO INDICA  
Serie de Prensa : 673  
  
Marca de Celda : ZEMIC  
Modelo de Celda : H3-C3-5.0t-6B-C  
Serie de Celda : M2D025453  
Capacidad de Celda : 5 t  
  
Marca de indicador : HIGH WEIGHT  
Modelo de Indicador : 315-X2  
Serie de Indicador : 0284042

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

#### 3. Lugar y fecha de Calibración

CARRETERA BINACIONAL MZ LL LOTE 01 CHEN CHEN - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA  
01 - ABRIL - 2023

#### 4. Método de Calibración

La Calibración se realizó de acuerdo a la norma ASTM E4 .

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	MAVIN	CCP - 0994 - 001 - 2021	SISTEMA INTERNACIONAL
INDICADOR	MCC		

#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	24,2	24,1
Humedad %	45	45

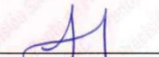
#### 7. Resultados de la Medición

Los errores de la prensa se encuentran en la página siguiente.

#### 8. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

[www.puntodeprecision.com](http://www.puntodeprecision.com) E-mail: [info@puntodeprecision.com](mailto:info@puntodeprecision.com) / [puntodeprecision@hotmail.com](mailto:puntodeprecision@hotmail.com)  
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.



**PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.**  
LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 087 - 2024

Página : 2 de 2

TABLA N° 1

SISTEMA DIGITAL "A" kgf	SERIES DE VERIFICACIÓN (kgf)				PROMEDIO "B" kgf	ERROR Ep %	RPTBLD Rp %
	SERIE 1	SERIE 2	ERROR (1) %	ERROR (2) %			
500	499,55	501,65	0,09	-0,33	500,60	-0,12	-0,42
1000	1003,69	1003,92	-0,37	-0,39	1003,81	-0,38	-0,02
1500	1499,15	1502,41	0,06	-0,16	1500,78	-0,05	-0,22
2000	2001,96	2000,57	-0,10	-0,03	2001,27	-0,06	0,07
2500	2501,01	2500,00	-0,04	0,00	2500,51	-0,02	0,04
3000	3002,37	3001,62	-0,08	-0,05	3002,00	-0,07	0,03
3500	3504,22	3505,15	-0,12	-0,15	3504,69	-0,13	-0,03
4000	4006,35	4007,98	-0,16	-0,20	4007,17	-0,18	-0,04

NOTAS SOBRE LA CALIBRACIÓN

- Ep y Rp son el Error Porcentual y la Repetibilidad definidos en la citada Norma:  

$$Ep = ((A-B) / B) * 100$$

$$Rp = Error(2) - Error(1)$$
- La norma exige que Ep y Rp no excedan el 1,0 %
- Coefficiente Correlación:  $R^2 = 1$

Ecuación de ajuste :  $y = 0,9987x + 0,2569$

Donde: x : Lectura de la pantalla  
y : Fuerza promedio (kgf)

GRÁFICO N° 1

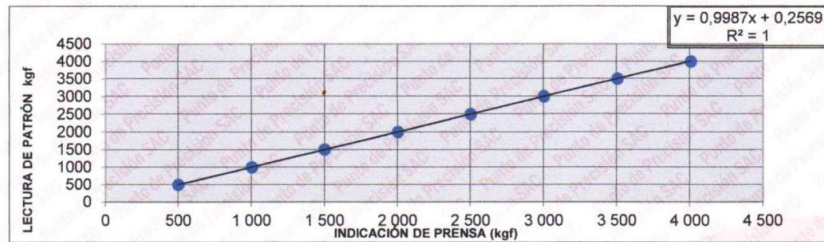
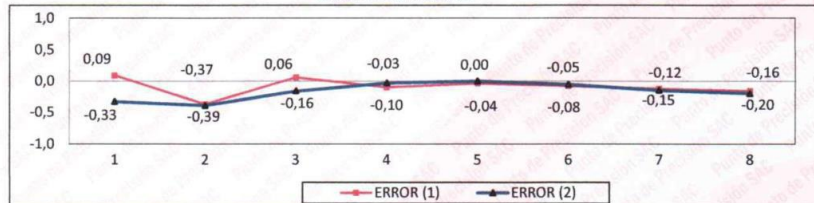


GRÁFICO DE ERRORES



FIN DEL DOCUMENTO



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.





Laboratorio PP

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.

### LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 382 - 2023

Página : 1 de 2

Expediente : T 073-2023  
Fecha de emisión : 2023-04-09

1. Solicitante : GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.

Dirección : CAL JORGE CHAVEZ MZA. S LOTE. 01 P.J. SAN FRANCISCO -  
MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA

2. Instrumento de Medición : COPA CASAGRANDE

Marca de Copa : ELE INTERNATIONAL  
Modelo de Copa : NO INDICA  
Serie de Copa : NO INDICA

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo. Indicados ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración  
CARRETERA BINACIONAL MZ. LL LOTE 01 CHEN CHEN - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA  
01 - ABRIL - 2023

4. Método de Calibración  
Por Comparación con instrumentos Certificados por el INACAL - DM. Tomando como referencia la Norma ASTM D 4318.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO	TRAZABILIDAD
PIE DE REY	INSIZE	DM21 - C - 0136 - 2021	INACAL - DM

#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	24,4	24,4
Humedad %	44	44

#### 7. Observaciones

Los resultados de las mediciones efectuadas se muestran en la página 02 del presente documento.



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Loayza Capcha  
Reg. CIP N° 152631



Laboratorio PP

## PUNTO DE PRECIÓN S.A.C.

### LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LL - 382 - 2024

Página : 2 de 2


## Medidas Verificadas

COPA CASAGRANDE								RANURADOR		
CONJUNTO DE LA CAZUELA					BASE			EXTREMO CURVADO		
DIMENSIONES	A	B	C	N	K	L	M	a	b	c
DESCRIPCIÓN	RADIO DE LA COPA	ESPESOR DE LA COPA	PROFUNDIDA DE LA COPA	Copa desde la guía del espesor a base	ESPESOR	LARGO	ANCHO	ESPESOR	BORDE CORTANTE	ANCHO
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
MEDIDA TOMADA	53,56	2,38	25,97	46,53	51,14	150,00	125,13	10,13	3,39	13,25
	53,21	2,29	25,82	46,51	51,37	149,99	125,18	10,00	3,28	13,36
	53,35	2,27	25,99	46,55	51,18	150,00	125,06	10,15	3,41	13,85
	53,59	2,42	25,97	46,54	51,07	150,00	125,15	10,05	3,35	13,68
	53,42	2,33	25,95	46,54	51,44	150,02	125,07	10,11	3,19	13,96
53,47	2,28	25,98	46,39	51,29	150,01	125,12	10,09	3,22	13,25	
PROMEDIO	53,43	2,33	25,95	46,51	51,25	150,00	125,12	10,09	3,31	13,56
MEDIDAS STANDARD	54,00	2,00	27,00	47,00	50,00	150,00	125,00	10,00	2,00	13,50
TOLERANCIA ±	0,5	0,1	0,5	1,0	2,0	2,0	2,0	0,05	0,1	0,1
ERROR	-0,57	0,33	-1,05	-0,49	1,25	0,00	0,12	0,09	1,31	0,06

	Rango según norma	Medida encontrada
Resiliencia	77 % a 90 %	81 %

FIN DEL DOCUMENTO



  
 Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631





Laboratorio PP

**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 033**



Registro N° LC - 033

**CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-054-2023**

Página: 1 de 3

<b>Expediente</b>	: T 073-2023	La incertidumbre reportada en el presente certificado es la incertidumbre expandida de medición que resulta de multiplicar la incertidumbre estándar por el factor de cobertura $k=2$ . La incertidumbre fue determinada según la "Guía para la Expresión de la incertidumbre en la medición". Generalmente, el valor de la magnitud está dentro del intervalo de los valores determinados con la incertidumbre expandida con una probabilidad de aproximadamente 95 %.
<b>Fecha de Emisión</b>	: 2023-04-09	
<b>1. Solicitante</b>	: <b>GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C.</b>	Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones en que se realizaron las mediciones y no debe ser utilizado como certificado de conformidad con normas de productos o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
<b>Dirección</b>	: CAL JORGE CHAVEZ MZA. S LOTE. 01 P.J. SAN FRANCISCO - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA	
<b>2. Instrumento de Medición</b>	: <b>BALANZA</b>	
<b>Marca</b>	: <b>HENKEL</b>	
<b>Modelo</b>	: <b>NO INDICA</b>	
<b>Número de Serie</b>	: <b>NO INDICA</b>	
<b>Alcance de Indicación</b>	: <b>1 000 g</b>	
<b>División de Escala de Verificación ( e )</b>	: <b>0,1 g</b>	
<b>División de Escala Real ( d )</b>	: <b>0,01 g</b>	
<b>Procedencia</b>	: <b>NO INDICA</b>	
<b>Identificación</b>	: <b>NO INDICA</b>	Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.
<b>Tipo</b>	: <b>ELECTRÓNICA</b>	
<b>Ubicación</b>	: <b>LABORATORIO</b>	PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.
<b>Fecha de Calibración</b>	: <b>2023-02-01</b>	
<b>3. Método de Calibración</b>	La calibración se realizó mediante el método de comparación según el PC-011 4ta Edición, 2010; Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento no Automático Clase I y II del SNM-INDECOPI.	
<b>4. Lugar de Calibración</b>	LABORATORIO de GEOTECNIA Y PAVIMENTOS DEL SUR S.A.C. CARRETERA BINACIONAL MZ. LL LOTE 01 CHEN CHEN - MOQUEGUA - MARISCAL NIETO - MOQUEGUA	



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 033**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-054-2024

Página: 2 de 3

**5. Condiciones Ambientales**

	Mínima	Máxima
Temperatura	23,7	23,7
Humedad Relativa	45,0	45,0

**6. Trazabilidad**

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales, que realizan las unidades de medida de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Trazabilidad	Patrón utilizado	Certificado de calibración
INACAL - DM	Juego de pesas (exactitud F1)	PE21-C-0084-2021

**7. Observaciones**

(\*) La balanza se calibró hasta una capacidad de 1 000,00 g  
 Antes del ajuste, la indicación de la balanza fue de 999,62 g para una carga de 1 000,00 g  
 El ajuste de la balanza se realizó con las pesas de Punto de Precisión S.A.C.  
 Los errores máximos permitidos (e.m.p.) para esta balanza corresponden a los e.m.p. para balanzas en uso de funcionamiento no automático de clase de exactitud II, según la Norma Metrológica Peruana 003 - 2009, Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento no Automático.  
 Se colocó una etiqueta autoadhesiva de color verde con la indicación de "CALIBRADO".  
 Los resultados de este certificado de calibración no debe ser utilizado como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.  
 0

**8. Resultados de Medición**

INSPECCIÓN VISUAL			
AJUSTE DE CERO	TIENE	ESCALA	NO TIENE
OSCILACIÓN LIBRE	TIENE	CURSOR	NO TIENE
PLATAFORMA	TIENE	SIST. DE TRABA	NO TIENE
NIVELACIÓN	NO TIENE		

**ENSAYO DE REPETIBILIDAD**

Medición N°	Temp. (°C)					
	Inicial			Final		
	23,7			23,7		
	Carga L1= 500,000 g			Carga L2= 1 000,001 g		
	I (g)	ΔI (g)	E (g)	I (g)	ΔI (g)	E (g)
1	500,00	0,007	-0,002	1 000,00	0,008	-0,004
2	500,00	0,009	-0,004	999,99	0,004	-0,010
3	500,00	0,005	0,000	999,98	0,003	-0,019
4	500,00	0,008	-0,003	1 000,00	0,009	-0,005
5	500,00	0,006	-0,001	1 000,01	0,007	0,007
6	500,00	0,009	-0,004	999,99	0,004	-0,010
7	500,00	0,005	0,000	999,99	0,003	-0,009
8	500,00	0,007	-0,002	1 000,01	0,008	0,006
9	500,00	0,009	-0,004	999,98	0,004	-0,020
10	500,00	0,006	-0,001	1 000,00	0,007	-0,003
Diferencia Máxima			0,004	0,027		
Error máximo permitido ±			0,2 g	± 0,2 g		



PT-06.F06 / Diciembre 2016 / Rev 02

Jefe de Laboratorio  
 Ing. Luis Loayza Capcha  
 Reg. CIP N° 152631

Av. Los Ángeles 653 - LIMA 42 Telf. 292-5106

www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com  
 PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL DE ESTE DOCUMENTO SIN AUTORIZACIÓN DE PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.





**Punto de Precisión SAC**  
**LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR EL**  
**ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN INACAL - DA**  
**CON REGISTRO N° LC - 053**



CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LM-054-2023  
 Página 1 de 3



**ENSAYO DE EXCENTRICIDAD**

Temperatura: 20,7 °C / 20,7 °C

Posición de la Carga	Desviación (mm)				Desviación en (mm corregida)				
	Carga máxima (g)	11g	44g	88g	Carga (g)	1g	44g	88g	176g
1	0,10	0,005	0,000	0,000	300,004	0,000	-0,004	-0,004	-0,004
2	0,10	0,006	-0,000	-0,000	300,000	0,004	-0,000	-0,000	-0,000
3	0,10	0,006	-0,001	-0,001	300,004	0,000	-0,000	-0,000	-0,000
4	0,10	0,007	-0,000	-0,000	300,000	0,000	-0,000	-0,000	-0,000
5	0,10	0,006	-0,004	-0,004	300,000	0,004	-0,000	-0,000	-0,000

El error máximo permitido: ± 0,1 g

**ENSAYO DE PESAJE**

Temperatura: 20,7 °C / 20,7 °C

Carga L (g)	DIFERENCIAS				DIFERENCIAS				error (g)	error (g)
	11g	44g	88g	176g	1g	44g	88g	176g		
0,10	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
0,20	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
0,50	0,00	0,000	-0,004	-0,004	0,00	0,000	0,000	0,000	0,01	
1,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
2,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
5,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
10,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
20,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
50,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
100,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
200,00	0,00	0,000	0,000	0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
500,00	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	
1000,00	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,00	0,000	-0,000	-0,000	0,01	

El error máximo permitido:

Lectura corregida e incertidumbre asociada del resultado de una pesada

$$R_{\text{corregida}} = R + 125 \times 10^{-6} \times R$$

Incertidumbre

$$U_R = 2 \sqrt{163 \times 10^{-6} g^2 + 439 \times 10^{-6} \times R^2}$$

R: en g

El error máximo permitido:



Jefe de Laboratorio  
**Ing. Luis Cayula Capcha**  
 Reg. CIP N° 52531