



**UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**TESIS**

---

**“EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN FUNCIÓN A  
LA VARIACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO DE SOPORTE  
DEL PUENTE DE MAYUNMARCA DEL DISTRITO DE QUIQUIJANA,  
CUSCO-2019”**

---

**Presentado por los Bachilleres:**

LUIS DANIEL SUTTA QUISPE

LUIS EDUARDO SUTTA QUISPE

**Para optar al Título Profesional de Ingeniero  
Civil**

**Asesor:**

Dr. Ing. VÍCTOR CHACÓN SÁNCHEZ

**Co-Asesor:**

Ing. ELIZABETH TAPIA INGA

CUSCO – PERÚ

2021



## Dedicatoria

A todas aquellas personas que hicieron esto posible, en estos cortos años dentro de la universidad, especialmente a mi madre Dania Nerayda Quispe Tapia, por ser el pilar fundamental en mi desarrollo como persona, a mi padre Luis Ángel Sutta Béjar, por enseñarme las pautas en el camino de la ingeniería, por impulsar mis sueños, por brindarme el respaldo para concretizarlos, a mis abuelos que siempre velaron por mi bienestar y mejor futuro, confiando a diario en los proyectos que emprendía desde a niño hasta mi vida actual, a mi compañero de Tesis y hermano Luis Eduardo Sutta Quispe por darme la oportunidad de desarrollar este trabajo con él y que sin su apoyo esta no sería posible.

Luis Daniel Sutta Quispe



## Dedicatoria

A mis padres, a mi papa Luis Ángel Sutta Béjar, que me enseñó a no rendirme nunca, a levantarme y no tener miedo a las dificultades que aparecen en el transcurso de la vida, a mi madre Dania Nerayda Quispe Tapia, que estuvo a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles y dándome la sabiduría necesaria para afrontarlos, a mi esposa Karen Quispe Bustamante que con su amor y ternura es mi compañera y mano derecha para todos mis proyectos, a mi hermana menor Laura Ángela Sutta Quispe que con su dedicación y empeño me fortalece cada día abuelita materna Elsa Cira Tapia Castro, a mis abuelitos paternos Ángel Custodio Sutta Delgado y María Béjar Llocle por ser el ejemplo de vida en mi familia.

Luis Eduardo Sutta Quispe



## Agradecimientos

A nuestros padres por habernos brindado todo el apoyo en nuestra formación académica, manteniéndose siempre junto nuestro en las dificultades que aparecieron a lo largo del proceso de elaboración de nuestro proyecto de tesis.

Al Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez, nuestro asesor por enseñarnos de manera didáctica los pasos adecuados para la elaboración de nuestro proyecto de investigación y a vez mostrarnos la senda de nuestro trabajo a futuro.

A nuestra Co-Asesora Elizabeth Tapia Inga, por brindarnos día a día su apoyo incondicional, por resolver nuestras dudas en proceso de elaboración de la presente tesis, por enseñarnos con paciencia todos los pasos necesarios, para resolver nuestras dificultades, que encontramos en el presente trabajo de investigación.

Luis Daniel Sutta Quispe



## Agradecimientos

A nuestro Señor que me guía por el buen camino, a mis padres por habernos brindado todo el apoyo en nuestra formación académica, manteniéndose siempre junto nuestro en las dificultades que aparecieron a lo largo del proceso de elaboración de nuestro proyecto de tesis.

Al Dr. Ing. Víctor Chacón Sánchez, nuestro asesor por enseñarnos de manera didáctica los pasos adecuados para la elaboración de nuestro proyecto de investigación y a vez mostrarnos la senda de nuestro trabajo a futuro.

A nuestra Co-Asesora Elizabeth Tapia Inga, por brindarnos día a día su apoyo incondicional, por resolver nuestras dudas en proceso de elaboración de la presente tesis, por enseñarnos con paciencia todos los pasos necesarios, para resolver nuestras dificultades, que encontramos en el presente trabajo de investigación.

Luis Eduardo Sutta Quispe



## Resumen

En el presente trabajo de investigación se realizó la “EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL TALUD EN FUNCIÓN A LA VARIACIÓN GRANULOMÉTRICA DEL SUELO DE SOPORTE DEL PUENTE DE MAYUNMARCA DEL DISTRITO DE QUIQUIJANA, CUSCO-2019”. En la investigación se realizó ensayos de corte directo a sub muestras de suelo con tamaños máximos de  $\frac{1}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ” y  $\frac{3}{4}$ ” (variación granulométrica) obtenidas a partir del material del talud izquierdo del puente Mayunmarca, estas sub muestras se prepararon mediante el uso del método de granulometría paralela también conocida como curvas homotéticas ya que el talud izquierdo del puente contiene partículas de gran tamaño, las cuales no permiten el uso directo de pruebas de laboratorio convencionales, se tomó en cuenta que las mismas cumplan con los lineamientos de la norma ASTM 3080 para realizar el ensayo de corte directo. Se observa que los parámetros de resistencia, ángulo de fricción y coeficiente de cohesión de las muestras con tamaños máximos de  $\frac{1}{4}$ ”,  $\frac{1}{2}$ ” y  $\frac{3}{4}$ ” (variación granulométrica) de los suelos sometidos al ensayo de corte directo, incrementan con el incremento del tamaño máximo de las partículas gruesas. Mediante el uso de un software para determinar la estabilidad del talud, usamos los parámetros encontrados y se concluye que, a mayores valores del ángulo de fricción y coeficiente de cohesión, la estabilidad del talud es más aceptable. Con el trabajo se demostró que la variación granulométrica del suelo varía la estabilidad del talud del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia del Quispicanchi, región del Cusco.

### **PALABRAS CLAVES:**

Estabilidad, Talud, Suelo, Granulometría del suelo.



### **Abstract**

At present, within our environment, the amount of road works, such as roads, bridges and others, is increasing, the aforementioned projects are often involved in areas with soils with coarse granulometric content, therefore, professionals in this field are in the obligation to have a greater knowledge about the physical-mechanical characteristics of soils with coarse granulometry, such as resistance to shear stress, which implies the need to know and study alternative methodologies that allow the estimation of shear resistance and the behavior of soils with particles of considerable size.

Among the difficulties encountered for the characterization of soils made up of large particles, is the lack of large-scale equipment for shear resistance tests, another difficulty is the high cost and time that these tests demand, because they are not within reach in our local market, for what has been described we will rely on the methodology of parallel curves (homothetic granulometry) and thus be able to evaluate the physical-mechanical characteristics of the material that constitutes the support slope of the Mayunmarca bridge.

Our research work focuses on evaluating the stability of the slope based on the granulometric variation of the support soil of the Mayunmarca bridge in the Quiquijana district, the use of the parallel curves methodology enables said granulometric variation to obtain sub representative samples, which will be subjected to conventional direct shear tests, in this way we will determine the physical-mechanical properties of the slope, different granulometric conditions (variation of maximum particle size), the values of friction angle and cohesion coefficient obtained by The direct cutting tests will flange different safety factors, thus we will evaluate the stability of the slope, in the different granulometric conditions described.

#### **KEYWORDS**

Slope, Properties, Stability, Soil, Soil grain size.



## Introducción

En la actualidad dentro de nuestro medio se viene incrementando la cantidad de obras viales, como carreteras, puentes y demás, los mencionados proyectos muchas veces se ven involucrados en zonas con suelos de contenido granulométrico grueso, por ende, los profesionales en este campo se ven en la obligación de tener un mayor conocimiento acerca de las características físico mecánicas de los suelos con granulometría gruesa, como por ejemplo la resistencia al esfuerzo cortante, lo que implica la necesidad de conocer y estudiar metodologías alternas que permitan la estimación de la resistencia al corte y el comportamiento de suelos con partículas de tamaño considerable.

Dentro de las dificultades encontradas para la caracterización de los suelos constituidos por partículas de gran tamaño, es la falta de equipo a gran escala para los ensayos de resistencia al corte, otra dificultad es el alto costo y tiempo que estos ensayos demandan, por no estar al alcance en nuestro mercado local, por lo descrito nos apoyaremos en la metodología de curvas paralelas (granulometría homotética) y así poder evaluar las características físico mecánicas del material que constituye al talud de soporte del puente Mayunmarca.

Nuestro trabajo de investigación se enfoca en la evaluación de la estabilidad del talud en función a la variación granulométrica del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, el uso de la metodología de curvas paralelas posibilita dicha variación granulométrica para la obtención de sub muestras representativas, las cuales serán sometidas a ensayos de corte directo convencionales, de esta manera determinaremos las propiedades física mecánicas del talud, bajo diferentes condiciones granulométricas (variación de tamaño máximo de partículas), los valores de ángulo de fricción y coeficiente de cohesión obtenidos mediante los ensayos de corte directo, bridaran diferentes factores de seguridad, así evaluaremos la estabilidad del talud, en las diferentes condiciones granulométricas descritas.

### PALABRAS CLAVE

Talud, Propiedades, Estabilidad, Suelo, Granulometría del suelo.





## Índice General

Dedicatoria.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iii
Agradecimientos.....	iv
Resumen .....	v
Abstract.....	vi
Introducción.....	vii
Índice General.....	viii
Índice de Tablas.....	xiv
Índice de Figuras .....	xvi
1. Capítulo I: Planteamiento del Problema.....	1
1.1. Identificación del Problema.....	1
1.1.1. Descripción del Problema. ....	1
1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema.....	3
1.2. Justificación e Importancia del Problema.....	3
1.2.1. Justificación Técnica.....	3
1.2.2. Justificación Social.....	3
1.2.3. Justificación por Viabilidad. ....	4
1.2.4. Justificación por Relevancia.....	4



1.3.	Limitaciones de la Investigación .....	4
1.4.	Objetivo de la Investigación .....	5
1.4.1.	Objetivo General .....	5
1.4.2.	Objetivos Específicos .....	5
2.	Capítulo II: Marco Teórico .....	6
2.1	Antecedentes de la Tesis.....	6
2.1.1.	Antecedentes a Nivel Nacional .....	6
2.1.2.	Antecedentes a Nivel Internacional.....	7
2.2.	Aspectos Teóricos Pertinentes .....	9
2.2.1.	Topografía .....	9
2.2.2.	Método de la Granulometría Homotética .....	10
2.2.3.	Medición de la Resistencia al Cortante .....	11
2.2.4.	Clasificación de Suelos Granulares .....	13
2.2.5.	Parámetros de Resistencia .....	16
2.2.6.	Muestreo de Suelos y Rocas.....	17
2.2.7.	Recolección de Muestras de Suelo en el Terreno.....	21
2.2.8.	Determinación del Perfil de Suelos .....	22
2.2.9.	Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo .....	24
2.2.10.	Determinación del Limite Liquido de los Suelos .....	30



2.2.11. Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (L.P.).....	36
2.2.12. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado.....	39
2.2.13. Corte Directo.....	46
2.2.14. Análisis de Estabilidad de Taludes.....	52
2.3. Hipótesis.....	55
2.3.1. Hipótesis General.....	55
2.3.2. Sub Hipótesis.....	55
2.4. Definición de Variables.....	55
2.4.1. Variables Independientes.....	55
2.4.2. Variables Dependientes.....	56
2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables.....	56
3. Capítulo III: Metodología.....	57
3.1. Metodología de la Investigación.....	57
3.1.1. Enfoque de la Investigación.....	57
3.1.2. Nivel o Alcance de la Investigación.....	57
3.1.3. Método de Investigación.....	57
3.2. Diseño de la Investigación.....	58
3.2.1. Diseño Metodológico.....	58
3.2.2. Diseño de Ingeniería.....	60



3.3. Población y Muestra .....	61
3.3.1. Población .....	61
3.3.2. Muestra .....	61
3.3.3. Criterios de Inclusión.....	62
3.4. Instrumentos .....	63
3.4.1. Instrumentos Metodológicos .....	63
3.4.2. Instrumentos de Ingeniería .....	67
3.5. Procedimientos de Recolección de Datos.....	71
3.5.1. Ensayo de Contenido de Humedad – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aprox.).....	73
3.5.2. Ensayo de Granulometría del Agregado - Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (0.60X0.60X0.50 Mts).....	74
3.5.3. Ensayo de Limite Líquido del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente).....	77
3.5.4. Ensayo de Limite Plástico del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente).....	73
3.5.5. Clasificación Homotética – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS).....	72
3.5.6. Ensayo de Corte Directo (no consolidado, no drenado).....	74
3.5.7. Levantamiento Topográfico.....	78
3.5.8. Levantamiento Topográfico de Talud del Puente Mayunmarca.....	78
3.6. Procedimiento de análisis de Datos .....	79



3.6.1. Contenido de Humedad – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aprox.) .....	79
3.6.2. Granulometría del Agregado - Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (0.60X0.60X0.50 Mts).....	81
3.6.3. Limite Líquido del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente).....	85
3.6.4. Limite Plástico del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente).....	87
3.6.5. Clasificación Homotética – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS).....	89
3.6.6. Corte directo (no consolidado, no drenado) .....	92
4. Capítulo IV: Resultados.....	110
4.1. Resultados.....	110
4.1.1. Resultados Ensayo de Contenido de Humedad .....	110
4.1.2. Resultados Ensayo de Granulometría del Agregado .....	111
4.1.3. Resultados Ensayo de Limite Líquido del Suelo .....	112
4.1.4. Resultados Ensayo de Limite Plástico del Suelo.....	113
4.1.5. Resultados Ensayo de corte, tamaño máximo de 1/4" sometido a carga de 4-8-12 kg..	114
4.1.6. Resultados de Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/2" sometida a carga de 4-8-12 kg.....	115
4.1.7. Resultado de ensayo de corte directo, tamaño máximo de 3/4" sometida a carga de 4-8-12 kg.....	116



4.1.8. Resultados Ensayo de corte directo, tamaño máximo de 1/4” sometida a carga de 2-4-6 kg.....	117
4.1.9. Resultados Ensayo de corte directo, tamaño máximo de 1/2” sometida a carga de 2-4-6 kg.....	118
4.1.10. Resultados Ensayo de corte directo, tamaño máximo de 3/4” sometida a carga de 2-4-6 kg.....	119
4.1.10.1. Resumen de los ensayos de corte directo.....	120
4.1.11. Análisis del talud izquierdo del puente Mayunmarca mediante software aplicado para el cálculo de estabilidad de taludes.....	123
5. Capítulo V: Discusión .....	137
Glosario .....	142
Conclusiones.....	146
Recomendaciones .....	148
Referencias .....	149



## Índice de Tablas

<i>Tabla 1</i> Normativas de ensayos realizados .....	5
<i>Tabla 2</i> Cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total .....	26
<i>Tabla 3</i> Tabla A -1 .....	35
<i>Tabla 4</i> Tabla de estimados de precisión. ....	36
<i>Tabla 5</i> Tabla de estimados de precisión. ....	38
<i>Tabla 6</i> Tamices de malla cuadrada.....	40
<i>Tabla 7</i> Tamices de malla cuadrada.....	41
<i>Tabla 8</i> Tamaño máximo de las partículas .....	42
<i>Tabla 9</i> Tamices.....	42
<i>Tabla 10</i> Cuantificación de la Población .....	61
<i>Tabla 11</i> Cuantificación de la Muestra 01 .....	61
<i>Tabla 12</i> Cuantificación de la Muestra 02 .....	62
<i>Tabla 13</i> Ficha de recolección de datos de granulometría - Agregado Fino.....	63
<i>Tabla 14</i> Ficha de recolección de datos de granulometría - Agregado Grueso .....	63
<i>Tabla 15</i> Cálculo de Análisis Granulométrico por Tamizado.....	64
<i>Tabla 16</i> Cálculo de Contenido de Humedad .....	64
<i>Tabla 17</i> Cálculo de Limite Líquido .....	64
<i>Tabla 18</i> Cálculo de Limite Plástico .....	65
<i>Tabla 19</i> Cálculos de Ensayo de Corte Directo .....	66
<i>Tabla 20</i> Numero de muestras tomada de cada calicata N°1 y Trinchera N°1.....	72
<i>Tabla 21</i> Contenido de Humedad Natural - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts) .....	79



<i>Tabla 22</i> Contenido de Humedad Natural - Trinchera (Distancia desde la superficie.....	80
<i>Tabla 23</i> Recolección de datos granulometría de agregado fino .....	81
<i>Tabla 24</i> Recolección de datos ensayo de granulometría - Trinchera .....	83
<i>Tabla 25</i> Limite Liquido - Calicata.....	85
<i>Tabla 26</i> Limite Liquido - Trinchera .....	86
<i>Tabla 27</i> Limite Plástico - Calicata.....	87
<i>Tabla 28</i> Limite Plástico Trinchera.....	88
<i>Tabla 29</i> Análisis Granulométrico $TM = 1/4"$ .....	89
<i>Tabla 30</i> Análisis Granulométrico $TM = 1/2"$ .....	90
<i>Tabla 31</i> Análisis Granulométrico $TM = 3/4"$ .....	91
<i>Tabla 32</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Liquido.....	112
<i>Tabla 33</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Liquido.....	112
<i>Tabla 34</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Plástico.....	113
<i>Tabla 35</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Liquido.....	113
<i>Tabla 36</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Contenido de Humedad .....	114
<i>Tabla 37</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Corte .....	120
<i>Tabla 38</i> Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Corte .....	121
<i>Tabla 39</i> Factores de seguridad obtenidos a partir de los parámetros de resistencia de los suelos con diferentes tamaños máximos de partículas sometidos a cargas .....	122
<i>Tabla 40</i> Factores de seguridad obtenidos a partir de los parámetros de resistencia de los suelos con diferentes tamaños máximos de partículas sometidos a cargas .....	136
<i>Tabla 41</i> Angulo de fricción interna de algunos suelos granulares (adaptado de Hough, 1969 y Lambey Whitman 1969).....	139





## Índice de Figuras

<i>Figura 1:</i> Talud Margen Izquierda del puente Mayunmarca .....	2
<i>Figura 2:</i> Aparato manual para límite líquido .....	33
<i>Figura 3:</i> Muestras de suelo.....	33
<i>Figura 4:</i> Diagrama de un arreglo de prueba de corte directo .....	47
<i>Figura 5:</i> Esquema del aparato de corte directo. ....	51
<i>Figura 6:</i> Diseño de ingeniería .....	60
<i>Figura 7:</i> Diagrama del Arreglo para la prueba de Corte Directo .....	67
<i>Figura 8:</i> Juego de tamices ASTM.....	68
<i>Figura 9:</i> Agitador mecánico de tamices .....	68
<i>Figura 10:</i> Balanza.....	69
<i>Figura 11:</i> Horno .....	69
<i>Figura 12:</i> Equipo de corte directo.....	70
<i>Figura 13:</i> Equipo de corte directo.....	71
<i>Figura 14:</i> Equipo de corte directo.....	71
<i>Figura 15:</i> Talud izquierdo – Trinchera para obtención de muestras .....	72
<i>Figura 16:</i> Talud izquierdo – Trinchera para obtención de muestras .....	72
<i>Figura 17:</i> Balanza de precisión .....	73
<i>Figura 18:</i> Recipientes.....	73
<i>Figura 19:</i> Agregados ordenados luego del tamizado de derecha a izquierda de las mallas #4 a #200.....	75
<i>Figura 20:</i> Ensayo de granulometría.....	76
<i>Figura 21:</i> Material retenido en cada tamiz.....	76



<i>Figura 22: Material retenido en cada tamiz .....</i>	<i>77</i>
<i>Figura 23: Material retenido en cada tamiz.....</i>	<i>74</i>
<i>Figura 24: Colocación de la muestra en la caja de corte .....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 25: Ensamblando la caja de corte.....</i>	<i>75</i>
<i>Figura 26: Nivelando la aplicación de la carga axial.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 27: Nivelando la aplicación de la carga axial.....</i>	<i>76</i>
<i>Figura 28: Levantamiento topográfico del talud .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 29: Levantamiento topográfico .....</i>	<i>78</i>
<i>Figura 30: Contenido de Humedad Natural - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts) .....</i>	<i>79</i>
<i>Figura 31: Contenido de Humedad Natural - Trinchera (0.60x0.60x0.50 Mts).....</i>	<i>80</i>
<i>Figura 32: Curva Granulométrica-Calicata .....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 33: Clasificación de los suelos - Calicata.....</i>	<i>82</i>
<i>Figura 34: Curva Granulométrica - Trinchera.....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 35: Clasificación de los suelos - Trinchera .....</i>	<i>84</i>
<i>Figura 36: Límite Líquido - Calicata.....</i>	<i>85</i>
<i>Figura 37: Límite Líquido - Trinchera .....</i>	<i>86</i>
<i>Figura 38: Límite Plástico - Calicata.....</i>	<i>87</i>
<i>Figura 39: Dispositivos para el Ensayo de Corte Directo .....</i>	<i>88</i>
<i>Figura 40: Curva Granulométrica <math>TM = 1/4''</math> .....</i>	<i>89</i>
<i>Figura 41: Curva Granulométrica <math>TM = 1/2''</math> .....</i>	<i>90</i>
<i>Figura 42: Curva Granulométrica <math>TM = 3/4''</math> .....</i>	<i>91</i>
<i>Figura 43: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de <math>1/4''</math> sometida a carga de 4-8-12 kg. ....</i>	<i>92</i>
<i>Figura 44: Cálculo de esfuerzo cortante normal – Calicata .....</i>	<i>93</i>



<i>Figura 45:</i> Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts).....	94
<i>Figura 46:</i> Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/2” sometida a carga de 4-8-12 kg. ....	95
<i>Figura 47:</i> Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata.....	96
<i>Figura 48:</i> Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts).....	97
<i>Figura 49:</i> Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 3/4” .....	98
<i>Figura 50:</i> Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata.....	99
<i>Figura 51:</i> Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts).....	100
<i>Figura 52:</i> Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/4” sometida a carga de 2-4-6 kg. ....	101
<i>Figura 53:</i> Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata.....	102
<i>Figura 54:</i> Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts).....	103
<i>Figura 55:</i> Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/2” sometida a carga de 2-4-6 kg .....	104
<i>Figura 56:</i> Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata.....	105
<i>Figura 57:</i> Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts).....	106
<i>Figura 58:</i> Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 3/4” sometida a carga de 2-4-6 kg .....	107
<i>Figura 59:</i> Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata.....	108
<i>Figura 60:</i> Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts).....	109
<i>Figura 61:</i> Grafico I.....	120
<i>Figura 62:</i> Grafico II.....	121
<i>Figura 63:</i> Vista del perfil del talud de la margen izquierda del puente Mayunmarca.....	123
<i>Figura 64:</i> Grafico del perfil del talud mediante el programa Slide.....	123



*Figura 65:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54° y Cohesión =29.744 kn/m3). ..... 124

*Figura 66:* Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide ..... 124

*Figura 67:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 kn/m3). ..... 125

*Figura 68:* Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide ..... 125

*Figura 69:* Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 kn/m3). ..... 126

*Figura 70:* Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide ..... 126

*Figura 71:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.5939 kn/m3). ..... 127

*Figura 72:* Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide ..... 127

*Figura 73:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =38.44° y Cohesión =28.1156 kn/m3). ..... 128

*Figura 74:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =38.44° y Cohesión =28.1156 kn/m3 y FS=1.591). ..... 128

*Figura 75:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416 kn/m3). ..... 129

*Figura 76:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416 kn/m3 y FS=1.918). ..... 129



*Figura 77:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54° y Cohesión =29.7435 KPa).....130

*Figura 78:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54° y Cohesión =29.7435 KPa y FS=1.56).....130

*Figura 79:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 KPa).....131

*Figura 80:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 KPa y F.S.=1.75). ...131

*Figura 81:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 KPa).....132

*Figura 82:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 KPa y F.S.=2.05). ...132

*Figura 83:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.593 KPa).....133

*Figura 84:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.593 KPa y F.S.=1.35). ....133

*Figura 85:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.593 KPa y F.S.=1.35). ....134

*Figura 86:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =38.44° y Cohesión =28.1156 KPa y F.S.=1.60). ...134

*Figura 87:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416).....135

*Figura 88:* Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5  
(Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416 y F.S.=1.92).....135



## Capítulo I: Planteamiento del Problema

### 1.1. Identificación del Problema

#### 1.1.1. Descripción del Problema.

En la actualidad dentro de nuestro medio se viene incrementando la cantidad de obras viales, como carreteras, puentes y demás, los mencionados proyectos muchas veces se ven involucrados en zonas con suelos de contenido granulométrico grueso, por ende, los profesionales en este campo se ven en la obligación de tener un mayor conocimiento acerca de las características físico mecánicas de los suelos con granulometría gruesa, como por ejemplo la resistencia al esfuerzo cortante, lo que implica la necesidad de conocer y estudiar metodologías alternas que permitan la estimación de la resistencia al corte y el comportamiento de suelos con partículas de tamaño considerable. En nuestro trabajo de investigación evaluamos como varía la estabilidad del talud en función a la variación granulométrica (especímenes a ensayar) del material que lo constituye, la variación granulométrica siguiendo la metodología de curvas homotéticas nos posibilita tener diversos valores para los parámetros de ángulo de fricción ( $\phi$ ) y coeficiente de cohesión (C) en la aplicación del ensayo de corte directo, dichos valores se ven aplicados en la estabilidad del talud, generando posibles condiciones para la ejecución de obras civiles más económicas y seguras.

Para obtener los parámetros de resistencia de un suelo siempre es necesario la realización de varios ensayos tanto en campo como en laboratorio, posterior al desarrollo y cuantificación de los ensayos necesarios recién se obtiene dichos parámetros. El problema de la determinación de la resistencia del esfuerzo cortante de los suelos puede decirse uno de los puntos fundamentales de toda la Mecánica de Suelos. En efecto una valoración correcta de ese concepto constituye un paso previo imprescindible para intentar, con esperanzas de éxito cualquier aplicación de la Mecánica de Suelos al análisis de la estabilidad de las obras civiles. (Juarez & Rico, 1998)

En la mecánica de suelos gracias al Físico e Ingeniero francés C.P. Coulomb, se tiene la expresión matemática:

$$S = C + \sigma \text{ TAN } \phi$$

El cual simboliza la ley de resistencia de suelos. Siendo que los parámetros de ángulo de fricción ( $\phi$ ) y coeficiente de cohesión (C), se pueden obtener en laboratorio a través del ensayo de corte



directo y/o ensayos triaxiales, el ángulo de fricción ( $\phi$ ) depende directamente con la cantidad y tamaño de granos y el coeficiente de cohesión (C) con la presencia en mayor o menor cantidad de los finos que pueda contener la matriz del suelo, del párrafo anterior se deduce que se debería tener sumo cuidado en el muestreo del suelo, para la realización del ensayo de corte directo ya que las cuantificaciones de ángulo de fricción ( $\phi$ ) y coeficiente de cohesión (C) serán susceptibles a las variaciones de los gruesos y porcentaje de finos, siendo que se podrán obtener valores mayor o menor para dichos parámetros, los cuales influirán directamente para el cálculo de la estabilidad.

En el caso estudiado en particular el material sobre el que se construyó la estructura ingenieril (Puente Mayunmarca), se define como suelo porque las propiedades y el comportamiento de los ensamblajes de sus granos carecen de fuertes enlaces físicos o cementación, a su vez es susceptible a ensayos de laboratorio de mecánica de suelos. Este suelo está constituido por gravas de diferente granulometría y composición, envueltos en una matriz arenosa y limo arcillosa, con alteración limonítica.

El presente trabajo de investigación evaluará la estabilidad del talud bajo condiciones de variaciones granulométricas, la evaluación será en función de las características del suelo. Evaluando los parámetros de resistencia de suelo, con variaciones granulométricas para la estabilidad, se podrán tomar los parámetros más exactos los cuales nos llevarán a cumplir con la seguridad de la estructura y reducir costos frente a un diseño definitivo de las estructuras de cimentaciones en suelos granulares.



*Figura 1:* Talud Margen Izquierda del puente Mayunmarca  
*Fuente:* Elaboracion Propia



### **1.1.2. Formulación Interrogativa del Problema**

#### *1.1.2.1. Formulación Interrogativa del Problema General*

¿Cómo varía la estabilidad del talud en función a la variación granulométrica del suelo de soporte del puente Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, Región del Cusco?

#### *1.1.2.2. Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos*

- a) ¿Cómo varía la estabilidad del talud en función a la variación del ángulo de fricción del suelo de soporte del puente Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, Región del Cusco?
- b) ¿Cómo varía la estabilidad del talud en función a la variación del coeficiente de cohesión del suelo de soporte del puente Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, Región del Cusco?

### **1.2. Justificación e Importancia del Problema**

#### **1.2.1. Justificación Técnica**

Las variaciones granulométricas del suelo para la ejecución de ensayos de corte directo permitirán obtener los parámetros de resistencia ángulo de fricción ( $\phi$ ) y coeficiente de cohesión (C), los cuales a su vez permitirá evaluar diversas condiciones de estabilidad, que permitirán cumplir con un factor de seguridad más exacto para el talud y ello significara una reducción de costos para el planteamiento de las cimentaciones de infraestructura a construirse.

El análisis de la estabilidad del talud en evaluación permitirá conocer las características mecánicas del mismo, siendo este un aporte para la construcción de elementos viales apoyados en taludes con características similares en otras zonas de la región.

#### **1.2.2. Justificación Social**

Desde el punto de vista social, el presente trabajo de investigación es importante porque servirá como aporte guía para la investigación de otros estudiantes de la universidad, en temas relacionados a la estabilidad de taludes y como la estabilidad de un talud varía de acuerdo a la granulometría que lo constituye.

El presente trabajo de investigación, también es importante porque aportara con la adecuada concepción del comportamiento del talud en evaluación, a partir de la cual se tomarán medidas de ser el caso para mejorar la seguridad de la infraestructura, la cual podrá ser usada por la población beneficiaria.





### **1.2.3. Justificación por Viabilidad.**

El presente trabajo de investigación será realizado con ensayos de laboratorio de mecánica de suelos convencionales, que se encuentran dentro del mercado en la región, usando muestras representativas, referenciadas del mismo lugar de estudio, contando con todos los instrumentos y equipos para realizar los ensayos, si bien es cierto que el trabajo consiste en evaluar el comportamiento del talud con variación granulométrica, y viendo que el material que será ensayo en laboratorio es de gran tamaño, se hace uso de metodologías que hacen posible el estudio de los materiales que componen el talud de la margen izquierda del puente .

### **1.2.4. Justificación por Relevancia**

El presente trabajo de investigación se considera de relevancia debido a que la estructura en mención es considerada de gran importancia, el talud evaluado soporta una estructura vial que viene siendo un eje importante para el desarrollo de todas las micro cuencas aledañas con la vía Panamericana en su tramo Cusco-Sicuani.

### **1.3. Limitaciones de la Investigación**

- ✓ Los laboratorios del medio donde desarrollamos el trabajo de investigación no cuentan con los equipos necesarios y adecuados para evaluar muestras a gran escala, por ello se realizó ensayos según el manual de ensayo de materiales del MTC para muestras estándares y para la estimación de la resistencia al corte de suelos granulares se usó el método de la granulometría homotética, también conocido como método de curvas homotéticas.
- ✓ La presente tesis de investigación se encuentra limitada geográficamente a las condiciones y características climatológicas de la región Cusco.
- ✓ El trabajo de investigación se realizó de manera específica para la evaluación de la estabilidad del talud de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchi, región del cusco”.
- ✓ Todos los ensayos se enmarcaron dentro del manual de ensayo de materiales del MTC.
- ✓ En el siguiente cuadro que presentamos a continuación se observa el listado total de los ensayos necesarios para la realización del presente trabajo de investigación.



Tabla 1 Normativas de ensayos realizados

ENSAYO	GRUPO	NTP	ASTM
Método de ensayo para Contenido de humedad total de agregado por secado	Agregados	NTP 339.127	ASTM D 2216
Método de ensayo para análisis granulométrico de suelos por tamizado.	Agregados	NTP 339.128	ASTM D 422
Método de ensayo de determinación de límite líquido del suelo.	Agregados	NTP 350.001	ASTM D 4318
Método de ensayo para la determinación del límite plástico.	Agregados	NTP 339.129	ASTM D 4318
Método de ensayo para corte directo (no drenado, no consolidado).	Suelo	NTP 339.171	ASTM D 3080

- ✓ La metodología de granulometría homotética al escalar la granulometría del suelo original a una curva granulométrica de menor tamaño se limita a considerar el mismo Coeficiente de uniformidad (CU) y Coeficiente de gradación (CC), y asumiendo que se mantienen las mismas características propias de las partículas como son la dureza, forma y peso específico de los sólidos.

## 1.4. Objetivo de la Investigación

### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar la estabilidad del talud en función a la variación granulométrica del suelo de soporte del puente Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchis, Región del Cusco.

### 1.4.2. Objetivos Específicos

- a) Evaluar la estabilidad del talud en función a la variación del ángulo de fricción del suelo.
- b) Evaluar la estabilidad del talud en función a la variación del coeficiente de cohesión del suelo.



## 2. Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la Tesis

#### 2.1.1. Antecedentes a Nivel Nacional

TITULO: “Determinación de los parámetros de resistencia al corte en suelos gravosos por granulometría homotética y retrocalculo en talud, en la quebrada de Cancha Uran distrito de Urcos provincia de Quispicanchis, departamento del Cusco 2018”

AUTOR: Bach. HENRY CJAPA HERENCIA

AÑO: 2019

INSTITUCION: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

LUGAR: Cusco, Urcos.

El estudio geotécnico en suelos granulares presenta muchas dificultades, principalmente en el alto costos para elaborar ensayos tanto insitu como en laboratorio debido a falta de equipos a gran escala como también el tiempo y la dificultad para ensayar especímenes de grandes dimensiones, lo cual implica a desarrollar metodologías alternas que puedan estimar la resistencia al corte en este tipo de materiales. En la presente investigación se determinó los parámetros de resistencia al corte en suelos gravosos por granulometría homotética y retro cálculo, el material estudiado fue extraído del talud deslizado ubicado en la quebrada de Cancha Uran distrito de Urcos.

La metodología de la granulometría homotética consiste en escalar la granulometría del suelo original a una curva de menor tamaño de partículas asumiendo que se mantienen algunas características propias del material original como la dureza y la forma, etc. De tal manera que el material escaldado pueda ser ensayado en equipos convencionales. En la presente investigación se concluyó que la metodología de la granulometría homotética es eficiente para determinar los parámetros de resistencia al corte en suelos gravosos. La metodología de retro cálculo consiste en evaluar taludes ya fallados por medio del retro análisis el cual implica hacer un análisis probabilístico y de sensibilidad en los parámetros que influyen en la resistencia al corte al momento de fallar el talud. Para esta metodología se optó por hacer el análisis de sensibilidad el cual implica evaluar cada una de las variables manteniendo constantes las otras variables en una superficie de falla determinada y se concluyó que esta metodología es eficiente para determinar los parámetros de resistencia al corte en suelos gravosos.



### 2.1.2. Antecedentes a Nivel Internacional

TITULO: Variación de la cohesión y el ángulo de fricción interna obtenidos por los ensayos de corte directo y triaxial con materiales granulares y arcillosos

AUTOR: Rodolfo Rosales Bermúdez

AÑO: 2007

INSTITUCION: Universidad De San Carlos De Guatemala

LUGAR: Guatemala

En el presente trabajo se realizó un análisis comparativo de la cohesión y el ángulo de fricción interna, obtenidos del ensayo de corte directo y del triaxial con materiales granulares y arcillosos. Se considera que ambos ensayos son ampliamente conocidos y puestos en práctica en diversas ocasiones en el ámbito de la ingeniería civil, por lo que el conocer las ventajas como diferencias existentes entre ambos permite dar un referente a profesionales y estudiantes, en relación a cuál ensayo utilizar en cada oportunidad y como poderlos aplicar en los distintos proyectos.

Este estudio se realizó con tres materiales diferentes tomados de zonas localizadas estratégicamente, para obtener materiales representativos para el estudio. A cada uno de los materiales se les realizó tres pruebas iguales en cada ensayo, logrando los siguientes resultados: el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación, lo cual permite realizar una comparación y abstraer las diferencias existentes significativas entre ambos ensayos.

Para evitar la presencia de defectos de las muestras en estado natural, se trabajó con muestras moldeadas en laboratorio en ambos ensayos, usando como referencia la densidad máxima y el grado de humedad óptima, de cada material y para las tres muestras ensayadas, con esto se disminuyeron los factores que pudieran alterar los resultados.

Los resultados obtenidos para estas muestras son muy interesantes; en el ensayo triaxial, la cohesión obtenida es mayor que en el corte directo, y el ángulo de fricción interna es mayor en el ensayo de corte directo que en el ensayo de triaxial.



TITULO: Análisis experimental de las metodologías de curvas homotéticas y corte en la evaluación de propiedades geotécnicas de suelos gruesos.

AUTOR: Dorador Ortiz, Leonardo Hernán

AÑO: 2010

INSTITUCION: Universidad de Chile

LUGAR: Santiago - Chile

La obtención de propiedades geotécnicas de suelos granulares gruesos presenta dificultades debido principalmente a los altos costos, falta de equipos y tiempo para ensayar probetas de grandes dimensiones, lo cual ha implicado el desarrollo de metodologías alternativas que puedan estimar la resistencia al corte de este tipo de materiales.

Estudios anteriores han concluido que el método de curvas homotéticas es la metodología con mayor éxito en la estimación de la resistencia al corte de suelos granulares gruesos, siempre y cuando se consideren las limitaciones del porcentaje máximos de finos, homotecia perfecta, y mantenimiento de la forma de partículas en las granulometrías escaladas. En esta investigación se estudia otro parámetro relevante correspondiente a la dureza de partículas. Adicionalmente se investiga la efectividad del método de corte por lo atractivo y fácil de ser usado.

En el presente trabajo se han utilizado dos materiales para curvas homotéticas: Un enrocado con partículas sanas y meteorizadas, y un ripio lixiviado. Estos materiales fueron ensayados en triaxiales convencionales y en el aparato triaxial de gran escala de IDIEM. También se analizó el método de corte utilizando un material fluvial proveniente del río Aconcagua.

Para los 3 materiales se realizaron un total de 60 ensayos triaxiales CID en probetas con dimensiones que variaron entre 5 cm x 10 cm hasta 100 cm x 200 cm.

Los resultados y análisis obtenidos en el método de curvas homotéticas muestran que una variación de dureza de partículas en la muestra original y homotética es suficiente para conseguir valores de resistencia diferentes entre las granulometrías escaladas. Considerando el método de corte, se confirma que subestima la resistencia al corte y sobreestima el módulo de deformación, comprobando lo obtenido por otros autores. Sin embargo, es posible agregar que el método de corte podría ser válido para una extracción de sobre tamaño de hasta un 20%.



## 2.2. Aspectos Teóricos Pertinentes

### 2.2.1. Topografía

#### 2.2.1.1. Concepto de Topografía

Según (Mendoza Dueñas & Mora Quiñones, 2004, pág. 5)

Es una rama de la ingeniería que se propone determinar la posición relativa de los puntos, mediante la recopilación y procesamiento de las informaciones de las partes físicas del geoide, considerando hipotéticamente, que la superficie terrestre de observación es una superficie plana horizontal. En términos simples: la topografía se encarga de realizar mediciones en una porción de tierra relativamente pequeña. La información se obtiene de instituciones especializadas en cartografía y/o a través de las mediciones realizadas sobre el terreno (“levantamiento”), completando esta información con la aplicación de elementales procedimientos matemáticos.

#### 2.2.1.2. División básica de la topografía

Según (Mendoza Dueñas & Mora Quiñones, 2004, pág. 10)

- a) La planimetría, que se encarga de representar gráficamente una porción de terreno sin tomar en cuenta las diferencias de las cotas.
- b) La altimetría, que se encarga de representar gráficamente las diferencias de niveles del terreno.
- c) La topografía integral (combinación de planimetría y altimetría) que está encargada de representar gráficamente una porción de terreno en función a las dos divisiones anteriormente ya mencionadas.

#### 2.2.1.3. Levantamiento Topográfico

Según (Mc Cormac, 2003)

“El método más común para la representación de la topografía de un área determinada es usar las curvas de nivel. Una curva de nivel es una línea imaginaria que conecta puntos de igual elevación”

#### 2.2.1.4. Etapas del levantamiento topográfico

- a) Reconocimiento del terreno y el plan del trabajo
- b) El trabajo de campo
- c) Trabajo de gabinete



#### 2.2.1.5. Equipos para levantamientos topográficos

Hoy en día existen diferentes instrumentos y equipos para poder realizar los levantamientos topográficos, sin embargo, no todos cuentan con la misma precisión y es por eso que se menciona alguno de ellos:

- Wincha o cinta métrica.
- El teodolito.
- La estación total.
- El GPS Diferencial.

La estación total es un equipo que integra todas las funciones realizadas por un teodolito y un medidor electrónico de distancias y los micro procesa para realizar los cálculos necesarios para la determinación de las coordenadas rectangulares de los puntos del terreno.

Según (Mc Cormac, 2003)

“Estación total se menciona a la obtención de promedios de mediciones múltiples angulares y de distancias por constantes de prisma, presión atmosférica y temperatura, correcciones por curvatura y refracción terrestre, reducción de la distancia inclinada a sus componentes horizontal y vertical, así como el cálculo de las coordenadas de los puntos elevados.”

#### 2.2.2. Método de la Granulometría Homotética

Este método tiene como objetivo escalar la granulometría del suelo original a una curva granulométrica de menor tamaño de partículas de tal forma que tenga el mismo Coeficiente de uniformidad (CU) y Coeficiente de gradación (CC), y asumiendo que se mantienen las mismas características propias de las partículas como son la dureza, forma y peso específico de los sólidos, principalmente (Dorador Ortiz, 2010).

Siendo este método estudiado por Marachi (1972), Thiers y Donovan (1981), Gesche (2002), Varadajan (2003) y De la Hoz (2007) entre otros investigadores.

Marachi et al., (1972) llevó a cabo una serie de ensayos triaxiales CID aplicado a 3 distintos materiales de tipo rockfills.



- i) Enrocado llamado “pyramid dam material”,
- ii) Basalto chancado
- iii) Suelo de origen aluvial proveniente de la presa “Oroville” en California, Estados Unidos.

Los resultados fueron que el ángulo de fricción disminuye levemente al aumentar el tamaño de partículas.

Esta tendencia se produjo debido a que estos materiales analizados tenían una dureza baja, lo cual posibilitó una mayor rotura de partículas.

Donde Marachi et al., (1972) concluyeron que esta técnica es una forma útil para obtener la resistencia al corte de materiales rockfills.

Thiers y Donovan (1981), al realizar ensayos triaxiales a rocas sedimentarias, también concluyo que el ángulo de fricción disminuye al ser incrementado el tamaño de partículas.

Utilizando esta misma metodología, Varadajan (2003) llevó a cabo ensayos triaxiales con un material obtenido por voladura llamado Purulia, y concluyó que la rotura de partículas de baja resistencia o alteradas de las curvas homotéticas, pueden sobreestimar la resistencia al corte con respecto a la granulometría prototipo.

Las referencias que existen en Chile sobre la aplicación del método de curvas homotéticas, corresponden a los trabajos realizados por Gesche (2002) y De la Hoz (2007).

### **2.2.3. Medición de la Resistencia al Cortante**

Según (Juarez & Rico, 1998)

Para determinar los parámetros de la resistencia del corte a los materiales la forma más común es la de realizar ensayos de laboratorio, sin embargo, los valores de la resistencia al cortante determinados en los ensayos de laboratorio dependen de factores, tales como la calidad de muestras, su tamaño y el método de ensayo.

La resistencia al cortante depende del grado de saturación y este varía con el tiempo.

Esta situación dificulta la realización de ensayos representativos, en muestras no saturadas y generalmente, se acostumbra a trabajos con muestras saturadas.





Las envolventes de falla para suelos son generalmente no lineales en un rango amplio de esfuerzos por esta razón los ensayos deben idealmente, ser realizados en el rango de esfuerzos correspondiente a la situación de diseño.

a) (Juarez & Rico, 1998, pág. 391)

En suelos eminentemente granulares en los cuales no existe ningún tipo de cementante o material que pueda producir adherencia la cohesión se supone igual a cero, a estos suelos se les denomina suelos no cohesivos.

b) Según (Merritt, págs. 7-3)

Angulo de Fricción ( $\phi$ ). El ángulo de fricción interna es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en el plano de falla, el cual es un concepto básico de la física:

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \tan \phi$$

En ángulo de fricción depende de varios factores entre ellos algunos de los más importantes son:

- Tamaño de los granos.
- Forma de los granos.
- Distribución de los tamaños de granos.
- Densidad.

c) Según (Montejo Fonseca, 2002)

Esfuerzo Efectivo

Una masa de suelo saturada consiste en dos fases distintas: El esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenas de agua.

Cualquier esfuerzo impuesto sobre el suelo es soportado por el esqueleto de partículas y la presión en el agua. Típicamente, el esqueleto puede transmitir esfuerzos normales y de corte por los puntos de contacto entre partículas y el agua; a su vez puede ejercer una presión hidrostática, la cual es igual en todas las direcciones. Los esfuerzos ejercidos por el esqueleto solamente, se conocen como esfuerzos efectivos, y a los esfuerzos hidrostáticos del agua, se les denomina presión de poros.



Los esfuerzos efectivos son los que controlan el comportamiento del suelo y no los esfuerzos totales. En problemas prácticos, el análisis con esfuerzos totales podría utilizarse en problemas de estabilidad a corto plazo, y las presiones efectivas para analizar la estabilidad a largo plazo.

Desde el punto de vista de la relación esfuerzo-deformación, en la mecánica de suelos se debe tener en cuenta dos tipos de resistencia. (Pág. 59).

- i. Resistencia máxima.
- ii. Resistencia residual.

#### **2.2.4. Clasificación de Suelos Granulares**

Según (BRAJA M, 2013, pág. 49)

Independientemente de su origen, los tamaños de partículas que conforman el suelo pueden variar en un amplio intervalo. Los suelos son generalmente llamados grava, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas dentro del suelo. Para describir los suelos por su tamaño de partícula, varias organizaciones han desarrollado límites de separación de tamaño de suelo. La tabla 2.3 muestra los límites de separación de tamaño de suelo desarrollados por el Instituto de Tecnología de Massachusetts, el Departamento de Agricultura de E.U., la Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte, el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U. y la Oficina de Reclamación de E.U. En esta tabla el sistema del MIT se presenta sólo a modo de ejemplo, ya que juega un papel importante en la historia del desarrollo de los límites de separación de tamaño de suelo. Sin embargo, en la actualidad el Sistema Unificado es casi universalmente aceptado y ha sido adoptado por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales.

Las gravas son fragmentos de rocas con partículas ocasionales de cuarzo, feldespato y otros minerales.

En las partículas de arena predominan el cuarzo y el feldespato. A veces también pueden estar presentes granos de otros minerales.

Los limos son las fracciones microscópicas del suelo que consisten en fragmentos de cuarzo muy finos y algunas partículas en forma laminar que son fragmentos de minerales micáceos.



Las arcillas son en su mayoría partículas en forma de láminas microscópicas y submicroscópicas de mica, minerales de arcilla y otros minerales. Como se muestra en la tabla 2.3, las arcillas se definen generalmente como partículas menores de 0.002 mm. En algunos casos las partículas de tamaño entre 0.002 y 0.005 mm también. Las partículas se clasifican como arcilla sobre la base de su tamaño, ya que no pueden contener necesariamente minerales de arcilla. Las arcillas se definen como aquellas partículas “que desarrollan plasticidad cuando se mezclan con una cantidad limitada de agua” (Grim, 1953). (La plasticidad es la propiedad de las arcillas, parecida a la masilla, cuando

**Tabla 2.3** Límites de separación de tamaño de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de grano (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de Ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., linos y arcillas) <0.075	

Según (Juarez & Rico, 1998)

Los suelos granulares gruesos en los cuales se incluyen las gravas en mayor porcentaje con guijarros, bolones y bloques, tienen un comportamiento poco estudiado en nuestro medio, en este capítulo se resume su clasificación considerando su origen, composición y tipo.

a) Según su Origen

Los suelos gravosos se originan a partir de diversos tipos de afloramientos rocosos que se presentan en la naturaleza debido a agentes físicos que causan su desintegración mecánica insitu, el transporte por los ríos le da la forma de cantos rodados a las gravas del conglomerado.



De acuerdo a su formación las gravas pueden ser de diversas características, en cuanto a su forma, gradación y el contenido de finos.

- i. Gravas de origen fluvial.
- ii. Gravas de origen aluvial.
- iii. Gravas de origen aluvional.
- iv. Gravas de origen coluvial.

b) Por la Petrografía de los Cantos

La petrografía de los cantos de las gravas depende del tipo de afloramiento del cual proceden. En un depósito de grava se pueden encontrar cantos de roca ígnea, sedimentaria o metamórfica, la mayor o menor proporción de algún tipo de roca en especial dependerá del predominio de los afloramientos en las laderas, valles, quebradas, cárcavas, etc. De la ubicación de la roca madre y las características del agente de transporte.

De la petrografía de los cantos depende también su dureza, las gravas coluviales que proceden de rocas ígneas y metamórficas, pueden ser frágiles.

c) Por su Distribución Granulométrica

Los suelos granulares gruesos comprenden la mezcla de materiales tales como fragmento de roca o bloques, baleos, cantos rodados, gravas, arenas y finos.

Sin embargo, la mayoría de los sistemas de clasificación consideran la granulometría de los tamaños menores de 3", no hay uniformidad en cuanto a la clasificación de los tamaños mayores.

Para el conglomerado del Perú es frecuente utilizar la siguiente nomenclatura para describir los diversos tamaños que puede contener un suelo granular grueso:

Bloques : Fragmentos rocosos mayores o iguales a 1m.

Boleos : Material mayor de 12" y menor de 1m.

Cantos Rodados : Material mayor de 3" y menor de 12".

Grava gruesa : Material que pasa la malla de 3" y retiene la malla N°3/4".

Grava Fina : Material que pasa la malla de 3/4" y retiene la malla N°4".



El sistema de internacional de clasificación SUCS (ASTM D2487), no considera la fracción mayor de 3"; aun cuando sea predominante, solo se clasifica la matriz menor de 3" del conglomerado.

### 2.2.5. Parámetros de Resistencia

#### a) Cohesión (c)

“La cohesión es el efecto de atracción entre partículas; es independiente del esfuerzo normal, pero depende considerablemente, del contenido de agua y de la velocidad de deformación”. (Bowles, 1981, pág. 365)

#### b) Angulo de fricción ( $\phi$ )

“El ángulo de fricción interna es la representación matemática del coeficiente de rozamiento en el plano de falla” (Merritt, págs. 7-3)

#### c) Esfuerzo Efectivo

“Una masa de suelo saturada consiste de dos fases distintas: El esqueleto de partículas y los poros entre partículas llenos de agua”. (Cassan, Pág. 64).

#### d) Resistencia Máxima

“Es la resistencia a la corte máxima que soporta el material que no ha sido fallado previamente, la cual corresponde al punto más alto en la curva esfuerzo-deformación”. Según (Juarez & Rico, 1998, pág. 372)

#### e) Resistencia Residual

Es la resistencia al corte remanente que posee el material después de haber ocurrido la falla.

La diferencia entre la resistencia máxima y residual es la sensibilidad, la cual está relacionada con la pérdida de resistencia por el remoldeo o la reorientación de las partículas de arcilla. Según (Juarez & Rico, 1998, pág. 374)

#### f) Falla de la muestra

Es la condición de esfuerzos en la cual se considera fallada la muestra del ensayo, está considerada desde dos puntos de vista, uno es cuando se alcanza el máximo esfuerzo desviador o dos, el valor del esfuerzo desviador que se logra cuando se la muestra a alcanzado una deformación del 15%, se tomara el que ocurra primero. Según el uso y requerimiento del ensayo se podrán adoptar otros criterios de falla. (Montejo Fonseca, 2002, pág. 81)



### 2.2.6. Muestreo de Suelos y Rocas

Según (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

#### 2.2.6.1. Objeto

Es el muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos y rocas.

#### 2.2.6.2. Finalidad y Alcance

Establecer los procedimientos adecuados de muestreo de suelos y rocas, que permitirán la correlación de los respectivos datos con las propiedades del suelo, tales como plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y de la roca, tales como resistencia, estratigrafía, estructura y morfología.

#### 2.2.6.3. Equipos Materiales e Insumos

El equipo requerido para una investigación por debajo de la superficie, depende de varios factores, tales como el tipo de material a investigar, profundidad de exploración, naturaleza del terreno, y utilización de la información. Entre ellos se indica los siguientes:

- Barrenos manuales, excavadoras y palas, para depósitos superficiales de suelo hasta profundidades de 3 -15 pies (1-5 m).
- Equipos de percusión y lavado.
- Barrenos y taladros rotatorios motorizados, con formas adecuadas, muestreadores y tubos saca núcleos, para la investigación y muestreo tanto de rocas como de suelos.
- Aparatos geofísicos utilizados para la investigación sub superficial que pueden ser:
- Instrumentos sísmicos, con recepción simple o múltiple mediante geófonos, de señales originadas por golpes de martillo, explosivos u otras fuentes de energía.
- Aparato de resistividad de suelos, para medir la resistencia del suelo o roca al paso de una corriente continua o alterna.
- Aparatos nucleares, para medir humedad y peso unitario de suelos o rocas.
- Muestreadores de turba, para investigar áreas compuestas por suelos orgánicos.



- Herramientas manuales pequeñas, tales como llaves de tubo y palas, constituyen parte del equipo necesario. Para determinados suelos finos plásticos de la selva, los denominados "posteadores".
- Frascos de cierre hermético, para humedad de muestras (aproximadamente de 4 a 8 onzas) de capacidad, de vidrio, metal o plástico, que puedan sellarse; además, recipientes herméticos o bolsas de tejido cerrado, libres de material contaminante, de manera que no haya pérdida de partículas finas y que tengan una capacidad de por lo menos 16 kg (35 lb); también cajas apropiadas para muestras de núcleos de roca.

#### 2.2.6.4. Muestra

Deben obtenerse muestras representativas de suelo o roca, o de ambos, de cada material que sea necesario para la investigación. El tamaño y tipo de la muestra requerida, depende de los ensayos que se vayan a efectuar y del porcentaje de partículas gruesas en la muestra, y las limitaciones del equipo de ensayo a ser usado.

Nota 1. El tamaño de las muestras alteradas, en bruto, puede variar a criterio del responsable de la investigación, pero se sugiere las siguientes cantidades:

- Clasificación visual: 0,50 kg – 50 – 500 g.
- Análisis granulométrico y constantes de suelos no granulares: 0,50 a 2,5 kg.
- Ensayo de compactación y granulometría de suelo-agregado granular: 20 - 40 kg.
- Producción de agregados o ensayo de propiedades de agregados: 50 - 200 kg.

Debe identificarse cuidadosamente cada muestra con la respectiva perforación o calicata y con la profundidad a la cual fue tomada. Colóquese una identificación dentro del recipiente o bolsa, ciérrese en forma segura, protéjase del manejo rudo y márquese exteriormente con una identificación apropiada. Guárdense muestras para la determinación de la humedad natural en recipientes de cierre hermético para evitar pérdidas de la misma. Cuando el secado de muestras puede afectar la clasificación y los resultados de los ensayos, las muestras deben ser protegidas para la pérdida de humedad.



Deberá tomarse muestras de suelo y agua para determinar la acidez, el pH y el contenido de compuestos metálicos del material, cuando pueda esperarse que causen un cambio inaceptable en su medio ambiente. El tamaño de la muestra no deberá ser menor de 2,5 kg.

#### *2.2.6.5. Clasificación del Material*

Las muestras para ensayos de suelos y rocas deberán enviarse al laboratorio para los ensayos de clasificación física y mecánica respectiva, de acuerdo con las instrucciones del especialista geotécnico.

Las muestras tomadas, deben servir como mínimo para realizar los siguientes ensayos de laboratorio:

- Análisis granulométrico por tamizado MTC E 107.
- Análisis granulométrico por hidrómetro MTC E 109
- Humedad natural MTC E 108
- Determinación del límite líquido MTC E 110
- Determinación del límite plástico MTC E 111
- Determinación del límite de contracción, si se encuentra alta actividad de los finos MTC E 112.
- Gravedad específica de los suelos MTC E 113.

#### *2.2.6.6. Procedimiento*

Los procedimientos recomendados para el muestreo en el sitio, la identificación de muestras y los ensayos a realizar, son los siguientes:

- Calicatas y trincheras: Excavaciones a cielo abierto, hasta la profundidad deseada, tomando las precauciones necesarias para evitar el desprendimiento de material de las paredes que pueda afectar la seguridad del trabajador o contaminar la muestra que se espera obtener.
- Investigación y muestreo del suelo mediante barrenos y muestreadores: Procedimiento útil para la determinación del nivel freático. La profundidad con esta clase de barreno está limitada por las condiciones agua-suelo, las características del suelo y el equipo empleado.





- Ensayo de penetración estándar (SPT) y muestreo de suelos: Procedimiento para obtener muestras y medir la resistencia del suelo a la penetración de un muestreador normalizado, fundamentalmente para suelos no cohesivos, pudiendo ser usado en suelos cohesivos para recuperar muestras o para determinar un valor cualitativo de la resistencia.
- Método para muestreo de suelos con tubo de pared delgada, MTC E 120: Procedimiento para recobrar muestras de suelo relativamente inalteradas, adecuadas para ensayos de laboratorio.
- Ensayo de corte con veleta en suelo cohesivo, MTC E 122: Procedimiento para medir in situ la resistencia al corte de suelos cohesivos blandos, mediante la rotación de una veleta de cuatro hojas en un plano horizontal.

*2.2.6.7. La investigación del suelo y roca comprenderá entre otros lo siguiente:*

- Revisión de cualquier información disponible sobre la geología y la formación de la roca o del suelo, o de ambas, sobre las condiciones del nivel freático en el sitio y en las vecindades.
- Determinación del nivel freático y del material de fundación firme, bien sea roca o suelos de adecuada capacidad de soporte.
- Investigación en el sitio de los materiales superficiales y del subsuelo mediante perforaciones de percusión y lavado, rotación, barrenos manuales o mecánicos de espiral, calicatas y métodos geofísicos.
- Identificación del suelo y de los tipos de roca en el terreno con registros de la profundidad a la cual se presentan y de la localización de sus discontinuidades estructurales.
- Recuperación de muestras representativas inalteradas y remoldeadas para ensayos de caracterización del suelo o de la roca, y de los materiales para la construcción.
- Evaluación del comportamiento de instalaciones existentes en la vecindad inmediata del sitio propuesto, con respecto al material de fundación y el medio ambiente.
- Instrumentación en el sitio para medir movimientos por medio de inclinómetro, placa de asentamiento, etc.



### 2.2.7. Recolección de Muestras de Suelo en el Terreno

Según (BRAJA M, 2013, pág. 314)

Se pueden obtener dos tipos de muestras de suelo durante la exploración del subsuelo: alteradas y no alteradas. Las muestras alteradas, pero representativas, generalmente se pueden utilizar para los siguientes tipos de pruebas de laboratorio:

1. Análisis granulométrico.
2. Determinación de los límites líquido y plástico.
3. Peso específico de sólidos del suelo.
4. Determinación del contenido orgánico.
5. Clasificación de suelo.

Sin embargo, las muestras de suelo alterado no pueden ser utilizadas para la consolidación, conductividad hidráulica o pruebas de resistencia al corte. Para estas pruebas de laboratorio se deben obtener muestras de suelo no alteradas. El procedimiento común de recolección de muestras alteradas es a través de muestreadores de cuchara dividida. Las muestras no alteradas se pueden recoger mediante el uso de tubos de

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

#### 2.2.7.1. *Objetivos*

Este ensayo tiene como propósito:

- a) La obtención de muestras de suelo alterado.
- b) Obtener una indicación de la variación, según la profundidad, del contenido de humedad natural del suelo.
- c) Obtener una bolsa de suelo para futuras prácticas de laboratorio.

#### 2.2.7.2. *Equipo*

- a) Picos
- b) Palas
- c) Cinta métrica de 30 m para localizar las perforaciones.
- d) Saquillos o bolsas plásticas.

#### 2.2.7.3. *Procedimiento*



- a) Perforar con un pico un agujero de por lo menos 6 m de profundidad.
- b) Tomar dos muestras para contenido de humedad por cada metro de perforación y donde se produzcan cambios visuales en el estrato de suelo.
- c) Inmediatamente después de obtener, amarrar las bolsas de la muestra de forma que se minimice la pérdida de humedad.
- d) Al regresar al laboratorio, pese las muestras que contienen suelo húmedo, retire las bolsas, y coloque las muestras en el horno para secar.
- e) Regrese al laboratorio el día siguiente, pese el suelo seco y calcule el contenido de humedad.

### **2.2.8. Determinación del Perfil de Suelos**

Según (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

- a) Un perfil detallado de suelos deberá desarrollarse únicamente donde la relación continua entre profundidades y datos de los diferentes tipos de suelo y roca, sea económicamente justificable para el proyecto en cuestión.
- b) Pueden emplearse métodos geofísicos de exploración para complementar los datos de las perforaciones y afloramientos, y para interpolar entre los hoyos. Los métodos sísmicos y de resistividad eléctrica, pueden resultar particularmente valiosos cuando las diferencias nítidas en las propiedades de materiales sub superficiales contiguas están indicadas.

El método de refracción sísmica es especialmente útil para determinar la profundidad a la cual se halla la roca o en sitios donde estratos sucesivamente más densos son encontrados.

El método de resistividad eléctrica es igualmente útil para determinar la profundidad de la roca, evaluando formaciones estratificadas donde un estrato más denso descansa sobre uno menos denso, y en la investigación de canteras de arena-grava o de otros materiales de préstamo.

Las investigaciones geofísicas pueden ser una guía útil para programar los sitios de perforaciones y calicatas. En lo que sea posible, la interpretación de estudios geofísicos deberá ser verificada por perforaciones o excavaciones de prueba.

- c) La profundidad de las calicatas o perforaciones para carreteras, aeropuertos, o áreas de estacionamiento, deberá ser al menos de 1,5 m (5 pies) por debajo del nivel proyectado para la subrasante, pero circunstancias especiales pueden aumentar o disminuir esa profundidad. Los sondeos para estructuras o terraplenes deberán llevarse por debajo del nivel de



influencia de la carga propuesta, determinado mediante un análisis superficial de transmisión de esfuerzos.

Donde el drenaje pueda ser afectado por materiales permeables, acuíferos o materiales impermeables que lo puedan obstaculizar, las perforaciones deberán prolongarse suficientemente dentro de estos materiales para determinar las propiedades hidrogeológicas y de ingeniería, relevantes para el diseño del proyecto.

En todas las zonas de préstamo, las perforaciones deberán ser suficientes en número y profundidad, para obtener las cantidades requeridas de material que cumpla los requerimientos de calidad especificada.

d) Los registros de perforaciones deberán incluir:

- Descripción de cada sitio o área investigada, con cada hueco, sondeo o calicata, localizado claramente (horizontal y verticalmente) con referencia a algún sistema establecido de coordenadas o a algún sitio permanente.
- Perfil estratigráfico de cada hueco, sondeo o calicata, o de una superficie de corte expuesta, en la cual se muestre claramente la descripción de campo y localización de cada material encontrado, mediante símbolos o palabras.
- Fotografías en colores de núcleos de roca, muestras de suelos y estratos expuestos, pueden ser de gran utilidad. Cada fotografía deberá identificarse con fecha y un número o símbolo específico, una fecha y escala de referencia.
- La identificación de todos los suelos deberá basarse en las presentes normas para la clasificación de los suelos y de los suelos-agregados para construcción de carreteras, en la norma sobre descripción mediante procedimientos manuales y visuales, o en la de identificación de rocas.
- Las áreas acuíferas, drenaje subterráneo y profundidad del nivel freático hallado en cada perforación, calicata o hueco.
- Los resultados de ensayos en sitio (in situ), donde se requieran, como los de penetración o los de veleta u otros ensayos para determinar propiedades de suelos o rocas.
- Porcentaje de recuperación de núcleos e Índice Calidad de Roca en perforaciones de núcleo.



- Representación gráfica de campo y laboratorio y su interpretación facilita el entendimiento y comprensión de condiciones superficiales.

e) Perfil Sub superficial

Los perfiles del subsuelo se deben dibujar únicamente en base a perforaciones reales o datos de los cortes. La interpolación entre dichos sitios deberá hacerse con extremo cuidado y con la ayuda de toda la información geológica que se tenga disponible, anotando claramente que tal interpolación o continuidad asumida de estratos, es tentativa.

### **2.2.9. Determinación del Contenido de Humedad de un Suelo**

(Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

#### *2.2.9.1. Objeto*

Establecer el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo.

#### *2.2.9.2. Finalidad y Alcance*

La humedad o contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, al peso de las partículas sólidas.

Este Modo Operativo determina el peso de agua eliminada, secando el suelo húmedo hasta un peso constante en un horno controlado a  $110 \pm 5$  °C\*. El peso del suelo que permanece del secado en horno es usado como el peso de las partículas sólidas. La pérdida de peso debido al secado es considerada como el peso del agua.

Nota 1. (\*) El secado en horno siguiendo en método (a  $110$  ° C) no da resultados confiables cuando el suelo contiene yeso u otros minerales que contienen gran cantidad de agua de hidratación o cuando el suelo contiene cantidades significativas de material orgánico. Se pueden obtener valores confiables del contenido de humedad para los suelos, secándose en un horno a una temperatura de  $60$  °C o en un desecador a temperatura ambiente.

#### *2.2.9.3. Equipos*

- a) Horno de secado. - Horno de secado termostáticamente controlado, de preferencia uno del tipo tiro forzado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- b) Balanzas. - De capacidad conveniente y con las siguientes aproximaciones: De 0,01 g para muestras de menos de 200 g De 0,1 g para muestras de más de 200 g.

#### *2.2.9.4. Materiales*



- a) Recipientes. - Recipientes apropiados fabricados de material resistente a la corrosión, y al cambio de peso cuando es sometido a enfriamiento o calentamiento continuo, exposición a materiales de pH variable, y a limpieza.

Nota 2. Los recipientes y sus tapas deben ser herméticos a fin de evitar pérdida de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para prevenir la absorción de humedad de la atmósfera después del secado y antes de la pesada final. Se usa un recipiente para cada determinación.

- b) Desecador (opcional). - Un desecador de tamaño apropiado que contenga sílica gel o fosfato de calcio anhidro. Es preferible usar un desecante cuyos cambios de color indiquen la necesidad de su restitución (Ver Sección 6.3.5 del presente ensayo).

Nota 3. El sulfato de calcio anhidro se vende bajo el nombre comercial Drier hite.

- c) Utensilios para manipulación de recipientes. - Se requiere el uso de guantes, tenazas, o un sujetador apropiado para mover y manipular los recipientes calientes después de que se hayan secado.
- d) Otros utensilios. - Se requieren el empleo de cuchillos, espátulas, cucharas, lona para cuarteo, divisores de muestras, etc.

#### 2.2.9.5. Muestra

Las muestras serán preservadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89 (Practices for Preserving and Transporting Soil Sample), Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser ensayadas se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre aproximadamente 3 y 30 °C y en un área que prevenga el contacto directo con la luz solar. Las muestras alteradas se almacenarán en recipientes de tal manera que se prevenga ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor.

La determinación del contenido de humedad se realizará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles: (tales como: tubos de acero de pared delgada, latas de pintura, etc.) ó bolsas plásticas.

#### 2.2.9.6. Procedimiento

##### 2.2.9.6.1. *Espécimen del Ensayo*

- a) Para los contenidos de humedad que se determinan en conjunción con algún otro método ASTM, se empleará la cantidad especificada en dicho método si alguna fuera proporcionada.



- b) La cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total, si no se toma la muestra total, será de acuerdo a lo siguiente:

*Tabla 2* Cantidad mínima de espécimen de material húmedo seleccionado como representativo de la muestra total

Máximo tamaño de partícula (pasa el 100%)	Tamaño de malla estándar	Masa mínima recomendada de espécimen de ensayo húmedo para contenidos de humedad reportados	
		a ± 0,1%	a ± 1%
2 mm o menos	2,00 mm (Nº 10)	20 g	20 g *
4,75 mm	4,760 mm (Nº 4)	100 g	20 g *
9,5 mm	9,525 mm (3/8")	500 g	50 g
19,0 mm	19,050 mm (3/4")	2,5 kg	250 g
37,5 mm	38,1 mm (1 1/2")	10 kg	1 kg
75,0 mm	76,200 mm (3")	50 kg	5 kg

**Nota.** - \* Se usará no menos de 20 g para que sea representativa.

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 50)

Si se usa toda la muestra, ésta no tiene que cumplir los requisitos mínimos dados en la tabla anterior. En el reporte se indicará que se usó la muestra completa.

- c) El uso de un espécimen de ensayo menor que el mínimo indicado en 6.1.2 requiere discreción, aunque pudiera ser adecuado para los propósitos del ensayo. En el reporte de resultados deberá anotarse algún espécimen usado que no haya cumplido con estos requisitos.
- d) Cuando se trabaje con una muestra pequeña (menos de 200 g) que contenga partículas de grava relativamente grandes no es apropiado incluirlas en la muestra de ensayo. Sin embargo, en el reporte de resultados se mencionará y anotará el material descartado.
- e) Para aquellas muestras que consistan íntegramente de roca intacta, el espécimen mínimo tendrá un peso de 500 g. Porciones de muestra representativas pueden partirse en partículas más pequeñas, dependiendo del tamaño de la muestra, del contenedor y la balanza utilizada y para facilitar el secado a peso constante.

#### 2.2.9.6.2. Selección del Espécimen de Ensayo

- a) Cuando el espécimen de ensayo es una porción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo de la condición de humedad de la cantidad total



de material. La forma en que se seleccione el espécimen de ensayo depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, la condición de humedad, y el tipo de muestra (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

- b) Para muestras alteradas tales como las desbastadas, en bolsa, y otras, el espécimen de ensayo se obtiene por uno de los siguientes métodos (listados en orden de preferencia):
  - i. Si el material puede ser manipulado sin pérdida significativa de humedad, el material debe mezclarse y luego reducirse al tamaño requerido por cuarteo o por división.
  - ii. Si el material no puede ser mezclado y/o dividido, deberá formarse una pila de material, mezclándolo tanto como sea posible. Tomar por lo menos cinco porciones de material en ubicaciones aleatorias usando un tubo de muestreo, lampa, cuchara, frotacho ó alguna herramienta similar apropiada para el tamaño de partícula máxima presente en el material. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
  - iii. Si no es posible apilar el material, se tomarán tantas porciones como sea posible en ubicaciones aleatorias que representarán mejor la condición de humedad. Todas las porciones se combinarán para formar el espécimen de ensayo.
- c) En muestras intactas tales como: bloques, tubos, muestreadores divididos y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes métodos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.
  - i. Se desbastará cuidadosamente por lo menos 3 mm de material de la superficie exterior de la muestra para ver si el material está estratificado y para remover el material que esté más seco o más húmedo que la porción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm, o un espesor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie expuesta o del intervalo que esté siendo ensayado.
  - ii. Se cortará la muestra por la mitad. Si el material está estratificado se procederá de acuerdo a lo indicado en 6.2.3.c. Luego se desbastará cuidadosamente por lo menos 5 mm, o un espesor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la superficie expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los bordes que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la porción principal de la muestra.

Nota 4. El cambio de humedad en suelos sin cohesión puede requerir que se muestre la sección completa. Si el material está estratificado (o se encuentra más de un tipo de material), se seleccionará un espécimen promedio, o especímenes individuales, o ambos. Los especímenes





deben ser identificados apropiadamente en formatos, en cuanto a su ubicación, o lo que ellos representen.

#### 2.2.9.6.3. Procedimiento

- a) Determinar y registrar la masa de un contenedor limpio y seco (y su tapa si es usada).
- b) Seleccionar especímenes de ensayo representativos de acuerdo a la sección 6.2 de este ensayo.
- c) Colocar el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Determinar el peso del contenedor y material húmedo usando una balanza (véase 4.1.2 de este ensayo) seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Registrar este valor.

Nota 5. Para prevenir la mezcla de especímenes y la obtención de resultados incorrectos, todos los contenedores, y tapas si se usan, deberían ser enumerados y deberían registrarse los números de los contenedores en los formatos del laboratorio. Los números de las tapas deberán ser consistentes con los de los contenedores para evitar confusiones.

Nota 6. Para acelerar el secado en horno de grandes especímenes de ensayo, ellos deberían ser colocados en contenedores que tengan una gran área superficial (tales como ollas) y el material debería ser fragmentado en agregados más pequeños.

- d) Remover la tapa (si se usó) y colocar el contenedor con material húmedo en el horno. Secar el material hasta alcanzar una masa constante. Mantener el secado en el horno a  $110 \pm 5$  °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo requerido para mantener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores. La influencia de estos factores generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean ensayados y los aparatos que sean empleados.

Nota 7. En la mayoría de los casos, el secado de un espécimen de ensayo durante toda la noche (de 12 a 16 horas) es suficiente. En los casos en los que hay duda sobre lo adecuado de un método de secado, deberá continuarse con el secado hasta que el cambio de peso después de dos períodos sucesivos (mayores de 1 hora) de secado sea insignificante (menos del 0,1 %). Los especímenes de arena pueden ser secados a peso constante en un período de 4 horas, cuando se use un horno de tiro forzado.



Nota 8. Desde que algunos materiales secos pueden absorber humedad de especímenes húmedos, deberán retirarse los especímenes secos antes de colocar especímenes húmedos en el mismo horno. Sin embargo, esto no sería aplicable si los especímenes secados previamente permanecieran en el horno por un período de tiempo adicional de 16 horas.

- e) Luego que el material se haya secado a peso constante, se removerá el contenedor del horno (y se le colocará la tapa si se usó). Se permitirá el enfriamiento del material y del contenedor a temperatura ambiente o hasta que el contenedor pueda ser manipulado cómodamente con las manos y la operación del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Determinar el peso del contenedor y el material secado al horno usando la misma balanza usada en 6.3.3 de este ensayo. Registrar este valor. Las tapas de los contenedores se usarán si se presume que el espécimen está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

Nota 9. Colocar las muestras en un desecador es más aceptable en lugar de usar las tapas herméticas ya que reduce considerablemente la absorción de la humedad de la atmósfera durante el enfriamiento especialmente en los contenedores sin tapa.

### 2.2.9.7. Cálculos e Informe

#### 2.2.9.7.1. Cálculos

Se calcula el contenido de humedad de la muestra, mediante la siguiente fórmula:

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

$$W = \frac{M_{CWS} - M_{CS}}{M_{CS} - M_C} \times 100 = \frac{M_W}{M_S} \times 100$$

Donde:

$W$  = es el contenido de humedad, (%)

$M_{CWS}$  = es el peso del contenedor más el suelo húmedo, en gramos

$M_{CS}$  = es el peso del contenedor más el suelo secado en horno, en gramos

$M_C$  = es el peso del contenedor, en gramos



$M_w$  = es el peso del agua, en gramos

$M_s$  = es el peso de las partículas sólidas, en gramos

#### 2.2.9.7.2. Informe

- a) El informe deberá incluir lo siguiente:
  - i. La identificación de la muestra (material) ensayada, tal como el número de la perforación, número de muestra, número de ensayo, número de contenedor, etc.
  - ii. El contenido de agua del espécimen con aproximación al 1 % ó al 0,1 %, como sea apropiado dependiendo de la mínima muestra usada. Si se usa este método conjuntamente con algún otro método, el contenido de agua del espécimen deberá reportarse al valor requerido por el método de ensayo para el cual se determinó el contenido de humedad.
  - iii. Indicar si el espécimen de ensayo tenía un peso menor que el indicado en 6.1.2 de este ensayo.
  - iv. Indicar si el espécimen de ensayo contenía más de un tipo de material (estratificado, etc.).
  - v. Indicar el método de secado si es diferente del secado en horno a  $110 \pm 5$  °C.
  - vi. Indicar si se excluyó algún material del espécimen de ensayo.

### 2.2.10. Determinación del Limite Liquido de los Suelos

Según (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

#### 2.2.10.1. Objeto

- a) Es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo.
- b) Discusión: Se considera que la resistencia al corte no drenado del suelo en el límite líquido es de 2 kPa (0,28 psi). El valor calculado deberá aproximarse al centésimo.

#### 2.2.10.2. Finalidad y Alcance

- a) Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos véase anexos de clasificación de este manual. (SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite



líquido, el límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte

- b) Los límites líquidos y plástico de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad
- c) Frecuentemente se utilizan tres métodos para evaluar las características de intemperización de materiales compuestos por arcilla-lutita. Cuando se someten a ciclos repetidos de humedecimiento y secado, los límites de estos materiales tienden a incrementarse. La magnitud del incremento se considera ser una medida de la susceptibilidad de la lutitas a la intemperización.
- d) El límite líquido de un suelo que contiene cantidades significativas de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es secado al horno antes de ser ensayado. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después del secado al horno puede por consiguiente ser usada como una medida cualitativa del contenido de materia orgánica de un suelo.

### 2.2.10.3. *Equipos, Materiales e Insumos*

#### 2.2.10.3.1. *Equipos*

- a) Recipiente para Almacenaje. Una vasija de porcelana de 115 mm ( $4\frac{1}{2}$ "") de diámetro aproximadamente.
- b) Aparato del límite líquido (o de Casagrande).

De operación manual. Es un aparato consistente en una taza de bronce con sus aditamentos, construido de acuerdo con las dimensiones señaladas en la Figura 3.

De operación mecánica. Es un aparato equipado con motor para producir la altura y el número de golpes. Figura 3. El aparato debe dar los mismos valores para el límite líquido que los obtenidos con el aparato de operación manual.

- c) Acanalador. Conforme con las dimensiones críticas indicadas en la figura 3.



- d) Calibrador. Ya sea incorporado al ranurador o separado, de acuerdo con la dimensión crítica "d" mostrada en la Figura 1, y puede ser, si fuere separada, una barra de metal de  $10,00 \pm 0,2$  mm ( $0,394 \pm 0,008$ "") de espesor y de 50 mm (2") de largo, aproximadamente.
- e) Recipientes o Pesa Filtros. De material resistente a la corrosión, y cuya masa no cambie con repetidos calentamientos y enfriamientos. Deben tener tapas que cierren bien, sin costuras, para evitar las pérdidas de humedad de las muestras antes de la pesada inicial y para evitar la absorción de humedad de la atmósfera tras el secado y antes de la pesada final.
- f) Balanza. Una balanza con sensibilidad de 0,01 g.
- g) Estufa. Termostáticamente controlado y que pueda conservar temperaturas de  $110 \pm 5^\circ\text{C}$  para secar la muestra.

#### 2.2.10.3.2. *Materiales*

Espátula. De hoja flexible de unos 75 a 100 mm (3"– 4") de longitud y 20 mm ( $\frac{3}{4}$ "") de ancho aproximadamente.

#### 2.2.10.3.3. *Insumos*

Pureza del agua: Cuando este método de ensayo sea referida agua destilada, puede emplearse agua destilada o agua desmineralizada.

#### 2.2.10.4. *Muestra*

Se obtiene una porción representativa de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz  $425 \mu\text{m}$  (Nº 40). Las muestras que fluyen libremente pueden ser reducidas por los métodos de cuarteo o división de muestras. Las muestras cohesivas deben ser mezcladas totalmente en un recipiente con una espátula, o cuchará y se obtendrá una porción representativa de la masa total extrayéndola dos veces con la cuchara.

#### 2.2.10.5. *Procedimiento*

##### Multipunto

- a) Colocar una porción del suelo preparado, en la copa del dispositivo de límite líquido en el punto en que la copa descansa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más profundo, formando una superficie aproximadamente horizontal. Tener cuidado en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con el menor número de pasadas de espátula como sea posible.

Mantener el suelo no usado en el plato de mezclado. Cubrir el plato de mezclado con un paño húmedo (o por otro medio) para retener la humedad en la muestra.

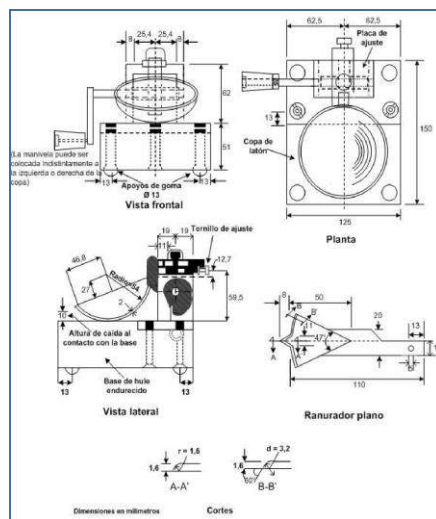


Figura 2: Aparato manual para límite líquido

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 69)

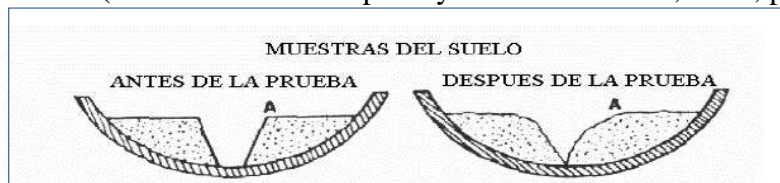


Figura 3: Muestras de suelo

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 69)

- b) Utilizando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo una ranura a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más alto y el punto más bajo sobre el borde de la copa. Cuando se corte la ranura, mantener el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, manteniendo la corriente perpendicular a la superficie de la copa en todo su movimiento. En los suelos en los que no se puede hacer la ranura en una sola pasada sin desgarrar el suelo, cortar la ranura con varias pasadas del acanalador. Como alternativa, puede cortarse la ranura a dimensiones ligeramente menores que las requeridas, con una espátula y usar la del acanalador las dimensiones finales de la ranura.
- c) Verificar que no existen restos de suelo por debajo de la copa. Levantar y soltar la copa girando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos mitades de suelo estén en contacto en la base de la ranura una longitud de 13 mm (1/2 pulg).



Nota1. Se recomienda el uso de una regla graduada para verificar que la ranura se cerró en 13 mm (1/2 pulg).

- d) Verificar que no se haya producido el cierre prematuro de la ranura debido a burbujas de aire, observando que ambos lados de la ranura se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro de la ranura, formar nuevamente el suelo en la copa, añadiendo una pequeña cantidad de suelo para compensar la pérdida en la operación de ranuración y repetir de 6.1 a 6.3 a un contenido más elevado. Si luego de varias pruebas a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue deslizando en la copa o si el número de golpes necesarios para cerrar la ranura es siempre menor de 25, se registrará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin realizar el ensayo de límite plástico.
- e) Registrar el número de golpes,  $N$ , necesario para cerrar la ranura. Tomar una tajada de suelo de aproximadamente de ancho de la espátula, extendiéndola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos rectos a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, colocarlo en un recipiente de peso conocido, y cubrirlo.
- f) Regresar el suelo remanente en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y fijar la copa nuevamente a su soporte como preparación para la siguiente prueba.
- g) Mezclar nuevamente todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado añadiéndole agua destilada para aumentar su contenido de humedad y disminuir el número de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir de 6.1 a 6.6 para al menos dos pruebas adicionales produciendo números de golpes sucesivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se realizará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que requiera de 15 a 25 golpes.
- h) Determinar el contenido de humedad,  $W_n$ , del espécimen de suelo de cada prueba de acuerdo al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben determinarse inmediatamente después de terminar el ensayo. Si el ensayo se interrumpe por más de 15 minutos, el espécimen ya obtenido debe pesarse en el momento de la interrupción. Un punto
- i) El ensayo se efectúa en la misma



2.2.10.6. Cálculos

- a) Representar la relación entre el contenido de humedad,  $W_n$ , y el número de golpes correspondientes,  $N$ , de la copa sobre un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada sobre la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los tres puntos o más puntos graficados.
- b) Tomar el contenido de humedad correspondiente a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. El método gráfico puede sustituir los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para encontrar el límite líquido. (Un punto)
- c) Determinar el límite líquido para cada espécimen para contenido de humedad usando una de las siguientes ecuaciones

Donde:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0,121} \quad \circ \quad LL = kW^n$$

- $N$  = Números de golpes requeridos para cerrar la ranura para el contenido de humedad.
- $W^n$  = Contenido de humedad del suelo.
- $K$  = Factor dado en la tabla A.1

Tabla 3 Tabla A -1

N (Numero de golpes)	K (Factor para límite líquido)
20	0,974
21	0,979
22	0,985
23	0,990
24	0,995
25	1,000
26	1,005
27	1,009
28	1,014
29	1,018
30	1,022

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 71)





Tabla 4 Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
<b>Precisión de un operador simple</b>		
Límite Líquido	0,8	2,4
<b>Precisión Multilaboratorio</b>		
Límite Líquido	3,5	9,9

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 71)

### 2.2.10.7. *Precisión y Dispersión*

#### 2.2.10.7.1. *Precisión*

El criterio para aceptar la aceptación de los resultados de los ensayos de límite líquido obtenido por este método de ensayo.

#### 2.2.10.7.2. *Dispersión*

Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

### 2.2.11. **Determinación del Límite Plástico (L.P.) de los Suelos e Índice de Plasticidad (L.P.)**

Según (Bowles, 1981)

#### 2.2.11.1. *Objeto*

Determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo

#### 2.2.11.2. *Finalidad y Alcance*

- a) Se denomina límite plástico (L.P.) a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm (1/8") de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa (vidrio esmerilado), sin que dichas barritas se desmoronen
- b) Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos (véase anexos de clasificación SUCS y AASHTO) y para especificar la fracción de grano de materiales de construcción (véase especificación ASTM D1241). El límite líquido, el límite



plástico, y el índice de plasticidad de suelos con extensamente usados, tanto individual como en conjunto, con otras propiedades de suelo para correlacionarlos con su comportamiento ingenieril tal como la compresibilidad, permeabilidad, compactibilidad, contracción-expansión y resistencia al corte.

- c) Los plásticos de un suelo pueden utilizar con el contenido de humedad natural de un suelo para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez y puede ser usado con el porcentaje más fino que  $2\mu\text{m}$  para determinar su número de actividad.

#### 2.2.11.3. *Referencias Normativas*

NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos.

#### 2.2.11.4. *Equipos y Materiales e Insumos*

##### 2.2.11.4.1. *Equipos*

- a) Espátula, de hoja flexible, de unos 75 a 100 mm (3" – 4") de longitud por 20 mm (3/4") de ancho.
- b) Recipiente para Almacenaje, de porcelana o similar, de 115 mm (4 1/2") de diámetro.
- c) Balanza, con aproximación a 0,01 g.
- d) Horno o Estufa, termostáticamente controlado regulable a  $110 \pm 5$  °C.
- e) Tamiz, de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40).
- f) Agua destilada.
- g) Vidrios de reloj, o recipientes adecuados para determinación de humedades.
- h) Superficie de rodadura. Comúnmente se utiliza un vidrio grueso esmerilado.

##### 2.2.11.5. *Muestra*

- a) Si se quiere determinar sólo el L.P., se toman aproximadamente 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426  $\mu\text{m}$  (N° 40), preparado para el ensayo de límite líquido. Se amasa con agua destilada hasta que pueda formarse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.
- b) El secado previo del material en horno o estufa, o al aire, puede cambiar (en general, disminuir), el límite plástico de un suelo con material orgánico, pero este cambio puede ser poco importante.



- c) Si se requieren el límite líquido y el límite plástico, se toma una muestra de unos 15 g de la porción de suelo humedecida y amasada, preparada de acuerdo con la Norma MTC E 110 (determinación del límite líquido de los suelos). La muestra debe tomarse en una etapa del proceso de amasado en que se pueda formar fácilmente con ella una esfera, sin que se pegue demasiado a los dedos al aplastarla. Si el ensayo se ejecuta después de realizar el del límite líquido y en dicho intervalo la muestra se ha secado, se añade más agua.

2.2.11.6. *Procedimiento*

- a) Se moldea la mitad de la muestra en forma de elipsoide y, a continuación, se rueda con los dedos de la mano sobre una superficie lisa, con la presión estrictamente necesaria para formar cilindros.
- b) Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro. El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.
- c) Porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se determina la humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- d) Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en 6.1, 6.2 y 6.3.

2.2.11.7. *Cálculos e Informe*

2.2.11.7.1. *Cálculos*

Calcular el promedio de dos contenidos de humedad. Repetir el ensayo si la diferencia entre los dos contenidos de humedad es mayor que el rango aceptable para los dos resultados listados en la tabla 1 para la precisión de un operador.

Tabla 5 Tabla de estimados de precisión.

Índice de precisión y tipo de ensayo	Desviación Estándar	Rango Aceptable de dos resultados
<b>Precisión de un operador simple</b>		
Límite Plástico	0,9	2,6
<b>Precisión Multilaboratorio</b>		
Límite Plástico	3,7	10,6

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 71)



Nota: El límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se expresa como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

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

#### 2.2.11.7.2. Cálculos de Índice de Plasticidad

Se puede definir el índice de plasticidad de un suelo como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

$$\text{I.P.} = \text{L.L.} - \text{L.P.}$$

Donde:

L.L. = Límite Líquido

P.L. = Límite Plástico

L.L. y L.P., son números enteros

Cuando el límite líquido o el límite plástico no puedan determinarse, el índice de plasticidad se informará con la abreviatura NP (no plástico).

Así mismo, cuando el límite plástico resulte igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se informará como NP (no plástico).

#### 2.2.11.8. Precisión y Dispersión

##### 2.2.11.8.1. Precisión

El criterio para juzgar la aceptabilidad de los resultados de los ensayos de Límite Plástico obtenidos por este método de ensayo se da en la Tabla N° 1.

##### 2.2.11.8.2. Dispersión

Exactitud: No existe un valor de referencia aceptable para este método de ensayo; la exactitud no puede ser determinada.

#### 2.2.12. Análisis Granulométrico de Suelos por Tamizado

Según (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016)

##### 2.2.12.1. Precisión y Dispersión

Determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo.



2.2.12.2. *Finalidad y Alcance*

- a) Este Modo Operativo describe el método para determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices de la serie empleada en el ensayo, hasta el de 74 mm (N° 200).
- b) Este Modo Operativo no propone los requisitos concernientes a seguridad. Es responsabilidad del usuario establecer las cláusulas de seguridad y salubridad correspondientes, y determinar además las obligaciones de su uso e interpretación.

2.2.12.3. *Referencias Normativas*

ASTM D 422: Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils.

2.2.12.4. *Equipos y Materiales*

2.2.12.4.1. *Equipos*

- a) Dos balanzas. Una con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,1% del peso de la muestra, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).
- b) Estufa. Capaz de mantener temperaturas uniformes y constantes hasta de  $110 \pm 5$  °C.

2.2.12.4.2. *Materiales*

- a) Tamices de malla cuadrada. Incluyen los siguientes:

*Tabla 6 Tamices de malla cuadrada*

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 44)

Se puede usar, como alternativa, una serie de tamices que, al dibujar la gradación, dé una separación uniforme entre los puntos del gráfico; esta serie estará integrada por los siguientes tamices de malla cuadrada:



Tabla 7 Tamices de malla cuadrada

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
1 1/2"	38,100
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 8	2,360
Nº 16	1,100
Nº 30	0,590
Nº 50	0,297
Nº 100	0,149
Nº 200	0,075

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 44)

- b) Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- c) Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

#### 2.2.12.5. Muestra

- a) Según sean las características de los materiales finos de la muestra, el análisis con tamices se hace, bien con la muestra entera, o bien con parte de ella después de separar los finos por lavado. Si la necesidad del lavado no se puede determinar por examen visual, se seca en el horno una pequeña porción húmeda del material y luego se examina su resistencia en seco rompiéndola entre los dedos. Si se puede romper fácilmente y el material fino se pulveriza bajo la presión de aquellos, entonces el análisis con tamices se puede efectuar sin previo lavado.
- b) Prepárese una muestra para el ensayo como se describe en la preparación de muestras para análisis granulométrico (MTC E 106), la cual estará constituida por dos fracciones: una retenida sobre el tamiz de 4,760 mm (N.º 4) y otra que pasa dicho tamiz. Ambas fracciones se ensayarán por separado.
- c) El peso del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, como se indica en el modo operativo MTC E 106, será suficiente para las cantidades requeridas para el análisis mecánico, como sigue:
- d) Para la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (Nº 4) el peso dependerá del tamaño máximo de las partículas de acuerdo con la Tabla:



Tabla 8 Tamaño máximo de las partículas

Díámetro nominal de las partículas más grandes mm (pulg)	Peso mínimo aproximado de la porción (g)
9,5 (3/8")	500
19,6 (3/4")	1000
25,7 (1")	2000
37,5 (1 1/2")	3000
50,0 (2")	4000
75,0 (3")	5000

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 45)

- e) El tamaño de la porción que pasa tamiz de 4,76° mm (N° 4) será aproximadamente de 115 g para suelos arenosos y de 65 g para suelos arcillosos y limosos.
- f) En el modo operativo MTC E 106 se dan indicaciones para la pesada del suelo secado al aire y seleccionado para el ensayo, así como para la separación del suelo sobre el tamiz de 4,760 mm (N° 4) por medio del tamizado en seco, y para el lavado y pesado de las fracciones lavadas y secadas retenidas en dicho tamiz. De estos dos pesos, los porcentajes, retenido y que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), pueden calcularse de acuerdo con el numeral 4.1.1.
- g) Se puede tener una comprobación de los pesos, así como de la completa pulverización de los terrones, pesando la porción de muestra que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4) y agregándole este valor al peso de la porción de muestra lavada y secada en el horno, retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4).

### 2.2.12.6. Procedimiento

#### 2.2.12.6.1. Análisis por Medio de Tamizado de la Fracción Retenida en el Tamiz de 4,760 mm (N°4).

- a) Sepárese la porción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) en una serie de fracciones usando los tamices de:

Tabla 9 Tamices

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760

Fuente: (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016, pág. 46)



O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra, o de las especificaciones para el material que se ensaya.

- b) En la operación de tamizado manual se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y recorriendo circunferencias de forma que la muestra se mantenga en movimiento sobre la malla. Debe comprobarse al desmontar los tamices que la operación está terminada; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la parte retenida al tamizar durante un minuto, operando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas apresadas en la malla, deben separarse con un pincel o cepillo y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Cuando se utilice una tamizadora mecánica, se pondrá a funcionar por diez minutos aproximadamente, el resultado se puede verificar usando el método manual.

- c) Se determina el peso de cada fracción en una balanza con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe diferir en más de 1 %.

#### 2.2.12.6.2. Análisis Granulométrico de la Fracción Fina

- a) El análisis granulométrico de la fracción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), se hará por tamizado y/o sedimentación según las características de la muestra y según la información requerida.
- b) Los materiales arenosos que contengan muy poco limo y arcilla, cuyos terrones en estado seco se desintegren con facilidad, se podrán tamizar en seco.
- c) Los materiales limo-arcillosos, cuyos terrones en estado seco no rompan con facilidad, se procesarán por la vía húmeda.
- d) Si se requiere la curva granulométrica completa incluyendo la fracción de tamaño menor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), la gradación de ésta se determinará por sedimentación, utilizando el hidrómetro para obtener los datos necesarios. Ver Modo Operativo MTC E 109-2009.
- e) Se puede utilizar procedimientos simplificados para la determinación del contenido de partículas menores de un cierto tamaño, según se requiera.
- f) La fracción de tamaño mayor que el tamiz de 0,074 mm (N° 200), se analizará por tamizado en seco, lavando la muestra previamente sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).
- g) Procedimiento para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200).





- h) Se separan mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos arcillosos y limosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.
- i) Humedad higroscópica. Se pesa una porción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C. Se pesan de nuevo y se anotan los pesos.
- j) Se coloca la muestra en un recipiente apropiado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los terrones se ablanden.
- k) Se lava a continuación la muestra sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200), con abundante agua, evitando frotarla contra el tamiz y teniendo mucho cuidado de que no se pierda ninguna partícula de las retenidas en él.
- l) Se recoge lo retenido en un recipiente, se seca en el horno a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C y se pesa.
- m) Se tamiza en seco siguiendo el procedimiento indicado en las secciones las secciones b y c del ítem 2.2.11.6.1.

#### 2.2.12.7. Cálculos e Informe

##### 2.2.12.7.1. Cálculos

##### 2.2.12.7.1.1. Valores de análisis de tamizado para la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (N°4):

- a) Se calcula el porcentaje que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), dividiendo el peso que pasa dicho tamiz por el del suelo originalmente tomado y se multiplica el resultado por 100. Para obtener el peso de la porción retenida en el mismo tamiz, réstese del peso original, el peso del pasante por el tamiz de 4,760 mm (N° 4).
- b) Para comprobar el material que pasa por el tamiz de 9,52 mm (3/8”), se agrega al peso total del suelo que pasa por el tamiz de 4,760 mm (N°4), el peso de la fracción que pasa el tamiz de 9,52 mm (3/8”) y que queda retenida en el de 4,760 mm (N°4). Para los demás tamices continúese el cálculo de la misma manera.
- c) Para determinar el porcentaje total que pasa por cada tamiz, se divide el peso total que pasa entre el peso total de la muestra y se multiplica el resultado por 100.
- d) Valores del análisis por tamizado para la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4):
- e) Se calcula el porcentaje de material que pasa por el tamiz de 0,074 mm (N° 200) de la siguiente forma:

$$\% \text{ Pasa } 0,074 = \frac{\text{Peso Total} - \text{Peso Retenido en el Tamiz de } 0,074}{\text{Peso Total}} \times 100$$



f) Se calcula el porcentaje retenido sobre cada tamiz en la siguiente forma:

$$\% \text{ Retenido} = \frac{\text{Peso Retenido en el Tamiz}}{\text{Peso Total}} \times 100$$

g) Se calcula el porcentaje más fino. Restando en forma acumulativa de 100 % los porcentajes retenidos sobre cada tamiz.

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido acumulado}$$

h) Porcentaje de humedad higroscópica. La humedad higroscópica como la pérdida de peso de una muestra secada al aire cuando se seca posteriormente al horno, expresada como un porcentaje del peso de la muestra secada al horno. Se determina de la manera siguiente:

$$\% \text{ Humedad Higroscópica} = \frac{W - W_1}{W_1} \times 100$$

Donde:

W = Peso de suelo secado al aire

W<sub>1</sub> = Peso de suelo secado en el horno

#### 2.2.12.7.2. Informe

a) El informe deberá incluir lo siguiente:

- ✓ El tamaño máximo de las partículas contenidas en la muestra.
- ✓ Los porcentajes retenidos y los que pasan, para cada uno de los tamices utilizados.
- ✓ Toda información que se juzgue de interés.

Los resultados se presentarán: (1) en forma tabulada, o (2) en forma gráfica, siendo esta última forma la indicada cada vez que el análisis comprende un ensayo completo de sedimentación. Las pequeñas diferencias resultantes en el empate de las curvas obtenidas por tamizado y por sedimento, respectivamente, se corregirán en forma gráfica.

b) Los siguientes errores posibles producirán determinaciones imprecisas en un análisis granulométrico por tamizado.

- ✓ Aglomeraciones de partículas que no han sido completamente disgregadas. Si el material contiene partículas finas plásticas, la muestra debe ser disgregada antes del tamizado.



- ✓ Tamices sobrecargados. Este es el error más común y más serio asociado con el análisis por tamizado y tenderá a indicar que el material ensayado es más grueso de lo que en realidad es. Para evitar eso, las muestras muy grandes deben ser tamizadas en varias porciones y las porciones retenidas en cada tamiz se juntarán luego para realizar la pesada.
- ✓ Los tamices han sido agitados por un período demasiado corto o con movimientos horizontales o rotacionales inadecuados. Los tamices deben agitarse de manera que las partículas sean expuestas a las aberturas del tamiz con varias orientaciones y así tengan mayor oportunidad de pasar a través de él.
- ✓ La malla de los tamices está rota o deformada; los tamices deben ser frecuentemente inspeccionados para asegurar que no tienen aberturas más grandes que la especificada.
- ✓ Pérdidas de material al sacar el retenido de cada tamiz y errores en las pesadas y en los cálculos. Según (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2016).

### **2.2.13. Corte Directo**

(BRAJA M, 2013)

Ésta es la forma más antigua y simple de arreglo de prueba de corte. En la figura 10.3 se muestra un diagrama del aparato de prueba de corte directo. El equipo de prueba consiste en una caja de corte de metal en la que se coloca la muestra de suelo. Las muestras de suelo pueden ser cuadradas o circulares. El tamaño de las muestras utilizadas generalmente es alrededor de 20 a 25 cm<sup>2</sup> de sección transversal y de 25 a 30 mm de altura. La caja se divide horizontalmente en dos mitades. La fuerza normal sobre la muestra se aplica desde la parte superior de la caja de corte. El esfuerzo normal sobre las muestras puede ser tan grande como 1000 kN/m<sup>2</sup>. La fuerza cortante se aplica moviendo una mitad de la caja con respecto a la otra para provocar una falla en la muestra de suelo. Dependiendo del equipo, la prueba de corte puede ser de esfuerzo controlado o deformación controlada. En las pruebas de esfuerzo controlado, la fuerza de corte es aplicada en incrementos iguales hasta que la muestra falla y ésta ocurre a lo largo del plano de división de la caja de corte. Después de la aplicación de cada carga incremental, el desplazamiento cortante de la mitad superior de la caja se mide con un indicador horizontal. El cambio en la altura de la muestra (y por lo tanto el cambio de volumen) durante la prueba se puede obtener a partir de las lecturas de un indicador que mide el movimiento vertical de la placa superior de carga. En las pruebas de deformación controlada, por medio de un motor que actúa a través de engranajes se aplica una velocidad constante de desplazamiento de cizalladura a una mitad de la caja. La constante de velocidad de

desplazamiento de corte se mide mediante un indicador de cuadrante horizontal. La fuerza de resistencia cortante del suelo correspondiente a cualquier desplazamiento de cizalladura se puede medir por un anillo de prueba horizontal o celda de carga. El cambio de volumen de la muestra durante la prueba se obtiene de una manera similar a las pruebas de esfuerzo controlado. La figura 10.4 es una fotografía del equipo de prueba de corte directo de deformación controlada.

La ventaja de las pruebas de deformación controlada es que, en el caso de la arena densa, la resistencia máxima al corte (es decir, a la falla), así como la resistencia mínima al corte (esto es, en un punto después de la falla, denominado resistencia última) se pueden observar y graficar. En las pruebas de esfuerzo controlado sólo la resistencia máxima al corte puede ser observada y graficada. Tenga en cuenta que la resistencia máxima al esfuerzo cortante en las pruebas de esfuerzo controlado sólo puede ser aproximada. Esto es debido a que la falla se produce a un nivel de esfuerzo en algún lugar entre el incremento de carga de prefalla y el incremento de la carga de falla. Sin embargo, las pruebas de esfuerzo controlado probablemente simulan situaciones reales de campo mejor que las pruebas de deformación controlada.

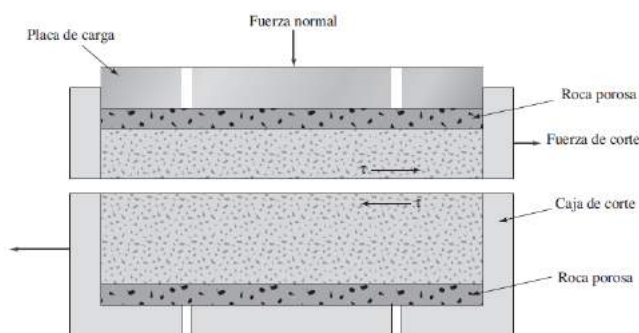


Figura 4: Diagrama de un arreglo de prueba de corte directo

Fuente: (BRAJA M, 2013)

(Norma Técnica Peruana 339.171)

### 2.2.13.1. Generalidades

El ensayo busca identificar la relación que se establece entre el esfuerzo y la deformación considerando una carga lateral aplicada de tal forma que se genera un esfuerzo cortante, se presenta un plano de falla horizontal paralelo a la carga aplicada. Existen dos sistemas para la ejecución de este ensayo, el de esfuerzo controlado y el de deformación controlada. En el primero se aumenta



gradualmente la carga que induce el esfuerzo hasta que se produzca la falla. Este sistema se usa de preferencia para ensayos de carga muy baja debido a que con el mismo puede mantenerse más fácilmente una carga constante durante cualquier período de tiempo; además, pueden quitarse más fácil y rápido las cargas. El inconveniente que se presenta es que por el exceso de desplazamiento que se impone después de haber pasado la resistencia máxima no se obtiene la resistencia al esfuerzo cortante final verdadera. Cuando una estructura se apoya en la tierra, transmite los esfuerzos al suelo de fundación. Estos esfuerzos producen deformaciones en el suelo que pueden ocurrir de tres maneras:

**a.** Por deformación elástica de las partículas.

**b.** Por cambio de volumen en el suelo como consecuencia de la evacuación del líquido existente en los huecos entre las partículas.

**c.** Por deslizamiento de las partículas, que pueden conducir al deslizamiento de una gran masa de suelo. El primer caso es despreciable para la mayoría de los suelos, en los niveles de esfuerzo que ocurren en la práctica. El segundo caso corresponde al fenómeno de la consolidación. El tercer caso, corresponde a fallas del tipo catastróficos y para evitarla se debe hacer un análisis de estabilidad, que requiere del conocimiento de la resistencia al corte de suelo. El análisis debe asegurar, que los esfuerzos de corte solicitantes son menores que la resistencia al corte, con un margen adecuado de modo que la obra siendo segura, sea económicamente factible de llevar a cabo. Vemos que es absolutamente imposible independizar el comportamiento de la estructura y el del suelo. Por tanto, el problema de la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos puede decirse que constituye uno de los puntos fundamentales de toda la Mecánica de Suelos. En efecto, una valoración correcta de este concepto constituye un paso previo imprescindible para intentar, con esperanza de éxito cualquier aplicación de la Mecánica de Suelos al análisis de la estabilidad de las obras civiles.

#### *2.2.13.2. Objetivo General*

El ensayo permite determinar la resistencia al esfuerzo cortante, utilizando el ensayo de corte directo.

#### *2.2.13.3. Objetivo Especifico*



- Obtener la gráfica de distribución de esfuerzos cortantes vs de formación, para unas determinadas cargas aplicadas a dicha muestra.
- Determinar el ángulo de fricción interna.
- Determinar la cohesión.
- Determinar capacidad Portante del suelo

#### 2.2.13.4. Fundamentos para el análisis del ensayo

El ensayo de corte directo impone sobre un suelo las condiciones idealizadas del ensayo. O sea, induce la ocurrencia de una falla a través de un plano de localización predeterminado. Sobre este plano actúan dos fuerzas

(o esfuerzos): un esfuerzo normal debido a una carga vertical (Pv) aplicada externamente y un esfuerzo cortante debido a la aplicación de una carga horizontal (Ph). Estos esfuerzos se calculan simplemente como.

$$\sigma_n = P_v / A \qquad t_f = P_h / A$$

Donde A es el área nominal de la muestra (o de la caja de corte) y usualmente no se corrige para tener en cuenta el área causada por el desplazamiento lateral de la muestra (Ph). La relación entre los esfuerzos de corte de falla ( $t_f$ ) y los esfuerzos normales ( $\sigma_n$ ) en suelos, se muestra en la siguiente figura y puede representarse por la ecuación siguiente:

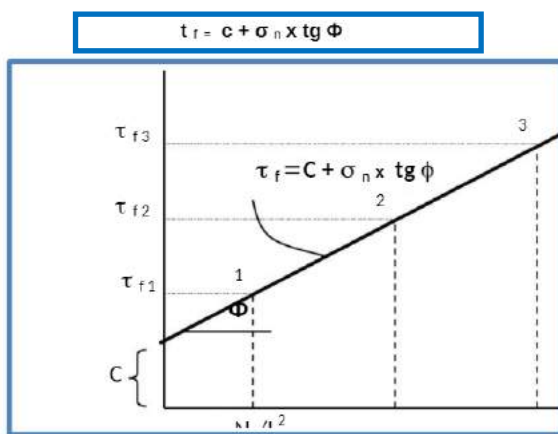


Figura: Relación entre los esfuerzos de corte máximo y los esfuerzos normales. La línea recta obtenida se conoce como envolvente de falla.

#### 2.2.13.5. Componentes de la resistencia al corte

De la ley de Coulomb se desprende que la resistencia al corte de suelos en términos generales tiene dos componentes:



- a. Fricción ( $\tan \Phi$ ) que se debe a la trabazón entre partículas y al roce entre ellas cuando están sometidas a esfuerzos normales.
- b. Cohesión (C) que se debe a fuerzas internas que mantienen unidas a las partículas en una masa.

Como en la ecuación " $t_f = c + \sigma_n \cdot \tan \Phi$ " existen dos cantidades desconocidas ( $\Phi$  y C), se requiere obtener dos valores, como mínimo de esfuerzo normal y esfuerzo cortante para obtener una solución. Como el esfuerzo cortante " $t_f$ " y el esfuerzo normal " $\sigma_n$ " tienen el mismo significado dado en la construcción del círculo de Mohr, en lugar de resolver una serie de ecuaciones simultáneas. Para c y para  $\tan \Phi$ , es posible dibujar en un plano de ejes coordenados los valores de  $t_f$  contra " $\sigma_n$ " para los diferentes ensayos (generalmente con t como ordenada), dibujar una línea a través del lugar geométrico de los puntos, y establecer la pendiente de la línea como el ángulo y la intersección con el eje t como la cohesión C.

Para materiales no cohesivos, la cohesión debería ser cero por definición y la ecuación de Coulomb se convierte en:

$$t_f = \sigma_n \cdot \tan \Phi$$

Siendo N la fuerza vertical que actúa sobre el cuerpo, la fuerza horizontal necesaria (T) para hacer deslizar el cuerpo, debe ser superior a N, siendo el coeficiente de roce entre los dos materiales. Esta relación también puede ser escrita de la forma siguiente:

$$T = N \tan \Phi$$

Siendo  $\Phi$ , el ángulo de roce o ángulo formado por la resultante de las dos fuerzas con la fuerza normal. La resistencia al deslizamiento es proporcional a la presión normal y puede ser representada por la figura. Este método de prueba es desarrollado para la determinación de la resistencia al corte de un suelo. Esta prueba es realizada mediante la deformación de un espécimen en un rango de deformación controlada. Generalmente se realizan un mínimo de 3 pruebas, cada una bajo una diferente carga normal para determinar el efecto sobre la resistencia y desplazamiento y las propiedades resistentes.  $\varpi$  Los esfuerzos de corte y los desplazamientos no se distribuyen uniformemente dentro de la muestra y no se puede definir una altura apropiada para el cálculo de las deformaciones.  $\varpi$  La determinación de las envolventes de falla y el desarrollo de criterios para interpretar y evaluar los resultados del ensayo se dejan a criterio del ingeniero o de la oficina que solicita el ensayo.  $\varpi$  Los resultados de ensayo pueden ser afectados por la presencia de partículas de suelo o fragmentos de roca, o ambos.  $\varpi$  Las condiciones de prueba incluyendo el esfuerzo normal

y la humedad ambiental son seleccionadas, las cuales representan las condiciones del suelo que son investigadas.

#### 2.2.13.6. Descripción del ensayo

Este ensayo consiste básicamente en someter una muestra de suelo de sección cuadrada y 2.5 cm. de espesor, confinada lateralmente, dentro de una caja metálica, a una carga normal ( $s$ ) y a un esfuerzo tangencial ( $\tau$ ), los cuales se aumentan gradualmente hasta hacer fallar a la muestra por un plano preestablecido por la forma misma de la caja (consta de dos secciones, una de las cuales es móvil y se desliza respecto a la otra, que es fija, produciendo el esfuerzo de corte). En el ensayo se determina cargas y deformaciones. La finalidad de los ensayos de corte, es determinar la resistencia de una muestra de suelo, sometida a fatigas y/o deformaciones que simulen las que existen o existirán en terreno producto de la aplicación de una carga. Para conocer una de estas resistencias en laboratorio se usa el aparato de corte directo, siendo el más típico una caja de sección cuadrada o circular dividida horizontalmente en dos mitades. Dentro de ella se coloca la muestra de suelo con piedras porosas en ambos extremos, se aplica una carga vertical de confinamiento ( $P_v$ ) y luego una carga horizontal ( $P_h$ ) creciente que origina el desplazamiento de la mitad móvil de la caja originando el corte de la muestra

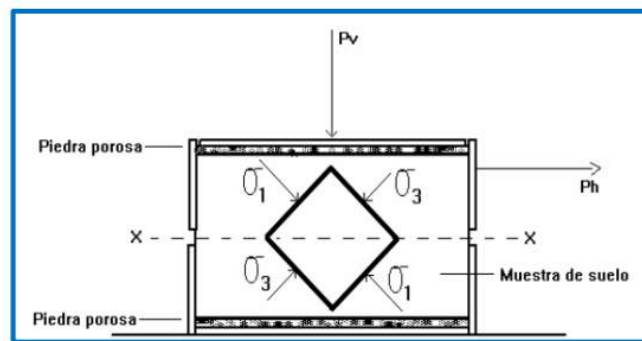


Figura 5: Esquema del aparato de corte directo.

El ensayo induce la falla a través de un plano determinado. Sobre este plano de falla actúan dos esfuerzos: o

- Un esfuerzo Normal ( $\sigma_n$ ), aplicado externamente debido a la carga vertical ( $P_v$ ).
- Un esfuerzo cortante ( $\tau$ ), debido a la aplicación de la carga horizontal. Estos esfuerzos se calculan dividiendo las respectivas fuerzas por el área ( $A$ ) de la muestra o de la caja de corte y deberían satisfacer la ecuación de Coulomb:





#### 2.2.13.7. Ensayo no consolidado no drenado (UU)

Es un ensayo rápido, donde el corte se inicia antes de consolidar la muestra bajo la carga normal ( $P_v$ ); si el suelo es cohesivo y saturado, se desarrollará exceso de presión de poros. Generalmente la recta intrínseca en el diagrama de  $\tau$  contra  $\sigma$  es horizontal, donde  $\tau = CU$ . No se permite el drenaje de la muestra en todo el ensayo.

#### 2.2.14. Análisis de Estabilidad de Taludes

Según (Pedro & Alejano Monge, 2004)

Al hablar de deslizamientos se ha ilustrado la importancia que puede adquirir el estudio de la estabilidad de taludes en nuestro medio, pero ese es apenas uno de los aspectos que trata dicha rama de la geotecnia, puesto que también es pieza fundamental en otras actividades de la ingeniería tales como el diseño y construcción de presas de tierra y enrocado, diques, rellenos y terraplenes. Dichas estructuras de tierra, en conjunto con los cortes o excavaciones que se practican en los proyectos de ingeniería, forman lo que se ha denominado los taludes artificiales; estos se diferencian de las laderas y taludes naturales, por la naturaleza de los materiales involucrados en cada caso o por las circunstancias de formación del talud, su historia geológica, el clima al cual ha estado sometido y la influencia del hombre. (Rico y Del Castillo, 1974).

Dentro de los taludes artificiales deben reconocerse las diferencias entre los cortes y los terraplenes, teniendo en cuenta que éstos, como en las presas, el grado de control que puede ejercer la ingeniería es mayor, dado que se seleccionan los materiales que los forman, los sistemas de colocación, compactación y drenaje. En las excavaciones de laderas habrá que trabajar con los materiales en su estado natural, con todas las variaciones que puedan presentarse de un punto a otro en las condiciones hidrológicas y geológicas, las propiedades geotécnicas de suelos y rocas y el grado de meteorización. En cualquier caso, deberán considerarse a mediano y largo plazo factores tales como el cambio que introduce en el medio ambiente toda obra de ingeniería, la influencia del agua sobre la resistencia, la estabilidad y la respuesta de los materiales a las cargas aplicadas y las modificaciones que sufren los materiales con el tiempo (en especial por la meteorización intensa que puede ocurrir en nuestro medio tropical).

Dicen Skempton y Hutchinson (1969) en uno de los trabajos más importantes sobre la materia: el estudio científico de taludes de tierra y roca tiene aplicaciones que varían desde problemas de geomorfología pura, hasta la predicción de estabilidad de taludes para propósitos de ingeniería civil



y el diseño de medidas correctivas donde un deslizamiento ha destruido o amenaza vidas humanas, propiedades o medios de comunicación. Sea cual fuere el enfoque dado al tema, se requiere un conocimiento adecuado de numerosos puntos que pueden reunirse en cuatro grupos relacionados entre sí: Reconocimiento y clasificación de los diversos tipos de movimientos en masa que pueden ocurrir, sus características morfológicas, ambiente geológico, velocidad y causas de la falla. Clasificación y descripción precisa de los materiales englobados en los movimientos en masa y medidas cuantitativas de sus propiedades relevantes. Método del cálculo de la estabilidad del talud en términos del tipo de falla, real o prevista y las propiedades de los materiales. Correlación entre las observaciones de campo y los resultados del cálculo de estabilidad. Agregan los autores citados que “los movimientos en masa ocurren principalmente en respuesta a fuerzas gravitacionales, ayudadas algunas veces por actividad sísmica.

La manera como un talud cede ante dichas fuerzas está controlada por una multitud de factores, entre los cuales los más importantes son la geología, la hidrología, la hidráulica, el relieve, el clima y la meteorización”. (Escobar Potes, 2016). Según (Pedro & Alejano Monge, 2004)

### **Superficies de falla**

Según (Carrillo Gil, 2011)

Las superficies de falla o de ruptura son características que distinguen a los deslizamientos de otros movimientos de suelo como, por ejemplo, la erosión. Esta superficie se reconoce debido a que divide el talud entre los materiales de suelo que pueden deslizarse y el suelo que no se mueve al ocurrir el deslizamiento.

Escarpe Principal: Superficie empinada en la parte más alta del talud, causado por el deslizamiento.

Escarpe Menor: Escarpes producidos por movimientos diferenciales dentro de la masa desplazada.

Cabeza: Región superior a lo largo del contacto entre el material desplazado y el escarpe principal.

Cuerpo: Material desplazado del deslizamiento de tierra que recubre la superficie de ruptura entre el escarpe primario y el pie de la superficie de ruptura.

Pie: Parte que se encuentra en pendiente ascendente desde la punta de la superficie de ruptura.

Corona: Material prácticamente no desplazado junto a la parte más alta del escarpe principal.



Flancos: Material adyacente desplazado a los lados de la superficie de ruptura izquierda y derecha.

### **Velocidad de deslizamiento:**

Según (Carrillo Gil, 2011)

Los deslizamientos pueden ser extremadamente lentos, teniendo una velocidad de  $10E-7$  mm/s o muy rápidas alcanzando una velocidad de  $10E4$  mm/s. Según su actividad en el medio se pueden clasificar en Fósiles, Activos e Inactivos.

Deslizamientos Activos: Taludes en constante movimiento o se tienen registros en donde se señala que en las últimas temporadas se han ido moviendo, las superficies de falla son fáciles de reconocer.

Deslizamientos Inactivos: No se tienen registro de movimientos o pruebas que evidencien movimiento de estos taludes en las últimas temporadas, pueden ser reactivados por factores naturales como el clima, o los movimientos telúricos. Deslizamientos fósiles: Son inmóviles y no pueden reactivarse al menos que la mano del hombre ayude en este proceso.

### **Causas de deslizamiento**

Según (Carrillo Gil, 2011)

Según datos estadísticos se sabe que el 40 % de deslizamientos ocurren a causa de fuertes lluvias. El estudio de los deslizamientos ocurridos se hace mediante los métodos tradicionales de análisis de estabilidad tomando como ingreso que el suelo se encuentra saturado.

Actualmente, existen otros métodos como el de tomar un modelo de corte del talud con su estado de esfuerzos actual, sin modificar sus propiedades como tomarlo saturado o con la presión de poros actuando en compresión.; este último modelo se hace debido a que existen estudios que demuestran que existen deslizamientos ocurriendo en las zonas no saturadas del talud.

Existe una fuerte relación entre lo que dura una intensa precipitación de lluvia y la variación de la presión de poros en el suelo. El estudio de suelos no saturados aplicado en la agricultura es de gran ayuda y sus modelos son utilizados para analizar la responsabilidad de la hidrología en la estabilidad de taludes.



## **2.3. Hipótesis**

### **2.3.1. Hipótesis General**

La variación granulométrica del suelo varía notablemente la estabilidad del talud del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, Cusco-2019.

### **2.3.2. Sub Hipótesis**

#### **Sub Hipótesis 01:**

La variación del ángulo de fricción del suelo varía notablemente en la estabilidad del talud del puente de Mayunmarca, del distrito de Quiquijana, Cusco-2019.

#### **Sub Hipótesis 02:**

La variación del coeficiente de cohesión del suelo varía notablemente en la estabilidad del talud del puente de Mayunmarca, del distrito de Quiquijana, Cusco-2019.

## **2.4. Definición de Variables**

En nuestro trabajo de investigación que presentamos, definimos como variable independiente a la variación granulométrica, debido a que esta variable será el centro de la investigación realizada, a su vez esta variable está aislada y será manipulada por nosotros los investigadores, definimos como variable dependiente a la estabilidad del talud, observamos como varía esta variable dependiente a causa de la variable independiente, ya que la variable dependiente es el resultado medible de la variación granulométrica realizada.

### **2.4.1. Variables Independientes**

Variación Granulométrica.

#### *2.4.1.1. Dimensión:*

- a) Contenido de humedad
- b) Granulometría
- c) Límites de consistencia

#### *2.4.1.2. Indicadores de Variables Independientes*

- a) % de humedad
- b) Tamaño Máximo de la muestra



c) Cálculo de los límites de consistencia.

## 2.4.2. Variables Dependientes

Estabilidad del talud

### 2.4.2.1. Dimensión

- a) Angulo de fricción
- b) Coeficiente de cohesión

### 2.4.2.2. Indicadores de Variables Dependientes

- Cálculo del ángulo de fricción ( $\phi$ )
- Cálculo del coeficiente de cohesión (C)

## 2.4.3. Cuadro de Operacionalización de Variables

VARIABLE	DIMENSION	DESCRIPCION DE LA VARIABLE	NIVEL	INDICADOR	INSTRUMENTO
<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>					
X: Estabilidad del talud	Angulo de fricción	Los resultados de laboratorio de angulo de fricción con variación granulométrica, nos permitira obtener, resultado optimo	bueno	Cálculo del ángulo de fricción ( $\phi$ )	equipo de corte directo
			malo		
	Coeficiente de cohesión	Los resultados de laboratorio de angulo coeficiente de cohesion con variación granulométrica, nos permitira obtener, resultado optimo	bueno	Cálculo del coeficiente de cohesión (C.)	equipo de corte directo
			malo		
<b>VARIABLES INDEPENDIENTE</b>					
Y: Variación Granulométrica	Contenido de humedad	La cantidad de ensayos para determinar el contenido de humedad, seran las necesarias	% de humedad	% de humedad	Horno de laboratorio de suelos
	Granulometría	Los resultados de granulometria con variación, nos permitira obtener la granulometria optima	bien gradado	Tamaño máximo de la muestra	Juego de tamices Agitador de tamices
			critico		
			mal gradado		
	Límites de consistencia	La cantidad de ensayos para determinar los límites de consistencia, seran las necesarias	Límite líquido	Cálculo de los límites de consistencia	cuchara de casa grande
			Límite plástico		
Límite de contracción					

Fuente: propia



### 3. Capítulo III: Metodología

#### 3.1. Metodología de la Investigación

##### 3.1.1. Enfoque de la Investigación

Respecto al tipo de investigación, la investigación realizada es cuantitativa, porque evaluamos la realidad en función a parámetros medibles, es decir cuantificamos todos los datos obtenidos tanto en campo, laboratorio y gabinete para luego ser evaluados.

Según (Gómez, 2006, pág. 121)

Señala que, bajo la perspectiva cuantitativa, la recolección de datos es equivalente a medir. De acuerdo con la definición clásica del término, medir significa asignar números a objetos y eventos de acuerdo a ciertas reglas. Muchas veces el concepto se hace observable a través de referentes empíricos asociados a él.

##### 3.1.2. Nivel o Alcance de la Investigación

El presente trabajo de investigación tendrá nivel descriptivo-correlacional, del nivel descriptivo debido a que, describiremos, estimaremos parámetros, en una circunstancia temporal y geográficamente determinada y obtendremos datos cuantitativos utilizando estudios numéricos, del nivel correlacional debido a que tratamos de evaluar cómo varía una variable al hacerlo la otra, en nuestro caso ver como varia la estabilidad del talud al variar la granulometría del talud en evaluación.

Según (Hernández Sampieri, 2014)

Con frecuencia, la meta del investigador consiste en describir fenómenos, situaciones, contextos y sucesos; esto es, detallar cómo son y se manifiestan. Con los estudios descriptivos se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

##### 3.1.3. Método de Investigación

En nuestro trabajo de investigación el método utilizado es Hipotético-Deductivo, ya que planteamos posibles resultados, discutimos estos resultados para aceptarlos o negarlos y así generamos nuestras conclusiones que deben confrontarse con los hechos.

Según (Gil, 1978, pág. 295)



El método de nuestra investigación es hipotético deductivo aplicado de la siguiente manera como dice Xavier Laborda Gil:

El método hipotético-deductivo se aplica en cinco momentos:

- a) Registro de los hechos que exigen explicación.
- b) Enunciación de hipótesis para explicar los hechos observados.
- c) Enunciación de un lenguaje simbólico con el que se pueda operar, dado un sistema de reglas de deducción.
- d) Interpretación de la deducción, enunciando la previsión de unos hechos determinados.
- e) Verificación de los hechos previstos y determinación de la verosimilitud de la hipótesis formulada.

Según (Bernal Torres, 2010, pág. 60). “Consiste en un procedimiento que parte de unas aseveraciones en calidad de hipótesis y busca refutar o falsear tales hipótesis, deduciendo de ellas conclusiones que deben confrontarse con los hechos”.

## **3.2. Diseño de la Investigación**

### **3.2.1. Diseño Metodológico**

En el presente trabajo de investigación utiliza el diseño metodológico experimental, en el diseño metodológico experimental se manipulan intencionalmente una o más variables independientes (supuestas causas antecedentes), para analizar las consecuencias que la manipulación tiene sobre una o más variables dependientes (supuestos efectos consecuentes). El trabajo de investigación que presentamos está enmarcado dentro de los requisitos necesarios para que nuestro diseño sea considerado como experimental. Con referencia a en nuestro trabajo de investigación se realiza la variación o manipulación de la variable independiente, que viene a ser la variación granulométrica, luego se observa el efecto provocado en la estabilidad del talud, la que es considerada la variable dependiente, cabe mencionar que la variable dependiente es el resultado medible de la variación granulométrica realizada, consideramos a la variable independiente (causa) para analizar el efecto en una variable dependiente (consecuencia).

Según (Hernández Sampieri, 2014, pág. 32)



“En un experimento, la variable independiente resulta de interés para el investigador, ya que hipotéticamente será una de las causas que producen el efecto supuesto. Para obtener evidencia de esta supuesta relación causal, el investigador manipula la variable independiente y observa si la dependiente varía o no. Aquí, manipular es sinónimo de hacer variar o asignar distintos valores a la variable independiente”.

Según (Hernandez Sampieri , Fernández Collado , & Batista Lucio , 2010, pág. 149)

El primer requisito es la manipulación intencional de una o más variables independientes. La variable independiente es la que se considera como supuesta causa en una relación entre variables, es la condición antecedente, y el efecto provocado por dicha causa se le denomina variable dependiente (consecuente).

Según (Hernandez Sampieri , Fernández Collado , & Batista Lucio , 2010, pág. 156)

El segundo requisito consiste en medir el efecto que la variable independiente tiene en la variable dependiente. Esto es igualmente importante y como en la variable dependiente se observa el efecto, la medición debe ser válida y confiable. Si no podemos asegurar que se midió de manera adecuada, los resultados no servirán y el experimento será una pérdida de tiempo.

Según (Hernandez Sampieri , Fernández Collado , & Batista Lucio , 2010, pág. 157)

El tercer requisito que todo experimento “verdadero” debe cumplir es el control o la validez interna de la situación experimental. El término “control” tiene diversas connotaciones dentro de la experimentación. Sin embargo, su acepción más común es que, si en el experimento se observa que una o más variables independientes hacen variar a las dependientes, la variación de estas últimas se deba a la manipulación y no a otros factores o causas; y si se observa que una o más independientes no tienen un efecto sobre las dependientes, se pueda estar seguro de ello. En términos más coloquiales, tener “control” significa saber qué está ocurriendo realmente con la relación entre las variables independientes y las dependientes





### 3.2.2. Diseño de Ingeniería

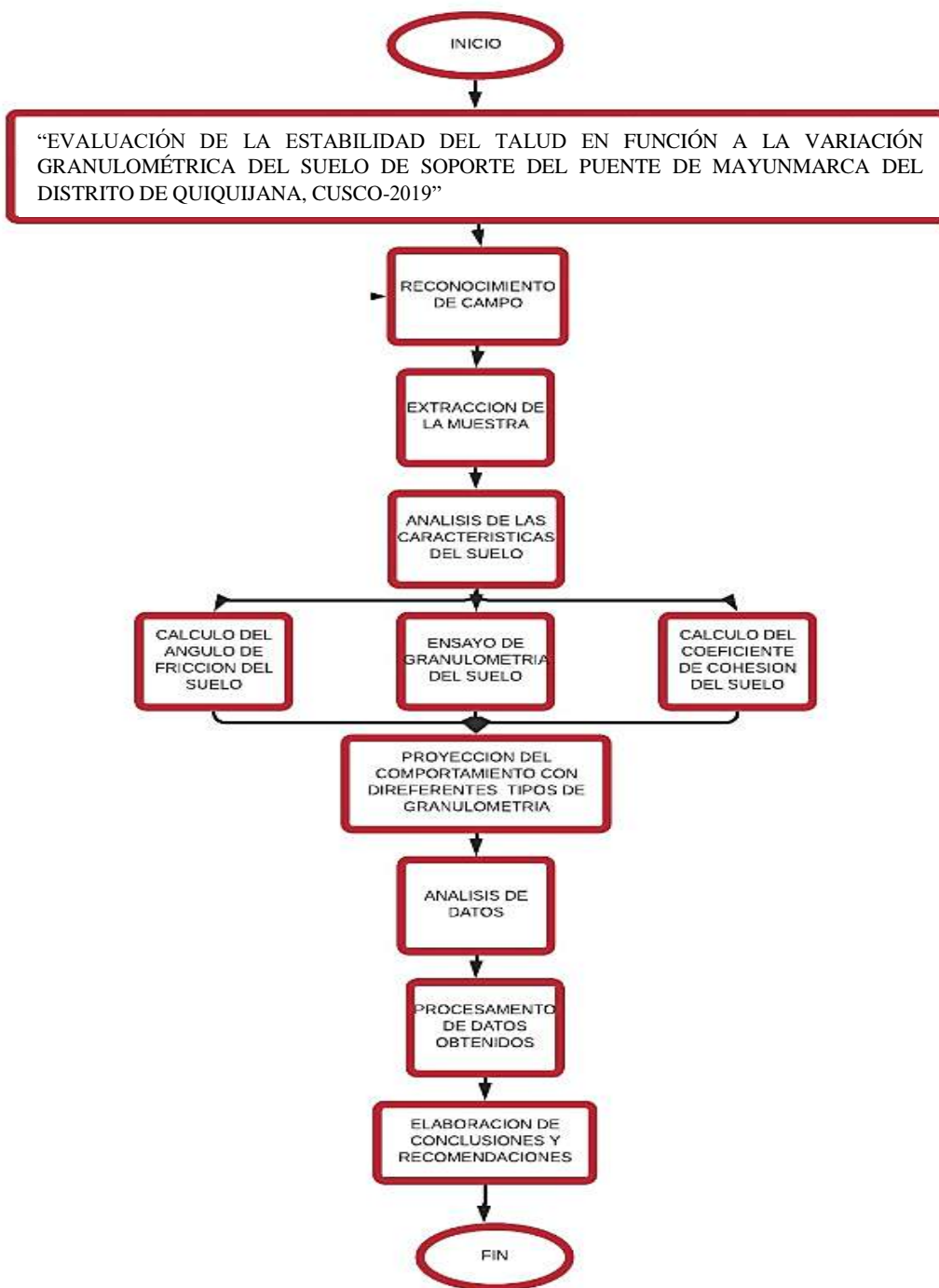


Figura 6: Diseño de ingeniería

Fuente: Propia



### 3.3. Población y Muestra

#### 3.3.1. Población

##### 3.3.1.1. Descripción de la Población

En nuestro trabajo de investigación se considera como población a la totalidad de partículas que conforman el talud izquierdo del puente Mayunmarca, como no es posible estudiar al total de la población, como investigadores realizamos el proceso de muestreo que nos permitirá elegir un conjunto de sus unidades, las cuales serán representativas de la población, en nuestro caso la muestra obtenida fue extruida de 01 calicata y 01 trinchera realizadas insitu, en la margen izquierda del rio Vilcanota, sector de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia de Quispicanchi, departamento del Cusco.

##### 3.3.1.2. Cuantificación de la Población

Tabla 10 Cuantificación de la Población

POBLACION	MUESTRAS (TALUD DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO VILCANOTA)	
	TALUD DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO VILCANOTA SECTOR MAYUNMARCA	Calicata (1.70x1.70x3.50 mts)

Fuente: Propia

#### 3.3.2. Muestra

##### 3.3.2.1. Descripción de la Muestra

Fue considerada como muestra el material extraído de la calicata N°1 y trinchera N°1 para los dos grupos de ensayos a realizarse, de los cuales se determinará su contenido de humedad composición granulométrica, características de plasticidad y los parámetros de resistencia se obtendrá a partir de los ensayos de corte directo.

##### 3.3.2.2. Cuantificación de la Muestra

Tabla 11 Cuantificación de la Muestra 01

ITEM	DESCRIPCION	NUMERO DE MUESTRAS	
		Calicata (1.70x1.70x3.50 mts)	Trinchera (Dist.de supeficie 7 mts aprox.)
1	CONTENIDO DE HUMEDAD	3	3
2	ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO	1	1
3	LIMITE LIQUIDO	4	4
4	LIMITE PLASTICO	3	3

Fuente: Propia



Tabla 12 Cuantificación de la Muestra 02

ITEM	DESCRIPCION (Sub muestras que cumplen con la norma ASTM 3080)	N° SUB MUESTRAS
1	Tamaño maximo de 1/4"	02
2	Tamaño maximo de 1/2"	02
3	Tamaño maximo de 3/4"	02

Fuente: Propia

### 3.3.2.3. Método de Muestreo

Muestreo intencionado: también recibe el nombre de sesgado. El investigador selecciona los elementos que a su juicio son representativos, lo que exige un conocimiento previo de la población que se investiga.

Nosotros seleccionamos los puntos de muestreo que en consideración (excavación de calicata y trinchera) creemos son los más representativos y con los cuales se pretenda validez la hipótesis planteada.

### 3.3.2.4. Criterios de Evaluación de Muestra

Según (Hernandez Sampieri , Fernández Collado , & Batista Lucio , 2010, pág. 207)

Los principales criterios de evaluación en la recolección y análisis de datos de la muestra, por el tipo de enfoque el cual es cuantitativo, son objetivos debido a que se trabajara los datos con imparcialidad y prescindiendo de consideraciones y criterios personales, tienen confiabilidad y validez, y además porque Hernández Sampieri afirma: (Roberto Hernández Sampieri, 2010) “La validez, la contabilidad y la objetividad no deben tratarse de forma separada. Sin alguna de las tres, el instrumento no es útil para llevar a cabo un estudio.”

### 3.3.3. Criterios de Inclusión

- a) Que el material del suelo pertenezca a uno de los taludes de la estabilidad en evaluación.
- b) Que la calicata que se usara para la recolección de datos pertenezca al talud en estudio.
- c) Las muestras tendrán que mantener sus características propias como humedad y composición granulométrica hasta que sean procesadas en laboratorio.
- d) Cada muestra deberá mantener todas las características representativas del sector en evaluación.



### 3.4. Instrumentos

#### 3.4.1. Instrumentos Metodológicos

##### 3.4.1.1. Granulometría de Agregados

*Tabla 13* Ficha de recolección de datos de granulometría - Agregado Fino  
Cálculo de la granulometría del agregado fino

Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

<b>PESO DEL RECIPIENTE (Gr)</b>	<b>PESO + RECIPIENTE (Gr)</b>
<b>TAMIZ</b>	
#4	
#8	
#16	
#30	
#50	
#100	
#200	
<200	

Fuente: Propia

*Tabla 14* Ficha de recolección de datos de granulometría - Agregado Grueso  
Cálculo de la granulometría del agregado grueso

Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

<b>PESO DEL RECIPIENTE (Gr)</b>	<b>PESO + RECIPIENTE (Gr)</b>
<b>TAMIZ</b>	
3/4"	
1/2"	
3/8"	
1/4"	
#4	
#8	

Fuente: Propia



*Tabla 15* Cálculo de Análisis Granulométrico por Tamizado  
Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

Antes del lavado	
Peso de la Muestra Seca =	Después del lavado
Peso de la Muestra Seca =	Peso de la Muestra Seca =
	% de Error en Peso = 0.35%

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100					
3"	75					
2"	50					
1"	25					
3/8"	9.5					
Nº 4	4.75					
Nº 10	2					
Nº 40	0.425					
Nº 100	0.150					
Nº 200	0.075					
Cazuela	-					
Lavado	-					

Total Fracción Retenida en Lavado =

Fuente: Propia

*Tabla 16* Cálculo de Contenido de Humedad  
Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN			
Nº de Capsula			
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
<b>Contenido de Humedad</b>			

Fuente: Propia

*Tabla 17* Cálculo de Limite Líquido



Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN			MUESTRA 03	MUESTRA 04
Peso de Capsula (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)				
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)				
Peso del Agua (gr)				
Peso de la Muestra Seca (gr)				
<b>Contenido de Humedad</b>				
<b>Número de Golpes</b>				

Fuente: Propia

*Tabla 18* Cálculo de Limite Plástico

Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN			
Nº de Capsula			
Peso de Capsula (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)			
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)			
Peso del Agua (gr)			
Peso de la Muestra Seca (gr)			
<b>Contenido de Humedad</b>			

Fuente: Propia



Tabla 19 Cálculos de Ensayo de Corte Directo  
Responsables: Luis Daniel Sutta Quispe y Luis Eduardo Sutta Quispe.

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

*datos de la muestra:*

CALICATA: C-01

Sondeo:		Material:
muestra:		
prof.:		

*Parámetros de la Muestra:*

TM 1/4"

ENSAYO N° 01

Muestra:			
Diametro o Lado (cm)			
Altura (cm)			
Área (cm <sup>2</sup> )			
Volumen (cm <sup>3</sup> )			
% humedad			
Masa M. húmeda $M_{70}$ (gr)			
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )			

*Parámetros del Ensayo:*

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)			
Carga total en la muestra (kg)			
Múltiplo ( 5 / 10 )			
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )			
Velocidad desplazam. (mm/min)			
Consolidar			

Fuente: Propia

Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:

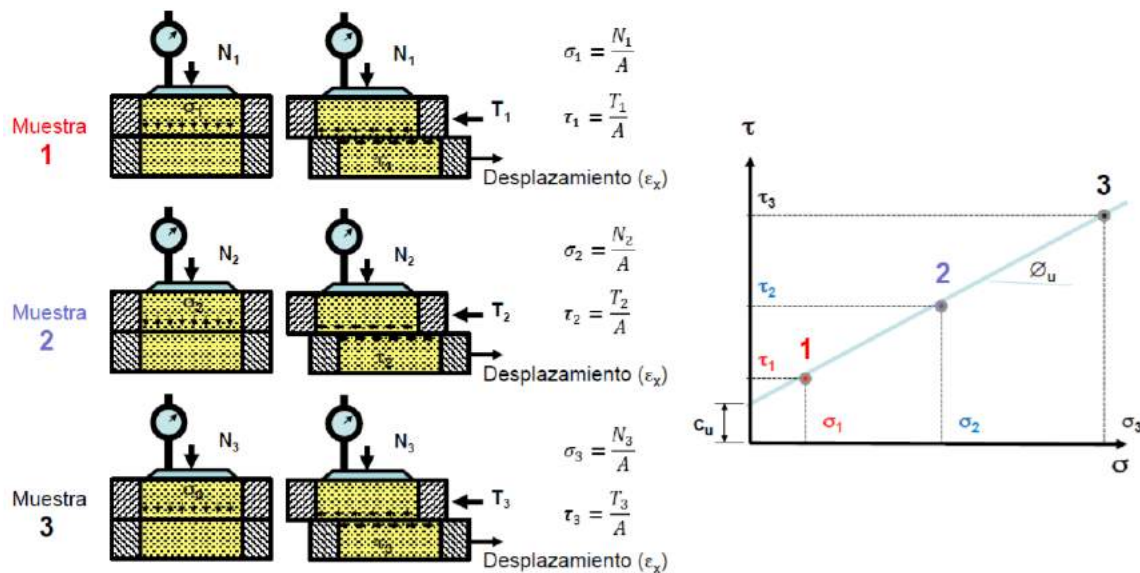


Figura 7: Diagrama del Arreglo para la prueba de Corte Directo

Fuente: Propia

### 3.4.2. Instrumentos de Ingeniería

#### 3.4.2.1. Tamices ASTM.

Los tamices son instrumentos de ingeniería generalmente metálicos que se usan para cernir una muestra de material, al proceso de cernido y control de los materiales retenidos en cada uno de ellos se le denomina ensayo de granulometría, el cual es uno de los parámetros para determinar el tipo de suelo ensayado, uno de los primeros ensayos que realizamos fue el ensayo de granulometría, para dicho análisis granulométrico se contó con una serie de tamices, los cuales nos ayudaron a determinar la cantidad de agregado retenido en cada uno de ellos, dichas retenciones de material en cada tamiz se pesaron, así logramos obtener los pesos retenidos, los tamices fueron enumerados, de acuerdo a números ascendentes, en el ensayo de granulometría el tamiz Nro. 4 es el que divide al agregado en material grueso y fino. Para agregado fino se consideramos los siguientes tamices: #4, #8, #16, #30, #50, #100, #200, y para el agregado grueso los tamices: 1'', 3/4'', 1/2'', 3/8'', 1/4''.

Se menciona también que cada tamiz comercial que se usa para realizar el ensayo de granulometría tiene un diámetro a la mitad del diámetro del tamiz que le precede, otro tamiz muy importante





también es el tamiz N° 200 debido a que el porcentaje que pase por este tamiz es determinante para la clasificación de suelo ensayado



Figura 8: Juego de tamices ASTM

Fuente: Propia

#### 3.4.2.2. Agitador mecánico de tamices.

Este instrumento nos permite realizar un movimiento vertical uniforme y controlado del conjunto de tamices que usamos para ensayar nuestra muestra, el agitador de tamices está diseñado para contener el total de tamices a usar en el ensayo



Figura 9: Agitador mecánico de tamices

Fuente: Propia



### 3.4.2.3. Balanza

Este instrumento de ingeniería nos indica el peso de un cuerpo, en nuestro caso ayudo a determinar el peso de nuestra muestra limpia y sucia, ayudó para determinar los pesos de las muestras antes y después de ingresar al horno del laboratorio donde determinamos el contenido de humedad, también determinamos con este instrumento los pesos obtenidos de las distintas mallas en el ensayo de granulometría, es un instrumento muy usado en el laboratorios de suelos, tecnología del concreto y otros, las balanzas se pueden clasificar de acuerdo a su cantidad máxima de peso, sensibilidad, etc.



*Figura 10: Balanza*

*Fuente: Propia*

### 3.4.2.4. Horno.

Este instrumento de laboratorio nos permite evaporar la humedad que contiene un cuerpo, de forma que, para el cálculo de pesos, contemos con un peso efectivo del material a evaluar, libre de humedad, como se realiza en el ensayo de contenido de humedad, el horno cuenta con un flujo de aire caliente circulante, termostáticamente controlado para una temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$



*Figura 11: Horno*

*Fuente: Propia*



#### 3.4.2.5. Máquina para el ensayo de corte directo

Es un dispositivo de ingeniería que nos ayuda a determinar parámetros del suelo como son el ángulo de fricción de los diferentes tipos de suelos, el coeficiente de cohesión, resistencia a los esfuerzos cortantes, fatiga de un suelo, con la obtención de estos parámetros de ingeniería podemos predecir posibles desplazamientos del suelo, tales como asentamientos diferenciales del suelo, desplazamientos de taludes que soporten estructuras como carreteras o puentes en nuestro caso.

Con este instrumento se pueden simular los esfuerzos que se podrían dar en campo en un determinado suelo, en nuestro caso observamos las fuerzas cortantes que se pueden generar en nuestro talud tanto por su peso propio y la estructura del puente que soporta.

Para nuestros ensayos de corte directo preparáramos sub muestras a partir de la muestra original que contenía partículas con tamaños máximos de 1" en promedio, de manera que puedan encajar en las casillas comerciales que se usan en el ensayo de corte directo, se utilizaron los tamaños máximos de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " (buscamos partículas que tengan un incremento de tamaño proporcional de 0.35mm entre todos los tamaños máximos, usamos una razón aritmética de 0.35mm, la misma que fue tomada de manera arbitraria, siendo posible considerar rangos más o menos amplios, dependerá del investigador).

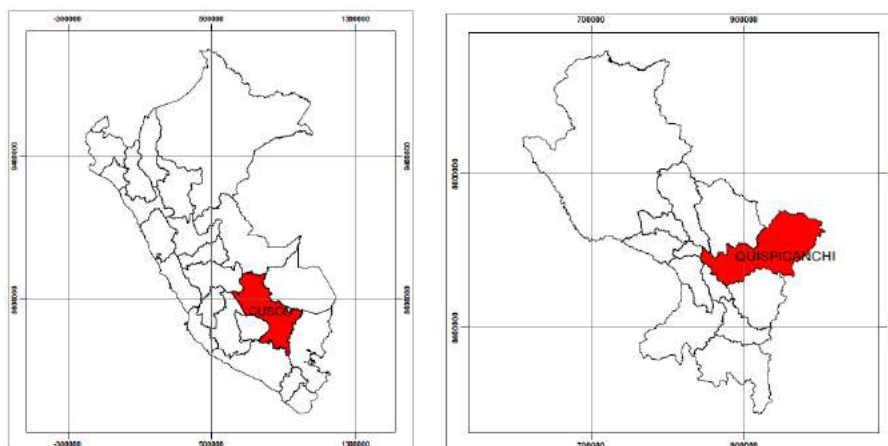


*Figura 12: Equipo de corte directo*

*Fuente: propia*

### 3.5. Procedimientos de Recolección de Datos.

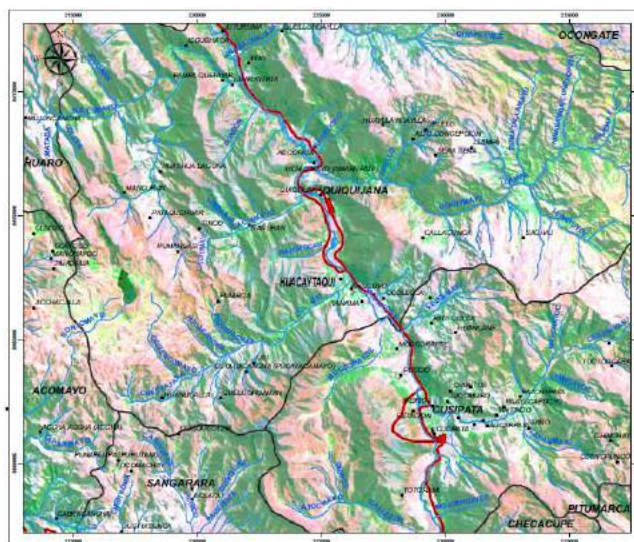
Procedimiento de Recolección de Muestras del Suelo Correspondiente al Talud de la Margen Izquierda del Puente Mayunmarca del Distrito de Quiquijana, Provincia de Quispicanchi, Departamento de Cusco-2019.



*Figura 13: Equipo de corte directo*

*Fuente: propia*

Para realizar la recolección de muestras nos desplazamos al sector de Mayunmarca ubicado en la comunidad campesina de Huaccaytaqui del distrito de Quiquijana, para ser más exactos al talud de la margen izquierda del puente denominado con el mismo nombre del sector antes mencionado.



*Figura 14: Equipo de corte directo*

*Fuente: propia*



- a) Equipos utilizados para recolección de datos en el talud izquierdo del puente Mayunmarca:
- i. Zapa pico
  - ii. Pala tipo cuchara
  - iii. Barreta de acero (1”).
  - iv. Badilejo.
  - v. Bolsas plásticas impermeables.
  - vi. Bolsas de polietileno para carguío de material.
  - vii. Sacos para carguío de material.
- b) Procedimiento.

En las inmediaciones del talud izquierdo del puente Mayunmarca, se realizó la apertura de 01 calicata con las siguientes dimensiones ancho = 1.70 mts, largo = 1.70 mts y una profundidad de 3.50 mts de profundidad para la obtención de muestras de suelo



*Figura 15: Talud izquierdo – Trinchera para obtención de muestras  
Fuente: Propia*

Las cuáles serán sometidas a diferentes ensayos de laboratorio y así determinar sus diversos parámetros de resistencia, por otro lado, también se ubicó en el corte de talud natural, 01 trinchera (Trinchera T-01, distancia de la superficie 7 mts aproximadamente), para la extracción de muestras representativas las cuales serán sometidos a los mismos ensayos de la muestra de la calicata. Luego de realizar las inspecciones visuales y determinar los estratos más representativos, se procede a la toma de muestras en la calicata; para la extracción de dichas muestras se utilizan picos y palas tipo cuchara, se recolectan la muestra en bolsas plásticas impermeables y para el carguío se hace el uso de bolsas de polietileno,

siendo el mismo procedimiento para la extracción de la trinchera T-01, en este último caso se hace uso de cuerdas de seguridad para la extracción de las muestras.



*Figura 16:* Talud izquierdo – Trinchera para obtención de muestras  
Fuente: Propia

c) Toma de Datos

*Tabla 20* Numero de muestras tomada de cada calicata N°1 y Trinchera N°1.

<b>POBLACION</b>	<b><i>Calicata (1.70x1.70x3.50 mts)</i></b>	<b><i>Trinchera (Dist.de supeficie 7 mts aprox.)</i></b>
TALUD DE LA MARGEN IZQUIERDA DEL RIO VILCANOTA SECTOR MAYUNMARCA	3 SACOS DE MUESTRA X 30 KG C/U	3 SACOS DE MUESTRA X 30 KG C/U

Fuente: Propia

Una vez con los materiales en laboratorio, para el ensayo de granulometría se utilizó una muestra representativa producto del cuarteo de la muestra extraída en campo, manteniendo todos los tamaños de las partículas, tanto en el material de muestra de la calicata como en el material de muestra de trinchera.



### 3.5.1. Ensayo de Contenido de Humedad – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aprox.)

#### a) Equipos

i. Horno de secado

ii. Balanzas

En el ensayo ubicamos nuestra balanza en un área libre de movimiento para no alterar la precisión del instrumento, en nuestro caso usamos una balanza que nos brindaba los datos con dos decimales de precisión, procedimos a tarar la balanza con el recipiente que usamos para el ensayo, luego anotamos los resultados.



*Figura 17: Balanza de precisión  
Fuente: Propia*

iii. Recipientes



*Figura 18: Recipientes  
Fuente: Propia*

b) Procedimiento

c) Primeramente, determinamos y registramos la masa de los contenedores (recipientes), limpios y secos, con la ayuda de la balanza de precisión.

Luego, seleccionamos los especímenes de ensayo representativos de acuerdo lo indicado anteriormente, para esto cuarteamos la muestra inicial, luego seleccionamos dos partes opuestas de nuestro cuarteo, es de estas dos partes que se seleccionó el espécimen ensayado.



Colocamos el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor (o recipiente). Determinamos el peso del contenedor y material húmedo usando la balanza de precisión, y registramos este valor obtenido, se repite este proceso 03 veces por tipo de muestra.

Seguidamente nos preparamos para colocar las muestras en el horno eléctrico, y secamos el material hasta alcanzar una masa constante. El horno se mantuvo a una temperatura de  $110 \pm 5$  °. En nuestro ensayo dejamos nuestro espécimen en el horno durante 24 horas, el tiempo requerido para obtener peso constante variará dependiendo del tipo de material, tamaño de espécimen, tipo de horno y capacidad, y otros factores.

Luego que el material se haya secado a peso constante, removimos el contenedor del horno, para remover nuestro espécimen del horno usamos un guante especial que facilito la manipulación del recipiente que contenía nuestra muestra. El enfriamiento del contenedor y del material se realizó de manera natural hasta que el contenedor pudo ser manipulado cómodamente con las manos. Determinamos los pesos de los contenedores y el material secado al homo usando la misma balanza, usada anteriormente al inicio del ensayo y registramos los valores obtenidos.

### **3.5.2. Ensayo de Granulometría del Agregado - Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (0.60X0.60X0.50 Mts).**

#### a) Equipos

- i. Balanza (Determinara los pesos de todas las muestras)
- ii. Brocha (Servirá para la recolección de todas las partículas de distintos tamices y bandejas)
- iii. Regla de madera
- iv. Juego de tamices (Determinar la cantidad de material retenido en cada uno de ellos)

#### b) Procedimiento.

En el ensayo realizado en laboratorio de suelos, se utilizó los tamices normados para este ensayo, los tamices #3, #2, 1 ½", 1", ¾", 3/8", N°4, N°10, N°20, N°40, N°60, N°140 y N°200.

Antes de iniciar con este ensayo verificamos que nuestro material a ensayar sea representativo, es decir que refleje todas las características de la muestra que obtuvimos





en campo y por otra parte que nuestro material usado para el ensayo este totalmente seco, ya verificado estas dos condiciones procedimos con el ensayo.

Primero con la muestra que se obtuvimos en campo tanto de la calicata como de la trinchera realizamos el cuarteo del material y seleccionamos nuestro material para el ensayo de las dos cuartas partes opuestas. Se procede a hacer secar la muestra, se registra el peso seco sucio, luego se procede a lavar las muestras, una vez limpio se hace secar en el horno, luego se registra el peso seco limpio. Procedemos a pesar el recipiente sin ningún tipo de contenido para poder tarar la balanza que usamos en nuestro ensayo. Seguidamente colocamos la muestra en el recipiente y lo colocamos en la balanza para determinar su peso.

Colocamos nuestra muestra en el juego de tamices y procedimos a usar la maquina agitadora, en esta parte tuvimos cuidado de no exceder el tiempo de tamizado, ya que esto podría generar una variación en la granulometría original, cada 30 segundos aproximadamente revisamos los tamices de mayor abertura, verificando si existía retención de material en ellos, de no tener material retenido los retiramos del juego de tamices, por otra parte con el apoyo de una brocha separábamos los finos del material que iba reteniéndose en cada tamiz y tratando de que este material fino llagase a su retención en su malla correspondiente. Una vez concluido la agitación mecánica, apuntamos en nuestra libreta de laboratorio todos los pesos retenidos en cada tamiz que usamos, estos datos nos ayudaron a clasificar nuestras muestras de suelo mediante los métodos de clasificación SUCS y AASHTO.



*Figura 19:* Agregados ordenados luego del tamizado de derecha a izquierda de las mallas #4 a #200

*Fuente:* Propia



Posterior a la realización del ensayo de granulometría y ensayos de límites de consistencia se procedió a realizar la clasificación del suelo, en el cual se determinó el tipo de suelo y tamaños máximos, obteniéndose el tamaño máximo de partículas de la muestra traída de campo y siendo este valor igual a 1”.



*Figura 20: Ensayo de granulometría  
Fuente: Propia*

La clasificación del estribo izquierdo correspondió a una GM-Grava limosa arenosa y de la muestra de la trinchera correspondió a una SM-Arena limosa gravosa, presentando ambos resultados partículas de grava, del análisis de los resultados se concluye que mayores tamaños de partículas se presentó en el estribo izquierdo, por ende, realizamos la variación granulométrica con la muestra del estribo izquierdo.



*Figura 21: Material retenido en cada tamiz  
Fuente: propia*



Se realizaron las respectivas clasificaciones del estribo izquierdo (GM-Grava limosa arenosa) y trinchera (SM-Arena limosa gravosa), presentado ambas partículas de grava, mayor tamaño se presentó en el estribo izquierdo, por ende, realizamos la variación granulométrica en con la muestra del estribo izquierdo (a partir de esta muestra, realizamos sub muestras).



Figura 22: Material retenido en cada tamiz  
Fuente: Propia

### 3.5.3. Ensayo de Limite Líquido del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente).

#### a) Equipos

- |   |                              |
|---|------------------------------|
| ✓ Recipiente para almacenaje                  | ✓ Calibrador                 |
| ✓ Espátula                                    | ✓ Recipientes o pesa filtros |
| ✓ Aparato de limite líquido (o de Casagrande) | ✓ Balanza                    |
| ✓ Acanalador                                  | ✓ Estufa                     |

#### b) Procedimiento

Para este ensayo usamos el material pasante de la malla N.º 40, también nos aseguramos que el material este completamente seco, colocamos la muestra de suelo en la vasija de porcelana aproximadamente 50 gr. y mezclamos completamente con 15 a 20 ml de agua, con la ayuda de la espátula, mezclamos buscando obtener una mezcla homogénea, en nuestro caso tuvimos que incrementar de 1 a 3 ml. de agua en dos oportunidades, hasta obtener una mezcla homogénea.



Usamos un aproximado de 15 min para el procedimiento de mezclado, para tener una mezcla bien homogénea, solo de esta manera pudimos obtener resultados más confiables.

Una vez que logramos que la mezcla sea homogénea y obtuvimos la consistencia requerida, colocamos nuestra muestra dentro de la cazuela, para la primera muestra realizamos 25 golpes de la cazuela de bronce para que la muestra se cierre, colócanos una porción de nuestra mezcla en la cazuela, y comprimimos con la ayuda de la espátula hacia abajo, cuando preparamos la muestra dentro de la cazuela tuvimos cuidado de no generar ninguna burbuja en la mezcla que tenemos, nivelamos el suelo con la espátula y al mismo tiempo emparéjeselo hasta conseguir una profundidad de 1 cm en el punto de espesor máximo, también verificamos que el equipo de Casagrande este calibrada.

Con el apoyo del acanalador realizamos una abertura en la parte central de la cazuela de bronce, en la parte central justamente donde existía mayor espesor de nuestra muestra. Para evitar realizar rasgaduras en los lados de la ranura que conseguimos con el acanalador, realizamos movimientos de ida y retorno con el mismo acanalador en la ranura de la muestra, esto durante solo 5 veces, se trató de realizar la ranura con el mínimo número de pasadas del acanalador en la muestra, de esta manera obtuvimos una ranura más consolidada, contando cada recorrido como una pasada.

Giramos la manija para elevar la taza de bronce, a una velocidad aproximada de 2 golpes por segundo, hasta que las dos mitades de nuestra muestra estuvieron en contacto en el fondo de la ranura, a lo largo de una distancia de cerca de 13 mm (0.5") y anotamos el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.

Luego de esto volvimos a repetir el ensayo, pero incrementándole agua a la mezcla, buscando que la ranura no se junte con menos de 25 golpes, de esta manera pudimos dar continuidad a este ensayo.

Una vez que la ranura quedaba junta procedimos a retirar el material de la muestra, pero solo en la porción en donde esta se juntó, es decir de manera ortogonal a la ranura y con el ancho equivalente a 2 cm.

Después de haber realizado este procedimiento, colocamos el material que sobro en equipo de Casagrande al recipiente donde se encuentra el restante de la muestra para realizar dos veces más este ensayo, para los dos ensayos siguientes incrementamos



mayor cantidad de agua de esta manera logramos mayor fluidez en nuestro material. La norma indica que “El objeto de este procedimiento es obtener muestras de tal consistencia que al menos una de las determinaciones del número de golpes requeridos para cerrar la ranura del suelo se halle en cada uno de los siguientes intervalos: 25-35; 20-30; 15-25. De esta manera, el alcance de las 3 determinaciones debe ser de 10 golpes”.

Para las muestras analizadas no se pudo obtener el valor de límite de líquido, se realizó el proceso descrito anteriormente, pero, la muestra no cerraba y al incrementar agua daba la impresión que lo lograría, pero tampoco se consiguió hallar dicha propiedad, esto es debido a que las muestras evaluadas estaban compuestas por arenas y gravas.

#### **3.5.4. Ensayo de Limite Plástico del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente)**

##### a) EQUIPOS

- |                                      |                           |
|--------------------------------------|---------------------------|
| ✓ Espátula de hoja flexible          | ✓ Tamiz (N°40)            |
| ✓ Recipiente para almacenaje         | ✓ Agua destilada          |
| ✓ Balanza con aproximación a 0.1 gr. | ✓ Vidrios de reloj        |
| ✓ Horno o estufa                     | ✓ Superficies de rodadura |

##### b) PROCEDIMIENTO.

Primero, al igual que el anterior ensayo, preparamos una mezcla homogénea, logramos una mezcla homogénea añadiendo agua de forma controlada y cuidadosa a nuestra mezcla, básicamente las muestras a ensayar fueron las mismas que se ensayaron en la cuchara de Casagrande, tomando una porción de cada punto ensayado como Limite Líquido (LL), para obtener las propiedades de Limite Plástico (LP), luego una porción de la muestra y procedimos a formar una especie de cilindros alargados, de un diámetro a aproximado de 3 a 3.5 mm y un largo entre 10 a 15 cm, para esto usamos una superficie de vidrio esmerilado, sobre la cual manualmente formamos estos cilindros.

Realizamos múltiples veces este ensayo, según la norma “Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3.2 mm (1/8") no se ha desmoronado, se vuelve a hacer un elipsoide y a repetir el proceso, cuantas veces sea necesario, hasta que se desmorone aproximadamente con dicho diámetro, el desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los diversos tipos de suelo: • En suelos muy plásticos, el cilindro queda



dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños”.

Para nuestro caso, no fue posible hallar las propiedades de Limite Plástico ya que nuestros cilindros se dividieron en partes muy pequeñas y se desmoronaban, lo que indicaban la inexistencia de la plasticidad de nuestro material, esto es debido a que las muestras evaluadas estaban compuestas por arenas y gravas. La norma indica que “La porción así obtenida se coloca en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se continúa el proceso hasta reunir unos 6 gr de suelo y se determina la humedad de acuerdo a la guía de Determinación del contenido de humedad”.

### **3.5.5. Clasificación Homotética – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)**

En este punto respecto a la clasificación homotética entenderemos primero, que realizamos esta clasificación para hallar las propiedades mecánicas de los suelos de partículas de tamaño máximos de diámetros que no pueden ser analizados en una maquina comercial de corte directo.

Existen máquinas de corte directo que pueden realizar estos ensayos para partículas de tamaños mayores, pero debemos considerar el alto costo de estos ensayos, por no estar dentro de nuestro mercado actual, por eso mediante el método de curvas paralelas trataremos de hallar las propiedades mecánicas de estos tipos de suelos.

Del ensayo granulométrico de las muestras de campo (calicata y trinchera) se tiene que el tamaño máximo de las partículas es igual a 1”, siendo así utilizamos como primer tamaño máximo  $\frac{3}{4}$ ” (19.5 mm), debido a que este tamaño es el tamaño inmediato inferior a una 1”, y por qué se podrá utilizar más partículas de  $\frac{3}{4}$ ” para ser colocadas en las celdas de ensayo de la máquina de corte directo.

Otra razón por la que usamos el cómo tamaño máximo de  $\frac{3}{4}$ ”, es que la norma dentro de la que se enmarca el ensayo de corte directo, establece que la relación de ancho con la altura del material ensayado debe guardar como mínimo la relación de 1:2, las cajuelas de nuestra máquina de ensayo directo tienen un ancho 63 mm, por ende la altura de la muestra a ensayar debería ser de 31 mm, podríamos considerar entonces un tamaño máximo de 1”, pero esto llevaría a tener en la cajuela de ensayo un número menor de partículas, las cuales cubrirían el volumen de la cajuela sin la posibilidad de tener una



muestra representativa que contenga porcentajes en peso proporcionales a la muestra original.

Como ya mencionamos en laboratorio de las muestras recogidas en campo (calicata y trinchera) preparamos otras sub muestras de tal manera que cumplan con los lineamientos de la norma ASTM 3080 (ensayo de corte directo) y así realizar el ensayo de corte directo, estas sub muestras se prepararon de manera que puedan encajar en las casillas comerciales de corte directo (6cm de lado hasta 4-5 cm de altura - ASTM 3080), lo que realizamos en cada ensayo de corte directo fue variar la granulometría.

Se utilizaron los tamaños máximos de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " (buscamos partículas que tengan un incremento de tamaño proporcional de 0.35mm entre todos los tamaños máximos, usamos una razón aritmética de 0.35mm, la misma que fue tomada de manera arbitraria, siendo posible considerar rangos más o menos amplios, dependerá del investigador).

A partir de ensayos a muestras con tamaños máximos de  $\frac{1}{4}$ ",  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " evaluaremos el comportamiento el comportamiento mecánico del suelo inicial.

Ensayo de corte directo (No Consolidado No Drenado)

Se aclara, el procedimiento para la preparación de las muestras para el ensayo de corte directo en función al tamaño máximo del grano, primero se realizó en ensayo de granulometría a la muestra natural, es decir a la muestra obtenida en campo sin modificación alguna de ningún tamaño, segundo se realizó nuevamente el ensayo de granulometría a una muestra más grande, esta vez se seleccionó cada tamaño en un recipiente diferente, es decir que usamos un recipiente distinto para cada malla, tercero tomando en consideración la granulometría inicial, el coeficiente de curvatura y coeficiente de uniformidad, se ha seleccionado cada tamaño de grano en función al peso en un nuevo recipiente, por ejemplo si en la nueva granulometría necesitábamos un determinado peso "X" de la malla "Y" se colocaba estrictamente el peso requerido ya que se contaba con todo el material seleccionado, con esto ha sido posible obtener a través del peso estos nuevos componentes de la muestra, cuarto teniendo en consideración que la muestra se encontraba en estado seco, lo que hicimos es agregarle a la muestra una porción de agua teniendo en cuenta el contenido natural de agua presente en la muestra inicial, quinto una vez preparada uniformemente la muestra, se



coloca ha colocado en las celdas de la máquina de corte directo para proceder con el ensayo.

### 3.5.6. Ensayo de Corte Directo (no consolidado, no drenado)

El ensayo de corte directo que realizamos fue del tipo no consolidado, no drenado, esta selección de modo de ensayo obedece a las condiciones en las que encontramos nuestro material en campo, generalmente este ensayo se realiza en arenas limosas, debido a la baja cohesión que presentan, cabe recordar que para nuestro ensayo nuestras muestras estuvieron secas.



*Figura 23: Material retenido en cada tamiz*  
Fuente: Propia

#### a) EQUIPOS

- Equipo de corte electrónico, este equipo es un equipo de corte digitalizado, que consta de la celda de carga y de un dispositivo de corte, cabe mencionar que este equipo tenía un dispositivo de corte circular y cuadrado, en nuestro caso usamos el dispositivo de corte cuadrado.
- Dispositivo de corte, se presentan de dos tipos circular y cuadrado.
- Anillos de sujeción, el mismo que nos sujeta el dispositivo de corte para evitar una rotura o un corte inicial, hasta que el dispositivo este fijado en el equipo de corte electrónico, estos anillos fueron retirados antes de realizar el ensayo.
- Piedras porosas.
- Láminas de metal, en nuestro ensayo las láminas de metal no presentan agujeros debido a que estamos realizando un ensayo de corte no drenado.
- Pesas calibradas.





- Pistón

b) PROCEDIMIENTO.

Para la realización de este ensayo de corte no consolidado, no drenado, se tomó la muestra extraída en campo y preparada en laboratorio, logrando que esta muestra sea lo más representativo, para nuestros ensayos el tipo de suelo hallado fue un suelo de tipo grava arenosa limosa.



*Figura 24:* Colocación de la muestra en la caja de corte

Fuente: Propia

Pesamos una muestra, ya preparada en laboratorio, suficiente para hacer tres ensayos considerando la misma densidad hallada en campo.



*Figura 25:* Ensamblando la caja de corte.

Fuente: Propia

Ensamblamos la caja de corte, con placas nivelantes y piedras porosas, luego de armar toda la caja con los dispositivos y accesorios necesarios, se procede a colocarla en el



Equipo de Corte Directo, y nuevamente procedemos a preparar el equipo, ajustando el dispositivo que aplicara la fuerza de corte, colocando la carga axial, nivelando la aplicación de la carga axial, revisando que los sensores de recepción de datos este bien colocada y conectada al computador, revisando que los parámetros antes del inicio del ensayo estén en cero, luego se pone a iniciar el ensayo.



*Figura 26:* Nivelando la aplicación de la carga axial.

Fuente: Propia

Se aplico la carga vertical y se colocaron todos los sensores para determinar y registrar todos datos requeridos del ensayo.

Luego de culminar el ensayo en la primera muestra y verificar que los datos se hayan registrado correctamente, separamos la caja de corte, luego procedemos como lo anterior descrito 03 veces.



*Figura 27:* Nivelando la aplicación de la carga axial.

Fuente: Propia



Durante el ensayo se miden las fuerzas de corte, las deformaciones axiales, las posibles expansiones del suelo, se ve la interacción en tiempo real Curva Esfuerzo – Deformación y el desarrollo del Circulo De Mohr, además del registro de datos.

Repetimos el procedimiento utilizando un valor distinto de carga vertical.

ALCANCE.

Como vimos en el trabajo de investigación, previo al ensayo de corte directo se realizaron los ensayos de contenido de humedad, ensayo de granulometría, límite líquido y límite plástico, todos para determinar el tipo de suelo.

Se realizaron los ensayos de corte directo de manera convencional y se obtuvieron parámetros de resistencia de las muestras ensayadas cumpliendo con los parámetros de ASTM 3080, estos parámetros sirvieron para contrastar los resultados de cada muestra ensayada siguiendo los lineamientos planteados por los procedimientos de curvas homotéticas (se realizaron 06 ensayos con diferentes tamaños máximos y cargas normales diferentes).

Se utilizaron los tamaños máximos de  $\frac{1}{4}$ " ,  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " (buscamos partículas que tengan un incremento de tamaño proporcional de 0.35mm entre todos los tamaños máximos, usamos una razón aritmética de 0.35mm, la misma que fue tomada de manera arbitraria, siendo posible considerar rangos más o menos amplios, dependerá del investigador).

Las cargas usadas para el ensayo de corte directo están en función de la estructura para la cual se realiza el ensayo, en nuestro caso cargas que representan la estructura del puente.

Los valores de los coeficientes de uniformidad  $C_u$  y coeficiente de curvatura  $C_c$ , no deberán variar, ya que se busca una homotecia perfecta para realizar los ensayos de corte directo para las 3 muestras de  $\frac{1}{4}$ " ,  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ " , lo único que varía es el tamaño máximo de las muestras seleccionadas.

Para la interpretación de los resultados obtenidos a partir de las curvas homotéticas se deberá considerar la composición mineralógica de las partículas que conforman la muestra representativa, siendo posible realizar esta investigación en todo tipo de suelo granular obteniendo conclusiones no necesariamente iguales para cada tipo de muestra de suelo, para poder estandarizar estos resultados por grupos de suelos es posible realizar el ensayo de abrasión por en la máquina de los ángeles, y clasificarlos por tipos de suelos y resistencias a la abrasión también por tipos de suelos.



### 3.5.7. Levantamiento Topográfico

Como se describió dentro del trabajo de investigación en capítulos anteriores, para evaluar la estabilidad del talud se necesita el aporte de diferentes ramas de la ingeniería, una de la más necesarias para determinar la estabilidad del talud es la topografía de este, de manera más específica se necesita el levantamiento topográfico, mediante el cual obtendremos el perfil del talud en evaluación, este perfil en combinación con los datos obtenidos en laboratorio de las propiedades mecánicas del suelo, determinaran la estabilidad del talud.



*Figura 28: Levantamiento topográfico del talud*  
Fuente: Propia

### 3.5.8. Levantamiento Topográfico de Talud del Puente Mayunmarca

Para este procedimiento usamos una estación total juntamente con sus componentes, la cual no permitió realizar el levantamiento topográfico del talud, de manera visual se observa que el talud en evaluación presente perfil relativamente homogéneo, es decir no existe variaciones considerables en cuanto a su altura y perfil a lo largo de su margen izquierda, este dato es muy importante a la hora de realizar la evaluación del talud con el apoyo de diferentes softwares.



*Figura 29: Levantamiento topográfico*  
Fuente: Propia



### 3.6. Procedimiento de análisis de Datos

#### 3.6.1. Contenido de Humedad – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aprox.)

d) Toma de datos.

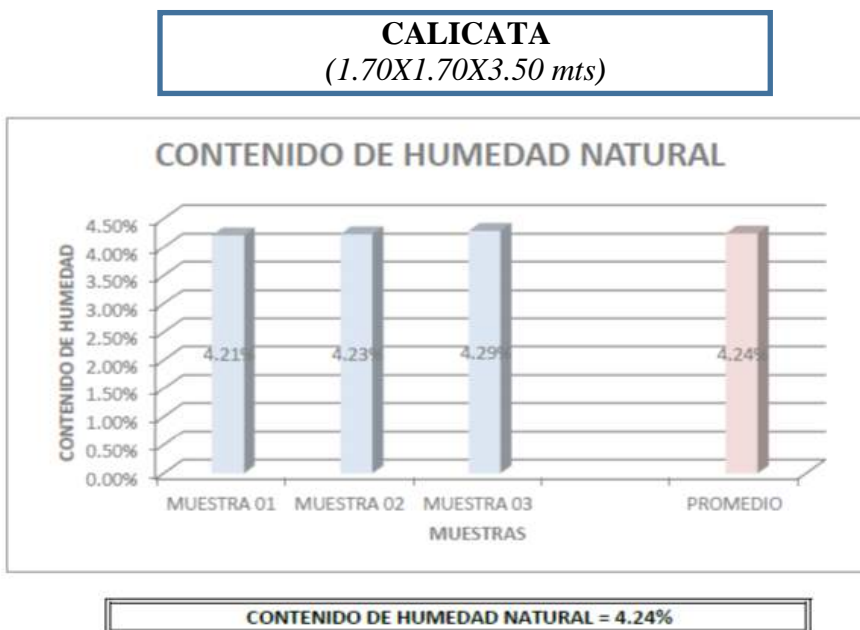


Figura 30: Contenido de Humedad Natural - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

Fuente: propia

Tabla 21 Contenido de Humedad Natural - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**  
MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	66	65	63
Peso de Capsula (gr)	10.57	10.57	16.25
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	31.61	33.73	38.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	30.76	32.79	37.23
Peso del Agua (gr)	0.85	0.94	0.90
Peso de la Muestra Seca (gr)	20.19	22.22	20.98
Contenido de Humedad	4.21%	4.23%	4.29%

Fuente: Propia



**TRINCHERA**  
(Distancia desde la superficie 7 mts aprox.)



**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 4.20%**

Figura 31: Contenido de Humedad Natural - Trinchera (0.60x0.60x0.50 Mts)  
Fuente: Propia

Tabla 22 Contenido de Humedad Natural - Trinchera (Distancia desde la superficie 7 mts aprox.)

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL**

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	69	68	67
Peso de Capsula (gr)	10.50	10.43	10.77
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	31.39	31.22	34.43
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	30.54	30.38	33.49
Peso del Agua (gr)	0.85	0.84	0.94
Peso de la Muestra Seca (gr)	20.04	19.95	22.72
Contenido de Humedad	4.24%	4.21%	4.14%

Fuente: Propia



**3.6.2. Granulometría del Agregado - Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (0.60X0.60X0.50 Mts).**

**CALICATA**  
(1.70X1.70X3.50 MTS)

*Tabla 23* Recolección de datos granulometría de agregado fino

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado  
Peso de la Muestra Seca = 1873.51 gr

Después del lavado  
Peso de la Muestra Seca = 1663.00 gr

% de Error en Peso = 0.05% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
4"	100	0.00	1873.51	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0.00	1873.51	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1873.51	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	294.11	1579.40	15.70%	15.70%	84.30%
3/8"	9.5	501.39	1078.01	26.76%	42.46%	57.54%
Nº 4	4.75	119.94	958.07	6.40%	48.86%	51.14%
Nº 10	2	214.08	743.99	11.43%	60.29%	39.71%
Nº 40	0.425	151.82	592.17	8.10%	68.39%	31.61%
Nº 100	0.150	240.14	352.03	12.82%	81.21%	18.79%
Nº 200	0.075	120.47	231.56	6.43%	87.64%	12.36%
Cazuela	-	20.27	-	1.08%	88.72%	-
Lavado	-	1.92	-	11.28%	100.00%	-

Total Fracción Retenida en Lavado = 1662.22

100.00%

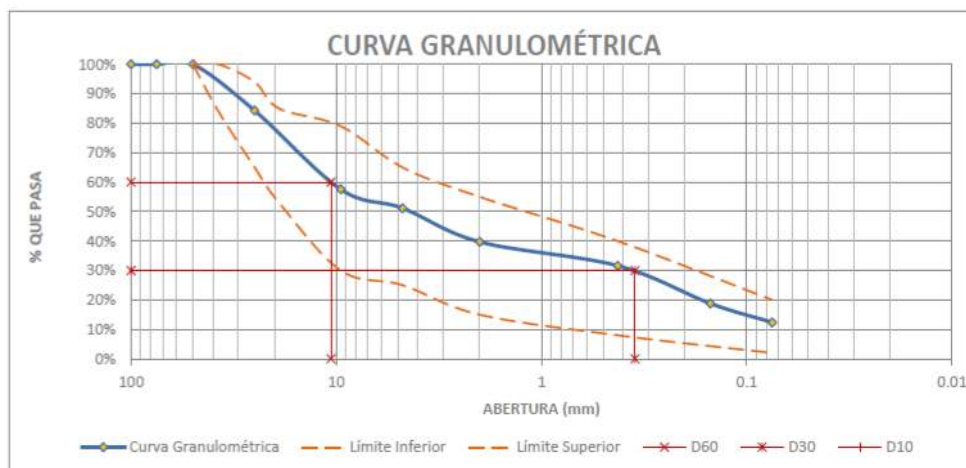
la Muestra

TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	84%	100%
1" (25 mm)	65%	94%
¾" (19 mm)	53%	85%
3/8" (9.5 mm)	30%	79%
Nº 4 (4.75 mm)	25%	65%
Nº 10 (2 mm)	15%	55%
Nº 40 (0.425 mm)	8%	40%
Nº 200 (0.075 mm)	2%	20%

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 48.86%  
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 38.78%  
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 12.36%  
 Total: 100.00%

Fracción Gruesa  
 % de grava = 55.75%  
 % de arena = 44.25%  
 Total = 100.00%

Fuente: Propia



Tamaño Máximo Absoluto = 1½"

Tamaño Máximo Nominal = 1"

D60 = 10.60 mm  
D30 = 0.35 mm  
D10 = -

Cu = -  
Cc = -

Figura 32: Curva Granulométrica-Calicata  
Fuente: Propia

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)  
ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO
De Granulometría	GRAVAS LIMPIAS		$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW Grava bien graduada
% de Gruesos = 87.64%	Menos del 5% pasa la malla Nº 200		$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP Grava mal graduada
% de Finos = 12.36%	GRAVAS CON FINOS		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM Grava limosa
Total = 100.00%	Más del 12% pasa la malla Nº 200		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC Grava arcillosa
% de Grava = 48.86%	GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM Grava limosa arcillosa
% de Arena = 38.78%	Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM Grava bien graduada con limo
Total = 87.64%	GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS		Cumple los criterios para GW y GC o para GW y GC - GM	GW - GC Grava bien graduada con arcilla
Fracción Gruesa	Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM Grava mal graduada con limo
% de Grava = 55.75%	ARENAS LIMPIAS		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC Grava mal graduada con arcilla
% de Arena = 44.25%	Menos del 5% pasa la malla Nº 200		$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW Arena bien graduada
Total = 100.00%	ARENAS CON FINOS		$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP Arena mal graduada
Coefficientes	ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM Arena limosa
Cu = 151.43	Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC Arena arcillosa
Cc = 0.195	Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM Arena limosa arcillosa
De Límites de Consistencia	Cumple los criterios para SW y SM		SW - SM	Arena bien graduada con limo
LL = NO PRESENTA	Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM		SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
LP = NO PRESENTA	Cumple los criterios para SP y SM		SP - SM	Arena mal graduada con limo
IP = NO PRESENTA	Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM		SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
Otros Datos	SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML Limo de baja plasticidad
Tipo = Inorgánico	Más del 50% es retenido en la malla Nº 200		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL Arcilla de baja plasticidad
3000	LIMOS Y ARCILLAS		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML Arcilla limosa
4250	Límite Líquido menor que 50		(Límite Líquido secado al horno)/(Límite Líquido no secado) < 0.75	OL Limo orgánico
3625	LIMOS Y ARCILLAS		Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad
	Límite Líquido 50 o mayor		Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		(Límite Líquido secado al horno)/(Límite Líquido no secado) < 0.75	OH Limo orgánico
	Principalmente materia orgánica de color oscuro		Pt	Arcilla orgánica

GM = Grava limosa arenosa

Figura 33: Clasificación de los suelos - Calicata  
Fuente: propia





**TRINCHERA**  
(Distancia desde la superficie 7 mts aprox.)

Tabla 24 Recolección de datos ensayo de granulometría - Trinchera

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado  
Peso de la Muestra Seca = 1761.50 gr

Después del lavado  
Peso de la Muestra Seca = 1396.00 gr  
% de Error en Peso = 0.02% Ok!

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0.00	1761.50	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	1761.50	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	1761.50	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	48.41	1713.09	2.75%	2.75%	97.25%
¾"	19	118.20	1643.89	6.71%	9.46%	90.54%
⅜"	9.5	417.32	1344.57	23.69%	33.15%	66.85%
Nº 4	4.75	85.98	1675.59	4.88%	38.03%	61.97%
Nº 10	2	145.99	1619.60	8.29%	46.32%	53.68%
Nº 20	0.850	65.20	1696.40	3.70%	50.02%	49.98%
Nº 40	0.425	89.12	1672.28	5.06%	55.08%	44.92%
Nº 60	0.250	88.60	1672.68	5.03%	60.11%	39.89%
Nº 140	0.106	199.19	1563.49	11.31%	71.42%	28.58%
Nº 200	0.075	100.97	1660.52	5.73%	77.15%	22.85%
Cazuela	-	36.77	-	2.09%	79.24%	-
Lavado	-	365.5	-	20.76%	100.00%	-

Gradación: Otro

TAMIZ Nº	LIM. INFERIOR	LIM. SUPERIOR
2" (50 mm)	100%	100%
1½" (37.5 mm)	84%	100%
1" (25 mm)	65%	94%
¾" (19 mm)	53%	85%
⅜" (9.5 mm)	30%	79%
Nº 4 (4.75 mm)	25%	65%
Nº 10 (2 mm)	15%	55%
Nº 40 (0.425 mm)	8%	40%
Nº 200 (0.075 mm)	2%	20%

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 38.03%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 38.86%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 23.11%

Total: 100.00%

Fracción Gruesa

% de grava = 49.46%

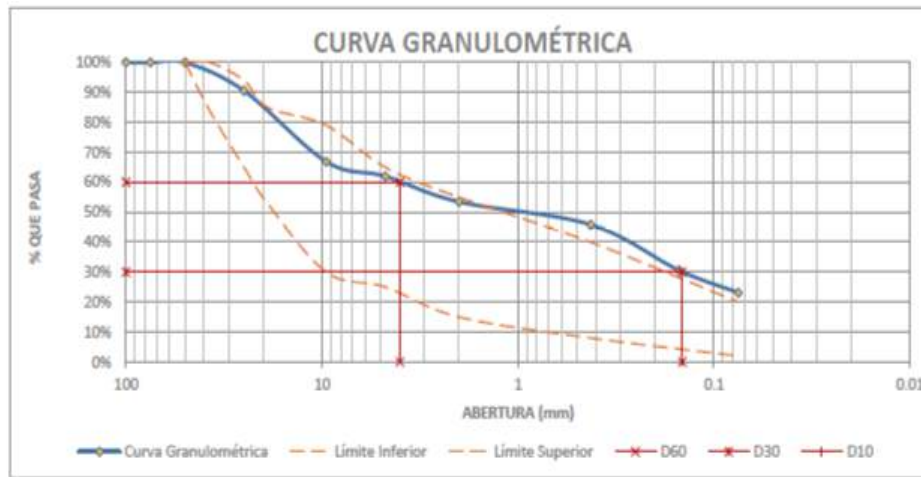
% de arena = 50.54%

Total = 100.00%

Fuente: Propia



Figura 34: Curva Granulométrica - Trinchera



Tamaño Máximo Absoluto = 1 1/2"

Tamaño Máximo Nominal = 1"

D60 = 4.00 mm  
D30 = 0.15 mm  
D10 = -

Cu = -  
Cc = -

Fuente: Propia

**SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)**  
ASTM D-2487

DATOS PARA CLASIFICACIÓN	
De Granulometría	
% de Gruesos =	77.15%
% de Finos =	22.85%
Total =	100.00%
De Grava	
% de Grava =	38.03%
% de Arena =	39.12%
Total =	77.15%
Fracción Gruesa	
% de Grava =	49.30%
% de Arena =	50.70%
Total =	100.00%
Coeficientes	
Cu =	-
Cc =	-
De Límites de Consistencia	
LL =	NO PRESENTA
LP =	NO PRESENTA
IP =	NO PRESENTA
Otros Datos	
Tipo =	Inorgánico

3000  
4250  
3625

CRITERIOS PARA LA ASIGNACIÓN DE SÍMBOLOS DE GRUPO Y NOMBRE DE GRUPO CON EL USO DE ENSAYOS DE LABORATORIO		SÍMBOLO	NOMBRE DE GRUPO	
SUELOS DE PARTÍCULAS GRUESAS Más del 50% es retenido en la malla Nº 200	GRAVAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$Cu \geq 4$ y $1 \leq Cc \leq 3$	GW Grava bien graduada	
	GRAVAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	$Cu < 4$ ó $1 > Cc > 3$	GP Grava mal graduada	
	GRAVAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200	$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	GM	Grava limosa
		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC	Grava arcillosa
	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	GC - GM	Grava limosa arcillosa
		Cumple los criterios para GW y GM	GW - GM	Grava bien graduada con limo
	ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	Cumple los criterios para GP y GM	GP - GM	Grava mal graduada con limo
		Cumple los criterios para GP y GC o para GP y GC - GM	GP - GC	Grava mal graduada con arcilla
	SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más de la fracción gruesa pasa la malla Nº 4	ARENAS LIMPIAS Menos del 5% pasa la malla Nº 200	$Cu \geq 6$ y $1 \leq Cc \leq 3$	SW Arena bien graduada
		ARENAS CON FINOS Mas del 12% pasa la malla Nº 200	$Cu < 6$ ó $1 > Cc > 3$	SP Arena mal graduada
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	SM	Arena limosa
		$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC	Arena arcillosa
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	SC - SM	Arena limosa arcillosa
		Cumple los criterios para SW y SM	SW - SM	Arena bien graduada con limo
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SW y SC o para SW y SC - SM	SW - SC	Arena bien graduada con arcilla
		Cumple los criterios para SP y SM	SP - SM	Arena mal graduada con limo
ARENAS LIMPIAS Y CON FINOS Entre el 5 y 12% pasa malla Nº 200		Cumple los criterios para SP y SC o para SP y SC - SM	SP - SC	Arena mal graduada con arcilla
		$IP < 4$ ó abajo de la línea "A" en la carta de plasticidad	ML	Limo de baja plasticidad
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS El 50% o más pasa la malla Nº 200	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido menor que 50	$IP > 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL Arcilla de baja plasticidad	
	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos	$4 \leq IP \leq 7$ y arriba de la línea "A" en la carta de plasticidad	CL - ML Arcilla limosa
		Orgánicos	$(\text{Limite Líquido secado al horno}) / (\text{Limite Líquido no secado}) < 0.75$	OL Limo orgánico
	LIMOS Y ARCILLAS Limite Líquido 50 o mayor	Inorgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad abajo de la línea "A"	MH Limo de alta plasticidad
		Orgánicos	Se grafica en la carta de plasticidad arriba de la línea "A"	CH Arcilla de alta plasticidad
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS	Inorgánicos	$(\text{Limite Líquido secado al horno}) / (\text{Limite Líquido no secado}) < 0.75$	OH Limo orgánico
		Orgánicos	Principalmente materia orgánica de color oscuro	OH Arcilla orgánica
	SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS		Principalmente materia orgánica de color oscuro	Pt Turba

SM = Arena limosa gravosa

Figura 35: Clasificación de los suelos - Trinchera

Fuente: propia



**3.6.3. Limite Líquido del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 Mts) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente).**

**CALICATA**  
(1.70X1.70X3.50 MTS)

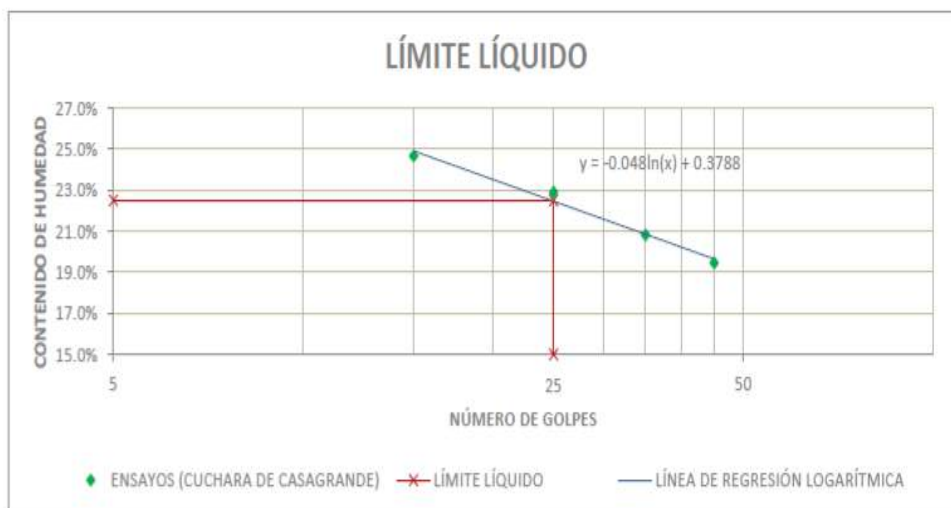
*Tabla 25 Limite Liquido - Calicata*

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
	2	4	6	7
Peso de Capsula (gr)	23.05	21.09	24.27	21.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	35.83	32.89	39.35	42.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	33.30	30.69	36.75	38.67
Peso del Agua (gr)	2.53	2.20	2.60	3.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.25	9.60	12.48	17.67
Contenido de Humedad	24.68%	22.92%	20.83%	19.47%
Número de Golpes	15	25	35	45

Fuente: Propia



*Figura 36: Límite Líquido - Calicata*

Fuente: Propia



**TRINCHERA**  
(Distancia desde la superficie 7 mts aprox.)

Tabla 26 Limite Liquido - Trinchera

**LÍMITE LÍQUIDO**

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
	2	4	6	7
Peso de Capsula (gr)	23.05	21.09	24.27	21.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	35.83	32.89	39.35	42.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	33.30	30.69	36.75	38.67
Peso del Agua (gr)	2.53	2.20	2.60	3.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.25	9.60	12.48	17.67
Contenido de Humedad	24.68%	22.92%	20.83%	19.47%
Número de Golpes	15	25	35	45

Fuente: Propia

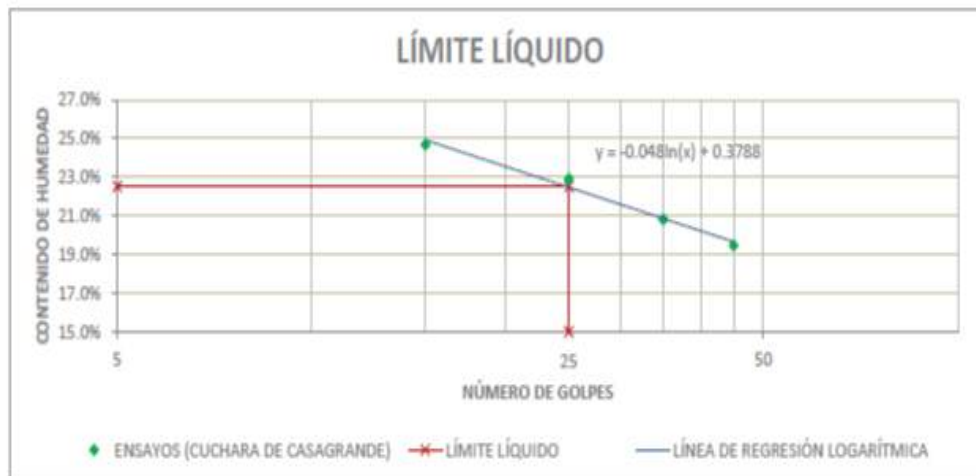


Figura 37: Límite Líquido - Trinchera  
Fuente: Propia



**3.6.4. Limite Plástico del Suelo – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS) y Trinchera (distancia desde la superficie 7 mts aproximadamente)**

c) Toma de Datos

**CALICATA**  
(1.70X1.70X3.50 MTS)

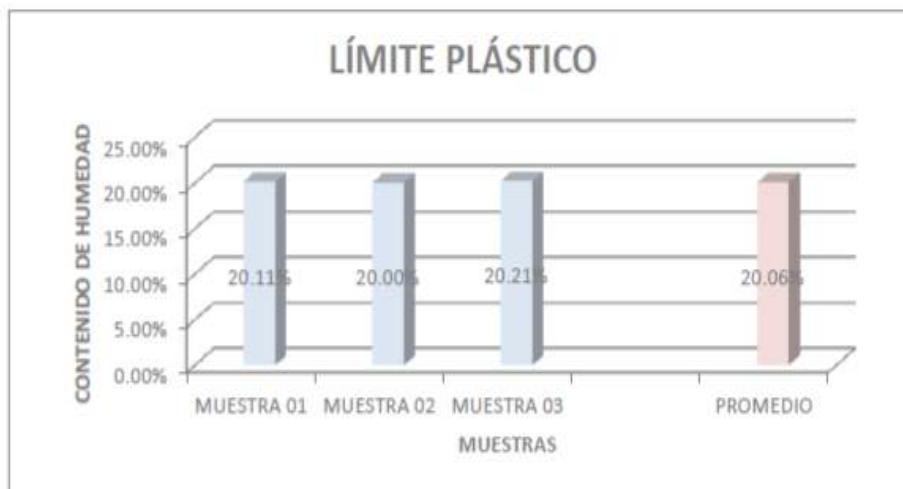
Tabla 27 Limite Plástico - Calicata

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Nº de Capsula	1	3	5
Peso de Capsula (gr)	21.36	20.92	23.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	25.66	24.16	27.95
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.94	23.62	27.17
Peso del Agua (gr)	0.72	0.54	0.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.58	2.70	3.86
Contenido de Humedad	20.11%	20.00%	20.21%

Fuente: Propia



<b>LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA</b>
<b>LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA</b>
<b>ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA</b>

Figura 38: Límite Plástico - Calicata

Fuente: propia



**TRINCHERA**

(Distancia desde la superficie 7 mts aprox.)

Tabla 28 Limite Plástico Trinchera

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	1	3	5
Peso de Capsula (gr)	21.36	20.92	23.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	25.66	24.16	27.95
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.94	23.62	27.17
Peso del Agua (gr)	0.72	0.54	0.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.58	2.70	3.86
Contenido de Humedad	20.11%	20.00%	20.21%

Fuente: Propia



LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

Figura 39: Dispositivos para el Ensayo de Corte Directo

Fuente: propia



### 3.6.5. Clasificación Homotética – Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

#### 3.6.5.1. Clasificación para Sub muestra con tamaño máximo=1/4”- Curvas Homotéticas.

Tabla 29 Análisis Granulométrico TM = 1/4"

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado

Peso de la Muestra Seca = 220.02 gr

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
½"	12.5	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	0.00	244.84	0.00%	0.00%	100.00%
¼"	6.25	58.60	186.24	26.93%	26.93%	73.07%
Nº 4	4.75	61.34	124.90	27.88%	54.81%	45.19%
Nº 10	2	27.83	97.07	12.65%	67.46%	32.54%
Nº 20	0.850	10.45	86.61	4.75%	72.21%	27.79%
Nº 40	0.425	9.28	77.33	4.22%	76.43%	23.57%
Nº 60	0.250	16.91	60.42	7.69%	84.12%	15.88%
Nº 140	0.106	14.31	46.11	6.50%	90.62%	9.38%
Nº 200	0.075	15.66	30.45	7.12%	97.74%	2.26%
Cazuela	-	5.64	-	2.56%	100.00%	-
Lavado	-	24.82	-	11.28%	-	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		220.02		100.00%		

Fuente: propia

Fraciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

% de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 48.99%

% de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 38.57%

% de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 12.44%

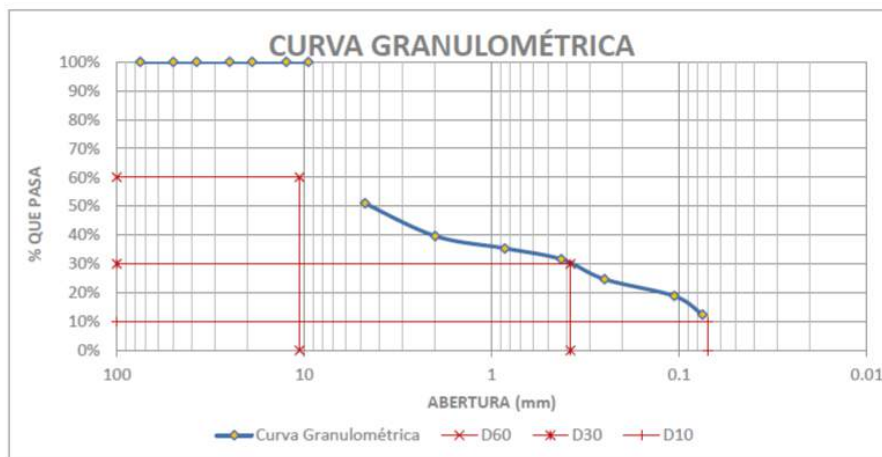
Total: 100.00%

Fración Gruesa

% de grava = 55.95%

% de arena = 44.05%

Total = 100.00%



Tamaño Máximo Absoluto = 3/8"

Tamaño Máximo Nominal = 1/4"

D60 = 10.60 mm  
D30 = 0.38 mm  
D10 = 0.070 mm

Cu = 151.43  
Cc = 0.195

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

GM = Grava limosa arenosa

Figura 40: Curva Granulométrica TM = 1/4"

Fuente: propia



3.6.5.2. Clasificación para Sub muestra con tamaño máximo=1/2"-Curvas Homotéticas.

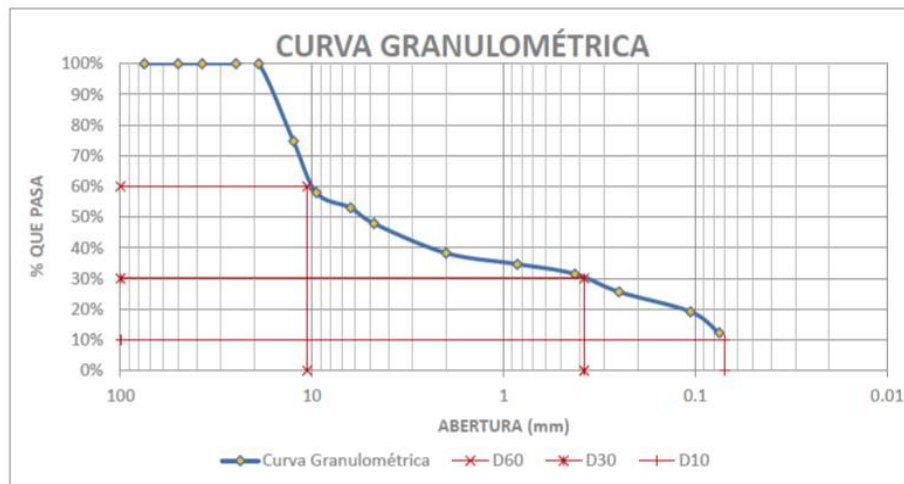
Tabla 30 Análisis Granulométrico TM = 1/2"

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**  
MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado  
Peso de la Muestra Seca = 299.99 gr

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0.00	333.83	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0.00	333.83	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0.00	333.83	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0.00	333.83	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0.00	333.83	0.00%	0.00%	100.00%
1/2"	12.5	84.34	249.49	28.14%	28.14%	71.86%
3/8"	9.5	56.05	193.44	18.72%	46.86%	53.14%
1/4"	6.3	16.41	177.03	5.47%	52.33%	47.67%
Nº 4	4.75	17.18	159.86	5.73%	58.06%	41.94%
Nº 10	2	32.11	127.74	10.71%	68.77%	31.23%
Nº 20	0.850	12.06	115.68	4.02%	72.79%	27.21%
Nº 40	0.425	10.71	104.97	3.57%	76.36%	23.64%
Nº 60	0.250	13.51	85.46	4.50%	80.86%	19.14%
Nº 140	0.106	21.51	63.95	7.17%	88.03%	11.97%
Nº 200	0.075	23.07	40.88	7.69%	95.72%	4.28%
Cazuela	-	7.04	-	2.34%	98.06%	-
Lavado	-	33.84	-	11.28%	100.00%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		299.99		100.00%		

Fuente: Propia



Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra  
 % de grava (Retiene Tamiz Nº 4) = 52.11%  
 % de arena (Pasa Nº 4 y Ret. Nº 200) = 35.64%  
 % de finos (Pasa Tamiz Nº 200) = 12.25%  
 Total: 100.00%

Fracción Gruesa  
 % de grava = 59.39%  
 % de arena = 40.61%  
 Total: 100.00%

Tamaño Máximo Absoluto = 3/4"

Tamaño Máximo Nominal = 1/2"

D60 = 10.60 mm  
 D30 = 0.38 mm  
 D10 = 0.075 mm

Cu = 151.43  
 Cc = 0.195

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

GM = Grava limosa arenosa

Figura 41: Curva Granulométrica TM = 1/2"

Fuente: propia





3.6.5.3. Clasificación para Sub muestra con tamaño máximo=3/4"-Curvas Homotéticas.

Tabla 31 Análisis Granulométrico TM = 3/4"

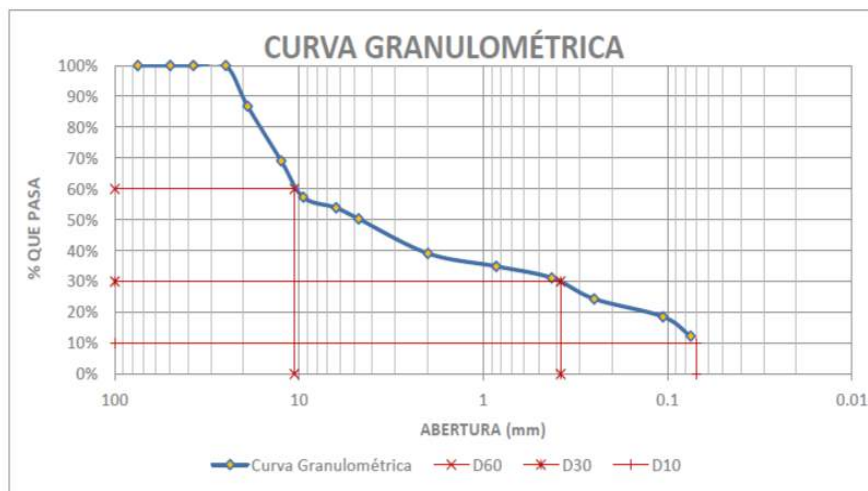
**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO**

MTC E 107 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88

Antes del lavado  
Peso de la Muestra Seca = 244,72 gr

TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (gr)	PESO QUE PASA (gr)	% RETENIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
3"	75	0,00	272,32	0,00%	0,00%	100,00%
2"	50	0,00	272,32	0,00%	0,00%	100,00%
1½"	37,5	0,00	272,32	0,00%	0,00%	100,00%
1"	25	0,00	272,32	0,00%	0,00%	100,00%
¾"	19	35,89	236,43	13,15%	13,15%	86,82%
½"	12,5	48,19	188,24	17,70%	30,85%	69,12%
⅜"	9,5	32,03	156,21	11,76%	42,61%	57,36%
¼"	6,3	9,38	146,83	3,44%	46,05%	53,92%
Nº 4	4,75	9,81	137,02	3,60%	49,65%	50,32%
Nº 10	2	30,51	106,51	11,20%	60,85%	39,11%
Nº 20	0,850	11,46	95,05	4,21%	65,10%	34,90%
Nº 40	0,425	10,17	84,88	3,74%	68,83%	31,17%
Nº 60	0,250	18,54	66,34	6,82%	75,64%	24,36%
Nº 140	0,106	15,68	50,66	5,76%	81,40%	18,60%
Nº 200	0,075	17,17	33,49	6,30%	87,70%	12,30%
Cazuela	-	5,89	-	2,16%	89,86%	-
Lavado	-	27,60	-	10,14%	100,00%	-
Total Fracción Retenida en Lavado =		244,72		100,00%		

fuelle: propia



Tamaño Máximo Absoluto = 1"

Tamaño Máximo Nominal = 3/4"

D60 = 10.60 mm  
D30 = 0.38 mm  
D10 = 0.070 mm

Cu = 151.43  
Cc = 0.195

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (SUCS)

GM = Grava limosa arenosa

Figura 42: Curva Granulométrica TM = 3/4"

Fuelle: propia

3.6.6. Corte directo (no consolidado, no drenado)

**CALICATA**  
(1.70X1.70X3.50 MTS)

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

*datos de la muestra:*

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava Lamosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

*Parámetros de la Muestra:*

TM 1/4"

ENSAYO N° 01

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	5.00	5.00	5.00
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	198.45	198.45	198.45
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	377.00	377.00	377.00
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.82	1.82

*Parámetros del Ensayo:*

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.01	1.51
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

*Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:*

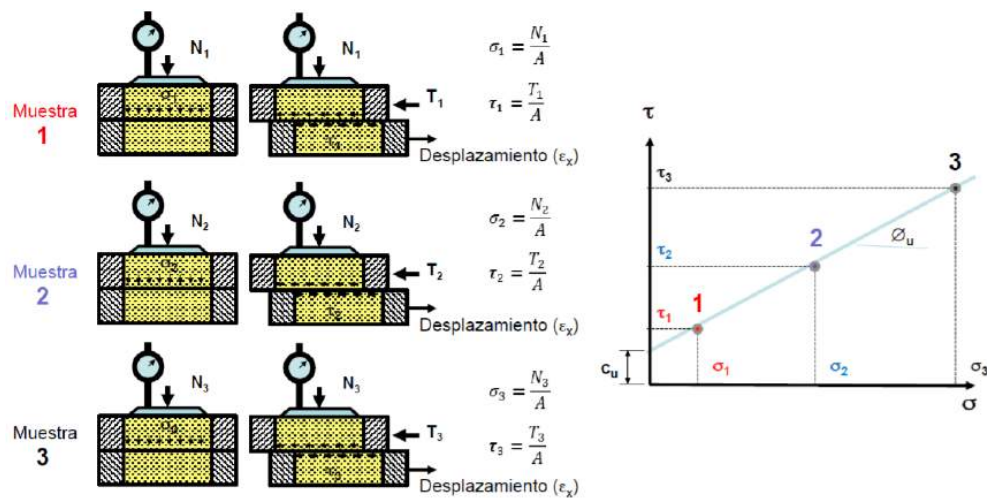


Figura 43: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/4" sometida a carga de 4-8-12 kg.

Fuente: propia



Calculo de esfuerzo cortante y normal:

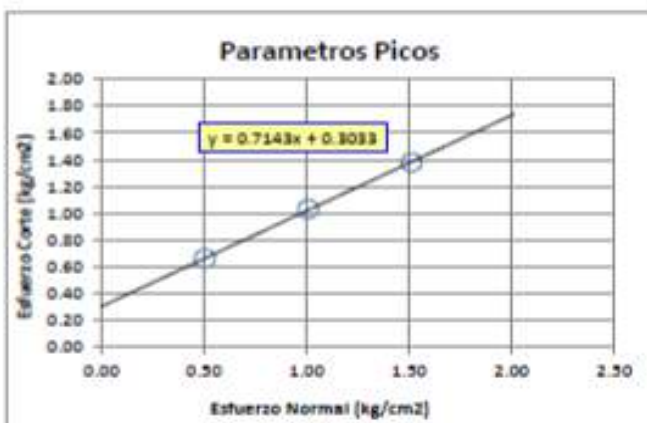
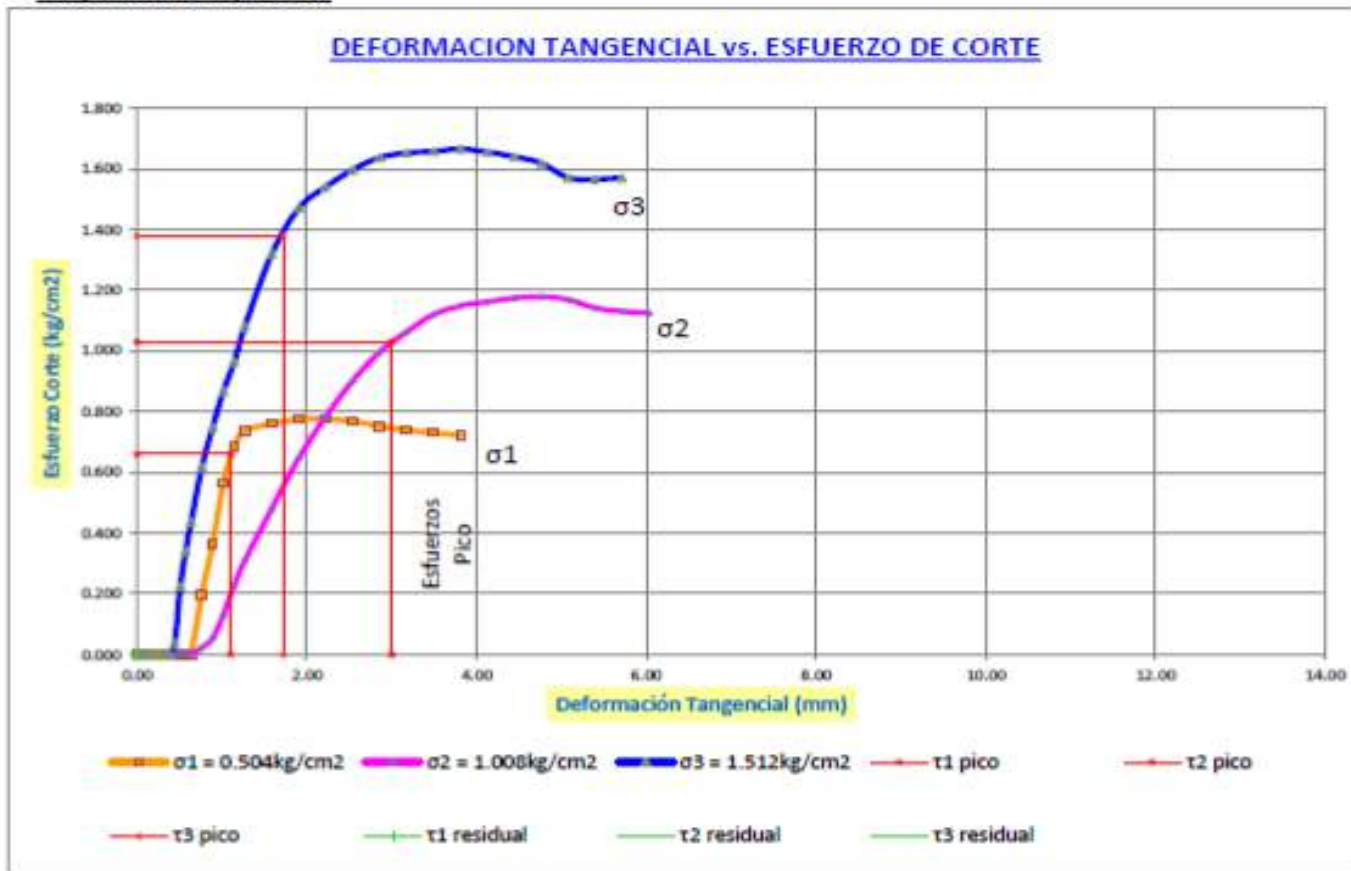
Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz. (mm)	Area Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal: 0.50 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 1.01 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 1.51 Kg/cm <sup>2</sup>	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	39.69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	39.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.13	39.61	0.002	0.000	0.019	0.000	0.002	0.000
0.30	0.19	39.57	0.020	0.001	0.019	0.000	0.002	0.000
0.40	0.25	39.53	0.039	0.001	0.019	0.000	0.020	0.001
0.50	0.32	39.49	0.039	0.001	0.019	0.000	0.002	0.000
0.60	0.38	39.45	0.057	0.001	0.037	0.001	0.002	0.000
0.70	0.44	39.41	0.039	0.001	0.037	0.001	1.522	0.039
0.80	0.51	39.37	0.039	0.001	0.019	0.000	8.771	0.223
0.90	0.57	39.33	0.039	0.001	0.037	0.001	13.332	0.339
1.00	0.64	39.29	0.039	0.001	0.037	0.001	17.115	0.436
1.20	0.76	39.21	7.733	0.197	0.871	0.022	24.160	0.616
1.40	0.89	39.13	14.259	0.364	2.077	0.053	29.258	0.748
1.60	1.02	39.05	21.972	0.563	5.062	0.130	33.875	0.867
1.80	1.14	38.97	26.607	0.683	8.825	0.226	37.546	0.963
2.00	1.27	38.89	28.608	0.736	12.033	0.309	42.051	1.081
2.50	1.59	38.69	29.407	0.760	18.596	0.481	51.080	1.320
3.00	1.91	38.49	29.833	0.775	24.900	0.647	56.605	1.471
3.50	2.22	38.29	29.740	0.777	29.998	0.783	58.997	1.541
4.00	2.54	38.09	29.277	0.769	34.318	0.901	60.833	1.597
4.50	2.86	37.89	28.498	0.752	37.748	0.996	62.038	1.637
5.00	3.18	37.69	27.868	0.739	40.047	1.063	62.297	1.653
5.50	3.49	37.49	27.386	0.730	41.975	1.120	62.149	1.658
6.00	3.81	37.29	26.922	0.722	42.828	1.149	62.112	1.666
6.50	4.13	37.09			43.106	1.162	61.407	1.656
7.00	4.45	36.89			43.310	1.174	60.517	1.640
7.50	4.76	36.69			43.255	1.179	59.405	1.619
8.00	5.08	36.49			42.661	1.169	57.328	1.571
8.50	5.40	36.29			41.435	1.142	56.846	1.566
9.00	5.72	36.09			40.807	1.131	56.680	1.571
9.50	6.03	35.89			40.362	1.125		
10.00	6.35	35.69						
10.50	6.67	35.49						
11.00	6.99	35.29						
11.50	7.30	35.09						
12.00	7.62	34.89						
12.50	7.94	34.69						
13.00	8.26	34.49						
13.50	8.57	34.29						
14.00	8.89	34.09						
14.50	9.21	33.89						
15.00	9.53	33.69						
15.50	9.84	33.49						
16.00	10.16	33.29						
16.50	10.48	33.09						
17.00	10.80	32.89						
17.50	11.11	32.69						
18.00	11.43	32.49						

Figura 44: Cálculo de esfuerzo cortante normal – Calicata

Fuente: propia



diagramas de esfuerzos:



<b>Parametros Picos</b>	
$\tan \phi$	$= 0.7143$
$\phi$ pico	$= 35.54^\circ$
C pico	$= 0.3033 \text{ Kg / cm}^2$

Figura 45: Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

Fuente: propia



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

TM 1/2"

ENSAYO N° 02

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	5.00	5.00	5.00
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	198.45	198.45	198.45
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	377.00	377.00	377.00
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.82	1.82

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.01	1.51
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:

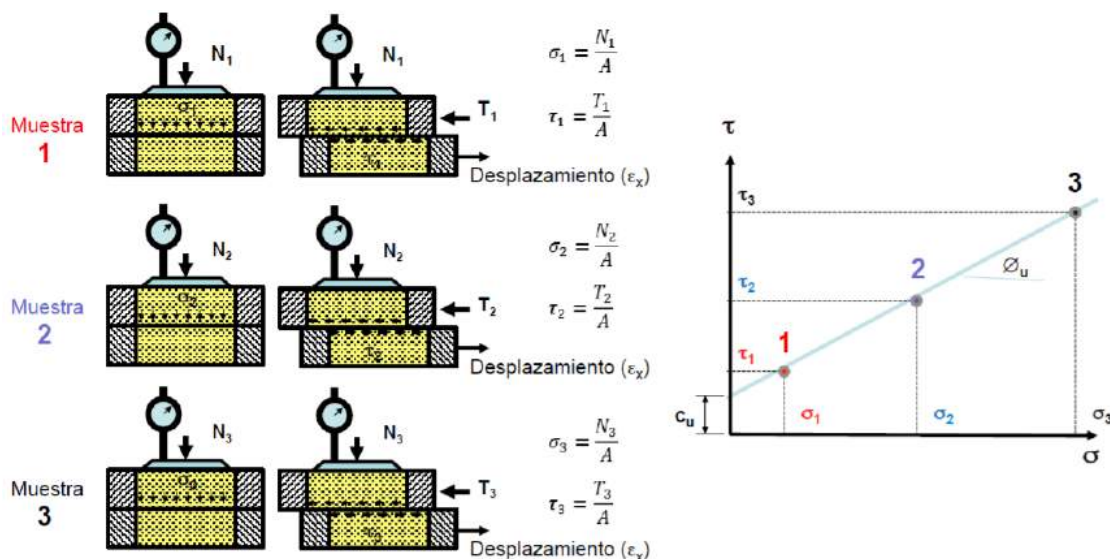


Figura 46: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/2" sometida a carga de 4-8-12 kg.

Fuente: propia



Calculo de esfuerzo cortante y normal:

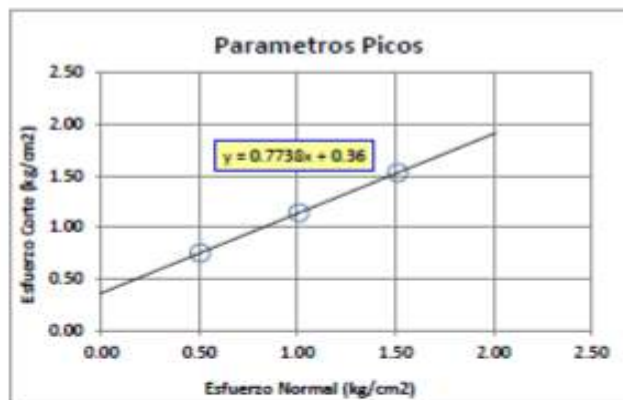
Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz. (mm)	Area Correjada (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal: 0.50 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 1.01 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 1.51 Kg/cm <sup>2</sup>	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	39.69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	39.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.13	39.61	0.002	0.000	0.002	0.000	0.002	0.000
0.30	0.19	39.57	0.002	0.000	0.020	0.000	0.010	0.000
0.40	0.25	39.53	0.002	0.000	0.020	0.000	0.010	0.000
0.50	0.32	39.49	0.002	0.000	0.002	0.000	1.174	0.030
0.60	0.38	39.45	0.307	0.008	0.020	0.000	2.262	0.057
0.70	0.44	39.41	0.327	0.008	0.020	0.000	6.579	0.167
0.80	0.51	39.37	0.327	0.008	0.020	0.000	11.677	0.297
0.90	0.57	39.33	0.338	0.009	0.020	0.000	15.705	0.399
1.00	0.64	39.29	0.958	0.024	0.020	0.000	17.558	0.447
1.20	0.76	39.21	4.008	0.102	0.020	0.000	22.198	0.566
1.40	0.89	39.13	7.566	0.193	0.445	0.011	26.684	0.682
1.60	1.02	39.05	10.616	0.272	3.158	0.081	30.695	0.786
1.80	1.14	38.97	13.158	0.338	5.801	0.149	33.771	0.867
2.00	1.27	38.89	15.699	0.404	8.443	0.217	36.253	0.932
2.50	1.59	38.69	21.291	0.550	14.668	0.379	42.592	1.101
3.00	1.91	38.49	25.358	0.659	20.024	0.520	47.028	1.222
3.50	2.22	38.29	29.099	0.760	26.213	0.685	51.905	1.356
4.00	2.54	38.09	31.376	0.824	31.498	0.827	56.324	1.479
4.50	2.86	37.89	31.844	0.840	35.612	0.940	59.451	1.569
5.00	3.18	37.69	32.373	0.859	39.460	1.047	62.204	1.650
5.50	3.49	37.49	31.722	0.846	42.703	1.140	63.122	1.684
6.00	3.81	37.29	32.474	0.874	45.206	1.212	64.907	1.741
6.50	4.13	37.09	32.068	0.865	46.997	1.267	65.281	1.760
7.00	4.45	36.89	31.722	0.860	47.831	1.297	66.334	1.798
7.50	4.76	36.69	32.169	0.877	48.097	1.311	66.570	1.814
8.00	5.08	36.49	32.657	0.895	48.115	1.319	66.929	1.834
8.50	5.40	36.29	32.698	0.901	48.257	1.330	67.813	1.869
9.00	5.72	36.09	32.840	0.910	48.913	1.355	67.677	1.875
9.50	6.03	35.89	32.251	0.899	49.675	1.384	68.238	1.901
10.00	6.35	35.69	32.617	0.914	50.544	1.416	68.085	1.908
10.50	6.67	35.49	32.820	0.925	50.863	1.433		
11.00	6.99	35.29			51.395	1.456		
11.50	7.30	35.09						
12.00	7.62	34.89						
12.50	7.94	34.69						
13.00	8.26	34.49						
13.50	8.57	34.29						
14.00	8.89	34.09						
14.50	9.21	33.89						
15.00	9.53	33.69						
15.50	9.84	33.49						
16.00	10.16	33.29						
16.50	10.48	33.09						
17.00	10.80	32.89						
17.50	11.11	32.69						
18.00	11.43	32.49						

Figura 47: Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata

Fuente: propia



diagramas de esfuerzos:



Parametros Picos	
tan $\phi$ =	0.7738
$\phi$ pico =	37.73 °
C pico =	0.36 Kg / cm <sup>2</sup>

Figura 48: Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)  
Fuente: propia



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

TM 3/4"

ENSAYO N° 03

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	5.00	5.00	5.00
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	198.45	198.45	198.45
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	377.00	377.00	377.00
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.82	1.82

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.01	1.51
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:

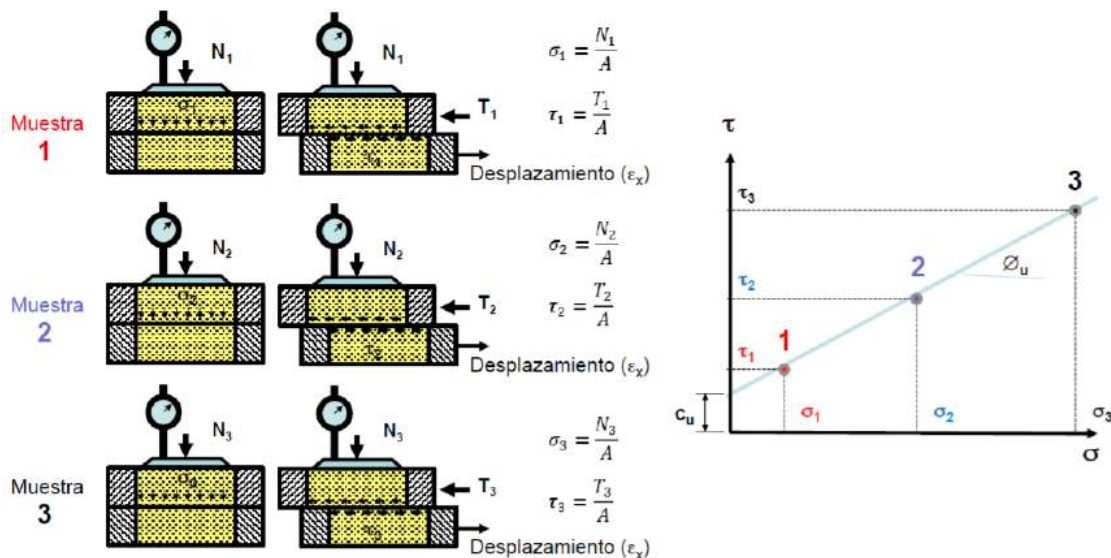


Figura 49: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 3/4" sometida a carga de 4-8-12

Fuente: propia





**Calculo de esfuerzo cortante y normal:**

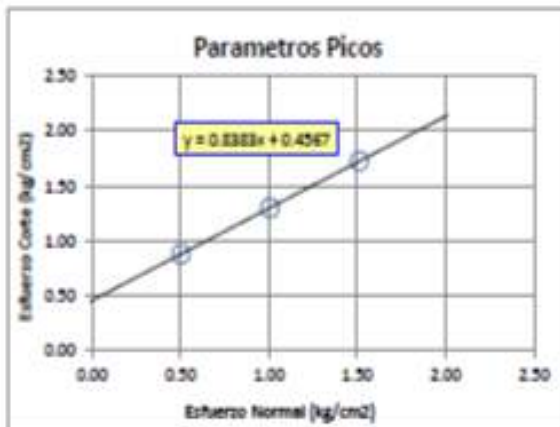
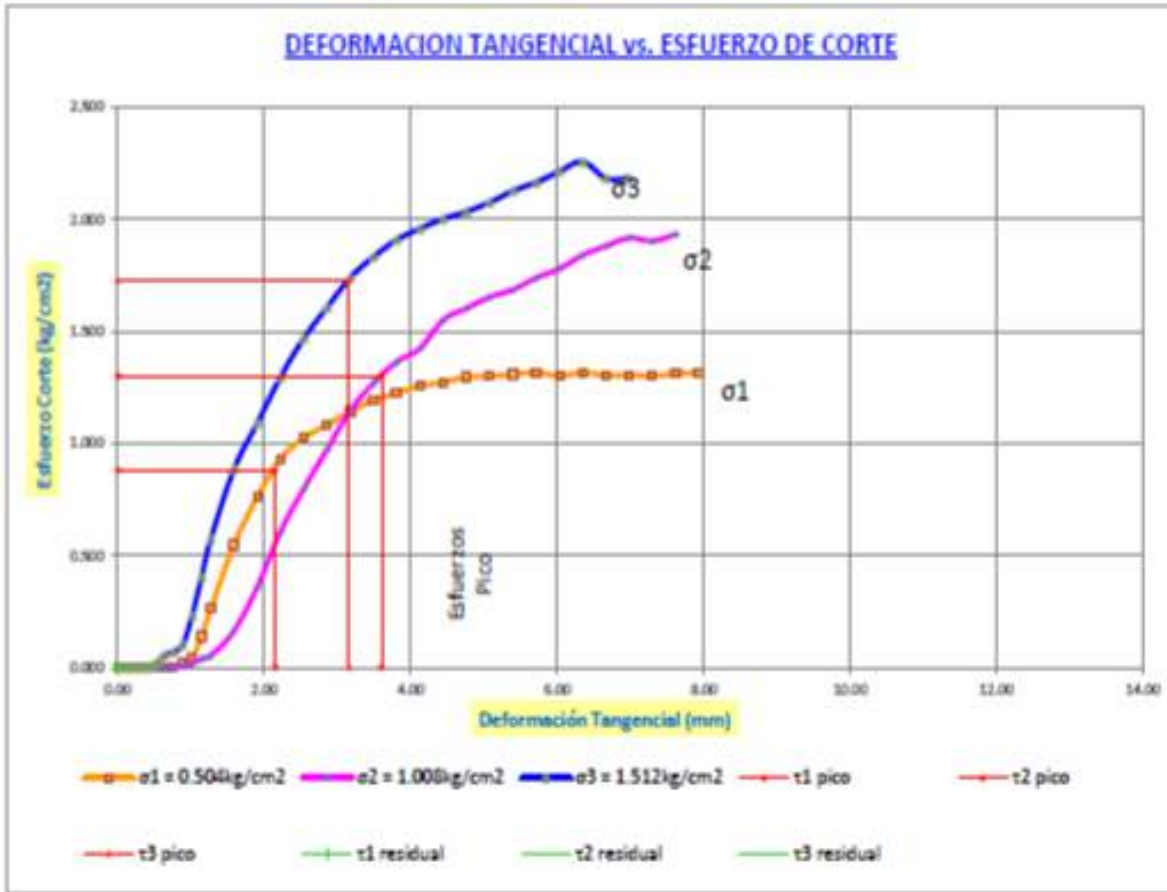
Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz. (mm)	Area Correjada (cm2)	Esfuerzo Normal: 0.50 Kgl/cm2		Esfuerzo Normal: 1.01 Kgl/cm2		Esfuerzo Normal: 1.51 Kgl/cm2	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kgl/cm2)	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kgl/cm2)	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kgl/cm2)
0.00	0.00	39.69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	39.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.13	39.61	0.015	0.000	0.016	0.000	0.017	0.000
0.30	0.19	39.57	0.029	0.001	0.031	0.001	0.051	0.001
0.40	0.25	39.53	0.029	0.001	0.031	0.001	0.051	0.001
0.50	0.32	39.49	0.029	0.001	0.031	0.001	0.051	0.001
0.60	0.38	39.45	0.029	0.001	0.031	0.001	0.051	0.001
0.70	0.44	39.41	0.029	0.001	0.031	0.001	0.034	0.001
0.80	0.51	39.37	0.029	0.001	0.031	0.001	0.612	0.016
0.90	0.57	39.33	0.087	0.002	0.031	0.001	1.241	0.032
1.00	0.64	39.29	0.087	0.002	0.031	0.001	2.158	0.055
1.20	0.76	39.21	0.087	0.002	0.078	0.002	2.736	0.070
1.40	0.89	39.13	0.714	0.018	0.235	0.006	4.079	0.104
1.60	1.02	39.05	1.675	0.043	0.706	0.018	9.109	0.233
1.80	1.14	38.97	5.375	0.138	1.490	0.038	15.755	0.404
2.00	1.27	38.89	10.197	0.262	2.071	0.053	22.298	0.573
2.50	1.59	38.69	21.137	0.546	6.338	0.164	34.262	0.886
3.00	1.91	38.49	29.266	0.760	13.805	0.359	41.978	1.091
3.50	2.22	38.29	35.661	0.931	23.234	0.607	49.626	1.296
4.00	2.54	38.09	38.982	1.023	30.403	0.798	55.965	1.469
4.50	2.86	37.89	41.065	1.084	36.851	0.973	60.877	1.607
5.00	3.18	37.69	43.017	1.141	43.173	1.145	65.568	1.740
5.50	3.49	37.49	44.664	1.191	47.566	1.269	68.695	1.832
6.00	3.81	37.29	45.683	1.225	50.860	1.364	71.159	1.908
6.50	4.13	37.09	46.616	1.257	52.821	1.424	72.638	1.958
7.00	4.45	36.89	46.951	1.273	57.198	1.501	73.844	2.002
7.50	4.76	36.69	47.548	1.296	58.798	1.603	74.626	2.034
8.00	5.08	36.49	47.402	1.299	60.320	1.653	75.731	2.075
8.50	5.40	36.29	47.490	1.309	61.183	1.686	77.159	2.126
9.00	5.72	36.09	47.519	1.317	62.736	1.738	78.127	2.165
9.50	6.03	35.89	46.674	1.300	63.866	1.780	79.436	2.213
10.00	6.35	35.69	46.965	1.316	65.685	1.840	80.558	2.257
10.50	6.67	35.49	46.237	1.303	66.737	1.880	77.464	2.183
11.00	6.99	35.29	46.047	1.305	67.662	1.917	77.074	2.184
11.50	7.30	35.09	45.625	1.300	66.784	1.903		
12.00	7.62	34.89	45.756	1.311	67.458	1.933		
12.50	7.94	34.69	45.669	1.317				
13.00	8.26	34.49						
13.50	8.57	34.29						
14.00	8.89	34.09						
14.50	9.21	33.89						
15.00	9.53	33.69						
15.50	9.84	33.49						
16.00	10.16	33.29						
16.50	10.48	33.09						
17.00	10.80	32.89						
17.50	11.11	32.69						
18.00	11.43	32.49						

Figura 50: Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata

Fuente: propia



diagramas de esfuerzos:



<i>Parametros Picos</i>	
$\tan \phi$	= 0.8383
$\phi$ pico	= 39.97 °
C pico	= 0.4567 Kg / cm <sup>2</sup>

Figura 51: Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

Fuente: propia



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

TM 1/4"

ENSAYO N° 01

Muestra:	1	2	3
Diámetro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	4.30	4.30	4.30
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	170.67	170.67	170.67
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	318.08	318.06	318.15
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.79	1.79

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	2.00	4.00	6.00
Carga total en la muestra (kg)	2.00	4.00	6.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.50	0.76
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:

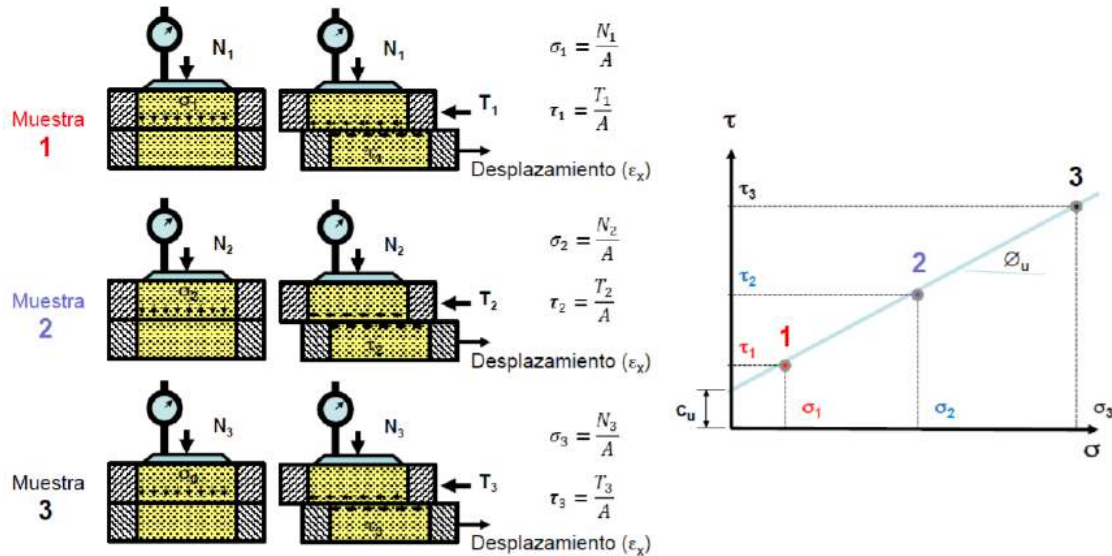


Figura 52: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/4" sometida a carga de 2-4-6 kg.

Fuente: propia



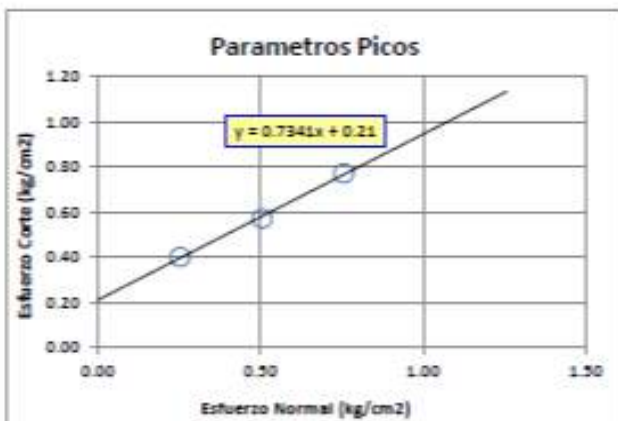
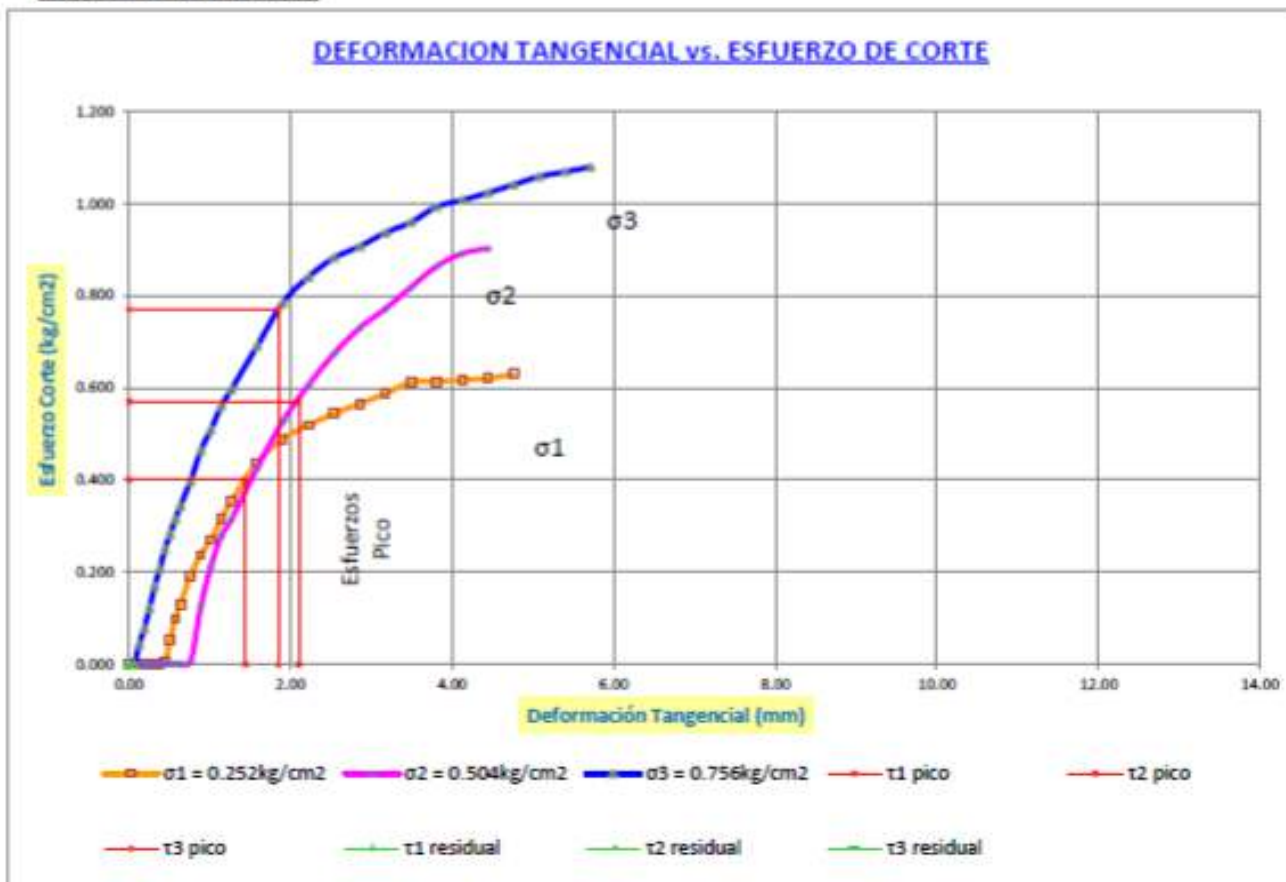
**Calculo de esfuerzo cortante y normal:**

Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz (mm)	Area Corregida (cm2)	Esfuerzo Normal: 0.25 Kg/cm2		Esfuerzo Normal: 0.50 Kg/cm2		Esfuerzo Normal: 0.78 Kg/cm2	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm2)
0.00	0.00	39.69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	39.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.13	39.61	0.017	0.000	0.016	0.000	1.751	0.044
0.30	0.19	39.57	0.000	0.000	0.016	0.000	3.110	0.079
0.40	0.25	39.53	0.000	0.000	0.016	0.000	4.861	0.123
0.50	0.32	39.49	0.000	0.000	0.033	0.001	6.713	0.170
0.60	0.38	39.45	0.000	0.000	0.033	0.001	8.226	0.209
0.70	0.44	39.41	0.169	0.004	0.033	0.001	9.857	0.250
0.80	0.51	39.37	2.073	0.053	0.033	0.001	11.132	0.283
0.90	0.57	39.33	3.893	0.099	0.033	0.001	12.373	0.315
1.00	0.64	39.29	5.124	0.130	0.033	0.001	13.511	0.344
1.20	0.76	39.21	7.568	0.193	0.228	0.006	15.619	0.398
1.40	0.89	39.13	9.304	0.238	4.960	0.127	18.168	0.464
1.60	1.02	39.05	10.585	0.271	8.337	0.214	19.918	0.510
1.80	1.14	38.97	12.287	0.315	10.866	0.279	21.873	0.561
2.00	1.27	38.89	13.770	0.354	12.269	0.315	23.233	0.597
2.50	1.59	38.69	16.973	0.439	16.495	0.426	26.751	0.691
3.00	1.91	38.49	18.827	0.489	20.313	0.528	30.218	0.785
3.50	2.22	38.29	19.872	0.519	23.217	0.606	32.189	0.841
4.00	2.54	38.09	20.731	0.544	25.697	0.675	33.600	0.882
4.50	2.86	37.89	21.422	0.565	27.671	0.730	34.364	0.907
5.00	3.18	37.69	22.147	0.588	29.090	0.772	35.299	0.937
5.50	3.49	37.49	22.939	0.612	30.689	0.819	35.962	0.959
6.00	3.81	37.29	22.872	0.613	32.207	0.864	37.033	0.993
6.50	4.13	37.09	22.889	0.617	33.071	0.892	37.356	1.007
7.00	4.45	36.89	22.889	0.620	33.284	0.902	37.746	1.023
7.50	4.76	36.69	23.108	0.630			38.188	1.041
8.00	5.08	36.49					38.613	1.058
8.50	5.40	36.29					38.783	1.069
9.00	5.72	36.09					38.936	1.079
9.50	6.03	35.89						
10.00	6.35	35.69						
10.50	6.67	35.49						
11.00	6.99	35.29						
11.50	7.30	35.09						
12.00	7.62	34.89						
12.50	7.94	34.69						
13.00	8.26	34.49						
13.50	8.57	34.29						
14.00	8.89	34.09						
14.50	9.21	33.89						
15.00	9.53	33.69						
15.50	9.84	33.49						
16.00	10.16	33.29						
16.50	10.48	33.09						
17.00	10.80	32.89						
17.50	11.11	32.69						
18.00	11.43	32.49						

Figura 53: Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata  
Fuente: propia



diagramas de esfuerzos:



<u>Parametros Picos</u>	
$\tan \phi$	= 0.7341
$\phi$ pico	= 36.28 °
C pico	= 0.21 Kg / cm <sup>2</sup>

Figura 54: Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

Fuente: propia



**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava límica arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

TM 1/2"

ENSAYO N° 03

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	4.05	4.05	4.05
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	160.74	160.74	160.74
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	299.54	299.34	299.20
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.79	1.79

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	2.00	4.00	6.00
Carga total en la muestra (kg)	2.00	4.00	6.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.50	0.76
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:

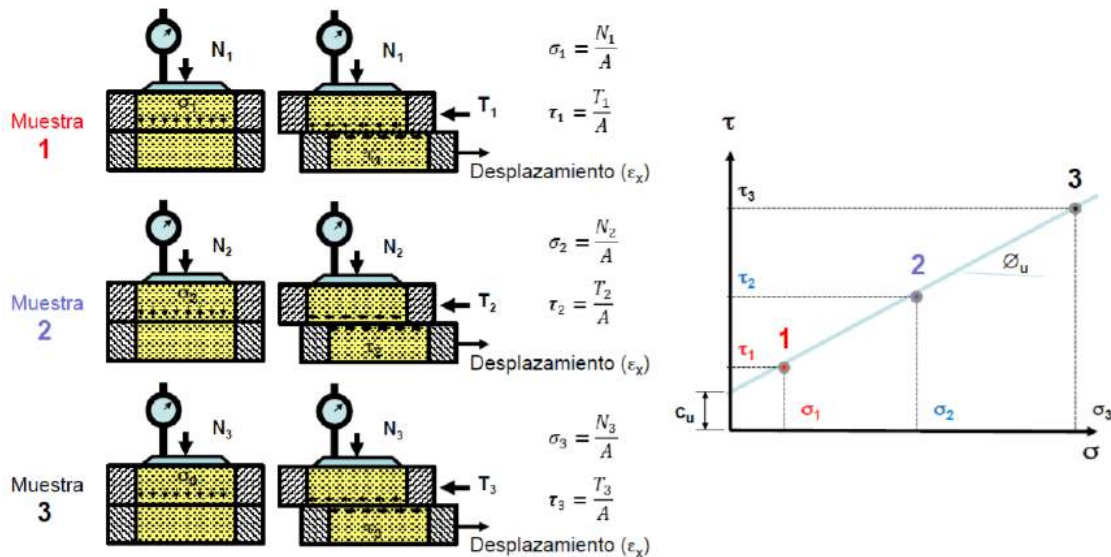


Figura 55: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/2" sometida a carga de 2-4-6 kg

Fuente: propia



Calculo de esfuerzo cortante y normal:

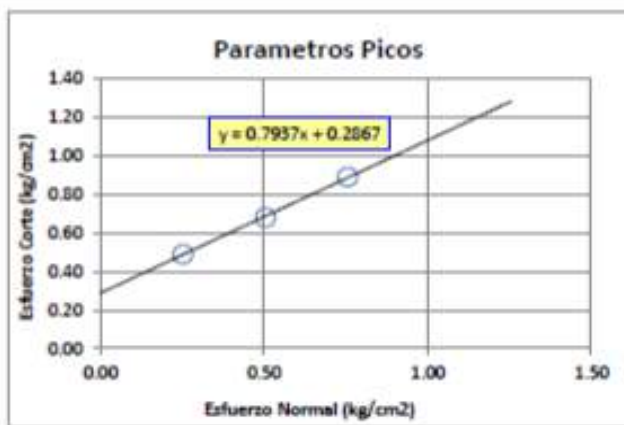
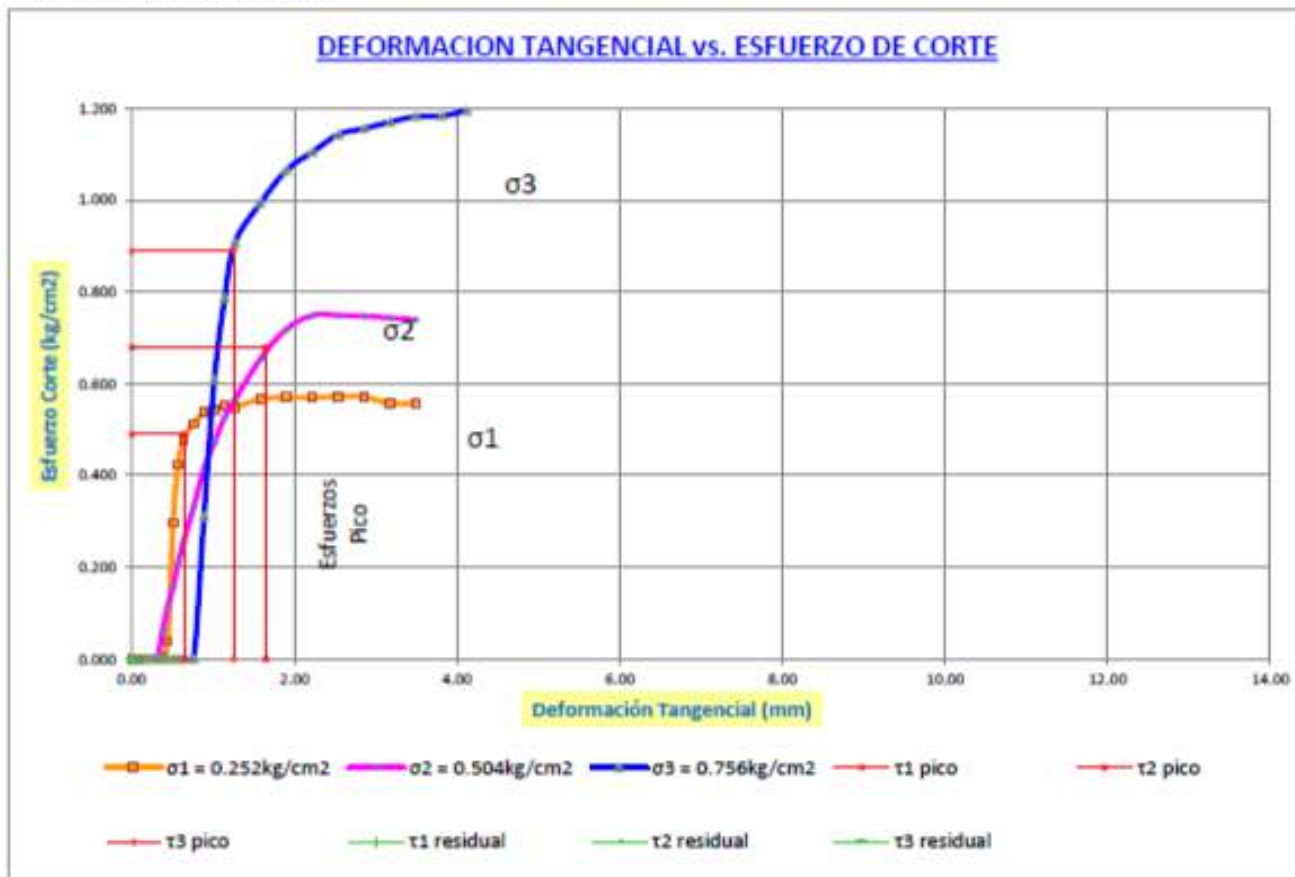
Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz. (mm)	Area Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal: 0.25 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 0.50 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 0.76 Kg/cm <sup>2</sup>	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	39.69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	39.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.13	39.61	0.015	0.000	0.015	0.000	0.015	0.000
0.30	0.19	39.57	0.015	0.000	0.015	0.000	0.015	0.000
0.40	0.25	39.53	0.015	0.000	0.015	0.000	0.029	0.001
0.50	0.32	39.49	0.030	0.001	0.030	0.005	0.029	0.001
0.60	0.38	39.45	0.059	0.001	2.447	0.062	0.029	0.001
0.70	0.44	39.41	1.537	0.039	4.516	0.115	0.015	0.000
0.80	0.51	39.37	11.719	0.298	6.147	0.156	0.015	0.000
0.90	0.57	39.33	16.685	0.424	8.216	0.209	0.029	0.001
1.00	0.64	39.29	18.724	0.477	9.979	0.254	0.029	0.001
1.20	0.76	39.21	20.114	0.513	13.003	0.332	0.029	0.001
1.40	0.89	39.13	21.030	0.537	16.228	0.415	12.178	0.311
1.60	1.02	39.05	21.266	0.545	18.442	0.472	23.774	0.609
1.80	1.14	38.97	21.503	0.552	20.555	0.527	30.664	0.787
2.00	1.27	38.89	21.370	0.549	21.997	0.566	35.311	0.908
2.50	1.59	38.69	21.946	0.567	25.376	0.656	38.516	0.996
3.00	1.91	38.49	21.946	0.570	27.693	0.719	41.036	1.066
3.50	2.22	38.29	21.943	0.570	28.683	0.749	42.333	1.106
4.00	2.54	38.09	21.798	0.572	28.552	0.750	43.571	1.144
4.50	2.86	37.89	21.665	0.572	28.334	0.748	43.833	1.157
5.00	3.18	37.69	21.015	0.558	28.042	0.744	44.139	1.171
5.50	3.49	37.49	20.926	0.558	27.736	0.740	44.358	1.183
6.00	3.81	37.29					44.168	1.184
6.50	4.13	37.09					44.358	1.196
7.00	4.45	36.89						
7.50	4.76	36.69						
8.00	5.08	36.49						
8.50	5.40	36.29						
9.00	5.72	36.09						
9.50	6.03	35.89						
10.00	6.35	35.69						
10.50	6.67	35.49						
11.00	6.99	35.29						
11.50	7.30	35.09						
12.00	7.62	34.89						
12.50	7.94	34.69						
13.00	8.26	34.49						
13.50	8.57	34.29						
14.00	8.89	34.09						
14.50	9.21	33.89						
15.00	9.53	33.69						
15.50	9.84	33.49						
16.00	10.16	33.29						
16.50	10.48	33.09						
17.00	10.80	32.89						
17.50	11.11	32.69						
18.00	11.43	32.49						

Figura 56: Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata

Fuente: propia



diagramas de esfuerzos:



<u>Parametros Picos</u>	
tan $\phi$ =	0.7937
$\phi$ pico =	38.44 °
C pico =	0.2867 Kg / cm <sup>2</sup>

Figura 57: Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

Fuente: propia





**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

*datos de la muestra:*

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

*Parámetros de la Muestra:*

TM 3/4"

ENSAYO N° 02

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	4.15	4.15	4.15
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	164.71	164.71	164.71
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda $M_{70}$ (gr)	308.63	308.58	308.69
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.80	1.80	1.80

*Parámetros del Ensayo:*

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	2.00	4.00	6.00
Carga total en la muestra (kg)	2.00	4.00	6.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.50	0.76
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO

*Diagrama del arreglo para la prueba de Corte Directo:*

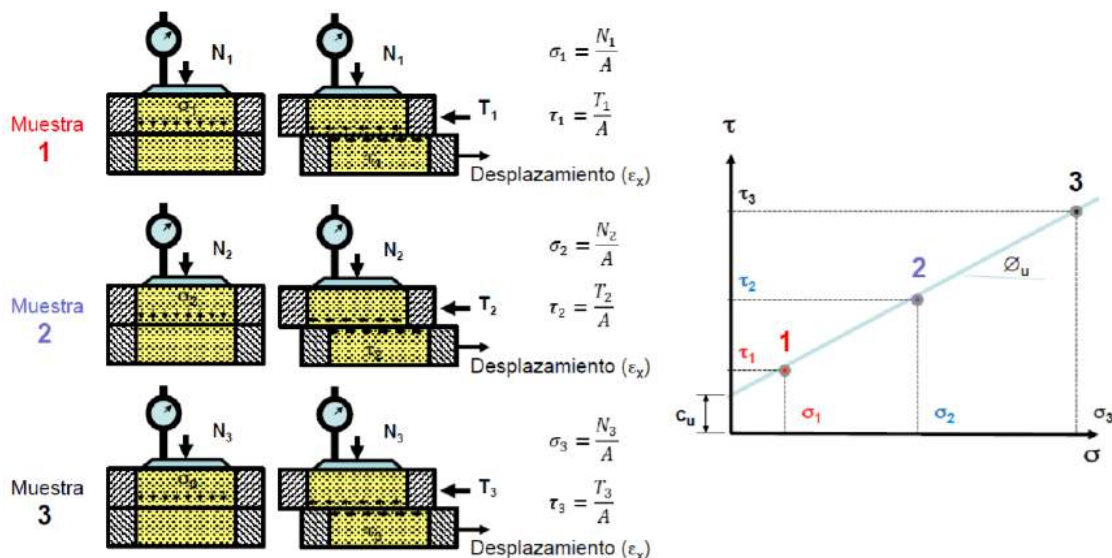


Figura 58: Toma de datos del Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 3/4" sometida a carga de 2-4-6 kg

Fuente: propia



**Calculo de esfuerzo cortante y normal:**

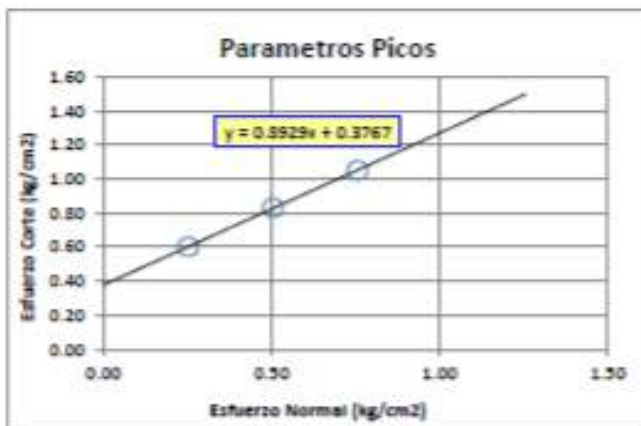
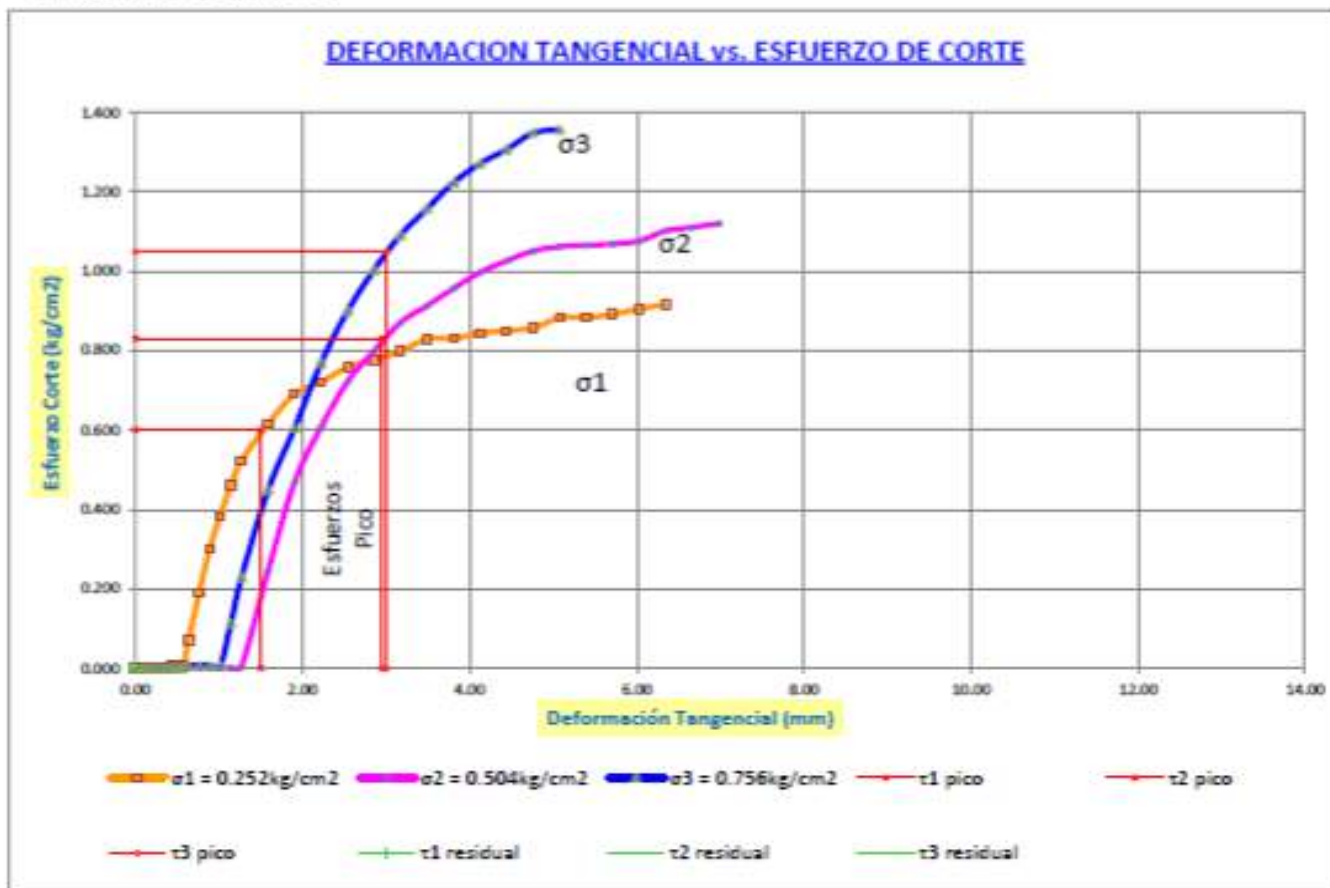
Lectura del Deform Hz.	Desplaz. Hz. (mm)	Area Corregida (cm <sup>2</sup> )	Esfuerzo Normal: 0.25 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 0.50 Kg/cm <sup>2</sup>		Esfuerzo Normal: 0.75 Kg/cm <sup>2</sup>	
			Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )	Fuerza de Corte (Kg)	Esfuerzo Cortante (Kg/cm <sup>2</sup> )
0.00	0.00	39.69	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.10	0.06	39.65	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
0.20	0.13	39.61	0.041	0.001	0.018	0.000	0.017	0.000
0.30	0.19	39.57	0.020	0.001	0.018	0.000	0.017	0.000
0.40	0.25	39.53	0.020	0.001	0.018	0.000	0.017	0.000
0.50	0.32	39.49	0.020	0.001	0.018	0.000	0.017	0.000
0.60	0.38	39.45	0.041	0.001	0.018	0.000	0.017	0.000
0.70	0.44	39.41	0.326	0.008	0.018	0.000	0.017	0.000
0.80	0.51	39.37	0.326	0.008	0.018	0.000	0.034	0.001
0.90	0.57	39.33	0.326	0.008	0.018	0.000	0.017	0.000
1.00	0.64	39.29	2.742	0.069	0.038	0.001	0.270	0.007
1.20	0.76	39.21	7.424	0.189	0.018	0.000	0.270	0.007
1.40	0.89	39.13	11.768	0.301	0.018	0.000	0.270	0.007
1.60	1.02	39.05	14.990	0.384	0.018	0.000	0.270	0.007
1.80	1.14	38.97	17.947	0.461	0.018	0.000	4.419	0.113
2.00	1.27	38.89	20.313	0.522	0.160	0.004	8.906	0.229
2.50	1.59	38.69	28.800	0.615	9.488	0.245	17.352	0.448
3.00	1.91	38.49	26.553	0.690	18.036	0.469	23.284	0.605
3.50	2.22	38.29	27.594	0.721	23.250	0.607	29.436	0.769
4.00	2.54	38.09	28.878	0.758	27.488	0.722	34.279	0.900
4.50	2.86	37.89	29.429	0.777	30.270	0.799	38.018	1.003
5.00	3.18	37.69	30.102	0.799	32.826	0.874	41.129	1.091
5.50	3.49	37.49	31.081	0.829	34.227	0.913	43.406	1.158
6.00	3.81	37.29	30.979	0.831	35.681	0.957	45.615	1.223
6.50	4.13	37.09	31.285	0.843	36.976	0.997	47.145	1.271
7.00	4.45	36.89	31.346	0.850	37.945	1.026	48.216	1.307
7.50	4.76	36.69	31.448	0.857	38.584	1.051	49.458	1.348
8.00	5.08	36.49	32.203	0.883	38.749	1.062	49.490	1.356
8.50	5.40	36.29	32.060	0.883	38.643	1.065		
9.00	5.70	36.09	32.160	0.891	38.570	1.069		
9.50	6.03	35.89	32.488	0.905	38.625	1.076		
10.00	6.35	35.69	32.692	0.916	39.317	1.102		
10.50	6.67	35.49			39.405	1.110		
11.00	6.99	35.29			39.530	1.120		
11.50	7.30	35.09						
12.00	7.62	34.89						
12.50	7.94	34.69						
13.00	8.26	34.49						
13.50	8.57	34.29						
14.00	8.89	34.09						
14.50	9.21	33.89						
15.00	9.53	33.69						
15.50	9.84	33.49						
16.00	10.16	33.29						
16.50	10.48	33.09						
17.00	10.80	32.89						
17.50	11.11	32.69						
18.00	11.43	32.49						

Figura 59: Toma de datos del Cálculo de esfuerzo cortante y normal - Calicata

Fuente: propia



diagramas de esfuerzos:



<b>Parametros Picos</b>	
$\tan \phi$	$= 0.8929$
$\phi \text{ pico}$	$= 41.76^\circ$
$C \text{ pico}$	$= 0.3767 \text{ Kg/cm}^2$

Figura 60: Diagrama de Esfuerzos - Calicata (1.70x1.70x3.50 Mts)

Fuente: propia



## Capítulo IV: Resultados

### 4.1. Resultados

#### 4.1.1. Resultados Ensayo de Contenido de Humedad

##### Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS))

##### CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	66	65	63
Peso de Capsula (gr)	10.57	10.57	16.25
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	31.61	33.73	38.13
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	30.76	32.79	37.23
Peso del Agua (gr)	0.85	0.94	0.90
Peso de la Muestra Seca (gr)	20.19	22.22	20.98
Contenido de Humedad	4.21%	4.23%	4.29%

Contenido de humedad promedio:

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 4.24%**

##### Trinchera (Ds=7mts)

##### CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL

MTC E 108 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-2216

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	69	68	67
Peso de Capsula (gr)	10.50	10.43	10.77
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	31.39	31.22	34.43
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	30.54	30.38	33.49
Peso del Agua (gr)	0.85	0.84	0.94
Peso de la Muestra Seca (gr)	20.04	19.95	22.72
Contenido de Humedad	4.24%	4.21%	4.14%

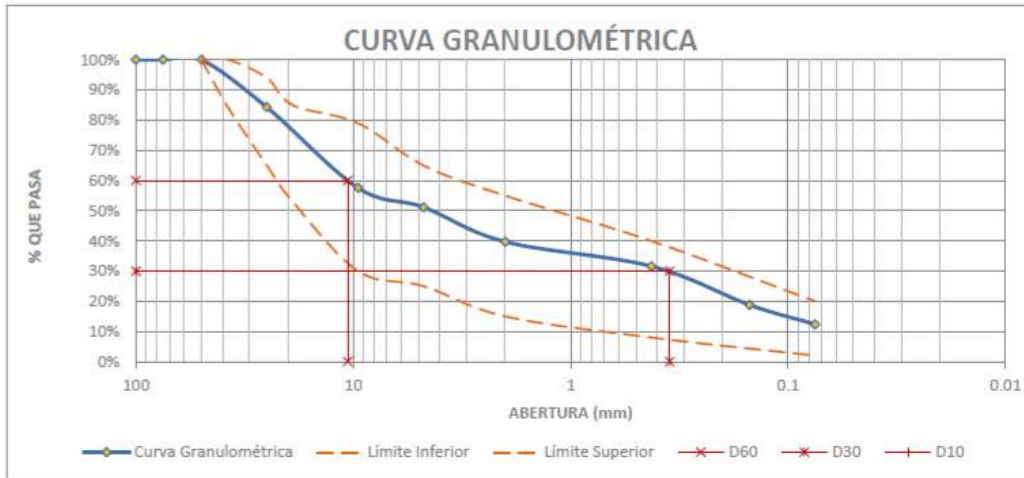
Contenido de humedad promedio:

**CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL = 4.20%**



### 4.1.2. Resultados Ensayo de Granulometría del Agregado

#### Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)



Tamaño Máximo Absoluto = 1½"

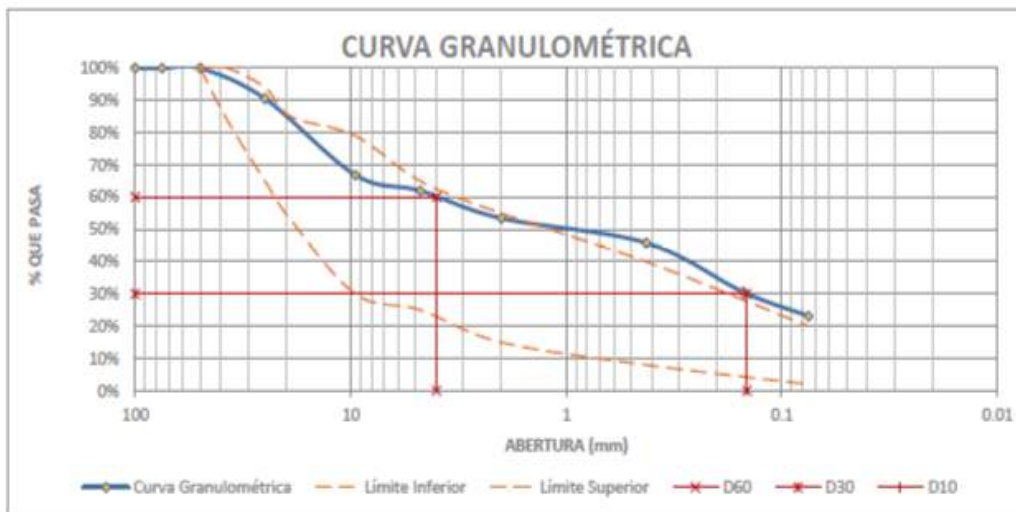
Tamaño Máximo Nominal = 1"

D60 = 10.60 mm
D30 = 0.35 mm
D10 = -

Cu = -
Cc = -

**CLASIFICACION: GM = Grava limosa arenosa**

#### Trinchera (Ds=7mts)



Tamaño Máximo Absoluto = 1½"

Tamaño Máximo Nominal = 1"

D60 = 4.00 mm
D30 = 0.15 mm
D10 = -

Cu = -
Cc = -

**CLASIFICACION: SM = Arena limosa gravosa**



### 4.1.3. Resultados Ensayo de Limite Líquido del Suelo

Tabla 32 Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Liquido

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

#### LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
	2	4	6	7
Peso de Capsula (gr)	23.05	21.09	24.27	21.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	35.83	32.89	39.35	42.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	33.30	30.69	36.75	38.67
Peso del Agua (gr)	2.53	2.20	2.60	3.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.25	9.60	12.48	17.67
Contenido de Humedad	24.68%	22.92%	20.83%	19.47%
Número de Golpes	15	25	35	45

Fuente: propia

Tabla 33 Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Liquido

Trinchera (Ds=7mts)

#### LÍMITE LÍQUIDO

MTC E 110 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-89

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
	2	4	6	7
Peso de Capsula (gr)	23.05	21.09	24.27	21.00
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	35.83	32.89	39.35	42.11
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	33.30	30.69	36.75	38.67
Peso del Agua (gr)	2.53	2.20	2.60	3.44
Peso de la Muestra Seca (gr)	10.25	9.60	12.48	17.67
Contenido de Humedad	24.68%	22.92%	20.83%	19.47%
Número de Golpes	15	25	35	45

Fuente: propia



#### 4.1.4. Resultados Ensayo de Limite Plástico del Suelo

**Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)**

*Tabla 34* Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Plástico

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	1	3	5
Peso de Capsula (gr)	21.36	20.92	23.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	25.66	24.16	27.95
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.94	23.62	27.17
Peso del Agua (gr)	0.72	0.54	0.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.58	2.70	3.86
Contenido de Humedad	20.11%	20.00%	20.21%

LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

Fuente: propia

#### **Trinchera (Ds=7mts)**

*Tabla 35* Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Limite Liquido

**LÍMITE PLÁSTICO**

MTC E 111 - 2000, Basado en la Norma ASTM D-4318 y AASHTO T-90

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
N° de Capsula	1	3	5
Peso de Capsula (gr)	21.36	20.92	23.31
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	25.66	24.16	27.95
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.94	23.62	27.17
Peso del Agua (gr)	0.72	0.54	0.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	3.58	2.70	3.86
Contenido de Humedad	20.11%	20.00%	20.21%

LÍMITE LÍQUIDO = NO PRESENTA
LÍMITE PLÁSTICO = NO PRESENTA
ÍNDICE DE PLASTICIDAD = NO PRESENTA

Fuente: propia



4.1.5. Resultados Ensayo de corte, tamaño máximo de 1/4" sometido a carga de 4-8-12 kg.

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

Tabla 36 Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Contenido de Humedad

datos de la muestra:

CALICATA: C-01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava lúxosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

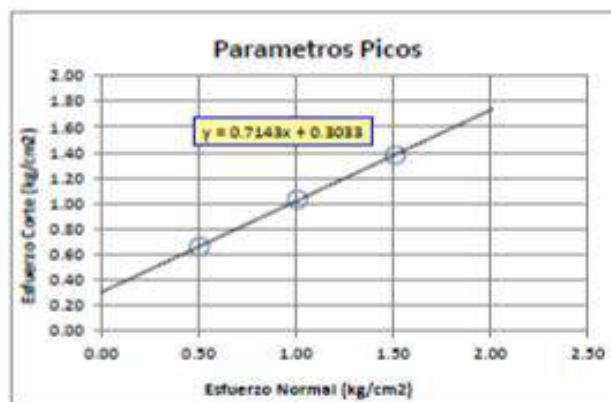
TM 1/4"

ENSAYO N° 01

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	5.00	5.00	5.00
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	198.45	198.45	198.45
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	377.00	377.00	377.00
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.82	1.82

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.01	1.51
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO



Parametros Picos	
tan $\phi$	= 0.7143
$\phi$ pico	= 35.54 °
C pico	= 0.3033 Kg / cm <sup>2</sup>

Fuente: propia





4.1.6. Resultados de Ensayo de Corte Directo, tamaño máximo de 1/2" sometida a carga de 4-8-12 kg.

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

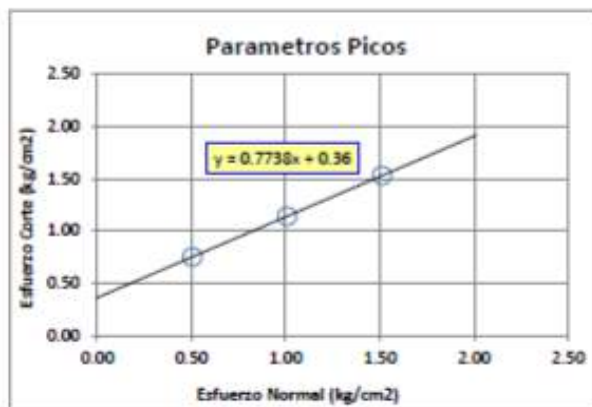
TM 1/2"

ENSAYO N° 02

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	5.00	5.00	5.00
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	198.45	198.45	198.45
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	377.00	377.00	377.00
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.82	1.82

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.01	1.51
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO



Parametros Picos	
tan $\phi$	= 0.7738
$\phi$ pico	= 37.73 °
C pico	= 0.36 Kg / cm <sup>2</sup>

Fuente: propia



4.1.7. Resultado de ensayo de corte directo, tamaño máximo de 3/4" sometida a carga de 4-8-12 kg.

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

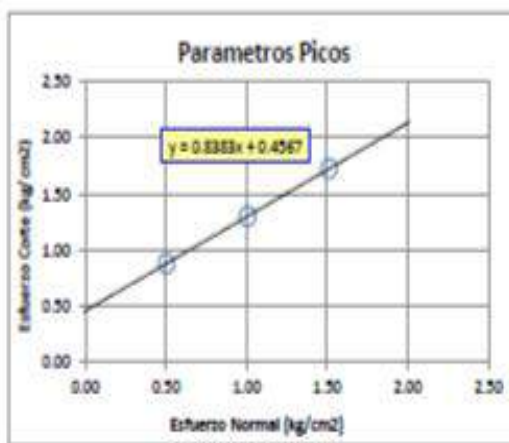
TM 3/4"

ENSAYO N° 03

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	5.00	5.00	5.00
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	198.45	198.45	198.45
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	377.00	377.00	377.00
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.82	1.82	1.82

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	4.00	8.00	12.00
Carga total en la muestra (kg)	4.00	8.00	12.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.50	1.01	1.51
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO



Parametros Picos	
tan $\phi$ =	0.8383
$\phi$ pico =	39.97 °
C pico =	0.4567 Kg / cm <sup>2</sup>

Fuente: propia



4.1.8. Resultados Ensayo de corte directo, tamaño máximo de 1/4” sometida a carga de 2-4-6 kg

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

datos de la muestra: CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava límica arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

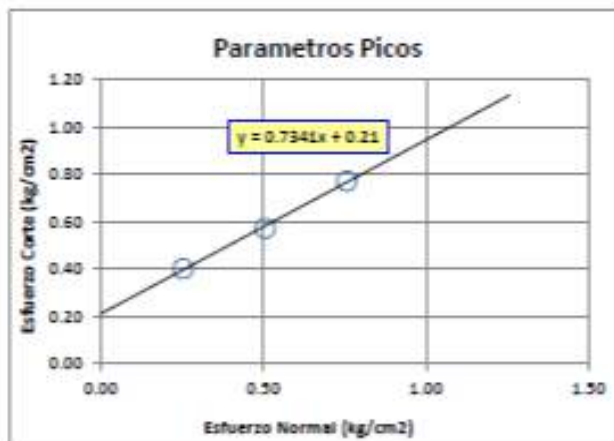
TM 1/4"

ENSAYO N° 01

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	4.30	4.30	4.30
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	170.67	170.67	170.67
% humedad	+24%	+24%	+24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	318.08	318.06	318.15
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.79	1.79

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	2.00	4.00	6.00
Carga total en la muestra (kg)	2.00	4.00	6.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.50	0.76
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO



<u>Parametros Picos</u>	
tan Ø	= 0.7341
Ø pico	= 36.28 °
C pico	= 0.21 Kg / cm <sup>2</sup>

Fuente: propia



4.1.9. Resultados Ensayo de corte directo, tamaño máximo de 1/2" sometida a carga de 2-4-6 kg

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

ENSAYO DE CORTE DIRECTO

datos de la muestra:

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

Parámetros de la Muestra:

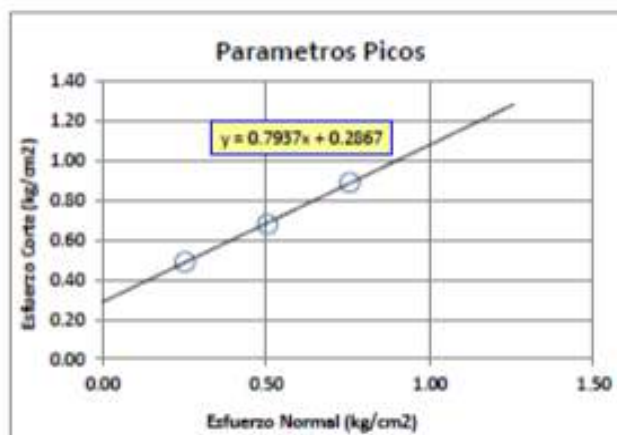
TM 1/2"

ENSAYO N° 03

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	4.05	4.05	4.05
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	160.74	160.74	160.74
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	299.54	299.34	299.20
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.79	1.79	1.79

Parámetros del Ensayo:

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	2.00	4.00	6.00
Carga total en la muestra (kg)	2.00	4.00	6.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.50	0.76
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO



Parametros Picos	
tan $\phi$	= 0.7937
$\phi$ pico	= 38.44 °
C pico	= 0.2867 Kg / cm <sup>2</sup>

Fuente: propia



4.1.10. Resultados Ensayo de corte directo, tamaño máximo de 3/4” sometida a carga de 2-4-6 kg.

Calicata (1.70X1.70X3.50 MTS)

**ENSAYO DE CORTE DIRECTO**

*datos de la muestra:*

CALICATA: C - 01

Sondeo:		Material:
muestra:	GM =	Grava limosa arenosa
prof.:		REMOLDEADO

*Parámetros de la Muestra:*

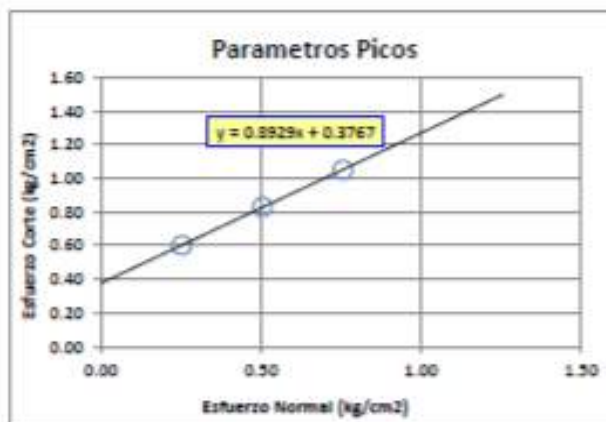
TM 3/4"

ENSAYO N° 02

Muestra:	1	2	3
Diametro o Lado (cm)	6.30	6.30	6.30
Altura (cm)	4.15	4.15	4.15
Area (cm <sup>2</sup> )	39.69	39.69	39.69
Volumen (cm <sup>3</sup> )	164.71	164.71	164.71
% humedad	4.24%	4.24%	4.24%
Masa M. húmeda M <sub>70</sub> (gr)	308.63	308.58	308.69
Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	1.80	1.80	1.80

*Parámetros del Ensayo:*

Carga Control expansión (N)			
Pesas en el brazo (kg)	2.00	4.00	6.00
Carga total en la muestra (kg)	2.00	4.00	6.00
Múltiplo ( 5 / 10 )	5	5	5
Esfuerzo Vertical (kg/cm <sup>2</sup> )	0.25	0.50	0.76
Velocidad desplazam. (mm/min)	50	50	50
Consolidar	NO	NO	NO



<i>Parametros Picos</i>	
tan $\phi$ =	0.8929
$\phi$ pico =	41.76 °
C pico =	0.3767 Kg / cm <sup>2</sup>

Fuente: propia



#### 4.1.11. Resumen de los ensayos de corte directo.

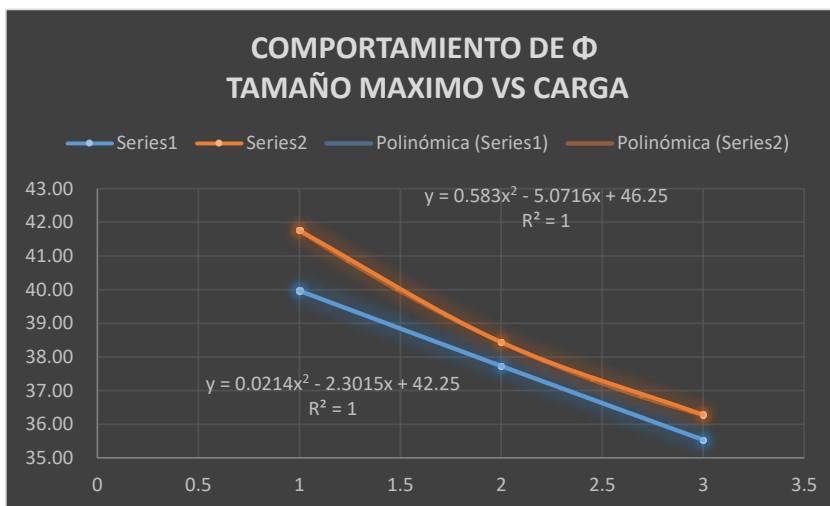
Las cargas usadas para el ensayo de corte directo están en función de la estructura para la cual se realiza el ensayo, en nuestro caso las cargas representan la estructura del puente, en este primer grupo fueron de 4-8-12 kg y en un segundo grupo fueron de 2-4-6 kg.

*Tabla 37* Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Corte  
Parámetro Angulo de Fricción

Cuadro resumen de los valores del ángulo de fricción, para muestras con diferentes tamaños máximos en sometidos a las cargas 4-8-12 kg y 2-4-6 kg.

TAMAÑO MAXIMO	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	GRUPO DE ENSAYO 1	GRUPO DE ENSAYO 2
		CARGA	
		4-8-12 Kg	2-4-6 Kg
3/4"	Angulo de friccion $\emptyset$	39.97	41.76
1/2"	Angulo de friccion $\emptyset$	37.73	38.44
1/4"	Angulo de friccion $\emptyset$	35.54	36.28

Del cuadro se observa que efectivamente el parámetro de resistencia, ángulo de fricción  $\emptyset$  de la muestra de suelo evaluado, incrementa con el incremento del tamaño máximo de las partículas gruesas.



*Figura 61:* Grafico I  
Fuente: propia

En el grafico I también se observa que el Angulo de fricción incrementa con la disminución del esfuerzo normal: La explicación a este resultado es la gran rotura de partículas que se produce, lo



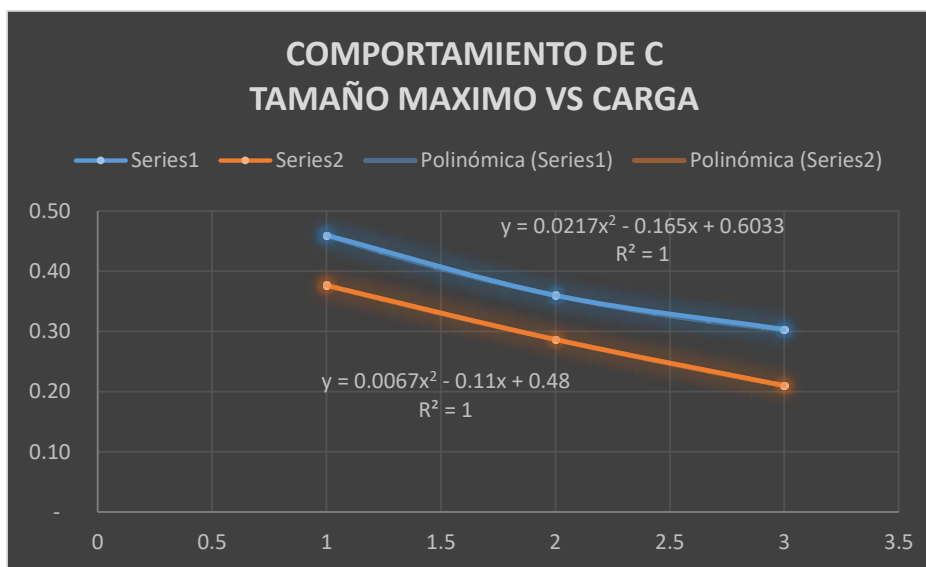
cual provoca una reducción del índice de vacíos de la muestra, y por consiguiente, una mayor resistencia.

*Tabla 38* Resumen de Resultados Obtenidos en los ensayos de Corte  
Parámetro Coeficiente de Cohesión C

Cuadro resumen de los valores del ángulo de fricción, para muestras con diferentes tamaños máximos en función de la carga

TAMAÑO MAXIMO	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	GRUPO DE ENSAYO 1	GRUPO DE ENSAYO 2
		CARGA	
		4-8-12 Kg	2-4-6 Kg
3/4"	Cohesion C	0.46	0.38
1/2"	Cohesion C	0.36	0.29
1/4"	Cohesion C	0.30	0.21

Del cuadro se observa que efectivamente el parámetro de resistencia, cohesión C de la muestra de suelo evaluado, incrementa con el incremento del tamaño máximo de las partículas gruesas.



*Figura 62:* Grafico II  
Fuente: propia



En esta tabla podemos apreciar los valores obtenidos de los parámetros ángulo de fricción  $\phi$  y coeficiente de cohesión C.

*Tabla 39* Factores de seguridad obtenidos a partir de los parámetros de resistencia de los suelos con diferentes tamaños máximos de partículas sometidos a cargas

<b>CALICATA (1.70X1.70X3.50 MTS)</b>				
<b>T.M.</b>	<b>CARGA</b>	<b>PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO</b>	<b>CANT</b>	<b>UND</b>
<b>3/4"</b>	<b>4-8-12 Kg</b>	$\phi$	39.97	°
		C	0.457	kg/cm <sup>2</sup>
<b>1/2"</b>		$\phi$	37.73	°
		C	0.360	kg/cm <sup>2</sup>
<b>1/4"</b>		$\phi$	35.54	°
		C	0.303	kg/cm <sup>2</sup>
<b>3/4"</b>	<b>2-4-6 Kg</b>	$\phi$	41.76	°
		C	0.377	kg/cm <sup>2</sup>
<b>1/2"</b>		$\phi$	38.44	°
		C	0.287	kg/cm <sup>2</sup>
<b>1/4"</b>		$\phi$	36.28	°
		C	0.210	kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: propia

Se reitera que los resultados de los parámetros para diferentes tamaños máximos de partículas, se obtuvieron mediante la metodología de granulometría paralela también conocida como curvas homotéticas, otros factores que se deberá considerar es la composición mineralógica de las partículas que conforman la muestra representativa, siendo posible realizar esta investigación en todo tipo de suelo granular obteniendo conclusiones no necesariamente iguales para cada tipo de muestra de suelo, para poder estandarizar estos resultados por grupos de suelos es posible realizar el ensayo de abrasión por en la máquina de los ángeles, y clasificarlos por tipos de suelos y resistencias a la abrasión también por tipos de suelos.

Los resultados de esta investigación señalan que la metodología de curvas homotéticas o paralelas, entrega una buena estimación del comportamiento geomecánico de suelos granulares gruesos. Siempre que la granulometría de la muestra equivalente sea perfectamente paralela a la original, contenga menos de un 10% de finos y la forma de las partículas no varié con el tamaño de estas.





#### 4.1.12. Análisis del talud izquierdo del puente Mayunmarca mediante software aplicado para el cálculo de estabilidad de taludes.

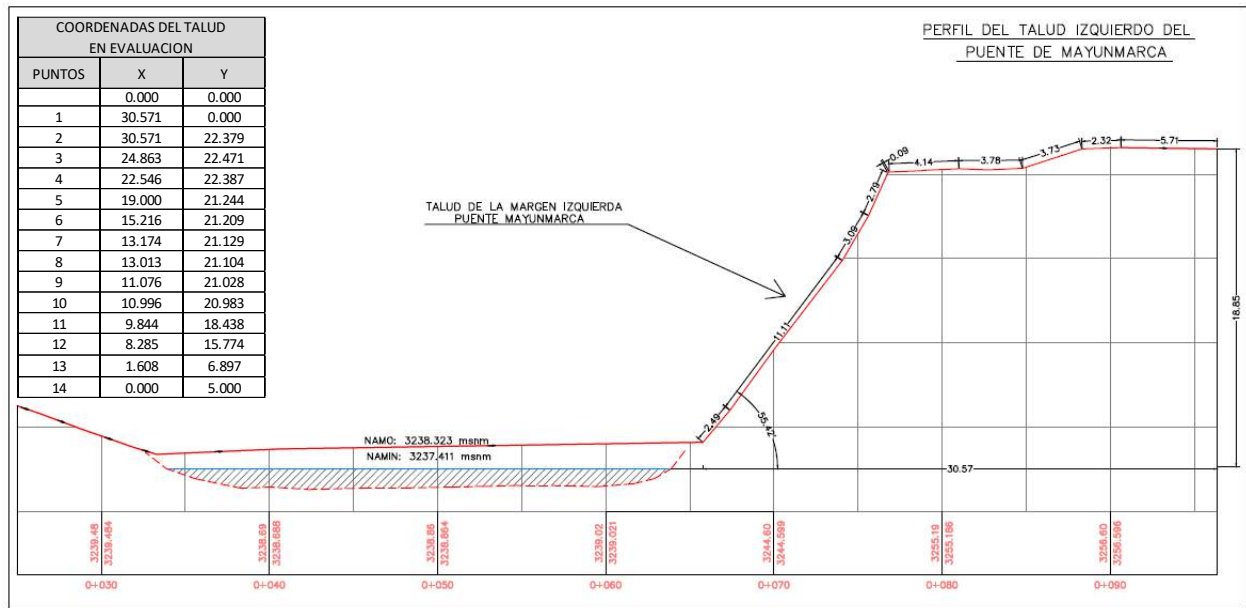


Figura 63: Vista del perfil del talud de la margen izquierda del puente Mayunmarca  
Fuente: Propia

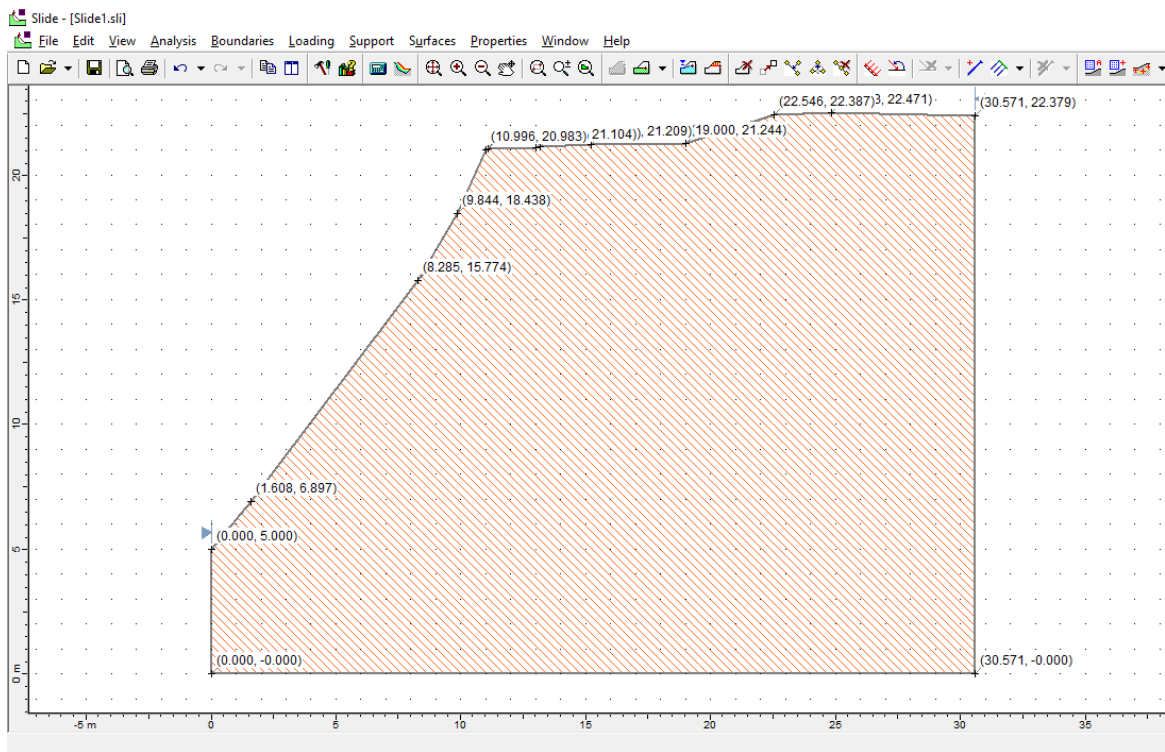


Figura. 64: Grafico del perfil del talud mediante el programa Slide  
Fuente: Propia

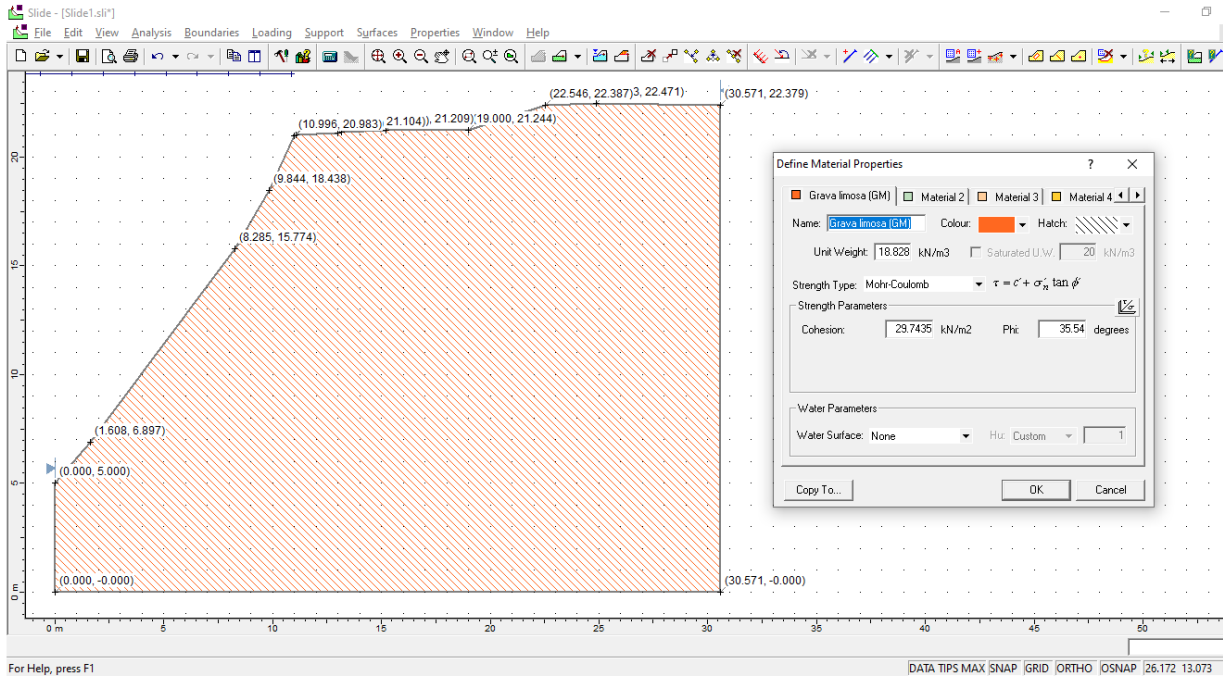


Figura 65: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54° y Cohesión =29.744 kn/m3).

Fuente: propia

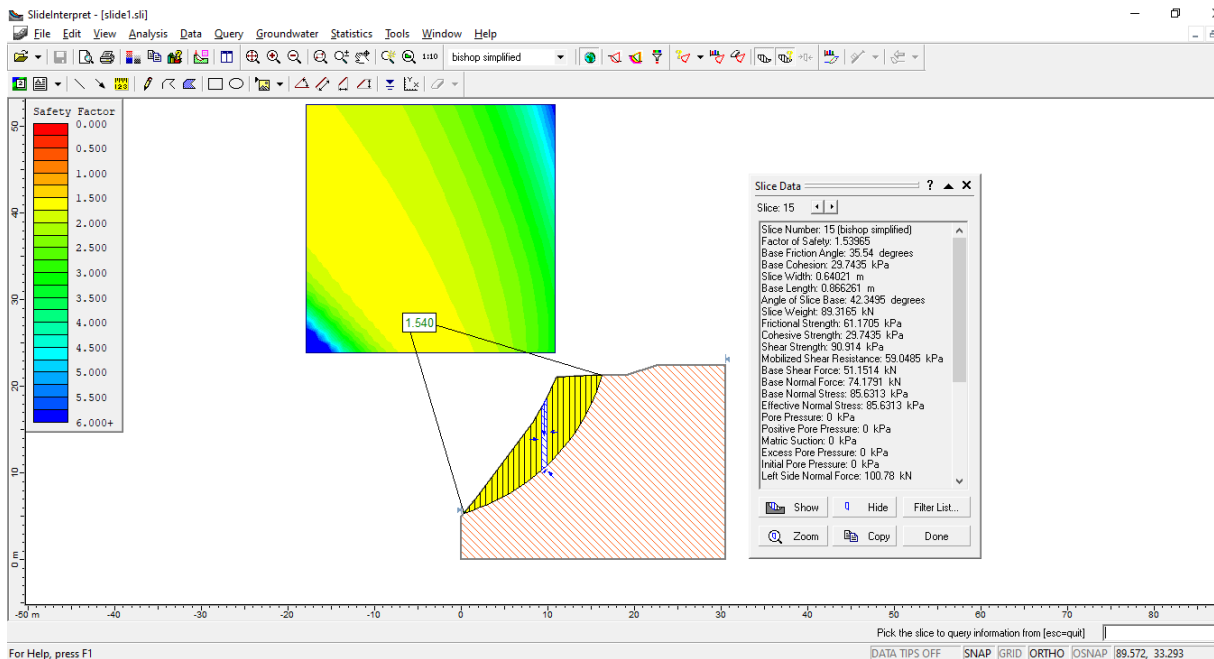


Figura 66: Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54°, Cohesión =29.744 kn/m3 y FS=1.540).

Fuente: propia

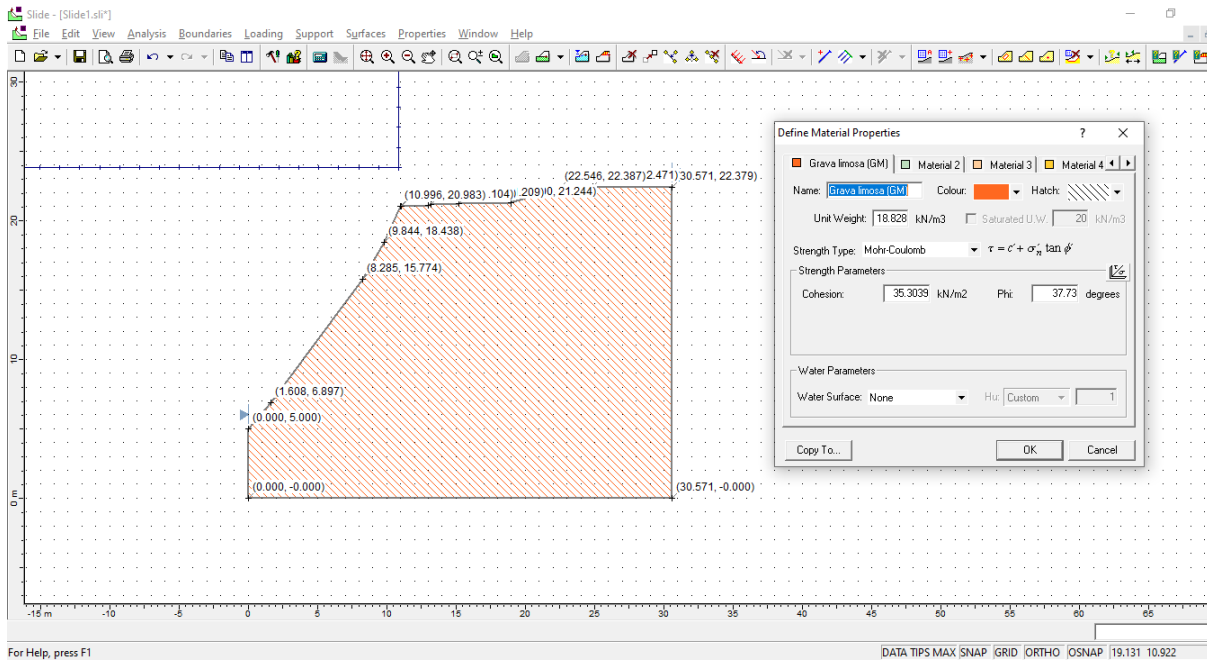


Figura 67: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 kn/m3).

Fuente: propia

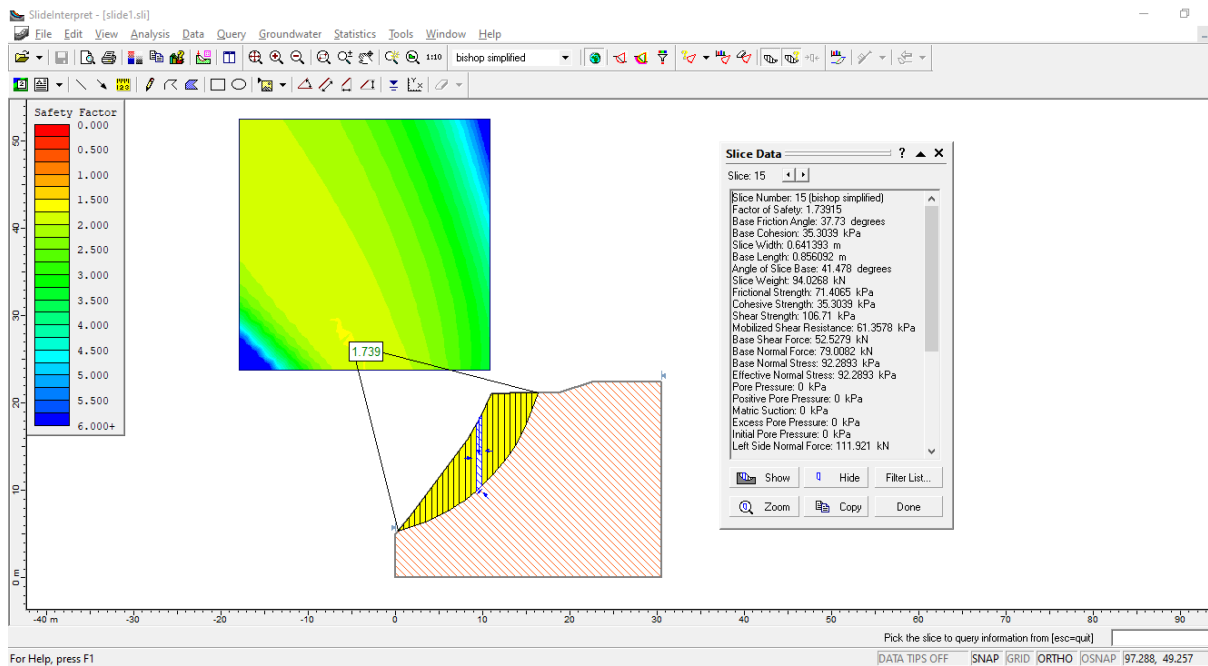


Figura 68: Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 kn/m3 y FS=1.739).

Fuente: propia

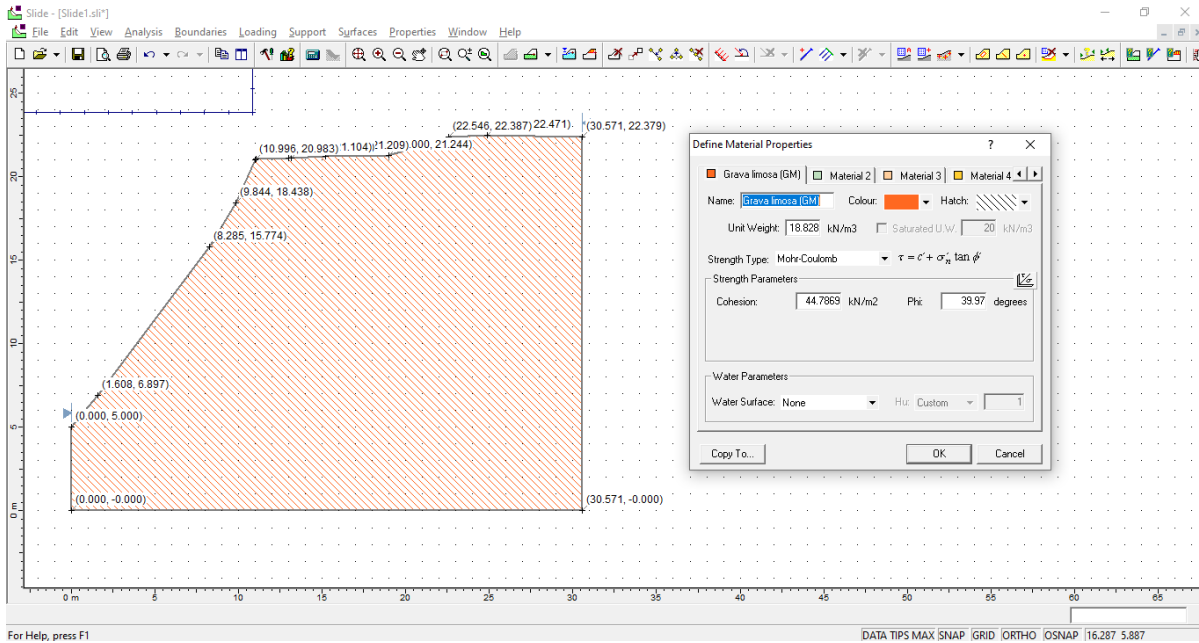


Figura 69: Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 kn/m3).

Fuente: propia

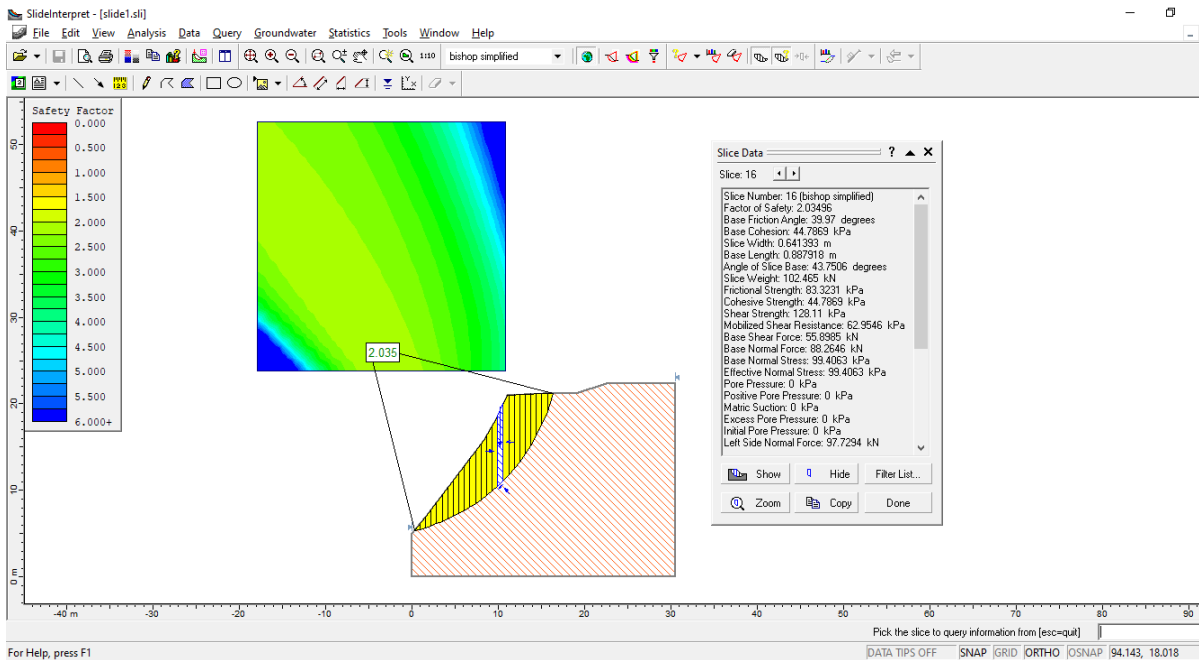


Figura 70: Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 kn/m3 y FS=2.035).

Fuente: propia

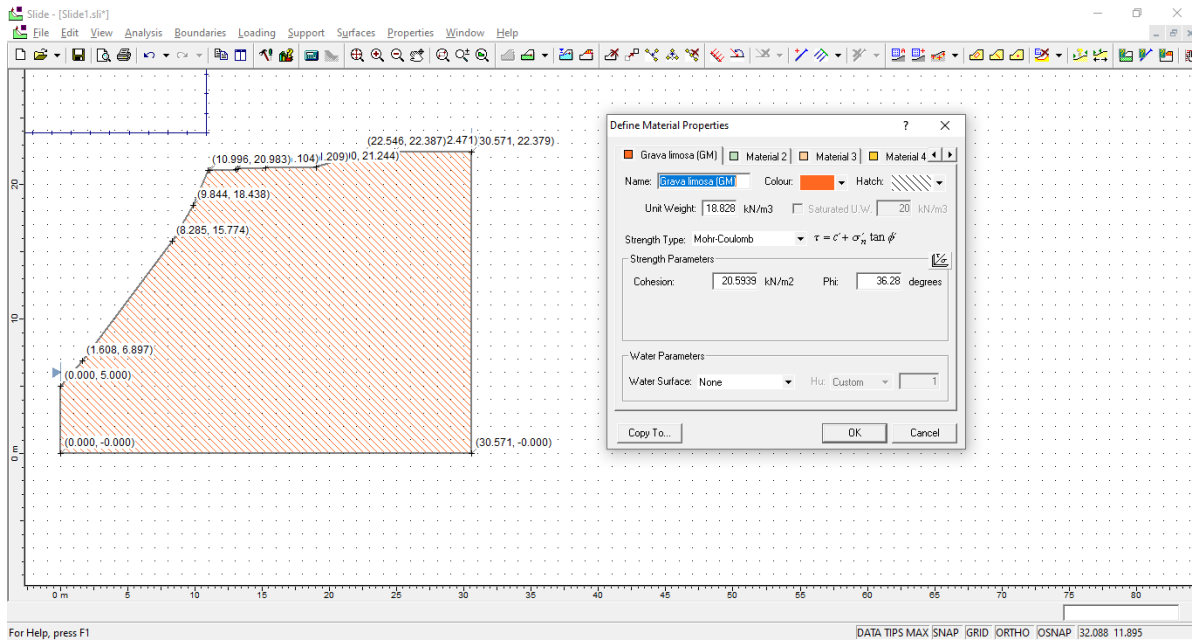


Figura 71: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.5939 kn/m3).

Fuente: propia

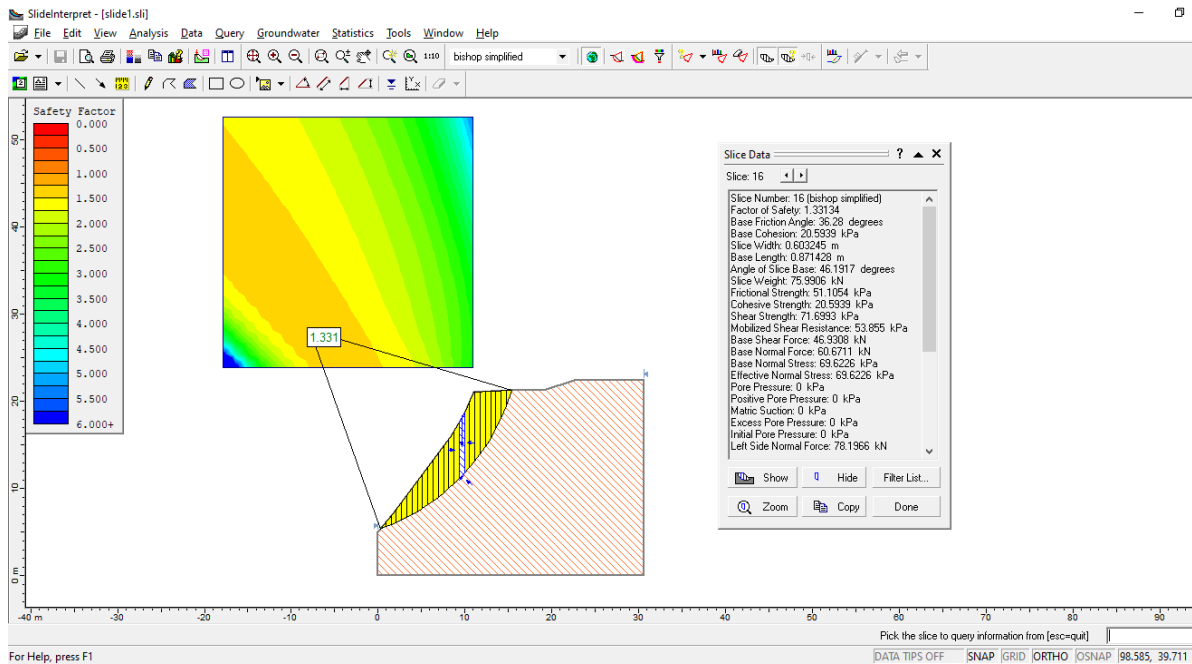


Figura 72: Factor de seguridad resultante de la evaluación del talud mediante el programa Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.5939 kn/m3 y FS=1.331).

Fuente: propia

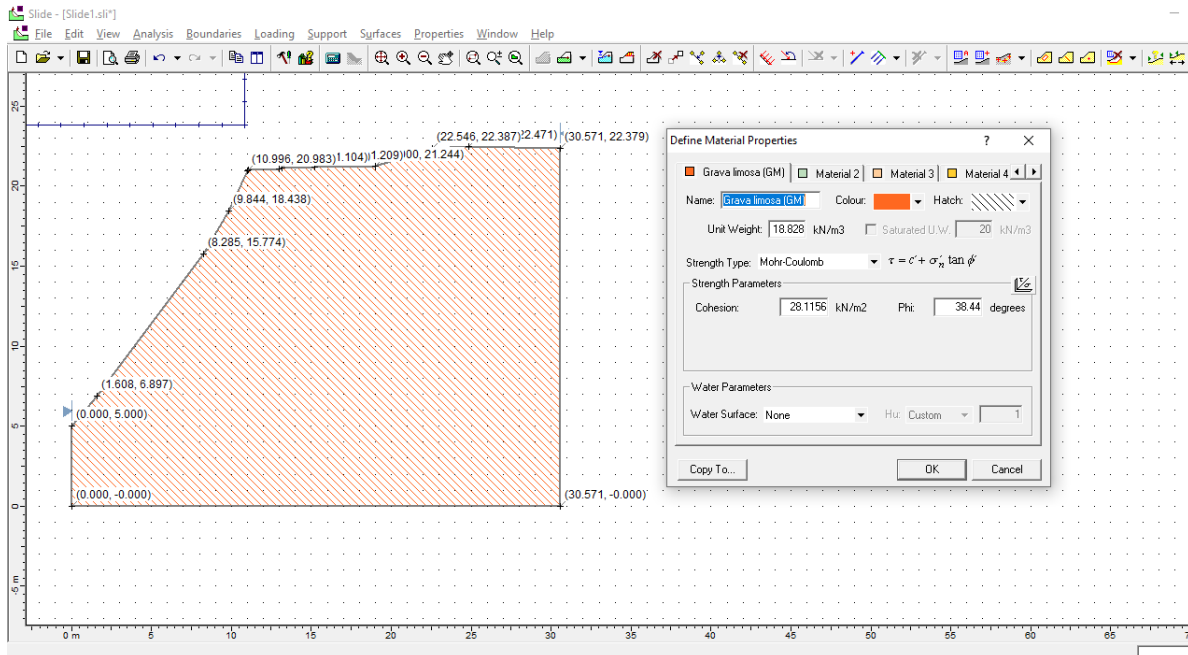


Figura 73: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =38.44° y Cohesión =28.1156 kn/m3).

Fuente: propia

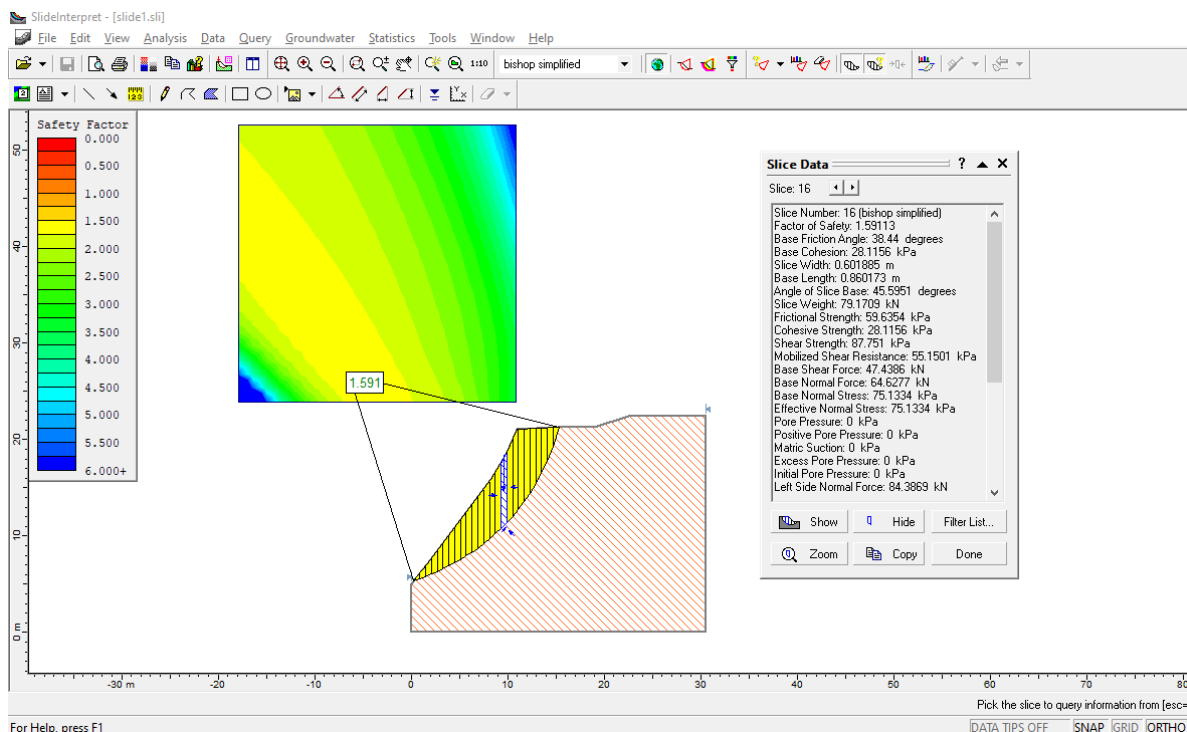


Figura 74: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =38.44° y Cohesión =28.1156 kn/m3 y FS=1.591).

Fuente: propia

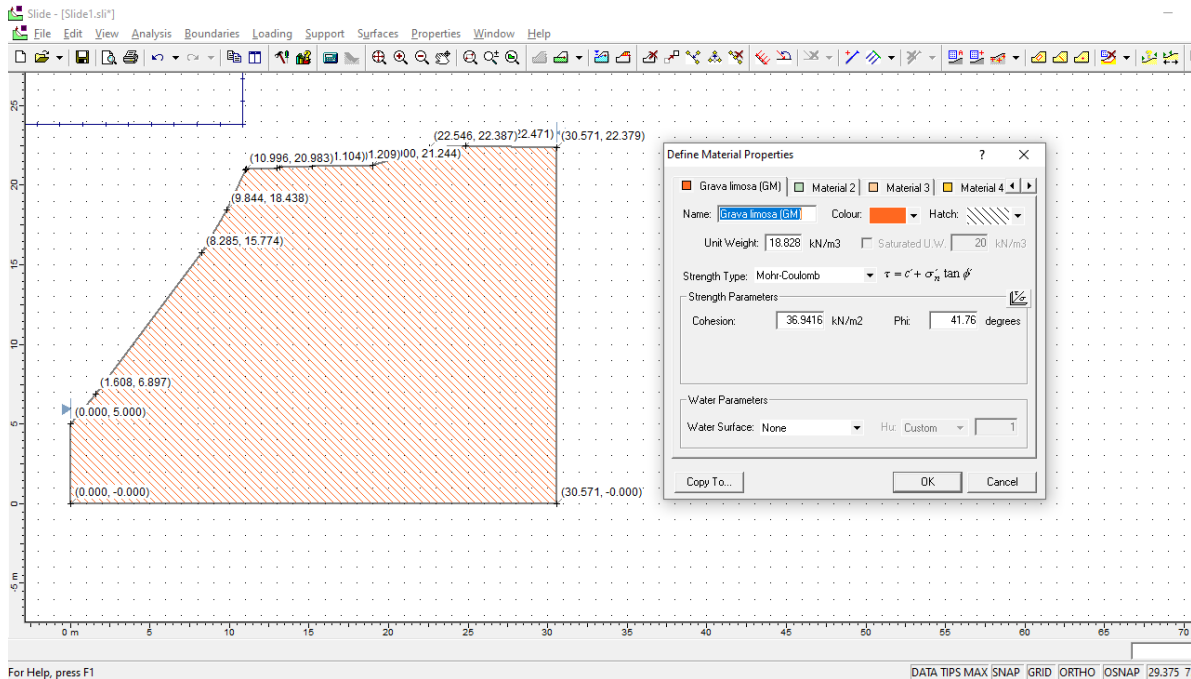


Figura 75: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416 kn/m3).

Fuente: propia

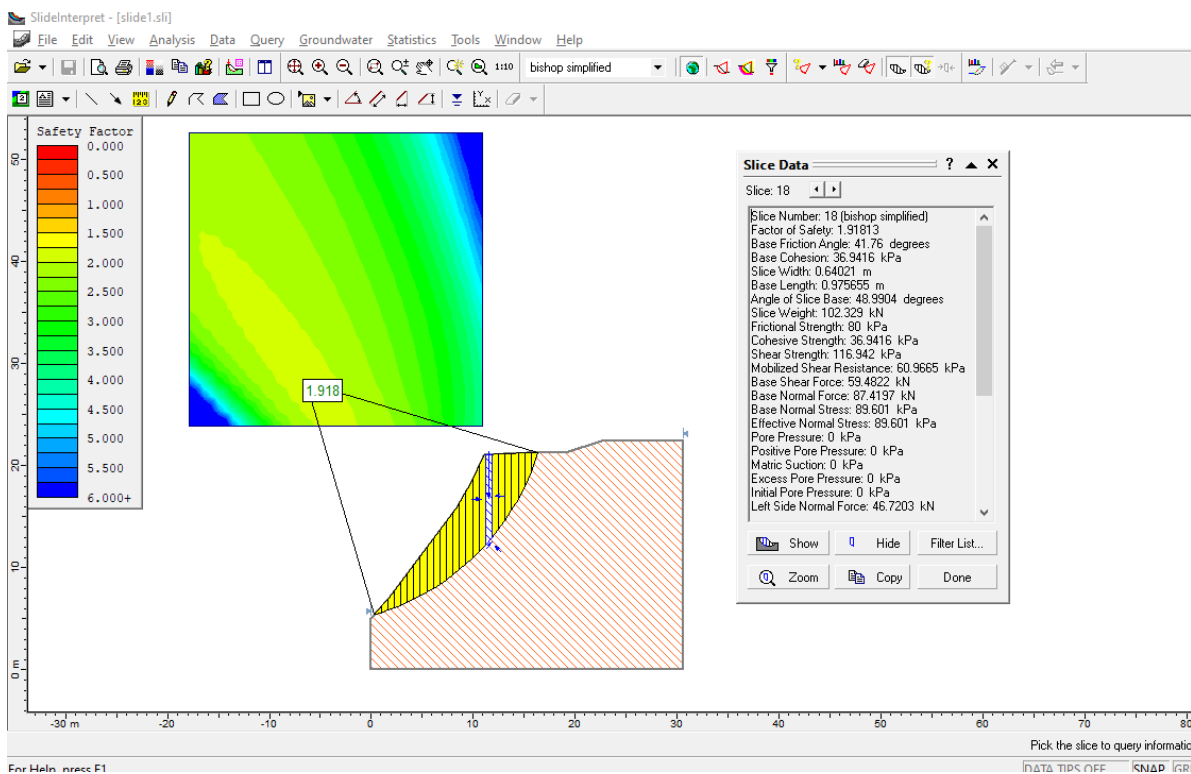


Figura 76: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416 kn/m3 y FS=1.918).

Fuente: propia

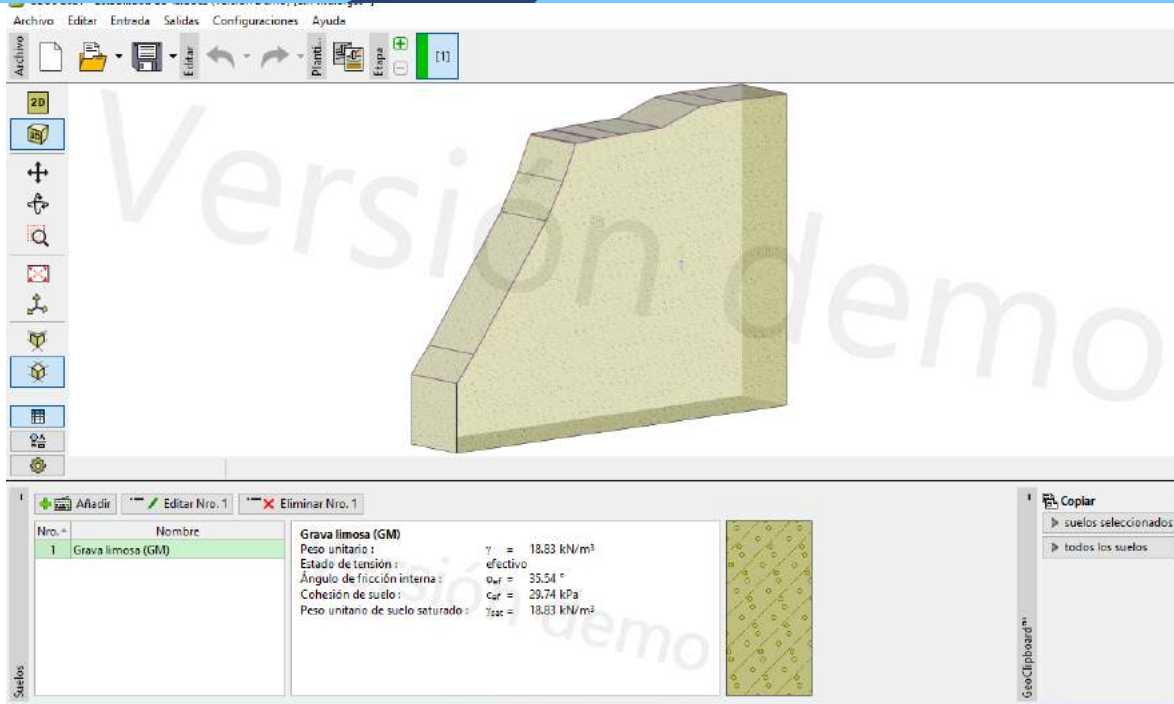


Figura 77: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54° y Cohesión =29.7435 KPa).  
Fuente: propia

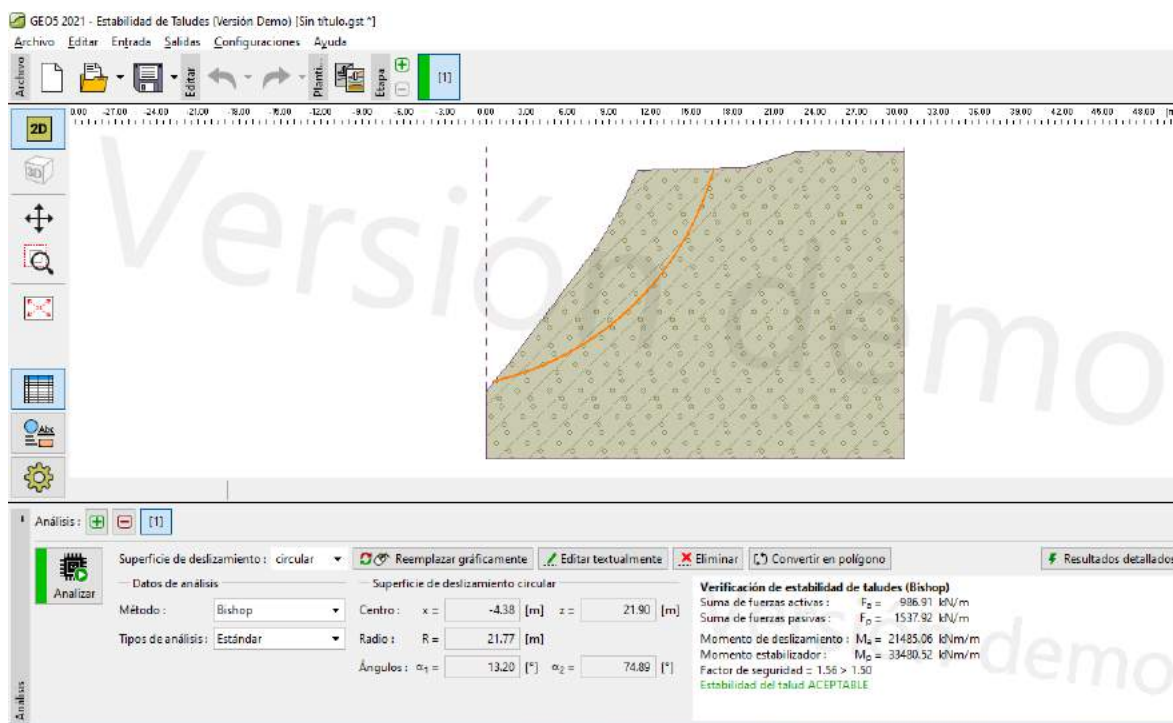


Figura 78: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software Slide (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =35.54° y Cohesión =29.7435 KPa y FS=1.56).  
Fuente: propia



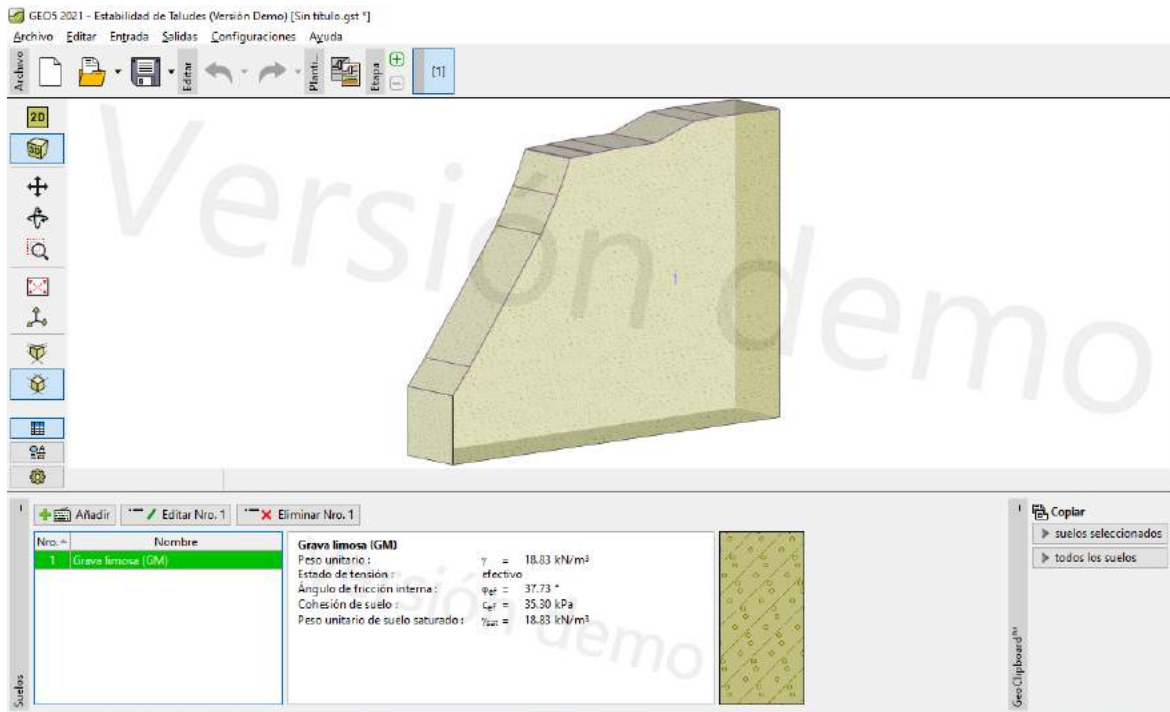


Figura 79: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 KPa).

Fuente: propia

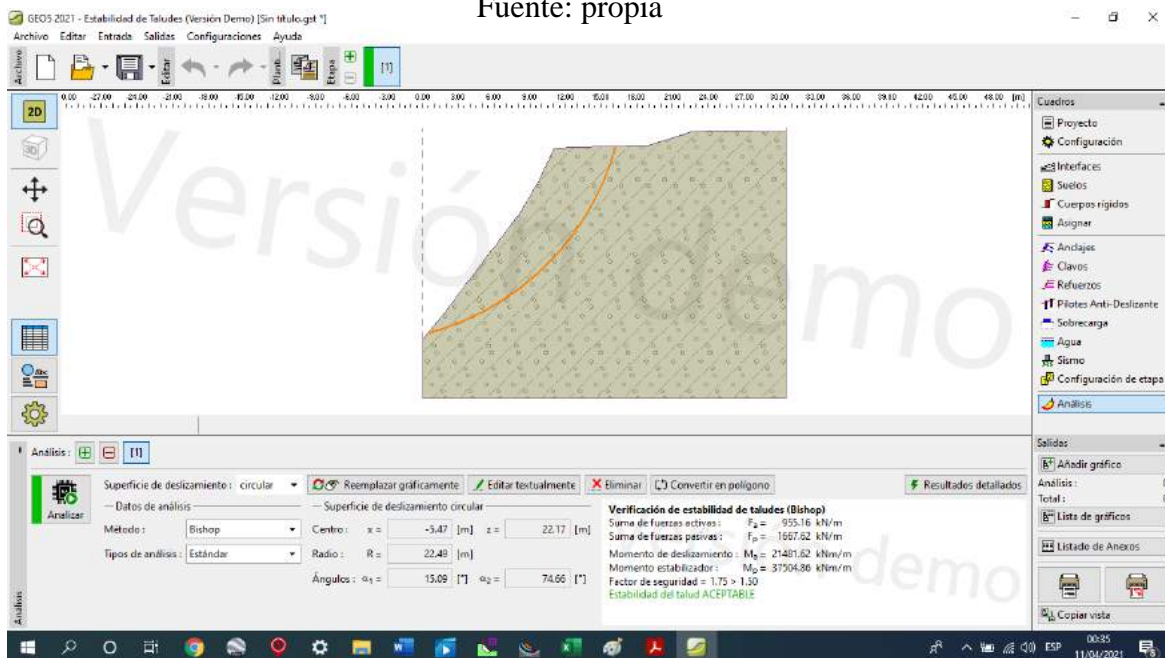


Figura 80: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/2" Angulo de fricción =37.73° y Cohesión =35.3039 KPa y F.S.=1.75).

Fuente: propia

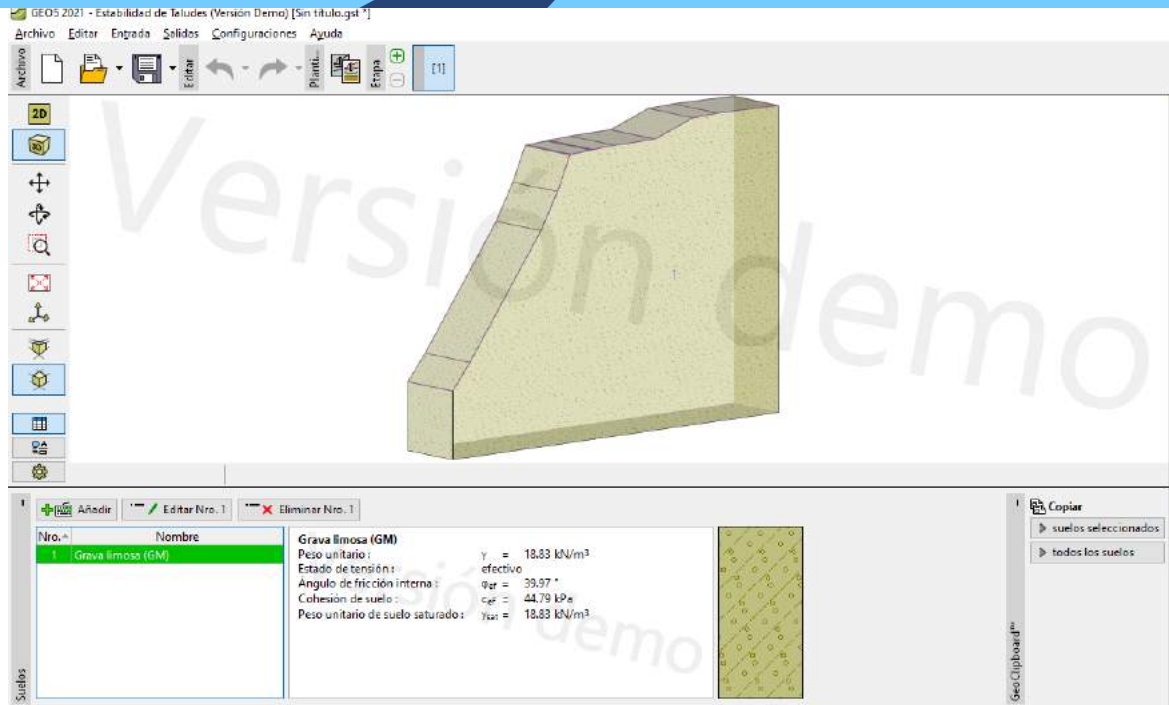


Figura 81: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 3/4” Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 KPa).

Fuente: propia

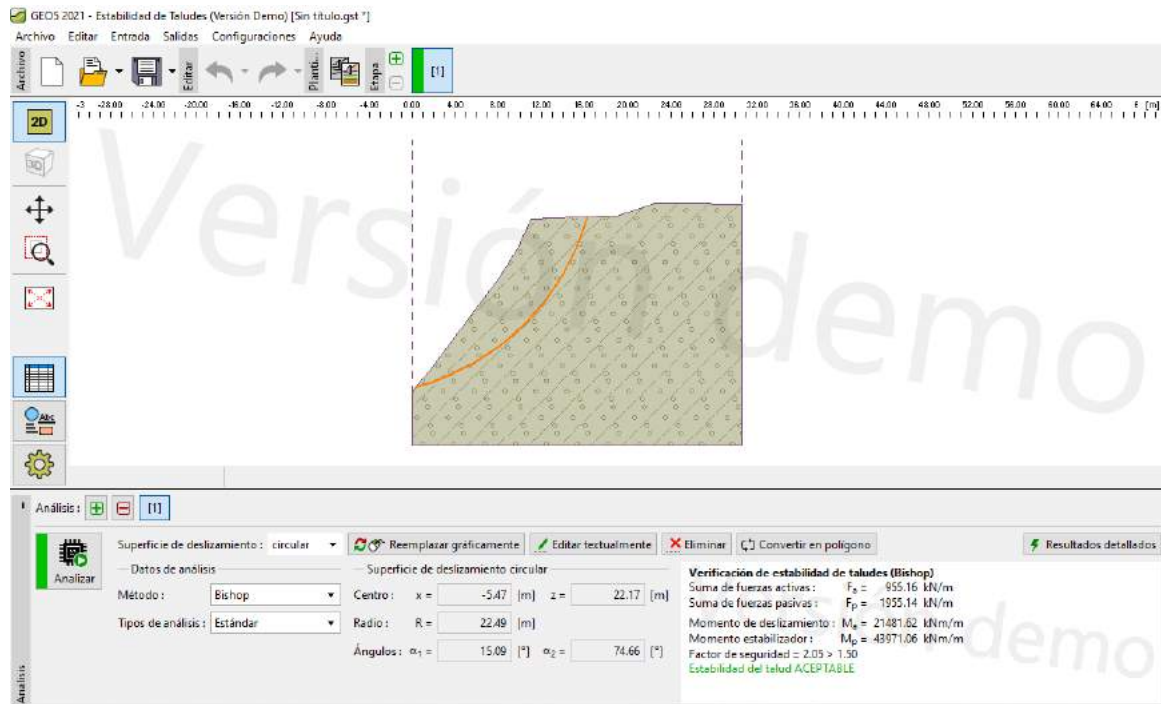


Figura 82: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 3/4” Angulo de fricción =39.97° y Cohesión =44.7869 KPa y F.S.=2.05).

Fuente: propia

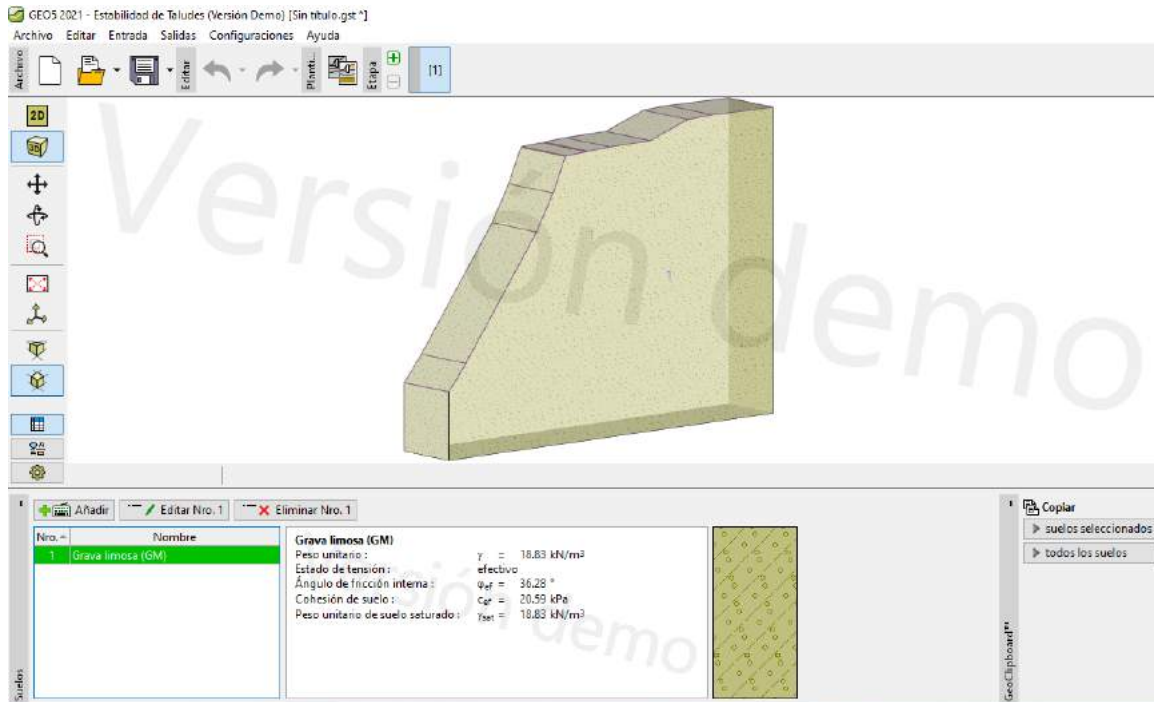


Figura 83: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.593 KPa).

Fuente: propia

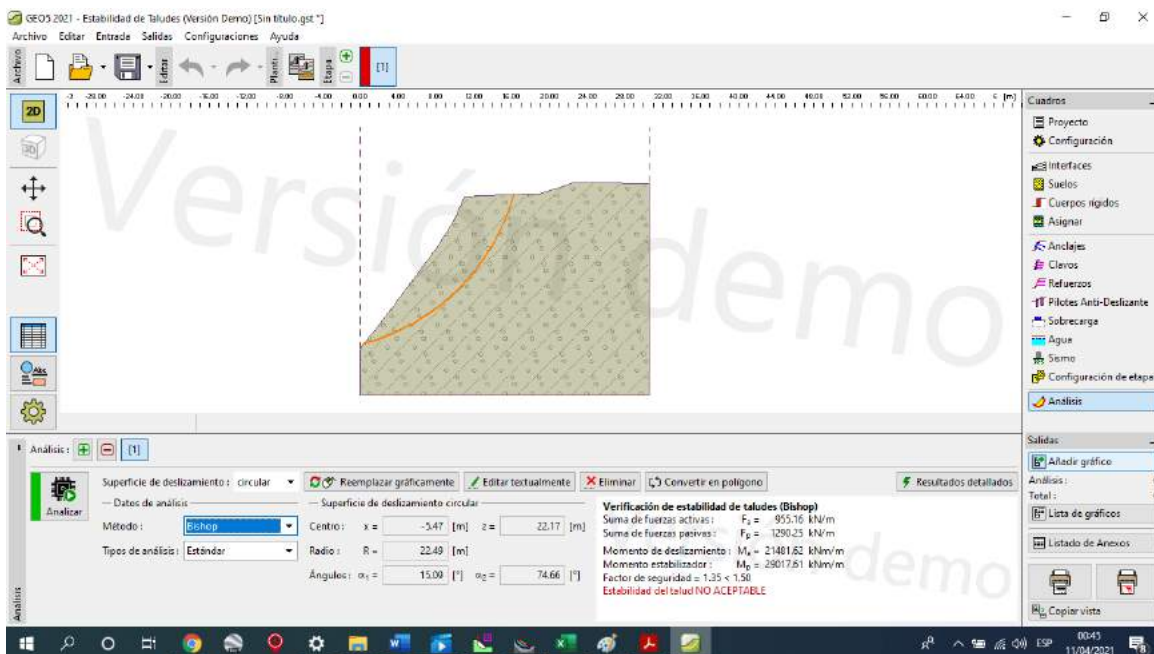


Figura 84: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/4" Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.593 KPa y F.S.=1.35).

Fuente: propia

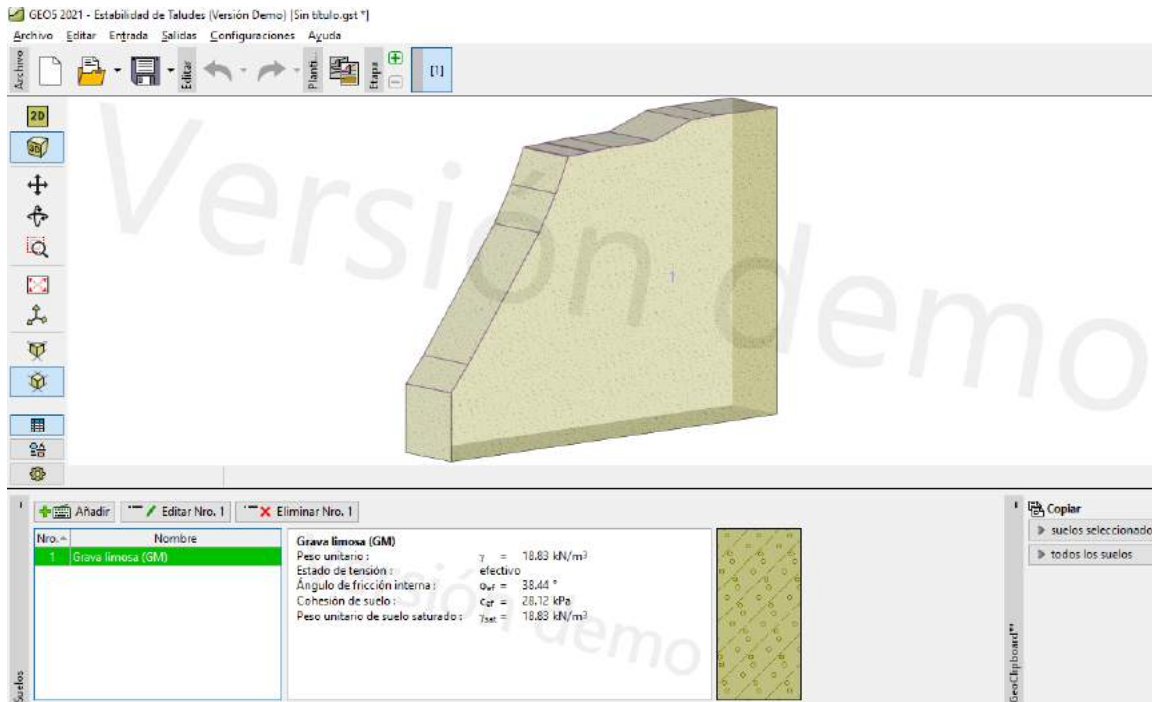


Figura 85: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/4” Angulo de fricción =36.28° y Cohesión =20.593 KPa y F.S.=1.35).

Fuente: propia

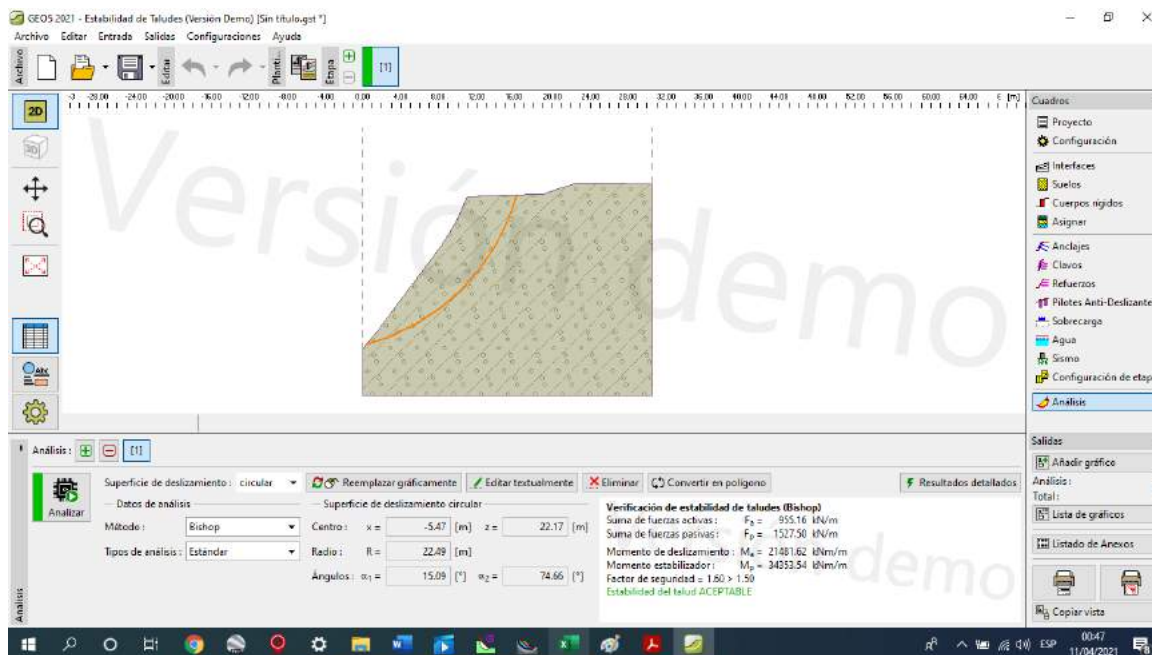


Figura 86: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 1/2” Angulo de fricción =38.44° y Cohesión =28.1156 KPa y F.S.=1.60).

Fuente: propia

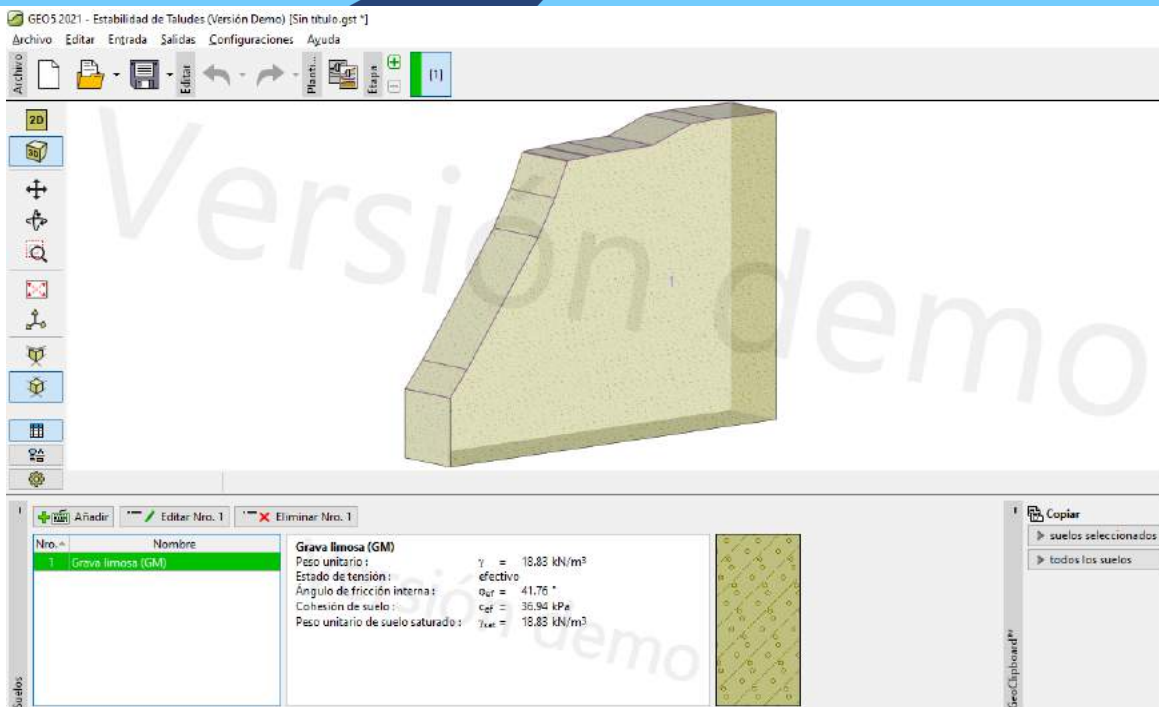


Figura 87: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416).

Fuente: propia

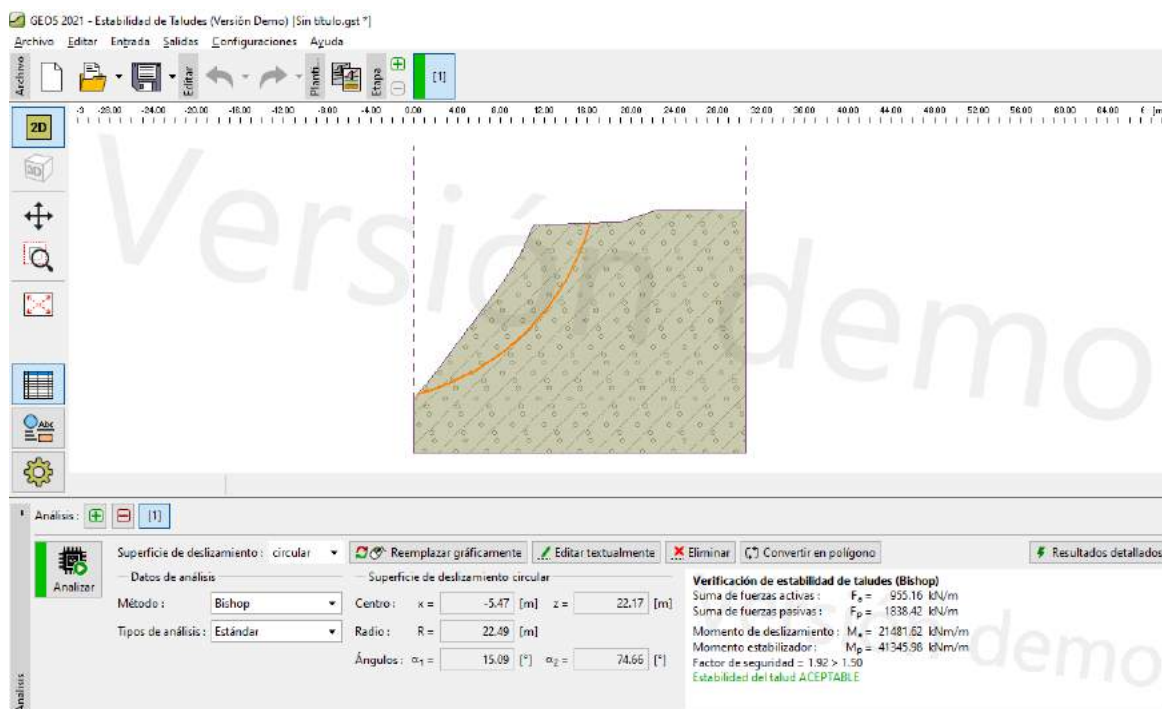


Figura 88: Asignación de las propiedades mecánicas del suelo mediante software GEO5 (Tamaño Máximo 3/4" Angulo de fricción =41.76° y Cohesión =36.9416 y F.S.=1.92).

Fuente: propia



Tabla 40 Factores de seguridad obtenidos a partir de los parámetros de resistencia de los suelos con diferentes tamaños máximos de partículas sometidos a cargas de 4-8-12 kg y 2-4-6- kg.

RESULTADOS FACTORES DE SEGURIDAD						
T.M.	CARGA	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	CANT	UND	F.S. SLIDE	F.S. GEO 5
3/4"	4-8-12 Kg	Φ	39.97	°	2.04	2.05
		C	0.457	kg/cm2		
1/2"		Φ	37.73	°	1.74	1.75
		C	0.360	kg/cm2		
1/4"		Φ	35.54	°	1.54	1.56
		C	0.303	kg/cm2		
3/4"	2-4-6 Kg	Φ	41.76	°	1.92	1.92
		C	0.377	kg/cm2		
1/2"		Φ	38.44	°	1.59	1.60
		C	0.287	kg/cm2		
1/4"		Φ	36.28	°	1.33	1.35
		C	0.210	kg/cm2		

Fuente: propia

Se observa claramente que el factor de seguridad es directamente proporcional al ángulo de fricción y a la Cohesión, se concluye que la variación granulométrica, varía los parámetros del suelo y esto en consecuencia varía la estabilidad del talud en evaluación.



## Capítulo V: Discusión

### **Discusión N°1. ¿El uso de granulometría paralela también conocida como granulometría homotética es eficiente en estimación de parámetros de resistencia?**

Según (Cjapa Herencia, 2018), la metodología de la granulometría homotética es eficiente para determinar los parámetros de resistencia al corte debido a la aproximación que presentan los resultados obtenidos en los ensayos de corte de las dos muestras escaladas y el de la muestra original.

En la investigación realizada, para la obtención de los parámetros de resistencia del suelo granular del talud izquierdo del puente Mayunmarca también se hizo uso de la metodología de granulometría homotética, de esta manera se pudo contar con especímenes de características necesarias para realizar ensayos de corte directo convencionales.

### **Discusión N°2. ¿De las muestras ensayadas que nos indica un contenido de humedad de 4,24%?**

El ensayo realizado a nuestra muestra tuvo como resultado 4.24% de contenido de humedad, el valor se interpreta como una muy baja de presencia de agua en el suelo, sabemos que el contenido de humedad es una propiedad física del suelo y es uno de los parámetros que nos permite establecer el comportamiento y grado de resistencia de los suelos.

Como (Suarez , 1998) sabemos el contenido de humedad de un suelo es la relación, expresada como porcentaje, del peso de agua en una masa dada de suelo, este porcentaje varía desde 0% a 100%, el ensayo realizado a nuestra muestra tuvo como resultado 4.24%, que quiere la muy baja presencia de agua en el mismo.

### **Discusión N°3 ¿De las muestras ensayadas que interpretación merece que nuestra muestra no presente limite líquido y limite plástico?**

Los límites de consistencia, se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos, de nuestras muestras ensayadas, se observa que Límites de consistencia:

- Limite líquido: No presenta, significa que, al realizar los procedimientos normalizados del ensayo para determinar dicha propiedad en este suelo, la muestra preparada no es capaz de ser moldeada en la cuchara de Casagrande.



- Limite plástico: No presenta, significa que, al realizar los procedimientos normalizados del ensayo para determinar dicha propiedad, en la muestra de este suelo no es posible desarrollar los cilindros de 3mm de diámetro especificados en el ensayo.

**Discusión N°4 ¿Porque se tienen diversos valores del ángulo de fricción “ $\phi$ ” y el coeficiente “C”?**

T.M.	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	CALICATA (1.70X1.70X3.50 MTS)	
		CARGA	
		4-8-12	2-4-6
3/4"	$\phi$	39.97	41.76
	C	0.46	0.38
1/2"	$\phi$	37.73	38.44
	C	0.36	0.29
1/4"	$\phi$	35.54	36.28
	C	0.30	0.21

Se tiene varios valores de ángulo de fricción “ $\phi$ ” y cohesión “C”, porque se realizaron varios ensayos de corte directo variando los tamaños máximos de las muestras ensayadas a partir de muestras preparadas mediante el uso de curvas homotéticas.

Siendo necesarios todos los ensayos realizados para validar las hipótesis, tanto la hipótesis general e hipótesis específicas.

**Discusión N°5 ¿De las muestras ensayadas que nos interpretación el valor del ángulo de fricción “ $\phi$ ” equivalente a 35.54 mostrado en la tabla anterior?**

Encontrar un ángulo de fricción “ $\phi$ ” de 35.54, significa que es el máximo ángulo posible para la pendiente del conjunto del material granular estudiado. Así mismo al realizar el ensayo de granulometría y la clasificación respectiva con el método SUCS se tiene una muestra de suelo del tipo: GM = Grava limosa arenosa, y tomando como referencia el Texto: Deslizamientos Análisis Geotécnico, Tomo I, cuyo autor es Jaime Suarez, se tiene el cuadro de correlación de tipos de suelos vs ángulos de fricción en función a la densidad del suelo, luego de inspeccionar el tipo de suelo evaluado y al ubicar el valor de 35.54 se tendría arena y grava de densidad suelta.





Tabla 41 Angulo de fricción interna de algunos suelos granulares (adaptado de Hough, 1969 y Lambey Whitman 1969).

Descripción	Valores de $\phi$ en estado		
	Suelto	Medio	Denso
Limos no plásticos	26-30	28-32	30-34
Arena uniforme fina a media	26-30	30-34	32-36
Arena bien gradada	30-40	34-40	38-46
Arena y grava	32-36	36-42	40-48

Fuente: (Suarez , 1998)

**Discusión N°6 ¿Qué se puede observar del incremento del valor del ángulo de fricción “ $\phi$ ” en relación al incremento del tamaño máximo de las partículas?**

Se observa que el ángulo de fricción incrementa en función al incremento del tamaño máximo de la partícula y a la disminución del esfuerzo normal; citando el Texto: Deslizamientos Análisis Geotécnico, Tomo I, cuyo autor es Jaime Suarez; es muy coherente, ya que:

Curvatura de la Envolvente de Resistencia en Suelos Granulares.... A mayor presión de confinamiento, el ángulo de fricción  $\phi'$  es menor...

...El ángulo de fricción interna  $\phi'$  aumenta al aumentar la densidad... (pág. 110); al incrementar el tamaño máximo de las muestras a ensayar implícitamente se incrementa la densidad del suelo.

**Discusión N°7. ¿Por qué se realizó el ensayo de corte directo con la muestra natural del talud?**

Porque se requiere conocer los parámetros de resistencia con la muestra de suelos al estado natural siendo las muestras seleccionadas para un ensayo convencional (quiere decir que se realiza el ensayo de corte directo con una muestra de suelo sin realizar la variación granulométrica) y se pretende optimizar los parámetros de resistencia de las condiciones estándares de ensayos, las condiciones con las que cualquier laboratorio del medio ensayaría las muestras, también servirá como base de comparación para los ensayos posteriores de corte directo para las mismas muestras pero con variación granulométrica.



**Discusión N°8 ¿Cuántos ensayos de corte directo se realizó a las muestras preparadas variando su tamaño máximo y carga?**

Se realizaron 06 ensayos de corte directo variando el tamaño máximo de las muestras con tamaños máximos de 1/4", 1/2" y 3/4", también variando el esfuerzo normal, obteniendo los siguientes resultados.

T.M.	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	CALICATA (1.70X1.70X3.50 MTS)	
		CARGA	
		4-8-12	2-4-6
3/4"	Φ	39.97	41.76
	C	0.46	0.38
1/2"	Φ	37.73	38.44
	C	0.36	0.29
1/4"	Φ	35.54	36.28
	C	0.30	0.21

Fuente: Propia

**Discusión N°9. ¿Por qué se realizó el ensayo de corte directo con diferentes tamaños máximos?**

Porque se tiene la hipótesis que a medida que se aumenta el tamaño máximo de la muestra de suelo se proyecta obtener mayores parámetros de resistencia del suelo, ya que se espera que ángulo de fricción aumente.

Porque la muestra natural de dicho talud presenta diversos tamaños máximos que no son aptos para realizar el ensayo de corte directo; sin seleccionar antes la muestra; previo al ensayo de corte directo es necesario seleccionar y preparar el material (exclusivamente para el ensayo de corte directo).

**Discusión N°10. ¿Por qué se ha utilizado el método de las curvas homotéticas?**

Por qué es la metodología con mayor éxito en la estimación de la resistencia al corte de suelos granulares gruesos, siempre y cuando se consideren las limitaciones del porcentaje máximos de finos, homotecia perfecta, y mantenimiento de la forma de partículas en las granulometrías escaladas.



**Discusión N°11. ¿Por qué son necesarias varios ensayos de corte directo?**

Porque se requiere tener varios parámetros de resistencia al esfuerzo cortante; específicamente ángulo de fricción y coeficiente de cohesión; en función a los tamaños máximos de las muestras seleccionadas a ensayar, puesto que se investiga que para cada muestra ensayada se cumpla o no la hipótesis planteada, además se pretende obtener una correlación que prediga la variación del coeficiente de fricción ( $\phi$ ), en función al tamaño máximo que presentan las muestras para suelos granulares, con condiciones similares a los estudiados en el presente trabajo de investigación.

**Discusión N°12. ¿Por qué se realizó el estudio con las muestras de la margen izquierda?**

Porque es el talud que presenta las condiciones más desfavorables de resistencia, los cuales están compuestos de arenas y gravas, en el talud de la margen derecha presenta una matriz rocosa. También porque el talud se encuentra sin cobertura vegetal y está expuesto a procesos de intemperismo, a causa de las precipitaciones pluviales y procesos eólicos generado por la naturaleza, los cuales provocan una modificación del estado natural de la composición granulométrica, en consecuencia, afecta las condiciones de estabilidad.



## Glosario

### **Angulo de fricción ( $\phi$ )**

El ángulo de rozamiento interno o ángulo de fricción es una propiedad de los materiales granulares el cual tiene una interpretación física sencilla, al estar relacionado con el ángulo de reposo o máximo ángulo posible para la pendiente de un conjunto de dicho material granular.

### **Curvas paralelas u homotéticas:**

Es la técnica de escalamiento que mejor puede replicar el comportamiento de un suelo granular grueso, sin embargo, debido a una serie de limitaciones del método (contenido de finos, efecto del escalamiento en la dureza y forma de las partículas entre otros), aún se estudia su validez como método de representación de la resistencia de macro materiales

### **Coefficiente de cohesión (C)**

La cohesión del terreno es la cualidad por la cual las partículas del terreno se mantienen unidas en virtud de fuerzas internas, que dependen, entre otras cosas, del número de puntos de contacto que cada partícula tiene con sus vecinas. En consecuencia, la cohesión es mayor cuanto más finas son las partículas del terreno.

### **Durabilidad:**

Es la habilidad para resistir la acción del intemperismo, ataque químico, abrasión o cualquier otro proceso de deterioro.

### **Granulometría:**

Es la medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los materiales sedimentarios, así como de los suelos, con fines de análisis, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, y el cálculo de la abundancia de los correspondientes a cada uno de los tamaños previstos por una escala granulométrica.



### **Intemperismo:**

El intemperismo implica el debilitamiento y la fragmentación de la roca. Tras esta etapa, puede llegar la erosión, con la recolección y el traslado de los sedimentos por el viento, el agua, etc. Cabe destacar, por otra parte, que intemperismo puede considerarse sinónimo de meteorización.

### **Limitaciones:**

Del latín limitatō, limitación es la acción y efecto de limitar o limitarse. El verbo limitar refiere a poner límites a algo, mientras que la noción de límite está vinculada a una línea que separa dos territorios, al extremo a que llega un determinado tiempo, al extremo que puede alcanzar lo anímico y lo físico o a una restricción.

### **Material:**

Un material es un elemento que puede transformarse y agruparse en un conjunto. Los elementos del conjunto pueden tener naturaleza real (tangibles), naturaleza virtual o ser totalmente abstractos.

### **Materiales granulares:**

Los materiales granulares son fragmentos de roca producidos por acciones erosivas. Su tamaño y forma depende de: la calidad de la roca madre de donde se originaron, del grado de meteorización, y del desgaste que haya sufrido durante el transporte. Se encuentran en sitios muy variados en la superficie terrestre.

### **Observar:**

Examinar atentamente. Cumplir rigurosamente una orden o una norma.

Mirar con atención y cautela; atisbar.

Darse cuenta de algo; percatarse.

### **Óptimo:**

Que es extraordinariamente bueno o el mejor, por lo cual resulta inmejorable. Es el mejor valor que puede tomar una variable determinada en relación a un objetivo particular, considerando los medios que tiene para alcanzar ese objetivo.



### **Objetivo:**

Elemento programático que identifica la finalidad hacia la cual deben dirigirse los recursos y esfuerzos para dar cumplimiento a la misión, tratándose de una organización, o a los propósitos institucionales, si se trata de las categorías programáticas.

Expresión cualitativa de un propósito en un tiempo determinado; el objetivo debe responder a la pregunta "qué" y "para qué". En programación es el conjunto de resultados cualitativos que el programa se propone alcanzar a través de determinadas acciones.

### **Proceso:**

Un proceso es un conjunto de actividades o eventos (coordinados u organizados) que se realizan o suceden (alternativa o simultáneamente) bajo ciertas circunstancias con un fin determinado.

### **Parámetro:**

Se conoce como parámetro al dato que se considera como imprescindible y orientativo para lograr evaluar o valorar una determinada situación. A partir de un parámetro, una cierta circunstancia puede comprenderse o ubicarse en perspectiva.

### **Plan:**

Documento que contempla en forma ordenada y coherente las metas, estrategias, políticas, directrices y tácticas en tiempo y espacio, así como los instrumentos, mecanismos y acciones que se utilizarán para llegar a los fines deseados.

Un plan es un instrumento dinámico sujeto a modificaciones en sus componentes en función de la evaluación periódica de sus resultados.

### **Procedimiento:**

Procedimiento es un término que hace referencia a la acción que consiste en proceder, que significa actuar de una forma determinada. El concepto, por otra parte, está vinculado a un método o una manera de ejecutar algo.

Un procedimiento, en este sentido, consiste en seguir ciertos pasos predefinidos para desarrollar una labor de manera eficaz. Su objetivo debería ser único y de fácil identificación, aunque es



posible que existan diversos procedimientos que persigan el mismo fin, cada uno con estructuras y etapas diferentes, y que ofrezcan más o menos eficiencia.

**Recomendación:**

Consejo que se da a una persona por considerarse ventajoso o beneficioso: seguiré las recomendaciones del médico para evitar las subidas de tensión arterial.

Elogio verbal o escrito con el que se habla en favor de una persona o una actividad, generalmente para conseguir una ventaja en una actividad o un aspecto laboral: ha entrado a trabajar aquí por recomendación del director.

**Significado:**

Significado es el sentido o la significación de una palabra o de una expresión. El término procede del verbo significar, vinculado al signo de una idea o de algo material y a aquello que, por convención o imitación, representa otra cosa distinta.

**Suelos al estado natural:**

Se interpreta como aquellos suelos en los que no se ha inducido ninguna modificación, el estado de estos suelos mantiene todas sus propiedades mecánicas naturales.

**Tamaño máximo:**

El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.

**Tipo:**

La palabra tipos proviene del latín typus y es un término que hace referencia a una clasificación, discriminación o diferenciación de diversos aspectos que forman parte de un todo. Según el diccionario de la Real Academia Española (RAE), se habla de tipo para referirse a un modelo o patrón específico que permita estudiar de forma exhaustiva una cuestión. El término también se refiere a aquello que representa algo o al ejemplo que caracteriza una cosa.



**Ventaja:**

Una ventaja es una superioridad o una mejoría de algo o alguien respecto de otra cosa o persona. Puede definirse como una condición favorable que algo o alguien tiene. Por ejemplo: “La ventaja de esta mezcladora es que consume un 15% menos de energía en comparación a los modelos similares de otras marcas”.

**Verificar:**

Verificación es la acción de verificar (comprobar o examinar la verdad de algo. La verificación suele ser el proceso que se realiza para revisar si una determinada cosa está cumpliendo con los requisitos y normas previstos.

**Conclusiones**

**Conclusión N°1**

**Hipótesis general**

“La variación granulométrica del suelo varía notablemente la estabilidad del talud del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, Cusco-2019”.

La variación granulométrica del suelo varía la estabilidad del talud del suelo de soporte del puente de Mayunmarca del distrito de Quiquijana, provincia del Quispicanchis, región del Cusco.

RESULTADOS FACTORES DE SEGURIDAD						
T.M.	CARGA	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL SUELO	CANT	UND	F.S. SLIDE	F.S. GEO 5
3/4"	4-8-12 Kg	Φ	39.97	°	2.04	2.05
		C	0.457	kg/cm2		
1/2"		Φ	37.73	°	1.74	1.75
		C	0.360	kg/cm2		
1/4"		Φ	35.54	°	1.54	1.56
		C	0.303	kg/cm2		
3/4"	2-4-6 Kg	Φ	41.76	°	1.92	1.92
		C	0.377	kg/cm2		
1/2"		Φ	38.44	°	1.59	1.60
		C	0.287	kg/cm2		
1/4"		Φ	36.28	°	1.33	1.35
		C	0.210	kg/cm2		





El trabajo de investigación a mayor tamaño máximo, mayor será el ángulo de fricción, al incrementarse este último hace que el factor de seguridad del talud en evaluación sea más aceptable, teniendo en consecuencia un talud más estable.

Del cuadro se observa que efectivamente el parámetro de resistencia, ángulo de fricción de la muestra de suelo evaluado, incrementa con el incremento del tamaño máximo de las partículas gruesas

Del cuadro se observa que efectivamente el parámetro de resistencia, ángulo de fricción de la muestra de suelo evaluado, incrementa con el incremento del tamaño máximo de las partículas gruesas

## **Conclusión N° 2**

### **Sub Hipótesis 01:**

“La variación del ángulo de fricción del suelo varía notablemente en la estabilidad del talud del puente de Mayunmarca, del distrito de Quiquijana, Cusco-2019”.

La variación del ángulo de fricción del suelo varía notablemente la estabilidad del talud, como vimos un incremento del valor del parámetro ángulo de fricción, genera un factor de seguridad más aceptable.

De los resultados obtenidos se evidencia que el factor de seguridad es directamente proporcional al ángulo de fricción y a la Cohesión, se concluye que la variación granulométrica, varía los parámetros del suelo del talud izquierdo del puente Mayunmarca y esto en consecuencia varia la estabilidad del talud en evaluación.



### Conclusión N° 3

#### Sub Hipótesis 02:

“La variación del coeficiente de cohesión del suelo varía notablemente en la estabilidad del talud del puente de Mayunmarca, del distrito de Quiquijana, Cusco-2019”.

La variación del coeficiente de cohesión del suelo varía notablemente en la estabilidad del talud, hemos visto que el incremento parámetro coeficiente de cohesión genera también un factor de seguridad del talud más aceptable.

### Recomendaciones

#### Recomendación N° 01

Se recomienda nuestro trabajo de investigación, como aporte para la evaluación de la estabilidad de los taludes que presenten partículas de volúmenes considerables, de esta manera se podrá contar con información más precisa de la caracterización del talud en estudio.

#### Recomendación N° 02

Se recomienda el mayor estudio en nuestro contexto de técnicas de escalamiento (curvas homotéticas) los cuales permiten ensayar probetas que contengan tamaños de partículas admisibles para equipos triaxiales convencionales, los ensayos a probetas escaladas se presentan como una alternativa factible y rentable para los diseños actuales de ingeniería.

#### Recomendación N° 03

Se recomienda realizar la misma evaluación para taludes similares de estructuras de puentes pertenecientes al mismo valle, con la misma naturaleza estratigráfica y así poder analizar los



resultados de ambos análisis, esto nos brindaría de manera más clara los niveles de incertidumbre que se tienen.

### **Recomendación N° 04**

Se recomienda evaluar las propiedades de resistencia al desgaste de los materiales evaluados, realizar mas ensayos en la margen del rio en estudio y generar correlaciones para la resistencia y estabilidad en la jurisdicción del distrito de Quiquijana.

### **Referencias**

- Bernal Torres, C. (2010). *Metodología de la Investigacion* (Tercera ed.). Colombia: Pearson Educacion de Colombia Ltda.
- Bowles, J. E. (1981). *Manual de laboratorio de Suelos en Ingenieria Civil*. Mexico: McGRAW-HILL.
- Braja, D. (2011). *Fundamento de Ingenieria de Cimentaciones* (Séptima ed.). (S. R. Cervantes Gonzales, & O. A. Ramirez Rosas, Edits.) Mexico: Data Color Impresores, S.A. de C.V.
- Escobar Potes, C. E. (2016). Geotecnia para el tropico andino. En C. E. Escobar Potes, *Geotecnia para el tropico andino*. Colombia: UNA.
- Gil, X. L. (1978). *LA GRAMÁTICA DE PORT-ROYAL: FUENTES, CONTENIDO E INTERPRETACIÓN*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Gómez, M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica* (Primera ed.). Córdoba, Argentina: Brujas.
- Hernandez Sampieri , R., Fernández Collado , C., & Batista Lucio , P. (2010). *Metodología de la investigación* (5ta ed.). Mexico: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Juarez, E., & Rico, A. (1998). *Mecanica de Suelos, Tomo I Teoria y Aplicaciones de la Mecanica de Suelos* (Vol. I). México, México: Editorial Limusa.
- Mc Cormac, J. (2003). *Topografía*. Bogota, Colombia : Limusa Wiley.
- Mendoza Dueñas , J., & Mora Quiñones, S. (2004). *Topografía Practica Principios Basicos* (Vol. Primera Parte ). Lima, Perú.
- Merritt, F. (s.f.). *Manual del Ingeniero Civil* (Cuarta Edición ed.).
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima, Perú.



Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras* (Segunda ed.). Bogota, Colombia: Agora Editores.

Pedro, R. O., & Alejano Monge, L. (2004). *Fundamentos e ingeniería de taludes*. Red DESIR.

Tafur Portilla, R. (1995). *La Tesis Universitaria*. Lima, Perú: Mantaro.

Zuazo, V. D., Raya, M., & Aguilar, R. J. (2002). *Control de la erosión en los taludes de bancales, en terrenos con fuertes pendientes*.