



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

“Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019”

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

Ingeniero Civil

**AUTOR:**

Br. Valentin Melgarejo, Yoshelyn Leyla (ORCID: 0000-0003-3729-9969)

**ASESOR:**

Dr. Córdova Salcedo, Felimón Domingo (ORCID: 0000-0003-0338-5156)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA – PERÚ**

**2019**

## **Dedicatoria**

A mis padres, por su amor, trabajo y sacrificio en todos estos años, gracias a ellos eh logrado llegar hasta aquí y convertido en lo que soy. Ha sido el orgullo y el privilegio de ser su hija, son los mejores padres.

## **Agradecimiento**

A mis queridos padres Henry y Suly, que me motivan constantemente a alcanzar mis sueños y a mis hermanos Juan y Henry por brindarme el apoyo necesario para realizarme profesionalmente.

## **Página del Jurado**

## **Declaratoria de Autenticidad**

Yo **YOSHELYN LEYLA VALENTÍN MELGAREJO**, identificado con DNI N° 73626687, estudiante del programa de **Ingeniería Civil** de la Universidad César Vallejo, con la tesis titulada: **“Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019.”**

### **Declaro bajo juramento que:**

La Tesis es de mi autoría

He respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.

La tesis no ha sido auto plagiada, es decir, no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.

Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados y por tanto los resultados que se presenten en la tesis se constituirán en aportes a la realidad investigada.

De identificarse la falta de fraude (datos falsos), plagio (información sin citar a autores), autoplagio (presentar como nuevo algún trabajo de investigación propio que ya ha sido publicado), piratería (uso ilegal de información ajena) o falsificación (presentar falsamente las ideas de otros), asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad César Vallejo.



Lima, 9 julio de 2019

**VALENTÍN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA**

**DNI: 73626687**

## ÍNDICE

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento .....	iii
Página del jurado.....	iv
Dedicatoria de autenticidad .....	v
Índice .....	vi
Índice de tablas.....	vii
Índice de figuras.....	ix
RESUMEN .....	xi
ABSTRACT.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Realidad problemática.....	2
1.2. Trabajos previos .....	5
1.3. Marco teórico .....	7
1.4. Formulación del problema.....	24
1.5. Justificación de estudio .....	24
1.6. Hipótesis .....	25
1.7. Objetivo.....	26
II. MÉTODO.....	27
2.1. Diseño, tipo, nivel y enfoque de la investigación .....	28
2.2. Variables, operacionalización.....	29
2.3. Unidad de análisis, población, muestra y muestreo .....	33
2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad.....	34
2.5. Método de análisis de datos.....	35
2.6. Aspectos éticos.....	36
III. RESULTADOS.....	37
IV. DISCUSIÓN .....	79
V. CONCLUSIONES .....	81
VI. RECOMENDACIONES .....	84
REFERENCIAS.....	86
ANEXOS .....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2. Entrada de plaza de armas de Catahuasi .....	5
Figura 1.3. Quebrada de Tupe Catahuasi .....	5
Figura 1.4. Relación del esfuerzo desviador y en el módulo resiliente .....	13
Figura 1.5. Relación del módulo resiliente con el esfuerzo .....	13
Figura 1.6. Módulo resiliente para variaciones en el contenido de humedad .....	14
Figura 1.7. Deformación de la subrasante frente a las capas del pavimento .....	15
Figura 1.8. Forma y duración del pulso de carga que se utiliza en el ensayo de módulo resiliente en laboratorio .....	17
Figura 1.9. Variación del módulo resiliente y el estado de esfuerzos para suelos finos .....	21
Figura 1.10. Relación del módulo resiliente y el esfuerzo desviador en suelos finos .....	21
Figura 1.11. Relación entre el peso unitario seco y el Módulo resiliente .....	22
Figura 1.12. Relación de los estados esfuerzos con la magnitud del módulo resiliente....	23
Figura 1.13. Relación del contenido de finos y el módulo de Rigidez.....	23
Figura 1.14. Relación del módulo resiliente respecto al contenido de humedad .....	24
Figura 1.15. Mapa distrito de Catahuasi .....	41
Figura 1.16. Profundidad calicatas.....	42
Figura 1.17. Numero de calicatas para exploración de suelos .....	42
Figura 1.18. Calicata N°1 .....	43
Figura 1.19. Estratos Calicata N°1 .....	44
Figura 1.20. Calicata N°2 .....	44
Figura 1.21. Estratos Calicata N°2.....	45
Figura 1.22. Calicata N°3 .....	45
Figura 1.23. Estratos Calicata N°3.....	46
Figura 1.24. Muestra C1 – M1 .....	47
Figura 1.25. Muestra C1 – M2.....	48
Figura 1.26. Muestra C1 – M3.....	48
Figura 1.27. Mezcla uniforme.....	48
Figura 1.28. Cuarteto de la muestra .....	49
Figura 1.29. Pesando la muestra .....	49
Figura 1.30. Llevando al horno por 24 horas .....	50
Figura 1.31. Muestra después del secado al horno.....	50

Figura 1.32. Lavado de las muestras .....	51
Figura 1.33. Muestra llevada al horno.....	51
Figura 1.34. Juego de tamices .....	52
Figura 1.35. Pesada muestra retenida cada tamiz .....	52
Figura 1.36. Curva granulométrica C1-M1 .....	53
Figura 1.37. Curva granulométrica C1-M2.....	54
Figura 1.38. Curva granulométrica C1-M3.....	55
Figura 1.39. Curva granulométrica C2-M1 .....	56
Figura 1.40. Curva granulométrica C2-M2.....	57
Figura 1.41. Curva granulométrica C2-M3.....	58
Figura 1.42. Curva granulométrica C3-M1 .....	59
Figura 1.43. Curva granulométrica C3-M2.....	60
Figura 1.44. Curva granulométrica C3-M3.....	61
Figura 1.45. Tamiz N°40.....	62
Figura 1.46. Capsula copa Casagrande .....	63
Figura 1.47. Horno con muestra en tara .....	64
Figura 1.48. Muestra obtenida de la copa Casagrande .....	65
Figura 1.49. Rollitos de muestra – Límite plástico .....	67
Figura 1.50. Pesado de muestra - LP.....	68
Figura 1.51. Preparación del espécimen.....	71
Figura 1.52. Preparación del espécimen.....	71
Figura 1.53. Especimen inalterado.....	72
Figura 1.54. Cámara triaxial.....	72
Figura 1.55. Colocación membrana de látex y ajuste de pistón.....	73
Figura 1.56. Curva Esfuerzo vs Deformación.....	79
Figura 1.57. Circulo de MOHR.....	79

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1. Frecuencia de carga y tipo de onda utilizada en los protocolos AASHTO en suelos finos .....	11
Tabla 1.2. Estado de esfuerzo en los protocolos AASHTO .....	11
Tabla 1.3. Características del protocolo SHRP P46 .....	12
Tabla 1.4. Secuencia de carga SHRP P46 .....	12
Tabla 1.5. Modelos para encontrar el Mr a partir de correlaciones con el CBR según AASHTO .....	16
Tabla 1.6. Resumen población, muestra y unidad de análisis .....	34
Tabla 1.7. Resumen de muestras .....	43
Tabla 1.8 Serie de tamices según ASTM 422 .....	44
Tabla 1.9. Pesos retenidos granulometría muestra C1-M1 .....	50
Tabla 1.10. Pesos retenidos granulometría muestra C1-M2 .....	51
Tabla 1.11. Pesos retenidos granulometría muestra C1-M3 .....	52
Tabla 1.12. Pesos retenidos granulometría muestra C2-M1 .....	53
Tabla 1.13. Pesos retenidos granulometría muestra C2-M2 .....	54
Tabla 1.14. Pesos retenidos granulometría muestra C2-M3 .....	55
Tabla 1.15. Pesos retenidos granulometría muestra C3-M1 .....	56
Tabla 1.16. Pesos retenidos granulometría muestra C3-M2 .....	78
Tabla 1.17. Pesos retenidos granulometría muestra C3-M3 .....	78
Tabla 1.18. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C1-M1 .....	62
Tabla 1.19. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C1-M2 .....	62
Tabla 1.20. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C1-M3 .....	62
Tabla 1.21. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C2-M1 .....	63
Tabla 1.22. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C2-M2 .....	63
Tabla 1.23. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C2-M3 .....	63
Tabla 1.24. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C3-M1 .....	63
Tabla 1.25. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C3-M2 .....	63
Tabla 1.26. Límite líquido ASTM-D4318 muestra C3-M3 .....	64
Tabla 1.27. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C1-M1 .....	65
Tabla 1.28. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C1-M2 .....	65
Tabla 1.29. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C1-M3 .....	66

Tabla 1.30. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C2-M1...	66
Tabla 1.31. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C2-M2...	66
Tabla 1.32. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C2-M3...	66
Tabla 1.33. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C3-M1...	66
Tabla 1.34. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C3-M2...	67
Tabla 1.35. Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C3-M3...	67
Tabla 1.36. Resultados ensayo triaxial para Esfuerzo efectivo inicial 0.5 kg/cm <sup>2</sup> .....	73
Tabla 1.37. Resultados ensayo triaxial para Esfuerzo efectivo inicial 1 kg/cm <sup>2</sup> ... ..	74
Tabla 1.38. Resultados ensayo triaxial para Esfuerzo efectivo inicial 2 kg/cm <sup>2</sup> ... ..	75
Tabla 1.39 Categorías de la subrasante según el MR... ..	78
Tabla 1.40 Parámetros del suelo... ..	78
Tabla 1.41 Resultados esfuerzo desviador .....	82
Tabla 1.42 Resultados presión de confinamiento.....	83

## RESUMEN

Esta presente investigación tiene como objetivo principal, implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, mediante la aplicación del ensayo triaxial de carga cíclica con la finalidad de calcular los valores del esfuerzo desviador y la deformación recuperable para así poder hallar el módulo resiliente del suelo y con ello poder realizar un diseño óptimo para la subrasante, de igual manera brindar más conocimientos sobre este ensayo, procedimiento y pautas del proceso. También se realizará el análisis granulométrico y ensayos de límite plástico y líquido de las muestras de suelo de Catahuasi. Este estudio se enfoca específicamente en optar el método del cálculo del módulo resiliente por ensayos de laboratorio, dejando de lado los métodos correlacionales de poca fiabilidad.

Palabras claves: Deformación recuperable, esfuerzo desviador Cargas cíclica

## **ABSTRACT**

The main objective of this research is to implement the use of the resilient module test to accurately calculate the dynamic characteristics of the soil as a design for the subgrade in the Catahuasi district, by applying the triaxial cyclic load test in order to calculate the values of the deviating stress and the recoverable deformation in order to find the resilient module of the soil and thus be able to make an optimal design for the subgrade, in the same way provide more knowledge about this test, procedure and process guidelines. The granulometric analysis and plastic and liquid limit tests of the soil samples of Catahuasi will also be carried out. This study focuses specifically on choosing the calculation method of the resilient module by laboratory tests, leaving aside the unreliable correlation methods.

**Keywords:** Recoverable deformation, deviator stress, cyclical loads.

## **I. INTRODUCCIÓN**

## **1.1. Realidad problemática**

En el mundo actualmente las vías de comunicación terrestres son una de las partes más vitales para lograr un desarrollo socioeconómico en cualquier país, por lo que permiten el traslado y la movilización de los pobladores e intercambio de las mercancías entre sí mismos, siendo el pavimentos el material con más importancia, así mismo con el efecto que transmiten cargas del tránsito, el paso del tiempo, el clima, las deficiencias constructivas y la calidad de los materiales usados, conllevan a un deterioro a lo largo del tiempo, por ello el buen estado y funcionalidad de estas es indispensable. En grado a su nivel de deterioro se logran diseñar rehabilitaciones aptas al tipo de reparación que necesitan para de esta forma lograr incrementar el nivel de vida útil del pavimento.

El estado de deterioro de cualquier carretera y la vida útil que pueden llegar a alcanzar independientemente de su diseño depende de muchos factores, entre ellos están el utilizar métodos de diseños más precisos y óptimos para los elementos que componen la estructura del pavimento, en el Perú se emplean métodos empírico-correlacionales según la norma AASHTO 1993 y su actualización del 2002, en los cuales para obtener los espesores de las capas del pavimento se hacen mediante correlaciones y suposiciones empíricas en el cual uno de los principales elementos en el diseño de un pavimento es la capa subrasante, por lo que esta es la capa que recibe el peso de la estructura del pavimento y la transmisiones de cargas vehiculares, en el que se busca calcular y describir el comportamiento del suelo por medio la aplicación de cargas dinámicas, por medio de ecuaciones correlaciones con el Índice de Soporte de California (CBR) AASHTO T-193, método propuesto en el año 1929 por el departamento de carreteras de California, que no representa el verdadero comportamiento cuando se someten a la acción de cargas cíclicas; también existe otro método para calcular los parámetros dinámicos del suelo y este es el ensayo Módulo de Resiliencia AASHTO T 307-99 (Método estándar de prueba para determinar el módulo resiliente).

En el Perú los equipos necesarios para lograr determinar el módulo resiliente son muy costosos, debido a la composición de alta tecnología de estos equipos; por el cual en nuestro país se realizan poco estos ensayos, así mismo debemos de tener en cuenta que

muy pocas instituciones y laboratorios poseen estos equipos, por esta razón es que aún se sigue diseñando las capas del pavimento con métodos tradicionales o con correlaciones por medio del CBR.

Así mismo el distrito de Catahuasi padece de infraestructura vial adecuada, puesto que no cuenta en todos sus sectores con vías pavimentadas y en muchos casos con pavimento deteriorados (ver figura 1.1, 1.2 y 1.3), debido a ello el gobierno local promueve la construcción de vías de comunicación terrestre como caminos y carretera para satisfacer sus necesidades, problemas de traslado y comunicación con un eficiente diseño de pavimentación por medio del uso de las nuevas técnicas más óptimas como el uso del ensayo de módulo resiliente en los suelos, para el diseño de una eficiente subrasante, que con el tiempo no se deteriore y alcance una mayor vida útil para el beneficio de todos los pobladores,

El propósito de este proyecto es implementar el uso del ensayo de módulo resiliente que se calculara en el laboratorio para determinar de forma precisa las características del suelo como método alternativo.



Figura 1.1. Carretera de Yauyos – Distrito Catahuasi



Figura 1.2. Entrada a la plaza de armas de Catahuasi



Figura 1.3. Quebrada Tupe Catahuasi

## 1.2. Trabajos previos

### - Nacionales

- (HERRERA MONTEALEGRE, 2014). En la tesis para obtener el título de ingeniero civil *titulado*, Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios AASHTO 1993 y 2002. **Objetivo** general, En esta tesis se busca describir las características físico-mecánicas en la cual está representada el suelo de fundación para la futura pavimentación del terreno mediante el cálculo del módulo resiliente según los criterios AASHTO 1993 y 2002 cumpliendo el requerimiento en las condiciones dadas.
- (GUTIERREZ LÁZARES, 2007). En la tesis para obtener el grado de magister *titulado*, Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles con Fines de Análisis y Diseño en el Perú, Utilizado en el Diseño de Pavimentos. **Conclusión**, Esta tesis concluye el cálculo del valor del CBR y con este la determinación del módulo resiliente (Mr), en el cual encontramos inconvenientes en su determinación, puesto que tenemos que homogenizar las zonas de estudio, así como otras características para obtener el diseño para optimo posible.
- (OLARTE PINARES, 2015) En la tesis para el grado de maestro *titulado*, Proceso innovado para determinar el espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos aplicado en la carretera puente Raither – puente Paucartambo. **Conclusión**, Esta tesis concluye que toda ecuación de correlación empírica no es completamente confiable al aplicarla en lugares de condiciones similares, lo que en resumen indica que es confiable aplicarla en la zona de donde procede dicho estudio, pero poco confiable al extrapolarla y pretender aplicarla en zonas parecidas.

### - Internacionales

- (LEAL NORIEGA, 2010). En la tesis de pregrado *titulado*, Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocálculo y el encontrado en ensayos de

laboratorio. **Objetivo** general, Es el determinar los factores de ajuste para relacionar las características que se obtienen por el módulo resiliente calculado por ensayos de laboratorio y el hallado por ecuaciones correlacionales, en el cual existen diferentes factores que influyen, entre los más importantes factores son la temperatura y la humedad.

- (AYALA VELASCO, 2013). En la tesis para la obtención del título de ingeniero civil **titulado**, Acondicionamiento de un equipo Triaxial cíclico para la Estimación de Módulo Resiliente, utilizado en el diseño de pavimentos. **Objetivo** general, El objetivo de este presente trabajo es el de acondicionar el equipo triaxial con el fin de brindar los resultados para calcular el diseño de las capas de los pavimentos tales como la base, sub-base y subrasante las cuales son de vital importancia para un óptimo diseño.
- (ROJAS QUINTERO, 2015). Tesis de posgrado **titulado**, Evaluación del módulo resiliente y deformación permanente en material arcilloso con presencia de material friccionante. **Conclusión**, Esta tesis concluye que al evaluar la deformación permanente y el MR por medio de deformímetros longitudinales, varían sus magnitudes de respuesta en un 30%, en el cual recomiendan implementar el uso de estos, por lo que genera menor variación en los rangos de módulo y valores de deformación del suelo.
- (FERNANDEZ PAUCAR, y otros, 2012) Tesis para optar el título de ingeniero civil. **titulado**, Correlación y fundamentos de utilización del módulo de reacción en el diseño de pavimentos rígidos, en función de los ensayos de cbr, dcp y ensayo dinámico de carga, con aplicación práctica en la vía saludo-lenta en el tramo de las abscisas 50+000 a la 55+000. **Conclusión**, Se concluyó que al utilizar correlaciones con el CBR y ensayo de laboratorio para calcular el módulo resiliente del suelo, este valor puede variar, puesto que se debe tomar en cuenta los factores de las ecuaciones correlacionales con las especificaciones del lugar a aplicar.

- (COSTA JEFFREY, 2013). Tesis para optar el título de ingeniero civil. **titulado**, Cyclic loading of soils: a study of resilient modulus and cyclic liquefaction. **Conclusión**, Se logró caracterizar los módulos resilientes de una mezcla RAP / agregada muestreada de la capa de subbase de la calzada existente a lo largo de un segmento de la Ruta 165 en Rhode Island.
  
- (AMIR SHAJARATI Y OTROS, 2012). Tesis para optar el grado de magister en ingeniería estructural. **titulado**, Behaviour of cohesionless soil during cyclic loading. **Objetivo**, El objetivo de esta tesis de maestría fue investigar el comportamiento de los suelos sin cohesión cuando se los somete al ensayo de carga cíclica.
  
- (GANNA SUPRUNENKO, 2012). Tesis para optar el grado de ingeniero civil. **titulado**, Suction-controlled cyclic triaxial test to measure straindependent dynamic shear modulus of unsaturated sand. **Conclusión**, Se concluyó que para suelos secos, saturados e insaturados que cuando se aumenta de la presión de confinamiento incrementa el módulo de corte.

### 1.3. Marco Teórico

#### - La Subrasante

Según (CASTILLO AMAYA, y otros, 2017 pág. 54) indica que: La subrasante es la capa más importante en el diseño de un pavimento puesto que esta es la capa que soporta todas las cargas transmitidas por el paso de los vehículos, así mismo se idearon ensayos para caracterizar a los suelos tales como el CBR y Módulo de Resiliencia (Mr)

#### - El módulo resiliente

Se basa en representar las propiedades y características de la subrasante como:

- Granulometría
- Comportamiento Esfuerzo-deformación
- Susceptibilidad a las variaciones de temperatura
- Plasticidad
- Clasificación de suelos
- Resistencia al corte
- Drenaje

El módulo resiliente se define como la magnitud del esfuerzo desviador repetido en compresión triaxial entre la deformación axial recuperable como podemos observar en la siguiente expresión:

$$M_r = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{\epsilon_r} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

$\sigma_1$ : Esfuerzo principal mayor

$\sigma_3$ : Esfuerzo principal menor

$\sigma_d$  : Esfuerzo desviador

$\epsilon_r$  : Deformación recuperable

## - Norma y manuales de diseño

### • Manual de carreteras Suelos, geología, geotecnia y pavimentos.

El (MANUAL DE CARRETERAS, 2013) Nos indica que: para determinar las características físico-mecánicas de los materiales que componen la subrasante se aplican calicatas como una profundidad mínima de 1.5 m, en el cual el número mínimo de calicatas para una carretera de segunda clase con un IMDA entre 2000-401 veh/día es de 3 calicatas por kilómetro.

Las calicatas a realizar se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada, a distancias aproximadamente iguales entre sí. Para carreteras de segunda clase con un IMDA entre 2000-401 veh/día según el manual solo es necesario realizar un ensayo CBR cada 1.5 km, en el cual solo exige el uso del ensayo de MR para autopistas y carreteras duales o multicarriles.

#### A) Registros de excavación

De los estratos obtenidos en cada una de las calicatas realizadas siendo estas muestras representativas, en las que se describirán e identificarán mediante una tarjeta de la calicata, número de muestra y profundidad, para luego ser colocadas en bolsas de polietileno para su posterior traslado al laboratorio de mecánica de suelos.

### • Reglamento Nacional de edificaciones E-050 (Suelos y cimentaciones).

La situación legal del terreno.

En el cual para la identificación y descripción de los suelos (Procedimiento manual – visual) se aplicará según la norma **NTP 339.150 (ASTM D 2488)** “Práctica estándar recomendada para la identificación y descripción de suelos”.

#### **Las calicatas**

Así mismo el (REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES E-050) nos aclara sobre las calicatas: Son excavaciones de distintas formas y procesos en el cual nos permiten una observación directa del terreno, así como la recolección de muestras del terreno y poder realizar ensayos in situ, que no requieran confinamiento. Las calicatas y trincheras serán realizadas según la Norma Técnica

Peruana 339.162 (ASTM D 420 “Guía estándar para la caracterización de sitio, propuesta de plan y diseño de construcción”).

### **Perforaciones mecánicas manuales**

Son sondeos en el cual nos describe las características y la localización de las diferentes capas del terreno a distintas profundidades, así como poder extraer muestras de suelo y poder realizar ensayos in situ. En perforación manual la Norma AASHTO recomienda la profundidad hasta 10 metros y para perforación mecánica. Sin limitaciones, ambos tipos de perforaciones tienen las siguientes limitaciones:

- **Según la norma AASHTO “Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes”.**

En el mundo uno de los primeros y principales protocolos para determinar el MR por medio de ensayos fue el **AASHTO T274-82** “Simplificación de la prueba de módulo resiliente de subrasante”, el cual a lo largo del tiempo fue criticado por el tiempo que demora la ensayo, el cual era de 5 horas, así mismo las cargas aplicadas eran muy severas, de tal modo que la muestra podría fallar en la etapa de acondicionamiento, por lo que en el transcurso del tiempo aparecieron nuevas modificaciones: **AASHTO T292-91** “Método estándar de prueba para el módulo resiliente de suelos de subrasante y materiales de base / subbase no tratados”, donde se redujo su tiempo del ensayo ala mitad (2.5 horas). Seguidamente en el año 1992, AASHTO logro optar por el método SHRP P46 “Programa de Investigación de Carreteras Estratégicas” al cual tuvo la nomenclatura de **AASHTO T294-92** “Método estándar de prueba para el módulo resiliente de materiales de base / subbase y suelos de subrasante-Protocolo SHRP P46”. Hasta que finalmente logro actualizarse y se denominó **AASHTO T307-99** “Método estándar de prueba para determinar el módulo elástico de suelos y materiales agregados”, donde se observan las diferencias (ver tabla 1.1), y estados de esfuerzos de cada protocolo (ver figura 1.2).

Tabla 1.1. Frecuencia de carga y tipo de onda utilizada en los protocolos AASHTO en suelos finos

	T-274-82	T-292-91	T-294-94	T-307-99
Señal aplicada	Seno, haversine, rectangular y triangular	Rectangular y triangular	Haversine	Haversine
Duración de la carga (s)	0.1	0.1 a 1.0	0.1	0.1
Duración del ciclo (s)	1.0 a 3.0	1.0 a 3.0	1.0	1.0 a 3.0

Fuente: Norma AASHTO T-274-82, T-292-91, T-294-94 y T-307-99

Tabla 1.2. Estados de esfuerzos en los protocolos AASHTO

Procedimiento de prueba	$\sigma_d$ (kPa)	$\sigma_3$ (kPa)	Número de ciclos
T274-82	7	41, 21, 0	200
	14	41, 21, 0	200
	28	41, 21, 0	200
	55	41, 21, 0	200
	69	41, 21, 0	200
T-292-91	21, 34, 48, 69, 103	21	50
T294-94	14, 28, 41, 55, 69	41	100
	14, 28, 41, 55, 69	21	100
	14, 28, 41, 55, 69	0	100
T307-99	14, 28, 41, 55, 69	41	100
	14, 28, 41, 55, 69	28	100
	14, 28, 41, 55, 69	14	100

Fuente: Norma AASHTO T-274-82, T-292-91, T-294-94 y T-307-99

El protocolo AASHTO T294-92 “Módulo resiliente para materiales de base / subbase granulares sin consolidar y suelo de subrasante” se basó en el método SHRP P46 “Programa de Investigación de Carreteras Estratégicas”, el cual presenta las características siguientes: (ver tabla 1.3 y 1.4)

Tabla 1.3. Características protocolo SHRP P46

Tipo de material	Características	Duración de aplicación de carga	Duración del ciclo	Localización de LVDTs	Espécimen	Método para reconstituir muestras	No de capas del espécimen
I	Menos del 70% pasa la malla 70. 20% máximo de material que pasa la malla 200	0.1 s	1 s	Fuera de la cámara triaxial	15 cm de diámetro	Vibratorio	5
II	Suelos con clasificación A-4, A-5, A-6, A-7, A1-b, A-2 y A-3				7.1 cm de diámetro	Estático	

Fuente: SHRP P46

Tabla 1.4. Secuencia de carga SHRP P46

Secuencia No.	$\sigma_3$ (kPa)	$\sigma_d$ (kPa)	No. de aplicaciones de carga
0*	41.4	27.6	1000
1	41.4	13.8	100
2	41.4	27.6	100
3	41.4	41.4	100
4	41.4	55.2	100
5	41.4	69.0	100
6	20.7	13.8	100
7	20.7	27.6	100
8	20.7	41.4	100
9	20.7	55.2	100
10	20.7	69.0	100
11	0.0	13.8	100
12	0.0	27.6	100
13	0.0	41.4	100
14	0.0	55.6	100
15	0.0	69.0	100

Fuente: SHRP P46

• Factores que influyen en las características dinámicas del suelo y el cálculo del Módulo resiliente

- Esfuerzo desviador

(RAHIM ANTON, y otros, 2005) Indica que: el esfuerzo desviador es el valor obtenido de la diferencia de los esfuerzos principales del suelo. Así mismo el estado de esfuerzos del suelo está relacionado con el número de ciclos de carga como se aprecia en la figura 1.4.

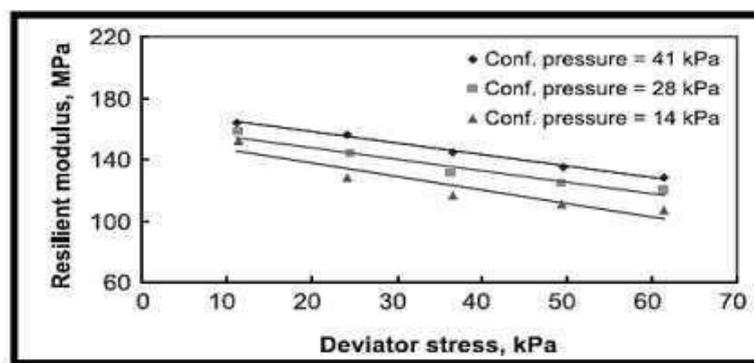


Figura 1.4. Relación del esfuerzo desviador y en el módulo resiliente

En el caso de los materiales granulares, el cual el Módulo resiliente aumenta directamente proporcional a los esfuerzos como podemos observar en la figura 1.5

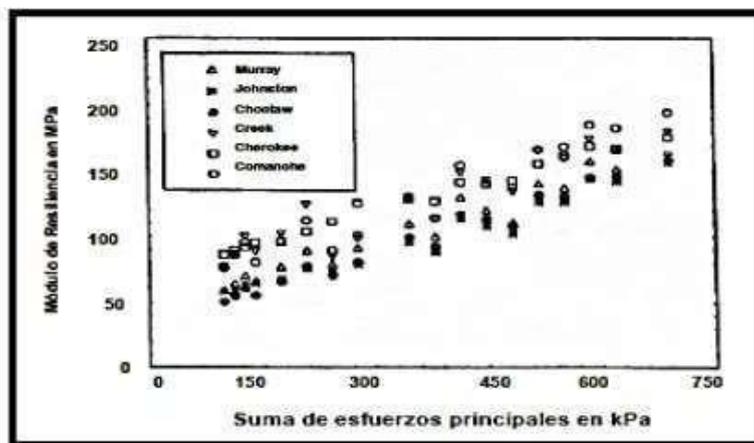


Figura 1.5. Relación del módulo resiliente con el esfuerzo.

- **Contenido de humedad**

(KHOURY ZAMAN, 2006) Indica: en suelos finos de baja permeabilidad, aparece la presión de poro que disminuye los esfuerzos efectivos, así que la deformación permanente incrementa, por lo que a mayor contenido de agua, el Módulo resiliente disminuye.

(ANDREI ET-AL, 2009), indicaron que a porcentajes de humedad dentro del rango de 3 a 5% genera una reducción de módulo que varía de 50 a 70%. De igual manera tiene el mismo efecto en materiales granulares respecto a porcentaje de humedad y el modulo (ver figura 1.6).

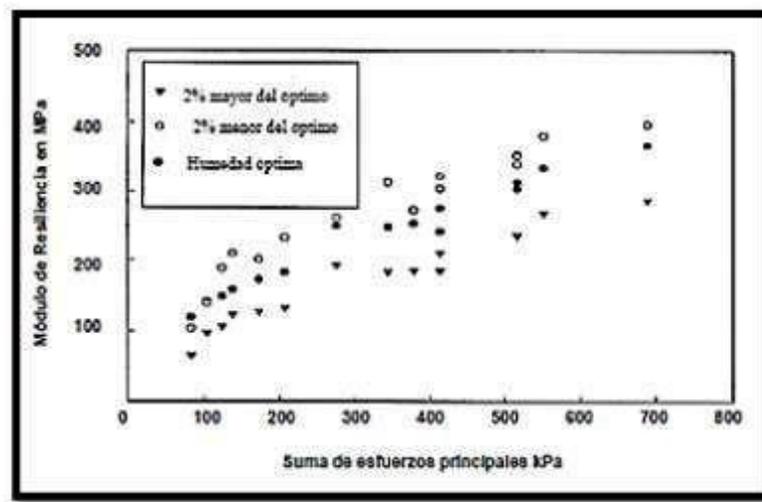


Figura 1.6. Módulo resiliente para variaciones en el contenido de humedad

- **Deformación recuperable**

(Ramsay Ji, 2005) Es aquella que luego de la aplicación de esfuerzos, se deforman, pero si los esfuerzos se van, la deformación se pierde, recuperando el estado original de cuerpo.

- **Deformación permanente**

(GARNICA ANGUAS, y otros, 2007) Nos explica que: Es cuando se produce una deformación por aplicación de esfuerzos, pero luego que estos esfuerzos se retiran, el cuerpo no regresa a su forma original. Las deformaciones que generan las cargas

cíclicas, es de gran importancia con el hecho de no llegar a la fatiga del material. Las mayores deformaciones se generan en la capa de subrasante (ver figura 1.7).

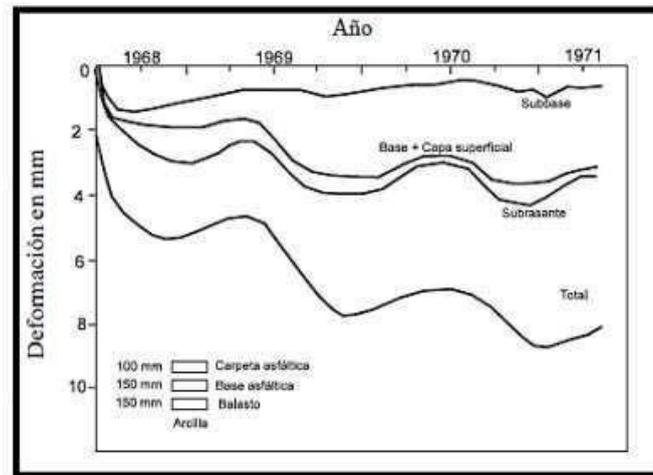


Figura 1.7. Deformación de la subrasante frente a las capas del pavimento

#### - Métodos para calcular el módulo resiliente

Se calcula por modelos empíricos, con correlaciones por medio de resultados con el CBR (California Bearing Ratio) y también por el ensayo AASHTO T 307 Método de ensayo para calcular el módulo resiliente en los suelos de fundación para el diseño de la subrasante en el cual describe la relación entre esfuerzo-deformación que ocurren en el interior de las capas del pavimento por la transmisión de cargas debido al tráfico.

#### - Calculo del módulo resiliente por Correlaciones con el CBR

Tradicionalmente se utilizaban métodos empíricos basados en el CBR como se observa en la tabla 1.5 según AASHTO, en el cual no dependían de los estados que provocan los esfuerzos. Según (Jiménez Acuña, 2009 pág. 18): Este método largo del tiempo se han utilizado hasta que llegaron a desarrollar equipos tecnológicos de laboratorio que logran simular los estados de esfuerzos y deformaciones que se pueden llegar a experimentar cada capa del pavimento diseñado debido a las cargas del tránsito.

Tabla 1.5. Modelos para encontrar el Mr a partir de correlaciones con el CBR según AASHTO

Expresión matemática del modelo (Mr en Psi)	Parámetro	Referencia
$Mr = 1500 \cdot CBR$	CBR < 10%	Método AASHTO 1993
$Mr = 3000 \cdot CBR^{0,65}$	10% < CBR < 20%	Método AASHTO 1993
$Mr = 4326 \cdot \ln CBR + 241$	20% < CBR	Método AASHTO 1993
$Mr = 2555 \cdot CBR^{0,64}$	Para todos los casos	Método AASHTO 2002

Fuente: AASHTO 1993 Y 2002

#### - Cálculo del módulo resiliente por ensayo de laboratorio

Ensayo AASHTO T 307 Método de ensayo para calcular el módulo resiliente en los suelos de fundación para el diseño de la subrasante, en la que simulan las cargas de las ruedas del tráfico que experimentan las capas del pavimento, que las ruedas al moverse y ejercer el peso de carga y descarga aplican un pulso dinámico al pavimento el cual transmite sus cargas a la subrasante.

#### • Conformación del equipo triaxial de carga cíclica

Según (LEAL NORIEGA, 2010 pág. 18) el equipo triaxial de carga cíclica se conforma por:

1. Un marco de carga sobre el que está acoplado un pistón el cual se encarga de su aplicación.
2. Una celda de carga conectada al pistón, requerida para medir la carga aplicada a la muestra.

3. Una cámara triaxial donde se coloca la muestra del material de suelo, la cual ejerce la presión de confinamiento.
4. Un juego de transductores lineales variables diferenciales (LVDT), el cual tiene como objetivo medir la deformación que se generan en la muestra a ensayar, debido a la aplicación de cargas cíclicas ejercidas.
5. Un sistema de adquisición de datos encargado de registrar al detalle la información completa durante la ejecución del ensayo.

• **Pulso de onda por la carga dinámica**

Según la norma (AASHTO-T307) “Método estándar de prueba para determinar el módulo elástico de suelos y materiales agregados”: indica que el pulso que se empleara cuando se aplique la carga dinámica tenga un tiempo total de duración de 1s, en el cual 0.1s en la aplicación de la carga dinámica y 0.9s en un descanso antes de volver a comenzar el siguiente ciclo de carga ejercida (ver figura 1.8).

Se eligió este tipo de pulso de onda debido a que nos representaba de forma más indicada la carga ejercida por un vehículo cuando se mueve sobre el pavimento flexible, así mismo también por lo similar que es al pulso de carga que ejercen los equipos modernos de simulación de cargas empleados para las pruebas no destructivas en laboratorio.

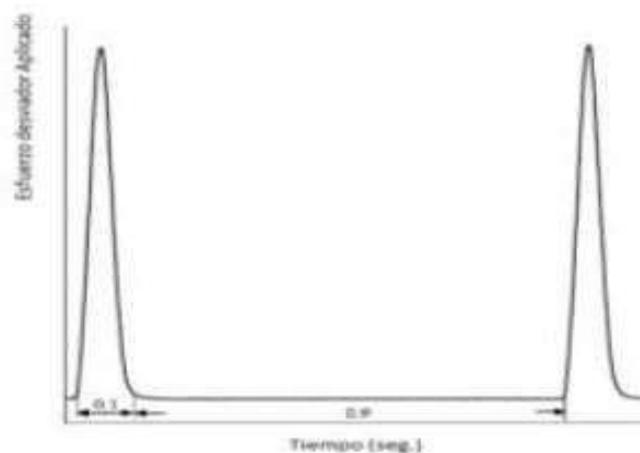


Figura 1.8. Forma y duración del pulso de carga que se utiliza en el ensayo de módulo resiliente en laboratorio.

Puesto que esta prueba se realiza en condiciones drenada en suelos finos y granulares, la aplicación de carga y descarga de forma repetida y relativamente que se ejerce por simulación, puede llevar a una condición no drenada, especialmente en materiales de suelos finos con un nivel bajo de permeabilidad.

- **Descripción del procedimiento de ensayo**

**Etapa 1.**

En esta etapa del ensayo se acondiciona la muestra en la probeta el cual consiste en la aplicación de como mínimo 500 a 1000 ciclos de carga a un confinamiento y esfuerzo desviador ya determinado, para lograr según (LEAL NORIEGA, 2010 pág. 20):

1. Mantener controlada las deformaciones permanentes que aparecen por medio de esfuerzos inducidos, así mismo establecer un comportamiento constante en el valor dado por el módulo resiliente.
2. Acondicionar estableciendo una homogeneidad en el plato superior de carga y la probeta con el pedestal con el fin de lograr una eficiente transmisión de carga.
3. Eliminar cualquier tipo de residuo orgánico que pueda presentar la muestra de suelo a ensayar en laboratorio.

Al termino de los 500 ciclos de carga se verifica si la probeta aún sigue decreciendo en altura, de corroborarse esto, el acondicionamiento se debe extender hasta llegar a los 1000 ciclos de carga antes de proseguir con la 2da etapa del proceso, se debe tener en cuenta que la deformación permanente de la muestra llegue como porcentaje máximo al 5% de la longitud que poseía antes aplicar el ensayo.

**Etapa 2.**

Esta etapa consiste en la aplicación de 100 ciclos de carga de manera independiente durante 15 estados de esfuerzo distintos. Al término de la aplicación de cada uno del estado de esfuerzos de forma independiente se registrará los valores del esfuerzo desviador y de la deformación recuperable para los últimos cinco ciclos en cada secuencia aplicada.

Seguidamente con el registro de estos datos se calculará el valor del módulo resiliente en promedio para los distintos tipos de estado de esfuerzos. Por el cual al finalizar el ensayo se brinda una variedad de valores promedio de módulo resiliente, esfuerzo de confinamiento y esfuerzo desviador con el cual determinaremos así el comportamiento que tiene el material de muestra a partir de un ajuste en el cual intervienen modelos de tipo matemático.

Así mismo los niveles de esfuerzo que se aplican para cada distinta etapa están en función del tipo de material de muestra del ensayo

- **Tipos de materiales para el ensayo**

Según (AASHTO T-307) los materiales para el ensayo de módulo resiliente se pueden clasificar en 2 tipos:

#### Materiales tipo 1

Estos materiales son los de tipo grueso que así mismo no fueron tratados y cuentan con las siguientes características: como máximo el 20% pasa el tamiz No 200 y menos del 70% pasar el tamiz No 10

Los fines comunes de estos materiales son aplicados para capas granulares en los pavimentos, también tienen la clasificación AASTHO A-1, A-1-b, A-2, y A-3.

#### Materiales Tipo 2

En este caso de tipo 2 son los materiales que no cumplen con las especificaciones de los materiales de tipo 1.

Aquí podemos encontrar los materiales arcillosos, como limos, suelos finos, y presentan una clasificación AASHTO A-4, A-5, A-6 y A-7.

- **Tamaño de la muestra**

Según la guía (AASHTO T-307) nos indica que las dimensiones de la muestra que emplearemos en el ensayo triaxial debe estar función del tamaño máximo de las partículas de los materiales usados según clasificación, así:

1. En caso de los materiales tipo 1, la muestra a ensayar en la probeta contara con un diámetro como mínimo veces mayores al diámetro de las partículas de los materiales del suelo a ensayar, la guía AASHTO recomienda el diámetro de las partículas de 150 mm y 300 mm para la subbase.

2. En el caso de los materiales clasificados como tipo 2 nos recomienda utilizar muestras en las probetas de diámetro de 71 mm ya sea al caso de muestras naturales o reacondicionadas en el mismo laboratorio.

Así mismo la guía (AASHTO T-307) “Método estándar de prueba para determinar el módulo elástico de suelos y materiales agregados” nos indica que: las muestras de suelo deben ser conformadas a través de compactación estática o vibratoria utilizando de 3 a 6 capas según el tamaño de la probeta a utilizar.

- **Secuencia del ensayo**

Según el tipo de material se emplea una secuencia de ensayo diferente, en el cual varia en los niveles de esfuerzo que se le aplican a la probeta.

- **Características del módulo resiliente en suelos finos**

Como hemos observado en estudios ya realizados sobre el módulo resiliente, estos parámetros no son propiedades constancia del mismo suelo, por lo que dependen de distintos tipos de factores que influyen en el determinar sus propiedades.

Los factores que más influyen en la determinación del valor del módulo son: el estado de esfuerzos o la condición de carga, su estructura, el suelo, el grado de saturación, el estado físico del suelo y la tixotropía.

A continuación, definiremos algunos de ellos:

1. Condición de Carga o Estado de Esfuerzos

(RICO DEL CASTILLO, 2005) Indica que: El estado de esfuerzos en los suelos finos está influenciado por una variedad de factores como la del esfuerzo desviador, el número de ciclos de carga y la presión de confinamiento como se observa en la figura 1.9.

En los suelos finos utilizados como subrasante en el cual su confinamiento es menos despreciable que el esfuerzo desviador, para lo cual el módulo resiliente tiene una reducción en la magnitud al incrementar el esfuerzo desviador, especialmente en suelos de tipo arcilloso.

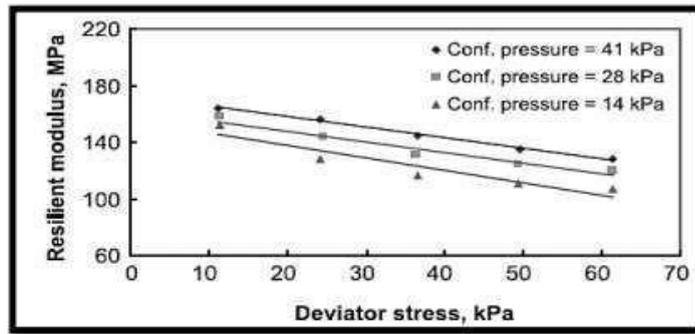


Figura 1.9. Variación del módulo resiliente y el estado de esfuerzos para suelos finos.

## 2. Tipo de Suelo y Estructura

(RICO DEL CASTILLO, 2005) Indica que: en investigaciones anteriormente realizadas nos indican que las estructuras de los suelos se ven influenciados por factores como el esfuerzo de compactación, así como el método de compactación y el contenido de agua, en el cual afectan de forma directa a la hora de la determinación del módulo resiliente en las muestras compactadas en los ensayos de laboratorio.

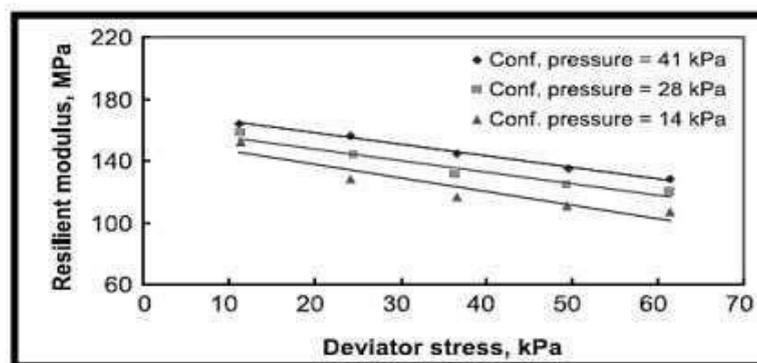


Figura 1.10. Relación del módulo resiliente y el esfuerzo desviador en suelos finos

### 3. Estado Físico del Suelo

Según (LEAL NORIEGA, 2010 pág. 22): El estado físico del suelo está caracterizado por el contenido de humedad y su peso unitario seco (ver figura 1.11), en el cual estos factores sirven para generar de forma más óptima las curvas de compactación según el tipo de suelo estudiado.

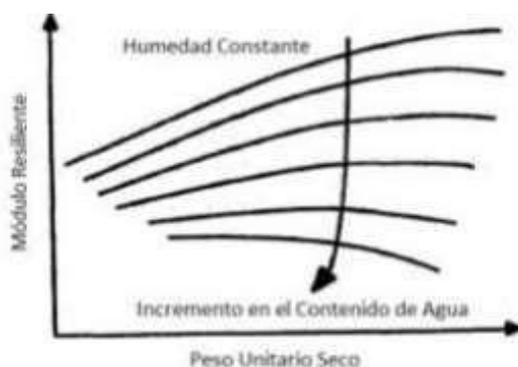


Figura 1.11. Relación entre el peso unitario seco y el Módulo resiliente.

#### - Características del módulo resiliente en suelos granulares

Los materiales granulares de igual forma como los suelos finos también son afectados en la determinación de propiedades del módulo por un conjunto de factores que influyen en su comportamiento, entre ellos tenemos:

### 4. Presión de Confinamiento y Estado de Esfuerzos

Podemos observar una directa dependencia en el valor del módulo respecto al estado de esfuerzos del suelo al que se someten, primordialmente con la presión de confinamiento que ejerce en el interior de las capas del pavimento.

(LEKARP ISACSSON, 2007): Han demostrado en estudios que el módulo resiliente en materiales granulares mantiene una relación del estado de esfuerzos del suelo con la presión de confinamiento (ver figura 1.12).

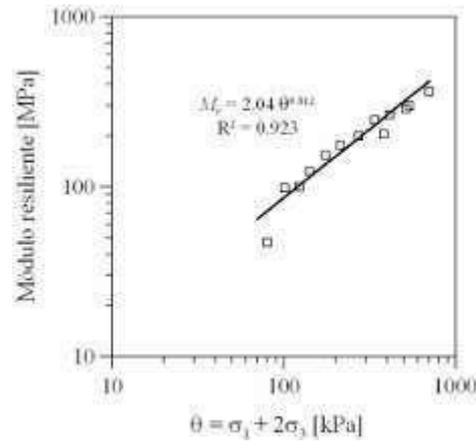


Figura 1.12. Relación de los estados esfuerzos con la magnitud del módulo resiliente.

5. Contenido de finos

(TUTUMLUER EROL, 2003): indican que el contenido de finos que tiene un material granular con lleva a su disminución de la rigidez, afectando las propiedades resilientes cuando se le aplica la carga axial dinámica al pavimento (ver figura 1.13).

(MAGNUSDOTTIR ERLINGSSON, 2002): Concluye que se obtuvo una disminución considerable en el valor del módulo después se excedió de un 7.2% a un 13.2% en el contenido de materiales finos.

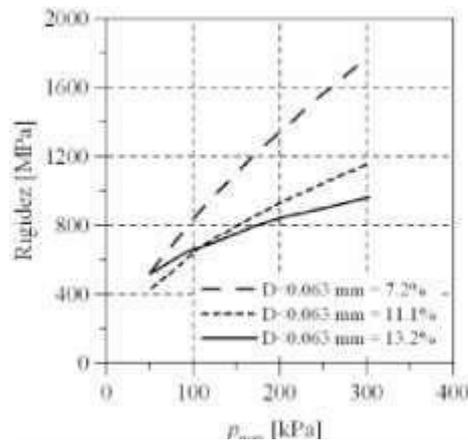


Figura 1.13. Relación del contenido de finos y el módulo de Rigidez

## 6. Contenido de agua

(TONG LI, y otros, 2005) Nos indican que el valor de Módulo resiliente lograba disminuirse cuando se aumentaba el porcentaje de contenido de agua de la muestra de suelo, sobre pasando su valor ideal.

Como indica el investigador citado podemos concluir que a medida que se eleva el porcentaje de contenido de humedad, se reduce el valor del módulo resiliente como se observa en la figura 1.14.

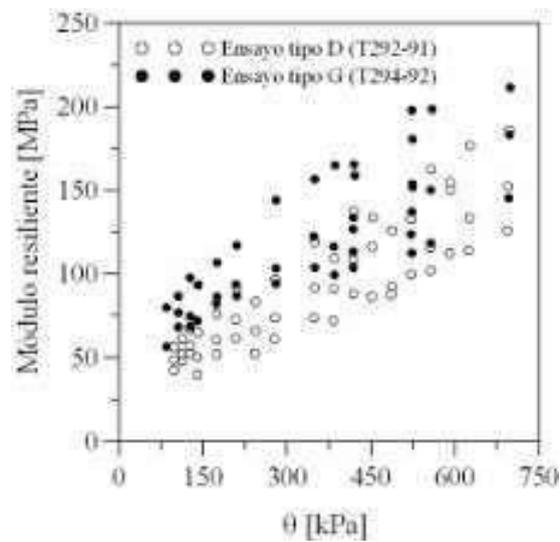


Figura 1.14. Relación del módulo resiliente respecto al contenido de humedad

#### **1.4. Formulación del problema**

Según (BUENO SANCHEZ, 2008 pág. 22) nos indica que: Una de las más importantes partes, considerado también el primer paso para una investigación es la formulación del problema a investigar, siendo esta una adecuada, exigente y eficiente formulación.

##### **- Problema general**

¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?

##### **- Problemas específicos**

¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa el esfuerzo desviador del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?

¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa la deformación recuperable del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?

¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa la presión de confinamiento como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?

#### **1.5. Justificación de estudio**

Según (BEHAR RIVERO, 2008 pág. 27) nos dice que: la justificación de una investigación debe presentar la argumentación precisa y clara del por qué se realiza, en aspectos como por qué y para que se realiza esta investigación.

##### ***Justificación teórica:***

Esta investigación busca generar conocimientos sobre el uso del ensayo de módulo resiliente, así mismo contrastar resultados ya existentes, de esta forma demostrar en nivel de fiabilidad de aplicar este ensayo respecto a métodos empíricos correlaciones comúnmente ya utilizados en el país.

##### ***Justificación Práctica:***

Debido a que en el Perú no se contaba con los equipos necesarios para calcular el valor del módulo resiliente en laboratorio se optaba métodos de diseño empíricos basados en CBR (California Bearing Ratio), a pesar de ello, en los últimos años se han dado y alcanzado cambios en la tecnología de pavimentos, en el cual permiten obtener resultados más confiables debido a métodos innovadores gracias a las nuevas técnicas de construcción y ensayos.

***Justificación metodológica:***

El método para calcular el módulo resiliente por ensayos de laboratorio es validado y de confiabilidad reconocido y optado en muchos países que ya cuentan con los equipos para realizar este ensayo.

***Justificación social:***

Mediante el uso del ensayo de módulo resiliente le pretende diseñar un pavimento más óptimo para el beneficio a la sociedad del distrito de Catahuasi, para una mejor calidad de vida.

## **1.6. Hipótesis**

Según (HERNANDEZ ESCOBAR, 2018 pág. 63) indica que: Toda hipótesis de investigación debe presentar una posible y probable respuesta a los problemas planteados por el autor, de forma realista y clara: "la lluvia es tan intensa que deben recuperarse los acuíferos". En esta proposición podemos apreciar la relación que existe entre la intensidad de la lluvia y la recuperación de los acuíferos.

**- Hipótesis general**

El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

**- Hipótesis específicas**

El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa el esfuerzo desviador del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa la deformación recuperable del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa la presión de confinamiento del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

## **1.7. Objetivo**

Según (RUIZ LIMÓN, 2008 pág. 46) Nos indica que: Los objetivos de investigación es otro punto muy importante para toda investigación científica, puesto que nos permite explicar la finalidad del estudio respecto al tema elegido por el autor para poder obtener nuevos conocimientos.

### **- Objetivo general**

Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

### **- Objetivos específicos**

Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa el esfuerzo desviador del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa la deformación recuperable del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa la presión de confinamiento del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

## II. MÉTODO

## **2. Método**

Según (TAMAYO TAMAYO, 2003 pág. 28) nos precisa que: El método científico busca utilizar métodos y procesos para demostrar nuestras hipótesis planteadas por el autor de la investigación, así como plantear problemas, e instrumentos verificables para la investigación.

Esta presente investigación aplicara el *método científico*, puesto que utilizara procesos para demostrar la hipótesis e instrumentos planteados, las cuales se verificarán y serán comprobados.

### **2.1. Diseño, tipo, nivel y enfoque de investigación**

#### **- Diseño de investigación**

Según (HERNANDEZ SAMPIERI, 2010 pág. 149) indica que: El diseño experimental es la investigación en la cual se manipula de forma intencional las variables o variable independiente.

Según lo mencionado, el diseño de investigación que se utilizara en este presente trabajo es el *diseño experimental*, debido a que hay manipulación deliberada de la variable.

#### **- Tipo de investigación**

Según, (SABINO CAMPOS, 1992 pág. 46) indica que: La investigación de tipo aplicada pretende resolver y explicar de forma realista los problemas planteados por el autor generando así conocimientos en beneficio para la población.

Por ello esta investigación es de *tipo aplicada*, de manera que busca obtener los datos precisos del cálculo del módulo resiliente mediante el uso del ensayo en laboratorio para establecer los parámetros del suelo granular para el diseño óptimo del pavimento, además de favorecer a la comunidad por de Catahuasi mejorando los nuevos diseños de vías por construir.

### **- Nivel de investigación**

(GOMEZ MARCELO, 2010 pág. 36) Indica que la investigación de nivel descriptivo: Consiste en la descripción y observación de las variables en su forma natural con el fin de describir y caracterizar los fenómenos especificados por el autor, identificando los aspectos más importantes orientados a la solución de los problemas planteados por el investigador.

Por lo que el nivel de investigación será de *tipo descriptivo* ya que esta investigación pretende describir las características de las variables.

### **- Enfoque de investigación**

Según (VALDERRAMA MENDOZA, 2013 pág. 106) Nos mencionan que: la investigación de enfoque cuantitativo recolecta datos mediante distintos procesos en el cual se representan por medio de datos estadísticos, numéricos en el cual se puede contrastar la hipótesis planteada.

Por lo que el tipo de investigación para este caso es un **enfoque cuantitativo**, debido a que los datos que obtendremos del ensayo son valores numéricos para análisis y evaluación de datos del módulo resiliente.

## **2.2. Variables, operacionalización**

### **- Variables**

Según, (BUENO SANCHEZ, 2008 pág. 53) indica que: son las propiedades y características a observar o medir respecto a un fenómeno ya definido donde podemos plantear diferentes respuestas para así poder llegar a medir y representar cada una de las variables.

En esta presente investigación sus variables son las siguientes:

- **Ensayo de módulo resiliente (variable independiente)**

**Definición conceptual:**

El ensayo de módulo resiliente brinda la relación establecida entre el esfuerzo y deformación de los materiales empleados que constituyen en el uso y el análisis de las capas en el pavimento flexible. Según: (INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007 pág. 1)

- **Características dinámicas del suelo (Variable dependiente)**

**Definición conceptual:**

Según (DIAZ RODRIGUEZ, 2013): Las propiedades dinámicas del suelo son las que controlan su comportamiento en estado de movimiento sometida diferentes tipos de esfuerzos dinámicos que deforman el suelo.

## MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**TÍTULO:** Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
Ensayo de módulo resiliente	El ensayo de laboratorio recomendado y disponible para determinar el módulo resiliente de materiales granulares es el método triaxial de carga repetida. El material se somete a una serie de pulsos de carga generados por el tránsito de los vehículos sobre el pavimento. Así mismo El ensayo triaxial se aplica con el fin de simular las condiciones en las cuales los pavimentos se ven sometidos.	El ensayo de módulo resiliente es la aplicación de cargas cíclicas por medio de equipos que simulan el tránsito vehicular el cual mide los parámetros del suelo esfuerzo desviador, deformación recuperable y la presión de confinamiento.	Esfuerzo desviador  Deformación recuperable  Presión de confinamiento	Presión  carga axial  Magnitud  Frecuencia	Ensayo triaxial de carga cíclica  Granulometría  Limite plástico  Limite liquido
Características dinámicas del suelo	Las propiedades dinámicas del suelo son las que controlan su comportamiento en estado de movimiento sometida diferentes tipos de esfuerzos dinámicos que deforman el suelo.	Las principales características dinámicas del suelo para diseño de la subrasante son: Evaluadas en términos características de esfuerzo-deformación, y estos son medidos principalmente por medio del ensayo triaxial de cargas cíclicas.	Esfuerzo    Deformación permanente	Expansión  Tiempo  Ambiente	Ensayo triaxial de carga cíclica  Granulometría  Limite plástico  Limite liquido

## **2.3. Unidad de análisis, población, muestra y muestreo**

### **- Unidad de análisis**

La unidad de análisis según (CARRASCO DIAZ, 2006): Es cada unidad que pertenece a la muestra y de igual forma a la población.

Por lo que nuestra unidad de análisis es el suelo granular extraída de la plaza de armas en el distrito de Catahuasi.

### **- Población**

Según el autor (ARIAS FIDIAS, 2006 pág. 81) menciona que: La población en una investigación es una variedad la cual representa un universo que se pretende escoger para su futuro análisis según el investigador.

Por lo ya mencionado en esta investigación la población será 1 m<sup>3</sup> de suelo granular a profundidades de 0 a 1.5 metros de la plaza de armas del distrito de Catahuasi.

### **- Muestra**

Según (HERNANDEZ SAMPIERI, y otros, 2014 pág. 173): La muestra en una investigación representa a un grupo delimitado en el cual se analizarán para poder resolver los problemas planteados por el autor.

En esta investigación la muestra será 3 probetas cilíndricas de suelo granular de la plaza de armas del distrito de Catahuasi a profundidades de 0-0.5 m, 0.5-1.0 m y 1.0-1.5 m en “OM INGENIERIA Y LABORATORIO S.R.L”.

### **- Muestreo**

Según (MONJE ALVAREZ, 2011): Menciona que: El muestreo no probabilístico es la selección de forma intencional por conveniencia del autor en el universo en toda la población.

En esta investigación el muestreo es *no probabilístico*, debido a que se selecciona la muestra de forma conveniente e intencional.

A continuación, se muestra el resumen de la población, muestra y unidad de análisis de esta investigación (ver tabla 1.6).

Tabla 1.6. Resumen Población, muestra y unidad de análisis

Población	Muestra	Unidad de análisis
Por lo ya mencionado en esta investigación la población será 1 m <sup>3</sup> de suelo granular a profundidades de 0 a 1.5 metros de la plaza de armas del distrito de Catahuasi.	La muestra será 3 probetas cilíndricas de suelo granular de la plaza de armas del distrito de Catahuasi a profundidades de 0-0.5 m, 0.5-1.0 m y 1.0-1.5 m en “OM INGENIERIA Y LABORATORIO S.R.L”.	La unidad de análisis es el suelo granular extraída de la plaza de armas en el distrito de Catahuasi

Fuente: Elaboración propia

## 2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

### - Técnica seleccionada

El autor (MINGRONE DE CAMAROTA, 2007 pág. 73) nos indica que: la técnica de El fichaje consiste en la recolección de datos de fuentes confiables de forma directa como en revistas, investigaciones, informes, reportes, etc.

En esta investigación se usará la *técnica del fichaje* para recolección de datos, puesto que el fichaje toma información de fuentes confiables, toma datos directo de ensayos directos de laboratorio confiables.

### - Instrumento de recolección de datos

(VALDERRAMA MENDOZA, 2013 pág. 195): Los instrumentos son los medios por el cual podremos medir y obtener los datos que nos servirán para poder demostrar nuestras hipótesis planteadas.

### **- Instrumento seleccionado**

El instrumento que se usara para esta presente investigación es *El ensayo de carga cíclica*.

### **- Validez**

El autor (CARRASCO DIAZ, 2006 pág. 336) define que: la validez en una investigación científica tiene como objetivo demostrar con veracidad la precisión y autenticidad de los instrumentos el cuales medirán las variables según la finalidad del investigador.

En esta investigación la validez de los instrumentos será validados por la firma del especialista encargado de realizar el ensayo.

### **- Confiabilidad**

Según (HERNANDEZ SAMPIERI, y otros, 2014 pág. 207) nos indica que: La confiabilidad en una investigación busca generar medio verídicos para probar la confiabilidad mediante pruebas o procesos a realizarse en dicha investigación científica.

En esta investigación la confiabilidad será brindada por la correcta calibración y calidad de los instrumentos, así como los ISOS con los que cuente la empresa.

## **2.5. Método de análisis de datos**

Según (MONJE ALVAREZ, 2011 pág. 173) indica que: el método de análisis de datos consiste que en una vez obtenidos los resultados brindados por la medición de los instrumentos, elegir un proceso adecuado y más pertinente según los fines que pretende demostrar el autor de la investigación.

Para nuestro método de análisis en esta presente investigación, se utilizará el ensayo de carga cíclica para obtener la caracterización del suelo para hallar el modulo, así como también identificar la clasificación del suelo, se utilizarán así mismos ensayos de granulometría para el tipo de muestra de suelo.

## **2.6. Aspectos éticos**

El autor (HERNANDEZ MELÉNDEZ, 2006 pág. 38) indica que: toda investigación científica debe contar con sus respectivos aspectos éticos en el cual tome en cuenta el respetar la autoría de investigadores citados, así como la de no perjudicar recursos de la localidad y afectar de forma negativa a la población donde se aplicara la investigación.

La presente investigación cuenta con los aspectos éticos que indica el autor, debido a que respetaremos la procedencia e intimidad de los autores empleados y mencionados en esta investigación; así mismo no se verá afectada la población donde se aplicará el estudio, por el contrario, se brindará una mejor calidad de vida a los pobladores del distrito de Catahuasi.

### **III. RESULTADOS**

### 3.1. Lugar de ubicación del proyecto

El distrito de Catahuasi está ubicado en la provincia de Yauyos, precisamente en la zona. Del sur chico y a una altura de 1,369 m.s.n.m., así mismo este distrito tiene un área de 123.86 km<sup>2</sup>. Sus límites son por el Norte con los distritos de Putinza y Ayauca, por el Sur con los distritos de Caca y Viñac, por el Este con los distritos de Tupe y Putinza y por el Oeste con los distritos de Chocos, Ayauca respectivamente, como se indica en la figura 1.15.



Figura 1.15 Mapa distrito de Catahuasi

### 3.2. Calicatas realizadas

El procedimiento que se llevó para realizar las calicatas se realizaron a cabo siguiendo las especificaciones del Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos en el cual nos indica que las calicatas de deben realizar a una profundidad mínima de 1.5 metros como se aprecia en la figura 1.16.



Figura 1.16 Profundidad calicatas

- **Numero de calicatas**

El número de calicatas que nos indica el Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos está en relación al IMDA (Índice medio diario anual) ver figura 1.17.

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 calicatas x km</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA $\leq$ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 calicata x km</li> </ul>	

Figura 1.17 Numero de calicatas para exploración de suelos

Según los expedientes técnicos del estudio de carreteras para la futura pavimentación del distrito recolectados de la Municipalidad de Catahuasi tenemos que fue clasificada como una carretera de segunda clase con un IMDA entre 401 a 2000 vehículos por día, entonces el mínimo de calicatas para esta carretera es de 3 calicatas por kilómetro para una carretera de 1 calzada con 2 carriles.

Los lugares de recolección de muestra de las 3 calicatas fueron elegidos por ser puntos más transitados y céntricos.

#### Calicata N°1

Ubicado en el Jirón Sánchez Carrión frente al convento de Catahuasi, se excavo a una profundidad de 1.5 metros y se recolecto 3 diferentes muestras, a profundidades de 0.5, 1 y 1.5 metros (ver figura 1.18 y 1.19).



Figura 1.18 Calicata N°1



Figura 1.19 Estratos Calicata N°1

#### Calicata N°2

Ubicado en el Jirón Obregón, se excavo a una profundidad de 1.5 metros y se recolecto 3 diferentes muestras a profundidades de 0.5, 1 y 1.5 metros (ver figura 1.20 y 1.21).



Figura 1.20 Calicata N°1



Figura 1.21 Estratos Calicata N°2

### Calicata N°3

Ubicado en el Jirón Mendoza, se excavo a una profundidad de 1.5 metros y se recolecto 3 diferentes muestras a profundidades de 0.5, 1 y 1.5 metros (ver figura 1.22 y 1.23).



Figura 1.22 Calicata N°3



Figura 1.23 Estratos Calicata N°3

### 3.3. Análisis granulométrico

Este procedimiento se realizó en el laboratorio “OM ingeniería y Laboratorio SRL” el cual se rigió según la norma ASTM D-422 (Método de análisis del tamaño de las partículas de suelo) el cual determina cuantitativamente la distribución de tamaños de las partículas en suelos.

Se realizó el análisis granulométrico a 9 tipos de suelos, obtenidos de 3 lugares en el distrito de Catahuasi a 3 profundidades diferentes como se observa en la tabla 1.7.

Tabla 1.7 Resumen de muestras

Ensayo	Calicata	Profundidad (m)	Muestra
ANALISIS GRANULOMETRICO	CALICATA N°1	0.5	C1 - M1
		1	C1 - M2
		1.5	C1 - M3
	CALICATA N°2	0.5	C2 - M1
		1	C2 - M2
		1.5	C2 - M3
	CALICATA N°3	0.5	C3 - M1
		1	C3 - M2
		1.5	C3 - M3

- Procedimiento del análisis granulométrico según ASTM-422  
Equipos y herramientas:

- Horno de secado
- Balanza de 0.01 gramos de precisión
- Bandeja, cepillo y brocha
- Juego de tamices N°4, N°10, N°20, N°30, N°40, N°60, N°100 y N°200 (según norma ASTM-422) ver tabla 1.8.
- Pipeta y vasijas

Tabla 1.8 Serie de tamices según ASTM 422

3" ( 75.0 mm)	N°4 (4.75 mm)
2" (50.0 mm)	N°10 (2.00 mm)
1½" (37.5 mm)	N°20 (0.850 mm)
1" (25.0 mm)	N°30 (0.600 mm)
¾" (19.0 mm)	N°40 (0.425 mm)
½" (12.5 mm)	N°60 (0.250 mm)
⅜" (9.8 mm)	N°100 (0.150 mm)
¼" (6.3 mm)	N°200 (0.075 mm)

Comenzamos con identificar los tipos de muestras obtenidos en las calicatas como se indica en las figuras 1.24, 1.25 y 1.26.



Figura 1.24 Muestra C1 – M1



Figura 1.25 Muestra C1 – M2



Figura 1.26 Muestra C1 – M3

Pasamos a mezclar cada muestra por separado hasta obtener una mezcla uniforme y homogénea (ver figura 1.26).



Figura 1.27 Mezcla uniforme

Dividir la muestra en 4 partes de igual volumen y solo tomar 2 partes para continuar con el ensayo como se aprecia en la figura 1.28.



Figura 1.28 Cuarteto de la muestra

Llevar a pesar la muestra seleccionada (las 2 partes del cuarteo) ver figura 1.29 y luego llevarla al horno por un tiempo aproximado de 24 horas como se aprecia en la figura 1.30.



Figura 1.29 Pesando la muestra



Figura 1.30 Llevando al horno por 24 horas

Después de secar en el horno esperamos que la muestra se enfríe (ver figura 1.31) y volvemos a pesar la muestra, seguidamente obtenemos el peso de la muestra secada al horno.



Figura 1.31 Muestra después del secado al horno

Pasamos al lavado de las muestras, para ello se utiliza la malla N°200, pipeta y vasijas, luego se hecha la muestra en la malla N°200 teniendo en cuenta que no se pierda partículas mayores a 0.074 mm (diámetro de la malla N°200) ver figura 1.32.



Figura 1.32 Lavado de las muestras

Luego de lavar la muestra de suelo a través de la malla N°200, el material que se retuvo por dicha malla se lleva al horno por un aproximado de 24 horas, seguidamente después de sacado del horno se pasa a enfriar la muestra y así obtenemos el peso lavado y secado al horno (ver figura 1.33).



Figura 1.33 Muestra llevada al horno

La muestra obtenida se pasa a verter por la parte superior del juego de tamices, seguidamente se pasa a sacudir aproximadamente durante 10 a 15 minutos, debemos tener ciertos precaución de cualquier desprendimiento de partículas durante el zarandeo (ver figura 1.34).



Figura 1.34 Juego de tamices

Después del tamizado por el juego de mallas se pasa a pesar el material que se retuvo por cada malla en la balanza (ver figura 1.35).



Figura 1.35 Pesado muestra retenida cada tamiz

Con ello obtenemos los pesos retenidos y acumulados y podemos dibujar la curva granulométrica.

- Granulometría muestra C1-M1 (ver tabla 1.9 y figura 1.36)

Tabla 1.9 Pesos retenidos granulometría muestra C1-M1

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Parcial Retenido (gr)	Peso Parcial Reten. Correg. (gr)	Parcial Retenido (%)	Acumulado Retenido (%)	Acumulado Que Pasa (%)
3"	75.00	0.00		0.00	0.00	100.00
2"	50.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	37.50	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.00	50.70	50.70	4.63	4.63	95.37
3/4"	19.00	9.00	9.00	0.82	5.46	94.54
3/8"	9.500	96.30	96.30	8.80	14.26	85.74
No. 4	4.750	105.00	105.00	9.60	23.85	76.15
No. 10	2.000	128.40	128.40	11.73	35.59	64.41
No. 20	0.850	155.80	155.80	14.24	49.83	50.17
No. 40	0.425	173.60	173.60	15.87	65.69	34.31
No. 60	0.250	159.30	159.30	14.56	80.25	19.75
No. 140	0.105	175.60	175.60	16.05	96.30	3.70
No. 200	0.075	31.20	31.20	2.85	99.15	0.85
Platillo		9.30	493.63	45.11	144.26	-
Total		1094.20	1578.53	100.00	-	-

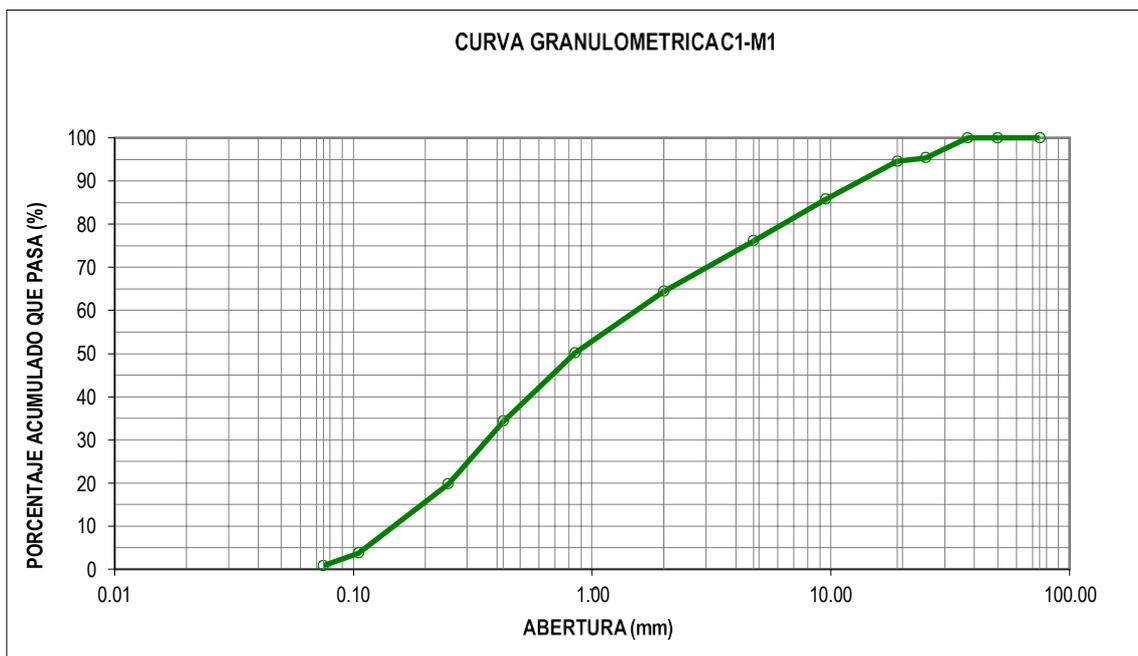


Figura 1.36 Curva granulométrica C1-M1

- Granulometría muestra C1-M2 (ver tabla 1.10 y figura 1.37)

Tabla 1.10 Pesos retenidos granulometría muestra C1-M2

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	87.0
3/4"	19.00	77.8
3/8"	9.500	67.7
No. 4	4.750	58.4
No. 10	2.000	45.6
No. 20	0.850	28.3
No. 40	0.425	8.5
No. 60	0.250	-10.4
No. 100	0.105	-26.2
No. 200	0.075	-29.0

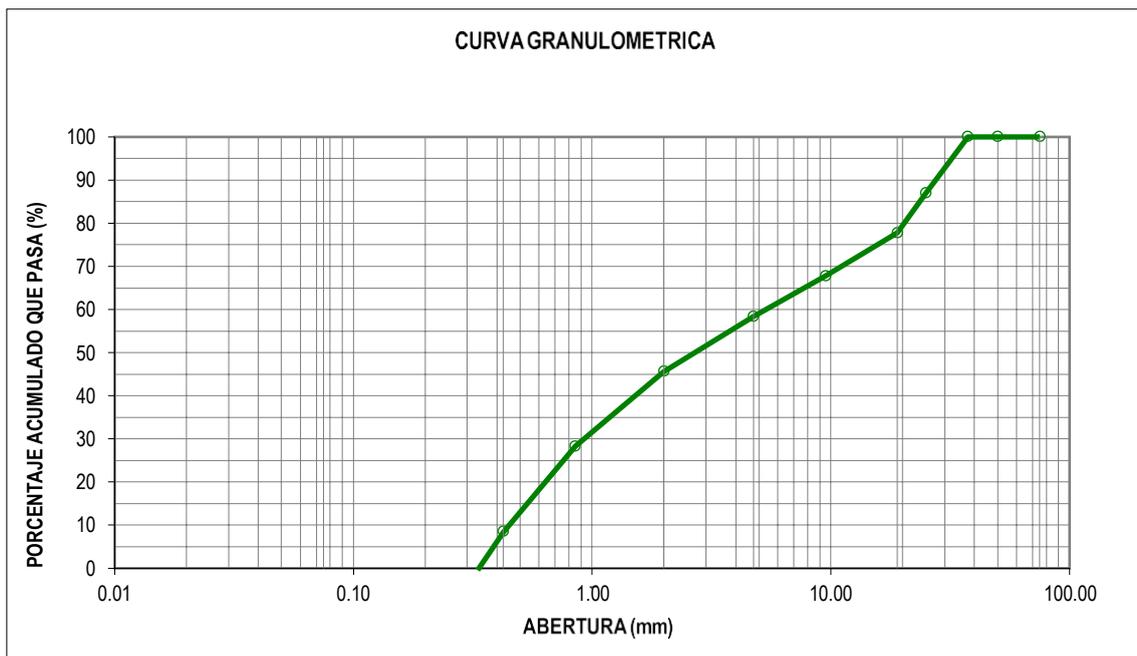


Figura 1.37 Curva granulométrica C1-M2

- Granulometría muestra C1-M3 (ver tabla 1.11 y figura 1.38)

Tabla 1.11 Pesos retenidos granulometría muestra C1-M3

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	94.3
3/8"	9.500	89.7
No. 4	4.750	85.3
No. 10	2.000	80.3
No. 20	0.850	73.0
No. 40	0.425	63.1
No. 60	0.250	51.5
No. 100	0.105	37.3
No. 200	0.075	34.5

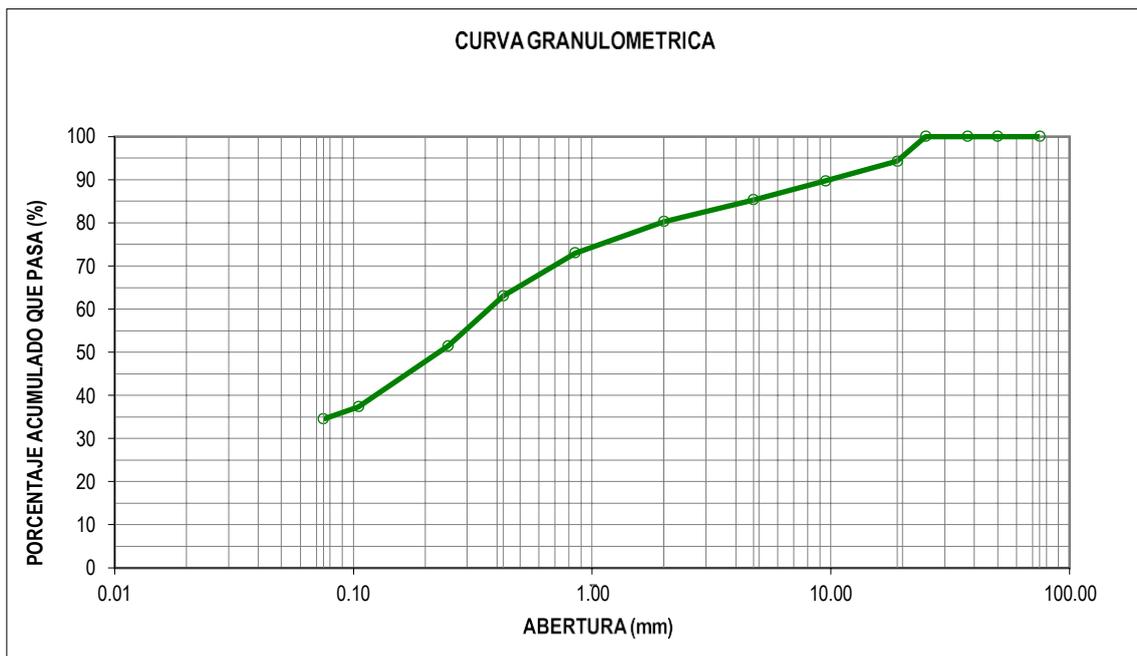


Figura 1.38 Curva granulométrica C1-M3

- Granulometría muestra C2-M1 (ver tabla 1.12 y figura 1.39)

Tabla 1.12 Pesos retenidos granulometría muestra C2-M1

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	96.9
3/4"	19.00	94.1
3/8"	9.500	83.9
No. 4	4.750	78.7
No. 10	2.000	68.3
No. 20	0.850	55.2
No. 40	0.425	41.5
No. 60	0.250	29.1
No. 100	0.105	17.7
No. 200	0.075	15.9

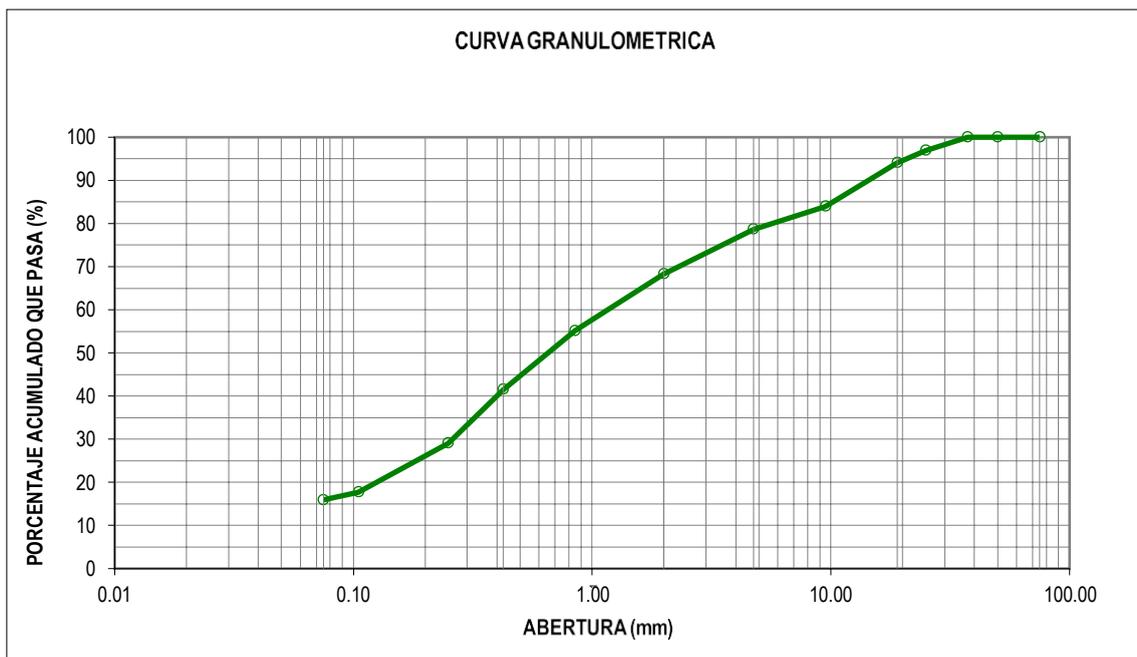


Figura 1.39 Curva granulométrica C2-M1

- Granulometría muestra C2-M2 (ver tabla 1.13 y figura 1.40)

Tabla 1.13 Pesos retenidos granulometría muestra C2-M2

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	96.9
3/8"	9.500	93.5
No. 4	4.750	88.7
No. 10	2.000	81.2
No. 20	0.850	69.6
No. 40	0.425	55.2
No. 60	0.250	38.8
No. 100	0.105	26.7
No. 200	0.075	24.7

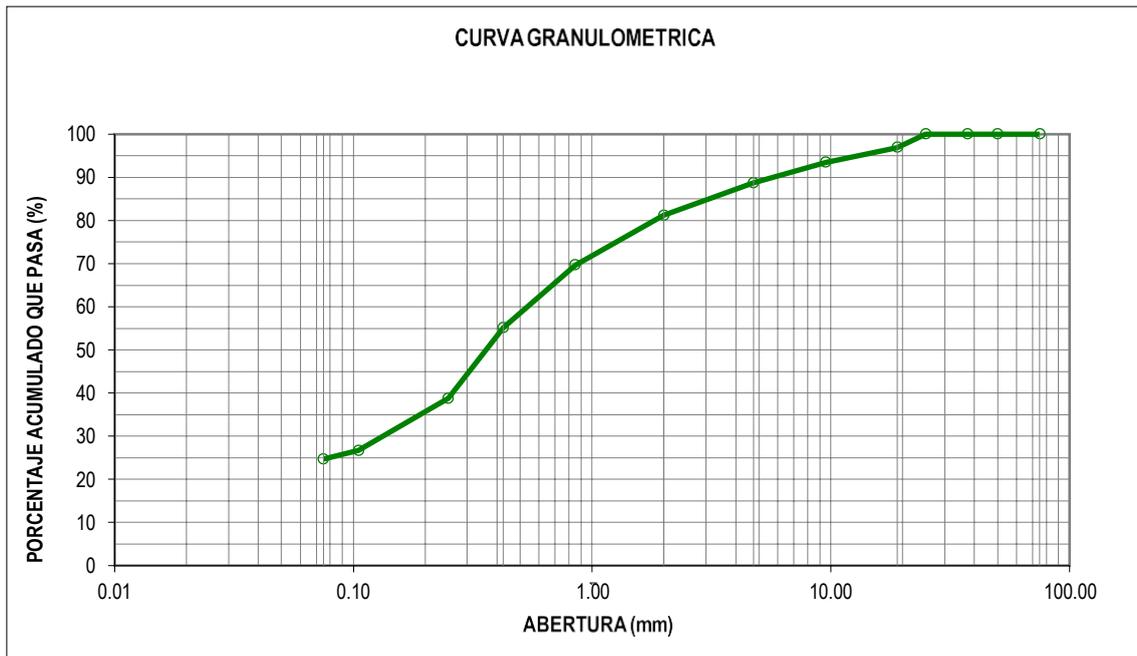


Figura 1.40 Curva granulométrica C2-M2

- Granulometría muestra C2-M3 (ver tabla 1.14 y figura 1.41)

Tabla 1.14 Pesos retenidos granulometría muestra C2-M3

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	98.9
3/8"	9.500	93.2
No. 4	4.750	87.2
No. 10	2.000	77.2
No. 20	0.850	65.2
No. 40	0.425	51.2
No. 60	0.250	38.0
No. 100	0.105	27.5
No. 200	0.075	26.4

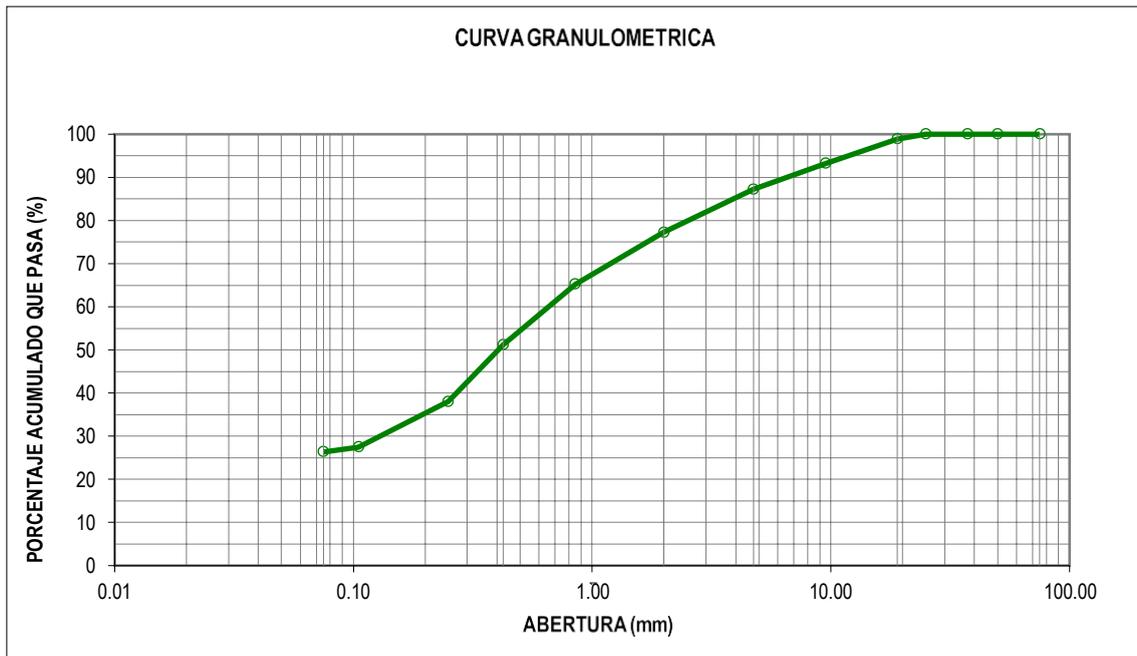


Figura 1.41 Curva granulométrica C2-M3

- Granulometría muestra C3-M1 (ver tabla 1.15 y figura 1.42)

Tabla 1.15 Pesos retenidos granulometría muestra C3-M1

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	96.4
3/4"	19.00	95.7
3/8"	9.500	88.8
No. 4	4.750	81.2
No. 10	2.000	72.0
No. 20	0.850	60.8
No. 40	0.425	48.3
No. 60	0.250	36.8
No. 100	0.105	24.2
No. 200	0.075	21.9

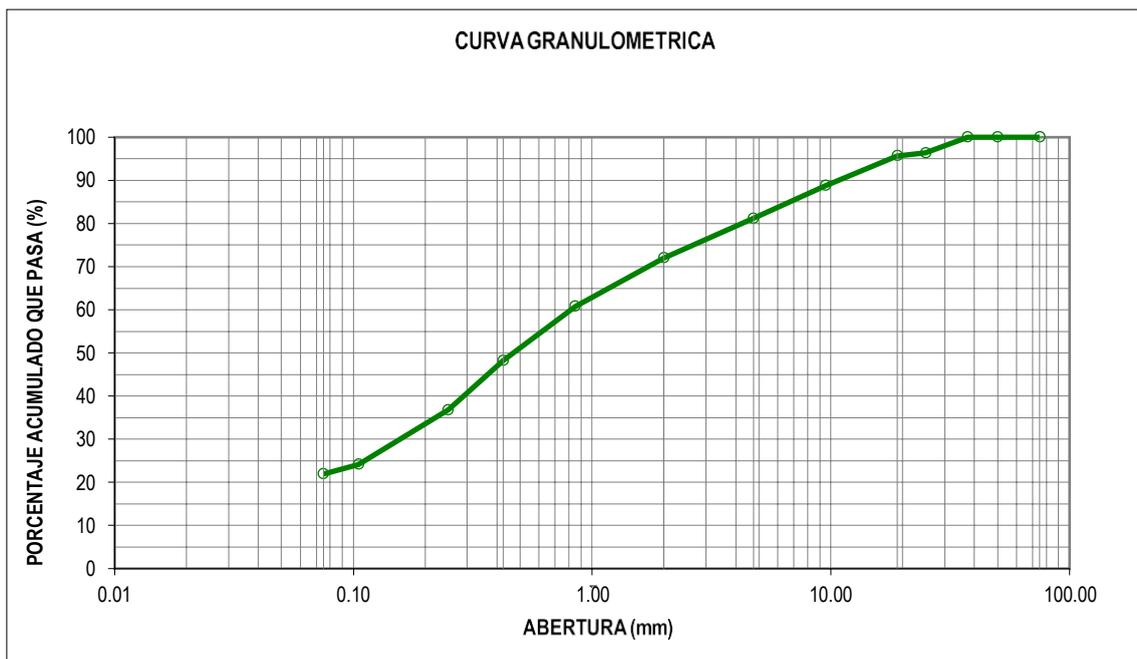


Figura 1.42 Curva granulométrica C3-M1

- Granulometría muestra C3-M2 (ver tabla 1.16 y figura 1.45)

Tabla 1.16 Pesos retenidos granulometría muestra C3-M2

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	97.9
3/4"	19.00	97.2
3/8"	9.500	92.4
No. 4	4.750	88.6
No. 10	2.000	83.7
No. 20	0.850	74.8
No. 40	0.425	60.6
No. 60	0.250	46.3
No. 100	0.105	33.0
No. 200	0.075	30.4

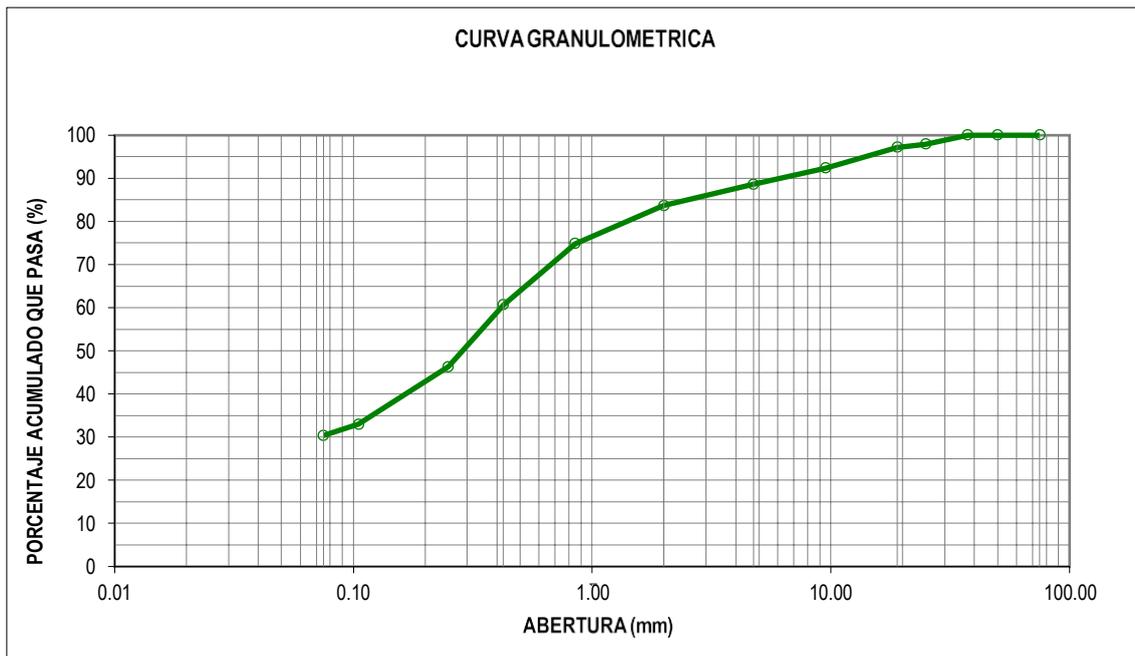


Figura 1.43 Curva granulométrica C3-M2

- Granulometría muestra C3-M3 (ver tabla 1.17 y figura 1.44)

Tabla 1.17 Pesos retenidos granulometría muestra C3-M3

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	98.6
3/4"	19.00	97.8
3/8"	9.500	92.4
No. 4	4.750	87.5
No. 10	2.000	81.8
No. 20	0.850	72.9
No. 40	0.425	60.2
No. 60	0.250	46.1
No. 100	0.105	31.0
No. 200	0.075	28.5

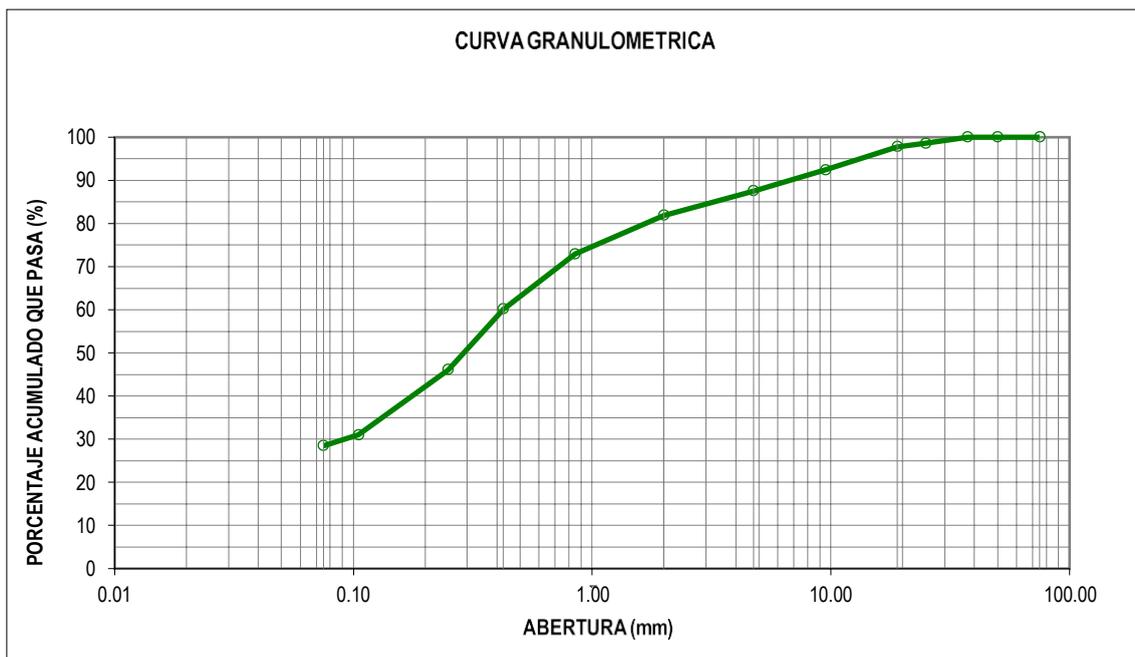


Figura 1.44 Curva granulométrica C3-M3

### 3.4. Límite líquido y límite plástico de las muestras

Este procedimiento se realizó en el laboratorio “OM ingeniería y Laboratorio SRL” el cual se rigió según la norma ASTM D-4318 (Métodos de prueba estándar para el límite de líquido, el límite de plástico y el índice de plasticidad de los suelos) el cual se utiliza para determinar el LL Y LP e identificar el estado húmedo natural del suelo.

Se realizó 9 ensayos de diferentes muestras, obtenidos de 3 lugares en el distrito de Catahuasi.

- Procedimiento para determinar el LL Y LP según ASTM-D4318

Equipos y herramientas:

- Una copa Casagrande
- Horno de secado
- Balanza de 0.01 gramos de precisión
- Bandeja
- Plato de mezcla
- Tamice N°40
- Tara
- Placa de vidrio

Preparación de la muestra:

Se utiliza únicamente el material que pasa por el tamiz N°40 (0.42mm), las partículas que no logran pasar por este tamiz, se pasa a eliminar quedando únicamente solo el material que logro pasar la malla N°40, seguidamente se procede a echar o quitar agua dependiendo si esta sea necesario, hasta obtener un material pastoso semi líquida homogénea (ver figura 1.45).



Figura 1.45 Tamiz N°40

Pesamos una muestra de 300 gramos y añadimos 60.5 ml de agua destilada, seguidamente con esta muestra pasamos a realizar el primer ensayo, luego para el segundo ensayo debemos añadir 5.0 ml de agua destilada teniendo en 65.5 ml, igualmente añadimos 4.0 ml de agua destilada para el tercero y luego 4.0 ml para el cuarto ensayo.

### **Determinación del Límite líquido**

Colocar de 10 a 15 gramos de suelo húmedo en la capsula de Casagrande, dejando liso la superficie con la espátula a una altura de 1 cm, teniendo precaución de no dejar vacíos de aires en la muestra.

Usando el acanador separar el suelo en 2 mitades simétricas, utilizar el eje de la capsula como se aprecia en la figura 1.46.



Figura 1.46 Capsula copa Casagrande

Girar la manivela con una velocidad constante de 2 revoluciones/segundo, continuar girando la manivela hasta lograr que el surco llegue a cerrarse en  $\frac{1}{2}$ " de su longitud, tomar nota del número de golpes que se aplicó, así mismo este tiene que ser menor a 40 golpes.

Mezclar la muestra en la capsula de copa grande con la espátula y volver a repetir los 2 pasos anteriores con el acanador y la manivela, hacer de 2 a 3 veces sobre 25 golpes

Seguidamente debemos tomar una muestra aproximadamente de 5 gramos de muestra en la zona donde se cerró el surco, llevarla a pesar en la balanza con ella determinar el contenido de humedad el cual nos servirá para obtener la gráfica semi logarítmico de humedad y número de golpes, después poner la muestra en el horno para luego llevarla a pesar y obtener el peso del suelo seco.

Para este ensayo tomamos una muestra de suelo de la copa Casagrande para luego llevarla al horno, esta debe permanecer a una temperatura constante de 110 °C y por un tiempo aproximado de 18 a 24 horas (ver 1.47).



Figura 1.47. Horno con muestra en tara

Pasar la muestra de suelo de la capsula de la copa Casagrande al recipiente que contiene la muestra del suelo inicial, debemos continuar mezclando la muestra de suelo con la ayuda de la espátula (ver figura 1.48), seguidamente desmontar la copa Casagrande para su respectiva limpieza y volver a repetir el paso anterior. Debemos repetir esto aproximadamente de 3 a 4 veces hasta llegar al número de golpes de 15 a 20.

De esta manera obtenemos los resultados del límite líquido para todas las muestras como se ven en las tablas 1.18, 1.19, 1.20, 1.21, 1.22, 1.23, 1.24, 1.25 y 1.26.



Figura 1.48 Muestra obtenida de la copa Casagrande

Tabla 1.18 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C1-M1

No golpes		12	21	23	29	34
W recipiente (gr)		11.66	11.79	21.91	14.41	11.72
W recipiente sw (gr)		30.29	32.76	38.63	34.90	32.78
W recipiente s (gr)		27.05	29.35	36.11	31.83	29.68
Humedad (%)		21.05	19.42	17.75	17.62	17.26

Tabla 1.19 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C1-M2

No golpes		12	16	22	27	34
W recipiente (gr)		8.95	8.94	8.85	9.09	8.86
W recipiente sw (gr)		26.42	33.31	30.31	21.22	22.61
W recipiente s (gr)		23.20	28.94	26.67	19.32	20.55
Humedad (%)		22.60	21.85	20.43	18.57	17.62

Tabla 1.20 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C1-M3

No golpes		15	20	21	29	32
W recipiente (gr)		11.68	11.97	23.09	14.24	14.41
W recipiente sw (gr)		29.37	31.20	41.67	28.64	29.73
W recipiente s (gr)		26.60	28.24	38.77	26.57	27.62
Humedad (%)		18.57	18.19	18.49	16.79	15.97

Tabla 1.21 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C2-M1

No golpes	12	16	24	26	32
W recipiente (gr)	11.70	12.07	23.06	25.33	24.00
W recipiente sw (gr)	31.96	29.31	37.42	40.60	41.49
W recipiente s (gr)	28.80	26.63	35.41	38.39	38.66
Humedad (%)	18.48	18.41	16.28	16.92	19.30

Tabla 1.22 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C2-M2

No golpes	12	17	22	28	31
W recipiente (gr)	11.83	11.81	11.87	11.61	11.83
W recipiente sw (gr)	35.41	27.17	36.72	27.61	30.04
W recipiente s (gr)	31.26	24.74	32.84	25.50	27.50
Humedad (%)	21.36	18.79	18.50	15.19	16.21

Tabla 1.23 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C2-M3

No golpes	11	17	24	29	35
W recipiente (gr)	11.75	21.29	22.13	21.27	21.74
W recipiente sw (gr)	30.53	39.09	42.32	37.73	31.09
W recipiente s (gr)	27.22	36.28	39.17	35.15	29.76
Humedad (%)	21.40	18.75	18.49	18.59	16.58

Tabla 1.24 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C3-M1

No golpes	11	18	23	29	31
W recipiente (gr)	11.71	14.43	12.10	11.76	11.97
W recipiente sw (gr)	34.06	31.98	97.47	35.17	31.71
W recipiente s (gr)	30.42	29.35	33.57	31.73	28.96
Humedad (%)	19.45	17.63	297.62	17.23	16.19

Tabla 1.25 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C3-M2

No golpes	10	17	24	25	32
W recipiente (gr)	13.81	8.91	14.50	11.92	14.46
W recipiente sw (gr)	31.81	23.91	30.44	24.49	30.15
W recipiente s (gr)	29.03	21.69	28.20	22.65	29.47
Humedad (%)	18.27	17.37	16.35	17.15	4.53

Tabla 1.26 Límite líquido ASTM-D4318 muestra C3-M3

No golpes		11	16	22	26	32
W recipiente (gr)		8.96	9.22	9.14	8.99	14.39
W recipiente sw (gr)		23.40	18.47	25.19	17.64	43.30
W recipiente s (gr)		21.18	17.05	22.79	16.32	38.65
Humedad (%)		18.17	18.14	17.58	18.01	19.17

### Determinación del Límite plástico

Para ello tomamos la muestra de suelo obtenido que se preparó en el paso anterior, el cual requirió más de 40 golpes para lograr cerrar la ranura con el cual se necesita para empezar este ensayo.

La muestra que se obtuvo que se asimila más al estado plástico debemos adicionarle muestra seca hasta que logre una consistencia al estado plástico, el cual es parecida a la plastilina, debemos tener cuidado que esta muestra no se agriete, así mismo esta no debe contar con muchas grietas.

Con esta muestra preparada en forma de plastilina se pasa a moldear la muestra en forma de rollitos cilíndricos con un diámetro aproximado de 1/8" o 3 mm y una longitud de 5 cm (ver figura 1.49), este paso se realiza sobre sobre una superficie de vidrio lisa.



Figura 1.49 Rollitos de muestra – Límite plástico

Seguidamente los rollitos cilíndricos pasan a ser colocados sobre 2 recipientes para luego ser pesados en una balanza con sensibilidad de 0.1 gramos (ver figura 1.50), luego de este paso pasamos a llevarlo al horno a una temperatura aproximada de 100 a 110 °C, por un tiempo de 24 horas.



Figura 1.50 Pesado de muestra - LP

Luego pasamos a retirar las 2 muestras del horno y volvemos a pesar, con esto logramos determinar el contenido de humedad con las diferencias de pesos de las muestras.

Con ello obtenemos los resultados del límite líquido para todas las muestras como se indican en las tablas 1.27, 1.28, 1.29, 1.30 ,1.31, 1.32, 1.33, 1.34 y 1.35.

Tabla 1.27 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C1-M1

Nº Ensayo		1	2
W recipiente (gr)		11.76	8.94
W recipiente sw (gr)		14.37	11.26
W recipiente s (gr)		14.00	10.93
LP (%)		16.52	16.58
LP promedio (%)		16.55	

Tabla 1.28 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C1-M2

Nº Ensayo		1	2
W recipiente (gr)		9.06	8.88
W recipiente sw (gr)		11.11	10.55
W recipiente s (gr)		10.85	10.30
LP (%)		14.53	17.61
LP promedio (%)		16.07	

Tabla 1.29 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C1-M3

N° Ensayo	1	2
W recipiente (gr)	11.17	11.88
W recipiente sw (gr)	13.43	14.74
W recipiente s (gr)	13.18	14.35
LP (%)	12.44	15.79
LP promedio (%)	14.11	

Tabla 1.30 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C2-M1

N° Ensayo	1	2
W recipiente (gr)	24.03	8.71
W recipiente sw (gr)	25.93	11.18
W recipiente s (gr)	25.68	10.84
LP (%)	15.15	15.96
LP promedio (%)	15.56	

Tabla 1.31 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C2-M2

N° Ensayo	1	2
W recipiente (gr)	11.17	11.88
W recipiente sw (gr)	13.43	14.74
W recipiente s (gr)	13.18	14.35
LP (%)	12.44	15.79
LP promedio (%)	14.11	

Tabla 1.32 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C2-M3

N° Ensayo	1	2
W recipiente (gr)	9.17	9.06
W recipiente sw (gr)	10.51	10.39
W recipiente s (gr)	10.31	10.19
LP (%)	17.54	17.70
LP promedio (%)	17.62	

Tabla 1.33 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C3-M1

N° Ensayo	1	2
W recipiente (gr)	24.57	23.78
W recipiente sw (gr)	26.14	26.45
W recipiente s (gr)	25.88	26.10
LP (%)	19.85	15.09
LP promedio (%)	17.47	

Tabla 1.34 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C3-M2

Nº Ensayo		1	2
W recipiente (gr)		17.82	8.93
W recipiente sw (gr)		19.86	10.83
W recipiente s (gr)		19.58	10.58
LP (%)		15.91	15.15
LP promedio (%)		15.53	

Tabla 1.35 Límite Plástico ASTM-D4318 muestra C3-M3

Nº Ensayo		1	2
W recipiente (gr)		8.92	9.08
W recipiente sw (gr)		10.71	10.55
W recipiente s (gr)		10.47	10.34
LP (%)		15.48	16.67
LP promedio (%)		16.08	

### 3.5. Ensayo triaxial de carga dinámica

Este procedimiento se realizó en el laboratorio “OM ingeniería y Laboratorio SRL” el cual se rigió según la norma ASTM D-5311 (Método de ensayo para resistencia triaxial cíclica de suelos bajo carga controlada) el cual se utiliza para simular las condiciones de esfuerzo y deformación de un elemento del suelo.

Se realizó 3 ensayos de diferentes muestras de suelo del distrito de Catahuasi.

- **Preparación del espécimen y acondicionamiento para el ensayo triaxial de carga dinámica**

Para este caso se obtuvo el espécimen de forma inalterada (ver figura 1.51) cortado a mano de forma cubica como se aprecia en la figura 1.52.



Figura 1.51 Preparación del espécimen



Figura 1.52 Preparación del espécimen

Luego de obtener la muestra inalterada se pasa a acondicionamiento, comenzando con la nivelación del espécimen en forma cilíndrica con medidas de 10 cm de diámetro por 20 cm de altura con una aproximación de 0.01 mm como se aprecia en la figura 1.53, luego pasamos a pesar en balanza de 0.01 gramos de aproximación y registramos los datos, finalmente se almacena los especímenes en una cámara de temperatura controlada.



Figura 1.53 Especimen inalterado

- **Procedimiento de la prueba**

Pasamos a colocar la base de la cámara triaxial encima del marco de cargas. Seguidamente se pasa a poner 2 piedras porosas en los extremo, tanto en la parte inferior del pedestal inferior como en la parte superior del cabezal, ver figura 1.54, así mismo se pone un papel filtro sobre las piedras porosas. Luego se pasa a colocar el espécimen a ensayar.



Figura 1.54 Cámara triaxial

Seguidamente con apoyo del expansor de membranas, pasamos a envolver el espécimen con una membrana de látex para luego sellarlo al pedestal y al cabezal con unos rings u otro tipo de sello, con el fin de evitar que por la elevada presión de la cámara se pueda filtrar agua o en caso extremo se rompa la membrana.

Luego, se pasa a atornillar la placa de cubierta en los pilares de la cámara triaxial, ajustamos el pistón de carga en el cabezal superior, evitando en todo momento dañar el espécimen. Finalmente se pasa a colocar el pistón, con el fin de tener una conexión adecuada con el actuador de carga y la celda, ver figura 1.55.

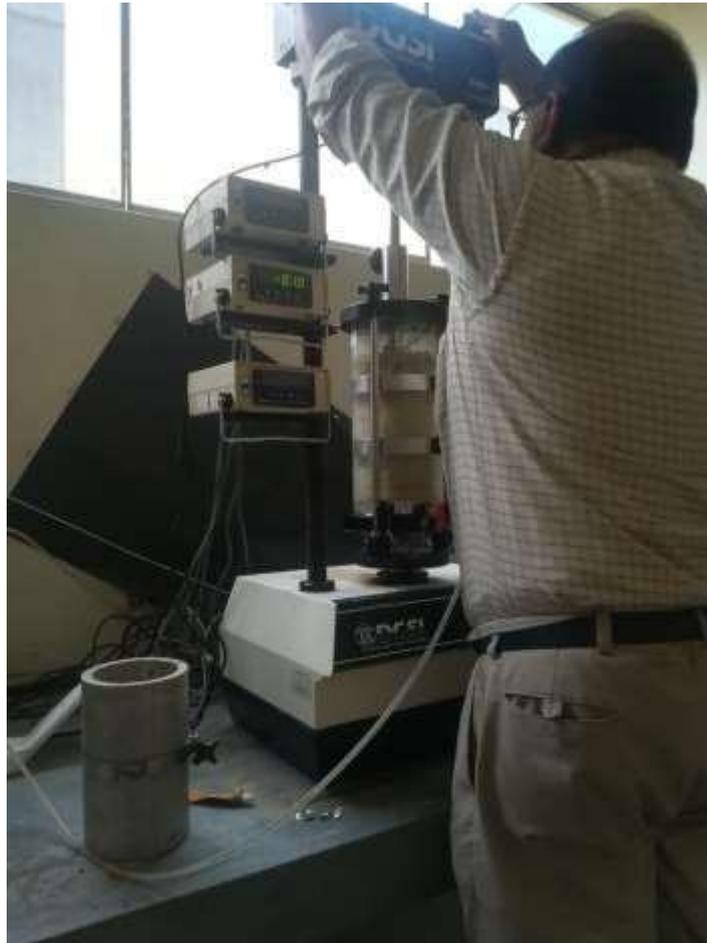


Figura 1.55 Colocación membrana de látex y ajuste de pistón

Por último, se conecta el suministro de presión de aire a la cámara triaxial, teniendo cuidado y previniendo que en todo momento no exista fugas de aire antes comenzar el ensayo. Después de realizar este paso, el espécimen está listo para ser ensayado.

### **Desarrollo del ensayo triaxial dinámico**

La prueba comienza aplicando al espécimen un patrón dinámico de carga senoidal monitoreado y de una amplitud constante. Pasamos a definir el número de ciclos ( $N$ ), la frecuencia de excitación ( $f$ ) y la semiamplitud de la señal ( $SA$ ). Una vez realizado este paso con los resultados pasamos a definir los vectores de carga vs tiempo y desplazamiento vs tiempo (figura1.59). En todo momento el equipo triaxial realiza todos estos pasos por medio de un software en el cual regula la unidad de control y adquisición de datos obtenidos.

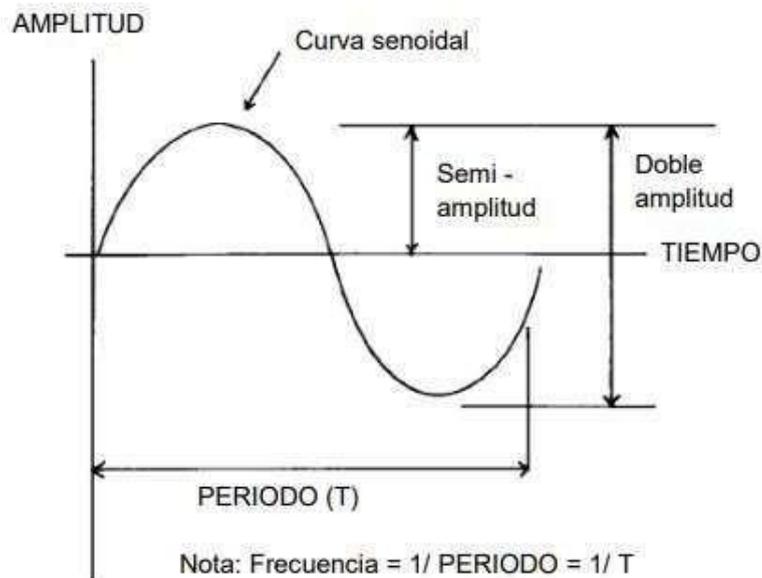


Figura 1.56 Variables relacionadas al ensayo triaxial de carga dinámica

El siguiente paso es una vez la computadora este configurada, teniendo cuidado que no exista ninguna filtración de aire pasamos a ingresar los valores geométricos de la probeta.

Luego, comenzamos la fase de compresión cíclica siguiendo en todo momento la frecuencia de esfuerzos desviadores cíclicos y presiones de confinamiento ya dados. Las configuraciones de esfuerzos que se dio sirven para reproducir el estado de esfuerzos al que se encuentra sometido un elemento de suelo en las distintas capas que componen un pavimento. La secuencia que se sigue para estos esfuerzos se configura para provocar la menor degradación posible de las muestras, puesto que a cada espécimen se le aplica todo el barrido de secuencias, Así mismo el sistema genera un tipo de onda senoidal y la onda de salida se muestra en la pantalla para poder hacer reajustes de las ganancias y asegurar que ambas salidas coincidan durante el proceso completo del ensayo. De esta manera el programa fue configurado para aplicar 100 repeticiones del esfuerzo desviador a una frecuencia de 1 Hz para cada una de las secuencias. Para esto se aplican esfuerzos controlados, y la computadora registra los datos obtenidos por cada 100 puntos por ciclo.

Una vez terminado el ciclo de secuencias de carga, reducimos el nivel de presión de confinamiento a cero y pasamos al desmontaje de la cámara triaxial. Primero desmontamos la probeta, verificamos el estado del espécimen visualmente y anotamos las características correspondientes. Finalmente separamos las capas de la probeta y determinamos los contenidos de humedad de cada capa.

Condiciones iniciales del espécimen 1:

- Altura: 20 cm
- Diámetro: 10 cm
- Peso de la muestra: 3038.2 gr
- Humedad: 6.9 %
- Densidad seca: 1.81 gr/cm<sup>3</sup>

Condiciones iniciales del espécimen 2:

- Altura: 20 cm
- Diámetro: 10 cm
- Peso de la muestra: 3037.1 gr
- Humedad: 6.9 %
- Densidad seca: 1.80 gr/cm<sup>3</sup>

Condiciones iniciales del espécimen 1:

- Altura: 20 cm
- Diámetro: 10 cm
- Peso de la muestra: 3038.2 gr
- Humedad: 6.9 %
- Densidad seca: 1.81 gr/cm<sup>3</sup>

Datos del ensayo:

- Parámetro de saturación B: 95%
- Presión de celda: 0.5 kg/cm<sup>2</sup>
- Contrapresión: 2 kg/cm<sup>2</sup>
- Esfuerzo efectivo inicial:
  - 0.5 kg/cm<sup>2</sup>
  - 1 kg/cm<sup>2</sup>
  - 2 kg/cm<sup>2</sup>

En la siguiente tabla 1.36 podemos apreciar los valores de los resultados del primer ensayo donde se le aplico un esfuerzo efectivo de 0.5 kg/cm<sup>2</sup>:

Tabla 1.36 Resultados ensayo triaxial para Esfuerzo efectivo inicial 0.5 kg/cm<sup>2</sup>

Anillo Carga (KN)	Deformación (%)	Esfuerzo Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	(s1) (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.0	0.0	0.5
0.089	0.1	0.1	0.6
0.178	0.2	0.2	0.7
0.267	0.3	0.3	0.8
0.356	0.4	0.5	1.0
0.445	0.5	0.6	1.1
0.534	0.6	0.7	1.2
0.6052	0.7	0.8	1.3
0.6141	0.8	0.8	1.3
0.712	0.9	0.9	1.4
0.7387	1.0	1.0	1.5
0.89	1.5	1.1	1.6
1.068	2.0	1.4	1.9
1.157	2.5	1.5	2.0
1.2905	3.0	1.6	2.1
1.4685	4.0	1.8	2.3
1.6465	5.0	2.0	2.5
1.8245	6.0	2.2	2.7
1.9135	7.0	2.3	2.8
2.047	8.0	2.4	2.9
2.136	9.0	2.5	3.0
2.225	10.0	2.6	3.1
2.314	11.0	2.7	3.2
2.403	12.0	2.7	3.2
2.492	13.0	2.8	3.3
2.492	14.0	2.8	3.3
2.492	15.0	2.8	3.3

Interpretación:

- Para una aplicación de un esfuerzo efectivo de 0.5 kg/cm<sup>2</sup> como observamos en la tabla 1.39 y una deformación del 15% del espécimen se logró aplicar un anillo de carga máxima de 2.492 KN y logrando un esfuerzo desviador de 2.8 kg/cm<sup>2</sup> y una presión de confinamiento de 3.3 kg/cm<sup>2</sup>.

En la siguiente tabla 1.37 podemos apreciar los valores de los resultados del segundo ensayo donde se le aplico un esfuerzo efectivo de 1 kg/cm<sup>2</sup>:

Tabla 1.37 Resultados ensayo triaxial para Esfuerzo efectivo inicial 1 kg/cm<sup>2</sup>

Anillo Carga (KN)	Deformación (%)	Esfuerzo Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	(s1) (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.0	0.0	1.0
0.19	0.1	0.2	1.2
0.3325	0.2	0.4	1.4
0.475	0.3	0.6	1.6
0.589	0.4	0.8	1.8
0.7125	0.5	0.9	1.9
0.798	0.6	1.0	2.0
0.9025	0.7	1.2	2.2
0.969	0.8	1.2	2.2
1.0545	0.9	1.4	2.4
1.1305	1.0	1.5	2.5
1.4915	1.5	1.9	2.9
1.8525	2.0	2.4	3.4
2.185	2.5	2.8	3.8
2.4605	3.0	3.1	4.1
2.907	4.0	3.6	4.6
3.306	5.0	4.1	5.1
3.629	6.0	4.4	5.4
3.952	7.0	4.8	5.8
4.199	8.0	5.0	6.0
4.484	9.0	5.3	6.3
4.7025	10.0	5.5	6.5
4.9115	11.0	5.7	6.7
5.073	12.0	5.8	6.8
5.2155	13.0	5.9	6.9
5.2345	14.0	5.8	6.8
5.2535	15.0	5.8	6.8

Interpretación:

- Para una aplicación de un esfuerzo efectivo de 1.0 kg/cm<sup>2</sup> como observamos en la tabla 1.39 y una deformación del 15% del espécimen se logró aplicar un anillo de carga máxima de 5.2535 KN y logrando un esfuerzo desviador de 5.8 kg/cm<sup>2</sup> y una presión de confinamiento de 6.8 kg/cm<sup>2</sup>.

En la siguiente tabla 1.38 podemos apreciar los valores de los resultados del tercer ensayo donde se le aplico un esfuerzo efectivo de 2 kg/cm<sup>2</sup>:

Tabla 1.38 Resultados ensayo triaxial para Esfuerzo efectivo inicial 2 kg/cm<sup>2</sup>

Anillo Carga (KN)	Deformación (%)	Esfuerzo Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	(s1) (kg/cm <sup>2</sup> )
0	0.0	0.0	2.0
0.6555	0.1	0.8	2.8
0.8835	0.2	1.1	3.1
1.045	0.3	1.4	3.4
1.235	0.4	1.6	3.6
1.387	0.5	1.8	3.8
1.558	0.6	2.0	4.0
1.729	0.7	2.2	4.2
1.881	0.8	2.4	4.4
2.0425	0.9	2.6	4.6
2.1945	1.0	2.8	4.8
2.8025	1.5	3.6	5.6
3.401	2.0	4.3	6.3
3.99	2.5	5.0	7.0
4.4935	3.0	5.7	7.7
5.472	4.0	6.8	8.8
6.213	5.0	7.7	9.7
6.954	6.0	8.5	10.5
7.543	7.0	9.1	11.1
8.075	8.0	9.6	11.6
8.55	9.0	10.1	12.1
8.911	10.0	10.4	12.4
9.215	11.0	10.6	12.6
9.424	12.0	10.8	12.8
9.595	13.0	10.8	12.8
9.69	14.0	10.8	12.8
9.69	15.0	10.7	12.7

Interpretación:

- Para una aplicación de un esfuerzo efectivo de 2.0 kg/cm<sup>2</sup> como observamos en la tabla y una deformación del 15% del espécimen se logró aplicar un anillo de carga máxima de 9.69 KN y logrando un esfuerzo desviador de 10.7 kg/cm<sup>2</sup> y una presión de confinamiento de 12.7 kg/cm<sup>2</sup>

- Según los datos obtenidos por el ensayo triaxial podemos dibujar la curva de esfuerzo vs deformación y el círculo de MORH para los esfuerzos efectivos iniciales de 0.5, 1 y 2 kg/cm<sup>2</sup>.

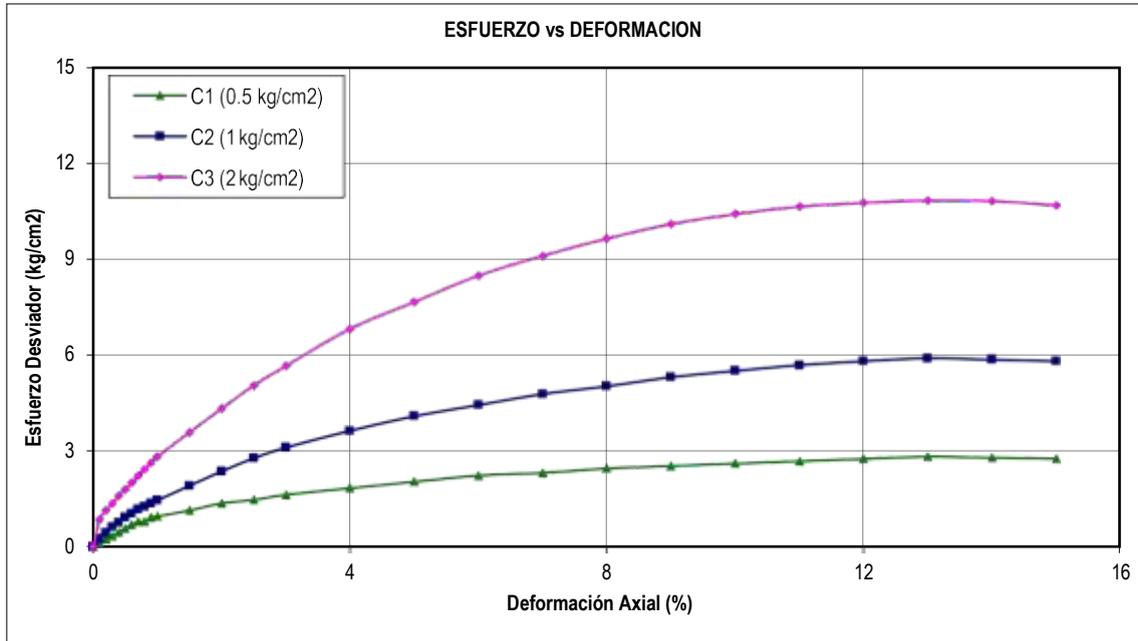


Figura 1.57 Curva Esfuerzo vs Deformación

Interpretación:

- Según la figura 1.57 podemos observar que para las curvas C1 y C2 a bajas deformaciones sus resistencias son parecidas, a comparación de la curva C3 que tiene una proyección pronunciada y genera un nivel de consolidación mayor a las otras curvas.
- En esta gráfica (figura 1.57) podemos obtener el valor del esfuerzo máximo de rotura.

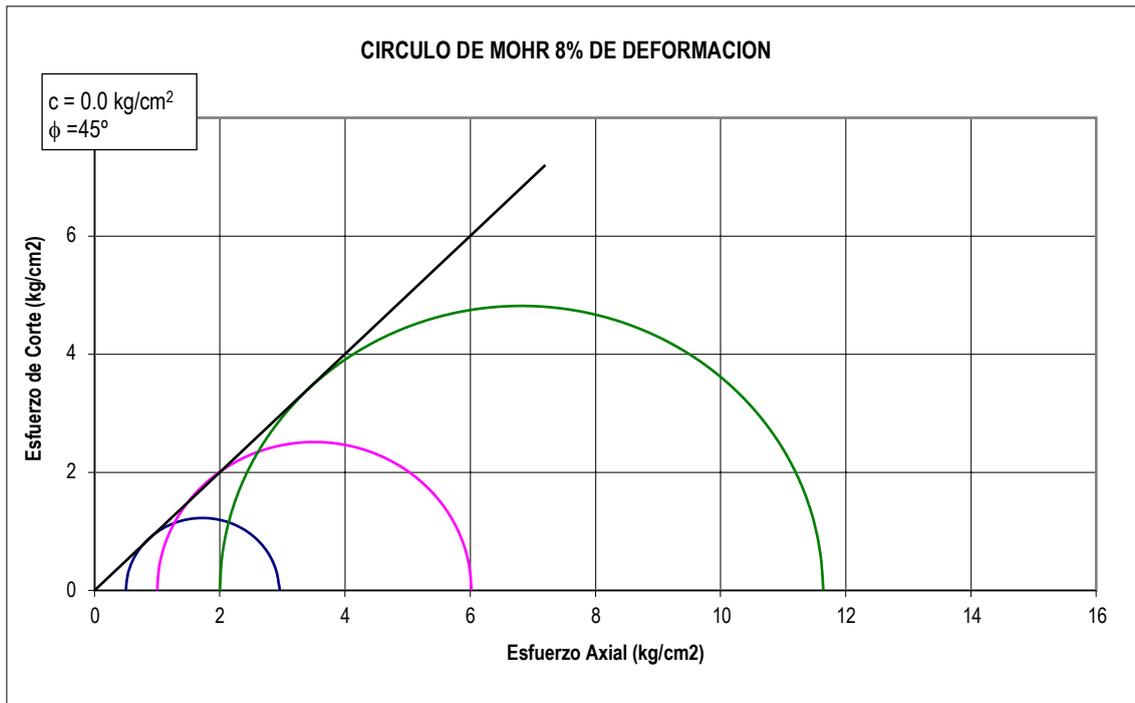


Figura 1.57 Circulo de MOHR

Interpretación:

- En el círculo de MORH a 8% de deformación podemos obtener que el ángulo de rozamiento del suelo es de 45° el cual nos sirve para determinar tanto la capacidad portante como la resistencia al deslizamiento de un terreno

Finalmente:

- Según los 3 especímenes ensayados y aplicando la fórmula del módulo resiliente como indica la figura 1.58, para el cual tomamos los últimos 5 ciclos para cada secuencia y lo promediamos, teniendo así como **módulo resiliente máximo** el valor de **849 kg/cm2** para la posterior clasificación del tipo de suelo como subrasante.

$$Mr = \frac{(\sigma_v - \sigma_3)}{\epsilon_{axial}} = \frac{\sigma_d}{\epsilon_{axial}}$$

Donde:

- $\sigma_v$  = Esfuerzo vertical
- $\sigma_3$  = Presión de confinamiento
- $\sigma_d$  = Esfuerzo desviador
- $\epsilon_{axial}$  = Deformación recuperable

Figura 1.58 Formula del Módulo resiliente

- De esta manera la clasificación del suelo de Catahuasi para el diseño de la subrasante según la tabla 1.39 es de un tipo S1 siendo este un suelo flexible o con estratos de gran espesor según la tabla 1.40.

Tabla 1.39 Categorías de la subrasante según el MR

Categorías de la Subrasante	
MR (kg/cm <sup>2</sup> )	Categoría
$300 \leq MR \leq 500$	S1
$5300 \leq MR \leq 700$	S2
$700 \leq MR \leq 1000$	S3
$1000 \leq MR \leq 1500$	S4
$MR \geq 1500$	S5

Tabla 1.40 Parámetros del suelo

Parámetros del suelo	
Tipo	Descripción
S1	Roca o suelos muy rígidos
S2	Suelos intermedios
S3	Suelos flexibles o con estratos de gran espesor
S4	Condiciones excepcionales

## **IV. DISCUSIÓN**

- Leal Noriega en su tesis titulada “Relación entre el módulo resiliente hallado por retrocálculo y el encontrado en ensayos de laboratorio” en el cual concluye que al obtener el Modulo resiliente por medio de ensayos de laboratorio, se logra calcular los valores del esfuerzo desviador del espécimen generados por la aplicación de cargas cíclicas controladas, por medio de la gráfica esfuerzo deformación, en el cual no se tuvo muchos cuidados en mantener la humedad del espécimen ensayado, a comparación de nuestra investigación que la medida que optamos para mantener la humedad de la muestra antes de ser ensayada fue cubriéndolas con plástico fill para mantener el contenido de humedad de los especímenes el cual es fundamental puesto que puede generar cambios en los resultados del ensayo.
  
- Ayala Velasco en su tesis titulada “Acondicionamiento de un equipo Triaxial cíclico para la Estimación de Módulo Resiliente, utilizado en el diseño de pavimentos” en el cual utilizo el criterio para calcular el Módulo resiliente con los últimos 3 ciclos para cada secuencia, a comparación del caso nuestro se utilizó los últimos 5 ciclos para cada secuencia según la norma AASHTO 5311, el cual pudo obtener algún margen de error con el cálculo del módulo resiliente.
  
- Fernández Paucar en su tesis titulada “Correlación y fundamentos de utilización del módulo de reacción en el diseño de pavimentos rígidos, en función de los ensayos de cbr, dcp y ensayo dinámico de carga, con aplicación práctica en la vía salado-lentag en el tramo de las abscisas 50+000 a la 55+000” en el cual se corrobora la precisión y confiabilidad del ensayo de módulo resiliente en laboratorio, el cual obtuvo un valor de 1275 kg/cm<sup>2</sup> y utilizando correlaciones con el CBR obtuvo un valor de MR de 1030 kg/cm<sup>2</sup>, en el cual notamos una variación en el valor del módulo resiliente el cual puede cambiar el diseño del pavimento.

## **V. CONCLUSIONES**

- Concluimos que el uso del ensayo triaxial de carga dinámica calcula las características dinámicas del suelo de forma precisa, puesto que este ensayo está debidamente normado y genera resultados acordes a la realidad.
- Se pudo concluir que el uso del ensayo triaxial de carga dinámica logra calcular los esfuerzos desviadores de forma precisa y confiable, ya que la aplicación de cargas simuladas es controlada, regida por la norma AASHTO y está en relación al anillo de carga y al área del espécimen para cada carga aplicada. En la tabla 1.41 apreciamos las últimas 5 secuencias para esfuerzos efectivos iniciales de 0.5, 1.0 y 2.0 kg/cm<sup>2</sup>

Tabla 1.41 Resultados esfuerzo desviador

	0.5 kg/cm <sup>2</sup>	1.0 kg/cm <sup>2</sup>	2.0 kg/cm <sup>2</sup>
Secuencia N°	Esf.Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf.Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	Esf.Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )
11	2.68	5.68	10.63
12	2.75	5.80	10.75
13	2.82	5.90	10.82
14	2.78	5.85	10.80
15	2.75	5.80	10.68

- Las deformaciones calculadas por medio del ensayo triaxial son precisas y generadas de forma directa por medio de la aplicación de cargas y ciclos sin aplicar ninguna correlación o fórmula con gran margen de error y esta varía a mayores esfuerzos en el espécimen.
- Se concluyó que el uso del ensayo triaxial de carga dinámica calcula de forma precisa la presión de confinamiento para cada carga aplicada, puesto que se obtiene la presión de confinamiento en relación a la presión de la celda y la presión generada por la simulación del anillo de carga. En la tabla 1. En la tabla 1.42 apreciamos las últimas 5 secuencias para esfuerzos efectivos iniciales de 0.5, 1.0 y 2.0 kg/cm<sup>2</sup>.

Tabla 1.42 Resultados presión de confinamiento

	0.5 kg/cm <sup>2</sup>	1.0 kg/cm <sup>2</sup>	2.0 kg/cm <sup>2</sup>
Secuencia N°	(s1) (kg/cm <sup>2</sup> )	(s1) (kg/cm <sup>2</sup> )	(s1) (kg/cm <sup>2</sup> )
11	3.18	6.68	12.63
12	3.25	6.80	12.75
13	3.32	6.90	12.82
14	3.28	6.85	12.80
15	3.25	6.80	12.68

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Tener mucho cuidado de que los especímenes a ensayar no pierdan su porcentaje de contenido de humedad antes de comenzar el ensayo por ello se recomienda un control previo, en este caso se cubrió de plástico fill para mantener la humedad para un óptimo desempeño del espécimen.
  
- Previo a comenzar el ensayo, tener en cuenta que los instrumentos de medición que conforman la cámara triaxial estén debidamente colocados y estén en buenas condiciones.
  
- Seguir la norma ASTM D-5311 minuciosamente para obtener los resultados correctos y sin errores.
  
- Considerar antes de empezar el ensayo la purgación de algunos equipos de la cámara triaxial como el blader de presión y contrapresión, equipos de cambio de volumen, para no generar vacíos de aire, de esta forma no generar valores erróneos en su lectura.
  
- Utilizar muestras con diferentes contenidos de humedad, puesto que en los pavimentos la humedad varía para cada estación del año.
  
- Para futuras investigaciones se podrían proponer los siguientes títulos:
  - “Acondicionamiento del equipo triaxial para muestras blandas limo-arcillosos”, con el objetivo de poder obtener los valores del módulo resiliente en especímenes blancas con presencia de arcillas y limos.
  - “Comparación entre los métodos correlacionales y por medio de ensayos de laboratorio para la determinación de los parámetros del módulo resiliente en suelos con contenidos de humedad alto”, con el fin de obtener el valor del módulo resiliente en suelos con presencia de lluvias constantes.

## REFERENCIAS

1. **AASHTO T-307**. Método para determinar el módulo resiliente.
2. **AASHTO T292, 1991**. *Método estándar de prueba para el módulo resiliente de suelos de subrasante y materiales de base – subbase no tratados*.
3. **AASHTO T292, 1992**. *Método estándar de prueba para el módulo resiliente de materiales de base / subbase y suelos de subrasante-Protocolo SHRP P46*
4. **ASTM D 420, 2018**. Guía estándar para la caracterización de sitios, propuesta de plan y diseño de construcción.
5. **Abanto, Flavio. 2017**. *Tecnología del Concreto*. s.l.: San Marcos, 2017.
6. **ACI 440, 2008. 2008**. 2008.
7. **Aitcin, Pierre Claude. 2008**. Binders for durable and sustainable concrete. New York: Taylor y Francis, 2008.
8. **Alegre Gago, Gianfranco. 2017**. Estudio de la influencia en la resistencia y ductilidad de las fibras de carbono utilizadas como reforzamiento de vigas de concreto armado. Lima, Lima, Perú: s.n., 2017.
9. **Anduiza Perea, Eva y Crespo, Ismael. 2009**. Metodología de la ciencia política. 2009.
10. **ARIAS FIDIAS, A. 2006**. *El proyecto de la investigación, introducción a la metodología científica*. Caracas : EDITORIAL EPISTEME, 2006.
11. **ASOCEM**. Asocem. [En línea]  
<http://www.asocem.org.pe/archivo/files/Reporte%20Estadistico%20ene2018.pdf>
12. **AYALA VELASCO, LUIS EDUARDO. 2013**. Acondicionamiento de un Equipo Triaxial Cíclico. 2013.
13. **ANDREI ET-AL, 2009**. *Ecotoxicological methods for the evaluation of contaminated soils*
14. **ARIAS FIDIAS, 2006**. *El proyecto de la investigación, introducción a la metodología científica*: Caracas
15. **Baena Paz, Guillermina. 2014**. *METODOLOGÍA*. Mexio : s.n., 2014.
16. **Behan Rivero, Daniel. 2008**. *Metodologia de la investigacion*. 2008.
17. **BUENO SANCHEZ, Eramis. 2008**. *la investigación: Teoria y metodologia*. s.l. : Shalom, 2008.
18. **Carrasco Diaz, Sergio. 2006**. *Metologia de la investigacion cientifica*. 2006.
19. **CASTILLO AMAYA, Juan y Guevara Guevara, Luis. 2017**. Análisis comparativo entre el Módulo de Resiliencia (MR) y la Relación de Soporte de California (CBR) para suelos finos destinados a subrasante. San Miguel: s.n., 2017.
20. **CENAPRED. 2008**. 2008.

21. **DIAZ RODRIGUEZ, J. 2013.** Características dinámicas del suelo. 2013.
22. **FEFERNANDEZ PAUCAR CARLOS y SUAREZ GALARZA, MARIA. 2012.**
23. **GARNICA ANGUAS, C y Gómez López, O. 2007.** Mecani de materiales para pavimentos. 2007.
24. **Gomez Bastar, Sergio. 2012.** *Metodología de la investigación.* México : RED TERCER MILENIO, 2012.
25. **GOMEZ MARCELO, JUAN. 2010.** *Metodologia de la investigacion.* 2010.
26. **GUTIERREZ LÁZARES, JOSE WILFREDO. 2007.** Modelación Geotécnica de Pavimentos Flexibles. Lima : s.n., 2007.
27. **HERNANDEZ ESCOBAR, Arturo. 2018.** *Metodologia de la investigación científica.*
28. **HERNANDEZ MELÉNDEZ, Edelsys. 2006.** Metodología de la investigación. 2006.
29. **HERNANDEZ SAMPIERI, Roberto, Fernández Collado, Carlos y Baptista Lucio, Pilar. 2014.** *Metodología de la investigación.* México DF : McGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V., 2014.
30. **KHOURY ZAMAN, 2008.** *Effect of concrete during two thermal cycles.*
31. **HERRERA MONTEALEGRE, MARTHA CECILIA. 2014.** *Determinación del módulo resiliente de diseño de pavimentos mediante criterios ASSHTO 1993 y 2002.* Lima : s.n., 2014.
32. **INSTITUTO NACIONAL DE VIAS, 2007. 2007. MODULO RESILIENTE DE SUELOS DE SUBRASANTE. 2007.**
33. **Jiménez Acuña, Mónica. 2009.** Anteriormente se utilizaban modelos empíricos que no incluían la dependencia en el estado de esfuerzos, basados en el CBR (California Bearing Ratio). Estos modelos simplistas se han utilizado a lo largo del tiempo hasta que se lograron desarrollar equipos. 2009.
34. **LEAL NORIEGA, MARIO HELBERTO. 2010.** RELACIÓN ENTRE EL MÓDULO RESILIENTE HALLADO POR RETROCALCULO Y. Bogotá : s.n., 2010.
35. **LEKARP ISACSSON, U. 2007.** The Effects of Grading Scale on Repeated Load Triaxial Tests. 2007.
36. **MAGNUSDOTTIR ERLINGSSON, 2002.** *Effect of density on the module.*
37. **MANUAL DE CARRETERAS, MTC. 2013. 2013.**
38. **Mejía Mejía, Elías. 2005.** Metodología de la investigación científica. Lima: San Marcos, 2005.
39. **MINGRONE DE CAMAROTA, Patricia Lucia. 2007.** Metodología Del Estudio Eficaz. 2007.
40. **MONJE ALVAREZ, Carlos Arturo. 2011.** *Metodologia de la investigacion cuantitativa y cualitativa.* 2011.
41. **OLARTE PINARES, JORGE. 2015.** Proceso innovado para determinar el espesor de subrasante mejorada en suelos limo-arcillosos aplicado en la carretera puente raither – puente paucartambo. Lima : s.n., 2015.

42. **Olarte Pinares, Jorge Richard. 2015.** Acondicionamiento de un Equipo Triaxial Cíclico para la Estimación de Módulo Resiliente, Utilizado en el Diseño de Pavimentos. 2015.
43. **Parra Montesinos, Gustavo. 2005.** Compuestos de cemento reforzado con fibra de alto rendimiento . Michigan : s.n., 2005.
44. **RAHIM ANTON, A y George, H. 2005.** Pavimentos: Materiales, construcción y diseño. 2005.
45. REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES E-050, PERU.
46. **RICO DEL CASTILLO, H. 2005.** La ingeniería de suelos en las vías terrestres. 2005.
47. **Roberto, Marroquin Peña. 2012.** Metodología de la investigación científica. Lima : San Marcos, 2012.
48. **ROJAS QUINTERO, LAURA MARCELA. 2015.** EVALUACIÓN DEL MÓDULO RESILIENTE Y DEFORMACIÓN PERMANENTE EN. 2015.
49. **RUIZ LIMÓN, Ramón. 2008.** *El método científico y sus etapas.* 2008.
50. **Sáenz López, Karla, y otros. 2012.** *Metodología para investigaciones de alto impacto en las ciencias sociales.* 2012.
51. **Sampieri Hernandez, Roberto. 2010.** *Metodología de la investigación científica.* d.f. : INTERAMERICANA EDITORES, 2010.
52. **Sandin, Kenneth. 1995.** Mortars for masonry and rendering choice and application. 1995.
53. **TAMAYO TAMAYO, Mario. 2003.** *El proceso de la investigación científica.* México DC : LIMUSA S.A, 2003.
54. **TONG LI, m y Baus L, Ronald. 2005.** Nonlinear Parameters for Granular Base Materials from Plate Tests. 2005.
55. **TUTUMLUER EROL, Al. 2003.** Posttraffic Testing on Medium- Strength Subgrade Flexible Pavements. 2003.
56. **Valderrama Mendoza, Santiago. 2013.** *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica.* s.l. : San Marcos, 2013.

## **ANEXOS**

## ANEXO 1

### MATRIZ DE CONSISTENCIA

**TÍTULO:** Uso del ensayo de módulo resiliente para calcular las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi 2019.

**AUTOR:** Valentín Melgarejo Yoshelyn Leyla

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><u>PROBLEMA GENERAL</u></p> <p>¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?</p> <p><u>PROBLEMAS ESPECÍFICOS</u></p> <p>¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa el esfuerzo desviador del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?</p> <p>¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa la deformación recuperable del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?</p> <p>¿El uso del ensayo de módulo resiliente calculará de forma precisa la presión de confinamiento como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019?</p>	<p><u>OBJETIVO GENERAL</u></p> <p>Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p> <p><u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u></p> <p>Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa el esfuerzo desviador del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p> <p>Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa la deformación recuperable del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p> <p>Implementar el uso del ensayo de módulo resiliente para calcular de forma precisa la presión de confinamiento del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p>	<p><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></p> <p>El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa las características dinámicas del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p> <p><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></p> <p>El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa el esfuerzo desviador del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p> <p><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></p> <p>El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa la deformación recuperable del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p> <p><u>HIPÓTESIS GENERAL</u></p> <p>El uso del ensayo de módulo resiliente si calcula de forma precisa la presión de confinamiento del suelo como diseño para la subrasante en el distrito de Catahuasi, 2019</p>	<p>V1: Ensayo de módulo resiliente</p> <p>V2: Características a las dinámicas del suelo</p>	<p>Esfuerzo desviador</p> <p>Deformación recuperable</p> <p>Presión de confinamiento</p> <p>Esfuerzo</p> <p>Deformación</p>	<p>Presión</p> <p>carga</p> <p>Magnitud</p> <p>Frecuencia</p> <p>expansión</p> <p>tiempo</p> <p>Ambiente</p> <p>esfuerzo</p>	<p><u>MÉTODO:</u> El método científico, propone los problemas de investigación, de donde da a proponer las posibles hipótesis y los instrumentos de investigación.</p> <p><u>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</u> Aplicada</p> <p><u>NIVEL:</u> Descriptivo</p> <p><u>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</u> Experimental</p> <div style="text-align: center;"> <pre> graph TD     M --&gt; r     M --&gt; V2             </pre> </div> <p><u>POBLACIÓN:</u> La población será 1 m<sup>3</sup> de suelo granular a profundidades de 0 a 1.5 metros de la plaza de armas del distrito de Catahuasi</p> <p><u>MUESTREO:</u> No probabilístico, intencional</p> <p><u>MUESTRA:</u> La muestra será 3 probetas cilíndricas de suelo granular de la plaza de armas del distrito de Catahuasi a profundidades de 0-0.5 m, 0.5-1.0 m y 1.0-1.5 m en “OM INGENIERIA Y LABORATORIO S.R.L</p> <p><u>INSTRUMENTO:</u> Técnica de fichaje</p>

## ANEXO 2

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C1M1
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

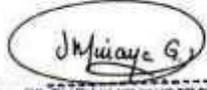
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	96.8
3/4"	19.00	96.2
3/8"	9.500	90.1
No. 4	4.750	83.5
No. 10	2.000	75.3
No. 20	0.850	65.5
No. 40	0.425	54.5
No. 60	0.250	44.4
No. 140	0.105	33.2
No. 200	0.075	31.3

#### CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487

Limite Líquido	(%)	18.0
Limite Plástico	(%)	16.6
Índice de Plasticidad	(%)	1.4
Contenido de Humedad	(%)	3.4
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 < l < 3"]	(%)	16.5
Arena [N°200 < l < N°4]	(%)	52.2
Finos [l < N°200]	(%)	31.3
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. SILENE MINAYA G. E.Z.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

## ANEXO 3

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C1M3
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

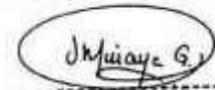
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	94.3
3/8"	9.500	89.7
No. 4	4.750	85.3
No. 10	2.000	80.3
No. 20	0.850	73.0
No. 40	0.425	63.1
No. 60	0.250	51.5
No. 140	0.105	37.3
No. 200	0.075	34.5

**CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487**

Limite Líquido	(%)	18.0
Limite Plástico	(%)	14.1
Índice de Plasticidad	(%)	3.9
Contenido de Humedad	(%)	3.3
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 < 3"]	(%)	14.7
Arena [N°200 < N°4]	(%)	50.8
Finos [ < N°200]	(%)	34.5
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. SILENE HINATA G. E.Z.  
 Responsable de  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

## ANEXO 4

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C2M1
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

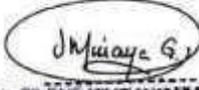
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	96.9
3/4"	19.00	94.1
3/8"	9.500	83.9
No. 4	4.750	78.7
No. 10	2.000	68.3
No. 20	0.850	55.2
No. 40	0.425	41.5
No. 60	0.250	29.1
No. 140	0.105	17.7
No. 200	0.075	15.9

#### CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487

Limite Líquido	(%)	18.0
Limite Plástico	(%)	15.6
Índice de Plasticidad	(%)	2.4
Contenido de Humedad	(%)	4.5
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 < I < N°20]	(%)	21.3
Arena [N°200 < I < N°4]	(%)	62.7
Finos [I < N°200]	(%)	15.9
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. Silene Hinata G. E.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

## ANEXO 5

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C2M2
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	96.9
3/8"	9.500	93.5
No. 4	4.750	88.7
No. 10	2.000	81.2
No. 20	0.850	69.6
No. 40	0.425	55.2
No. 60	0.250	38.8
No. 140	0.105	26.7
No. 200	0.075	24.7

#### CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487

Limite Líquido	(%)	18.0
Limite Plástico	(%)	14.1
Índice de Plasticidad	(%)	3.9
Contenido de Humedad	(%)	3.1
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 <f<3"]	(%)	11.3
Arena [N°200 <f<N°4]	(%)	64.0
Finos [f<N°200]	(%)	24.7
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. Sil. E. **SILENE HINATA G. E.**  
 Responsable **OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

## ANEXO 6

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C2M3
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

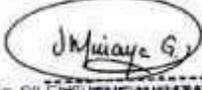
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	100.0
3/4"	19.00	98.9
3/8"	9.500	93.2
No. 4	4.750	87.2
No. 10	2.000	77.2
No. 20	0.850	65.2
No. 40	0.425	51.2
No. 60	0.250	38.0
No. 140	0.105	27.5
No. 200	0.075	26.4

#### CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487

Limite Líquido	(%)	18.0
Limite Plástico	(%)	17.6
Índice de Plasticidad	(%)	0.3
Contenido de Humedad	(%)	4.2
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 <f<3"]	(%)	12.8
Arena [N°200 <f<N°4]	(%)	60.9
Finos [f<N°200]	(%)	26.4
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. Silene Minata G. E.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

# ANEXO 7

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C3M2
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

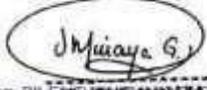
Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	97.9
3/4"	19.00	97.2
3/8"	9.500	92.4
No. 4	4.750	88.6
No. 10	2.000	83.7
No. 20	0.850	74.8
No. 40	0.425	60.6
No. 60	0.250	46.3
No. 140	0.105	33.0
No. 200	0.075	30.4

### CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487

Límite Líquido	(%)	18.0
Límite Plástico	(%)	15.5
Índice de Plasticidad	(%)	2.4
Contenido de Humedad	(%)	2.4
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 < 3"]	(%)	11.4
Arena [N°200 < N°4]	(%)	58.2
Finos [ < N°200]	(%)	30.4
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



OM Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSC. Ing. SILENE HINATA G. E.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

# ANEXO 8

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

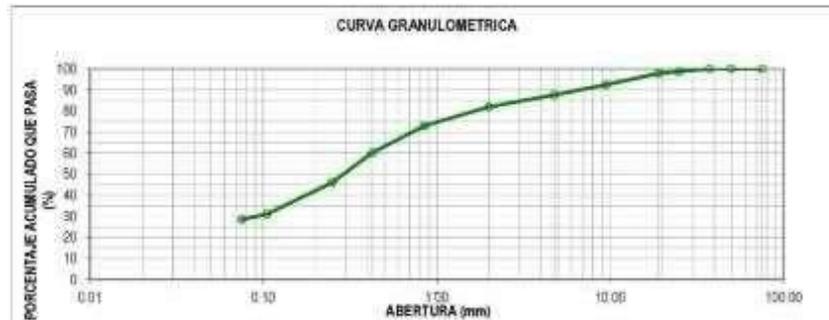
## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO Y CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D422 Y ASTM D2487

INFORME N°	3548	MUESTRA	C3M3
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

Tamiz	Abertura (mm)	Acum. que pasa (%)
3"	75.00	100
2"	50.00	100
1 1/2"	37.50	100
1"	25.00	98.6
3/4"	19.00	97.8
3/8"	9.500	92.4
No. 4	4.750	87.5
No. 10	2.000	81.8
No. 20	0.850	72.9
No. 40	0.425	60.2
No. 60	0.250	46.1
No. 140	0.105	31.0
No. 200	0.075	28.5

### CLASIFICACIÓN SUCS ASTM D-2487

Límite Líquido	(%)	18.0
Límite Plástico	(%)	18.1
Índice de Plasticidad	(%)	1.9
Contenido de Humedad	(%)	1.5
Coef. de Uniformidad	Cu	-
Coef. de Curvatura	Cc	-
Grava [N°4 <f<3"]	(%)	12.5
Arena [N°200 <f<N°4]	(%)	59.0
Finos [f<N°200]	(%)	28.5
Clasificación SUCS		<b>GP-GM</b>
Descripción		<b>Grava mal gradada con limos y arenas</b>



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

*J. Muiaya G.*  
 MSc. Ing. SILVIA MUIAYA G. G. E. Z.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

## ANEXO 9

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-4318; ASTM D-2216

INFORME N°	3548	MUESTRA	C1 - 2
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

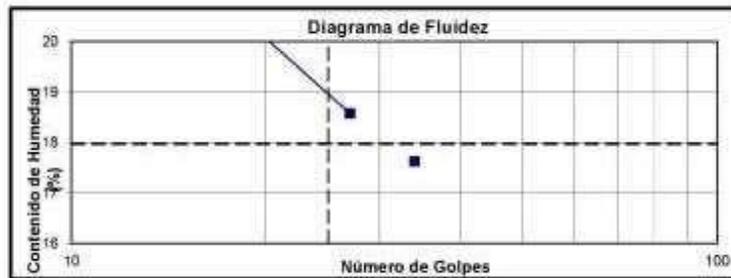
**LIMITE LIQUIDO, ASTM D-4318**

No golpes		12	18	22	27
W recipiente	(gr)	8.95	8.94	8.65	9.09
W recipiente sw	(gr)	26.42	33.31	30.31	21.22
W recipiente s	(gr)	23.20	28.94	26.67	19.32
Humedad	(%)	22.60	21.85	20.43	18.57

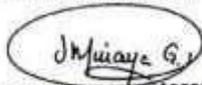
**LIMITE PLASTICO, ASTM D-4318**

N° Ensayo		1
W recipiente	(gr)	9.08
W recipiente sw	(gr)	11.11
W recipiente s	(gr)	10.85
LP	(%)	14.53

Contenido Humedad, %	3.9
Límite Líquido, %	18.0
Límite Plástico, %	16.1
Índice de Plasticidad, %	1.9



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. Silene Ymnata G.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

Laboratorio: Ca. Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta S.J. Miraflores Telf. 276-4458

## ANEXO 10

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-4318; ASTM D-2216

INFORME N°	3548	MUESTRA	C2 - M1
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

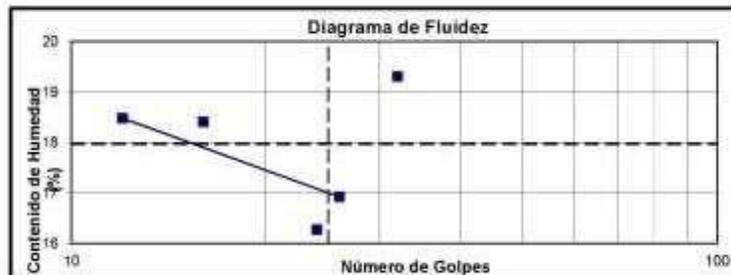
**LIMITE LIQUIDO, ASTM D-4318**

No golpes		12	18	24	26
W recipiente	(gr)	11.70	12.07	23.06	25.33
W recipiente sw	(gr)	31.96	29.31	37.42	40.60
W recipiente s	(gr)	28.80	28.63	35.41	38.39
Humedad	(%)	16.48	18.41	16.28	16.92

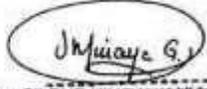
**LIMITE PLASTICO, ASTM D-4318**

N° Ensayo		1
W recipiente	(gr)	24.03
W recipiente sw	(gr)	25.93
W recipiente s	(gr)	25.68
LP	(%)	15.15

Contenido Humedad, %	4.5
Límite Líquido, %	18.0
Límite Plástico, %	15.6
Índice de Plasticidad, %	2.4



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. SILENE HINATA G. E.Z.  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

Laboratorio: Ca. Cueto Fernandini D-11 Urb. Amsuta S.J. Miraflores Telf. 276-4458

# ANEXO 11

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

## LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-4318; ASTM D-2216

INFORME N° 3548  
 PROYECTO TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO MUESTRA C2 - M2  
 FECHA 14/05/2019  
 UBICACIÓN CATAHUASI - YAUYOS  
 SOLICITADO VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA

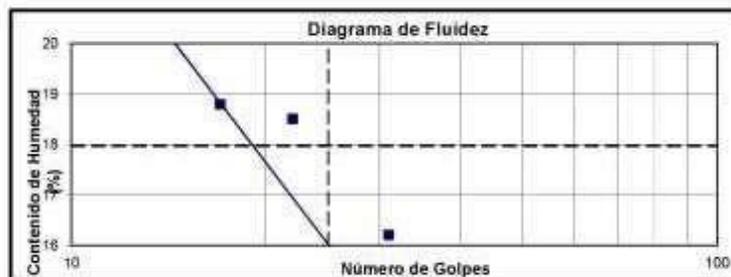
### LIMITE LIQUIDO, ASTM D-4318

No golpes		12	17	22	26
W recipiente	(gr)	11.83	11.81	11.87	11.61
W recipiente sw	(gr)	35.41	27.17	36.72	27.61
W recipiente s	(gr)	31.28	24.74	32.84	25.50
Humedad	(%)	21.36	18.79	18.50	15.19

### LIMITE PLASTICO, ASTM D-4318

N° Ensayo		1
W recipiente	(gr)	11.17
W recipiente sw	(gr)	13.43
W recipiente s	(gr)	13.18
LP	(%)	12.44

Contenido Humedad, % 3.1  
 Limite Liquido, % 18.0  
 Limite Plastico, % 14.1  
 Indice de Plasticidad, % 3.9



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

*Silene M. H. G.*

MSc. Ing. SILENE HINATA G. LEZ  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

Laboratorio: Ca. Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta S.J. Miraflores Telf. 276-4458

## ANEXO 12

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-4318; ASTM D-2216

INFORME N°	3548	MUESTRA	C2 - M3
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

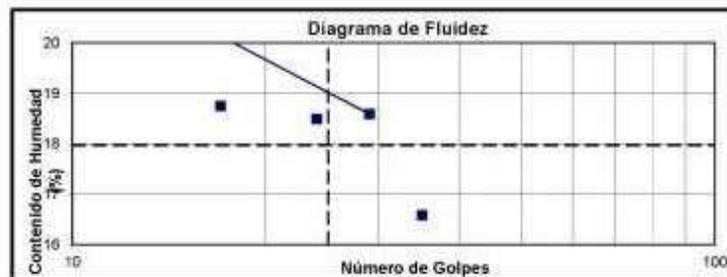
**LIMITE LIQUIDO, ASTM D-4318**

No golpes		11	17	24	29
W recipiente	(gr)	11.75	21.29	22.13	21.27
W recipiente sw	(gr)	30.53	39.09	47.32	37.73
W recipiente s	(gr)	27.22	38.28	39.17	35.15
Humedad	(%)	21.40	18.75	18.49	18.59

**LIMITE PLASTICO, ASTM D-4318**

N° Ensayo		1
W recipiente	(gr)	9.17
W recipiente sw	(gr)	10.51
W recipiente s	(gr)	10.31
LP	(%)	17.54

Contenido Humedad, %	4.2
Limite Liquido, %	18.0
Limite Plastico, %	17.6
Indice de Plasticidad, %	0.3



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. SILENE MINAYA G. EZ  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

Laboratorio: Ca. Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta S.J, Miraflores Telf. 276-4458

## ANEXO 13

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### LIMITES DE CONSISTENCIA Y CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D-4318; ASTM D-2216

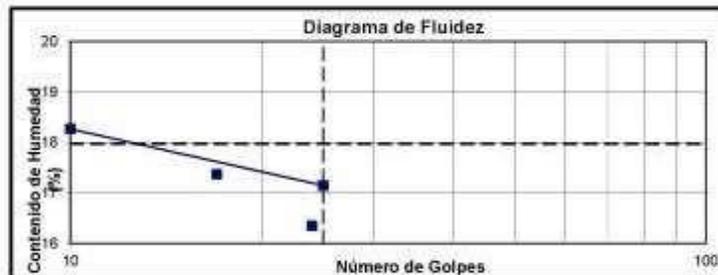
INFORME N°	###		
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	MUESTRA	C3 - M2
		FECHA	14/05/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

**LIMITE LIQUIDO, ASTM D-4318**

No golpes		10	17	24	25
W recipiente (gr)		13.81	8.91	14.50	11.92
W recipiente sw (gr)		31.81	23.91	30.44	24.49
W recipiente s (gr)		29.03	21.69	26.20	22.85
Humedad (%)		18.27	17.37	16.35	17.15

**LIMITE PLASTICO, ASTM D-4318**

N° Ensayo	Contenido Humedad, %
W recipiente (gr)	2.4
W recipiente sw (gr)	18.0
W recipiente s (gr)	15.5
LP (%)	2.4



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSc. Ing. SILENE MINAYA G. E.  
 Responsable de INGENIERIA Y LABORATORIO

Laboratorio: Ca. Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta S.J. Miraflores Telf. 276-4458

## ANEXO 14

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CÍCLICO ASTM D-5311

INFORME N°	3556	MUESTRA	C1
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	04/05/2019
UBICACION	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

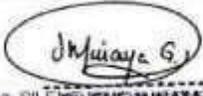
#### ESPECIMEN 1

Condiciones		Inicial
Altura	cm	20
Diámetro	cm	10
Peso de muestra	gr	3038.2
Humedad	%	0.9
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.810

Datos de ensayo		
Parámetro de Saturación B	%	95
Presión de celda ( $\sigma_v$ )	kg/cm <sup>2</sup>	0.5
Contrapresión	kg/cm <sup>2</sup>	2.0
Esfuerzo Efectivo	kg/cm <sup>2</sup>	0.5

Deformación (%)	Esfuerzo Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	( $\tau_v$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0	0.0	0.5
0.1	0.1	0.6
0.2	0.2	0.7
0.3	0.3	0.8
0.4	0.5	1.0
0.5	0.6	1.1
0.6	0.7	1.2
0.7	0.8	1.3
0.8	0.8	1.3
0.9	0.9	1.4
1.0	1.0	1.5
1.5	1.1	1.6
2.0	1.4	1.9
2.5	1.5	2.0
3.0	1.6	2.1
4.0	1.8	2.3
5.0	2.0	2.5
6.0	2.2	2.7
7.0	2.3	2.8
8.0	2.4	2.9
9.0	2.5	3.0
10.0	2.6	3.1
11.0	2.7	3.2
12.0	2.7	3.2
13.0	2.8	3.3
14.0	2.8	3.3
15.0	2.8	3.3

**OM Ingeniería y Laboratorio SRL**



MSc. Ing. SILENE MINATA G. J.  
Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

Calle Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta Lima 29. Telf. 276-4458

## ANEXO 15

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

### ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CÍCLICO ASTM D-5311

INFORME N°	3556	MUESTRA	C2
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	04/06/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		

#### ESPECIMEN 2

Condiciones		Inicial
Altura	cm	20
Diámetro	cm	10
Peso de muestra	gr	3030
Humedad	%	6.0
Densidad Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.819

Datos de ensayo		
Parámetro de Saturación B	%	85
Presión de celda ( $\sigma_v$ )	kg/cm <sup>2</sup>	1
Contrapresión	kg/cm <sup>2</sup>	2.0
Esfuerzo Efectivo	kg/cm <sup>2</sup>	1

Deformación (%)	Esfuerzo Desviador (kg/cm <sup>2</sup> )	( $\tau_v$ ) (kg/cm <sup>2</sup> )
0.0	0.0	1.0
0.1	0.2	1.2
0.2	0.4	1.4
0.3	0.6	1.6
0.4	0.8	1.8
0.5	0.9	1.9
0.6	1.0	2.0
0.7	1.2	2.2
0.8	1.2	2.2
0.9	1.4	2.4
1.0	1.5	2.5
1.5	1.9	2.9
2.0	2.4	3.4
2.5	2.8	3.8
3.0	3.1	4.1
4.0	3.6	4.6
5.0	4.1	5.1
6.0	4.4	5.4
7.0	4.8	5.8
8.0	5.0	6.0
9.0	5.3	6.3
10.0	5.5	6.5
11.0	5.7	6.7
12.0	5.8	6.8
13.0	5.9	6.9
14.0	5.8	6.8
15.0	5.8	6.8

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

  
 MSC. Ing. SILENE HINATA GUEZ  
 Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

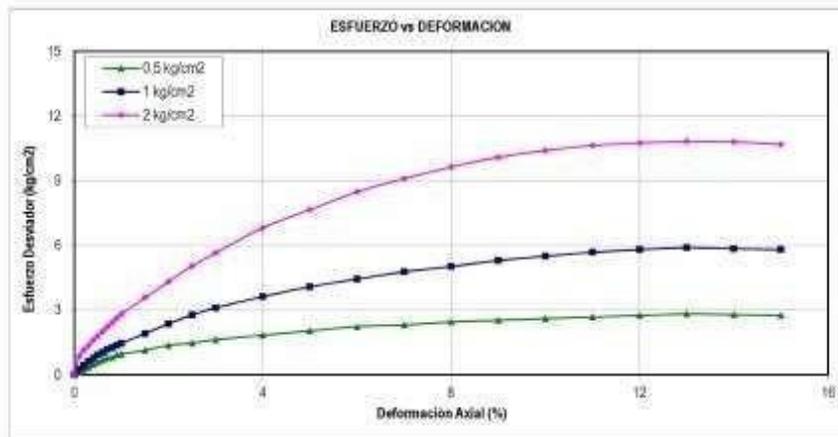
Calle Cueto Ferrandini D-11 Urb. Amauta Lima 29. Telf. 276-4458

# ANEXO 16

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

## ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CÍCLICO ASTM D-5311

INFORME N°	3556	MUESTRA	
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	04/06/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYOS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

*Mujica G.*  
MSc. Ing. SILENE MINAYA G. E.Z.  
Responsable  
**OM INGENIERIA Y LABORATORIO**

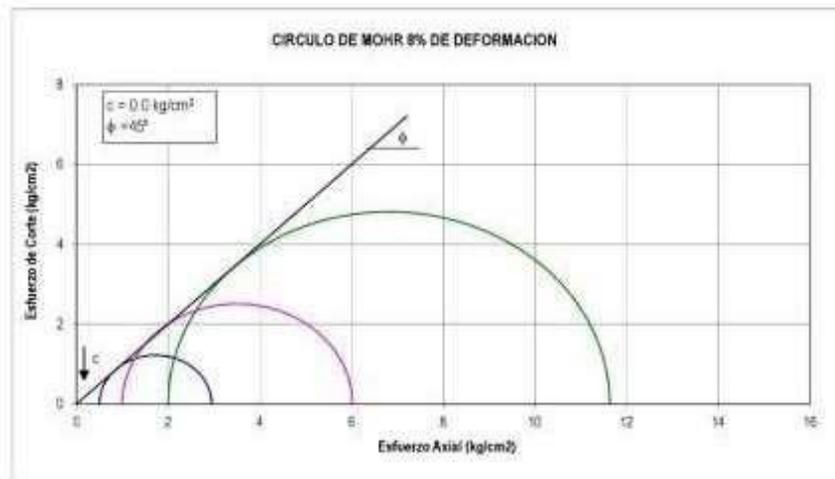
Calle Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta Lima 29. Telf. 276-4458

# ANEXO 17

**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

## ENSAYO DE COMPRESION TRIAXIAL CÍCLICO ASTM D-5311

INFORME N°	3556	MUESTRA	
PROYECTO	TESIS UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO	FECHA	04/06/2019
UBICACIÓN	CATAHUASI - YAUYS		
SOLICITADO	VALENTIN MELGAREJO YOSHELYN LEYLA		



**OM** Ingeniería y Laboratorio SRL

*Silene Hinata G. E.*  
MSc. Ing. SRI  
Responsable  
**OM INGENIERIA Y  
LABORATORIO**

Calle Cueto Fernandini D-11 Urb. Amauta Lima 29. Telf. 276-4458

# ANEXO 18



Punto de Precisión SAC

## PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C. LABORATORIO DE CALIBRACIÓN

### CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN N° LFP - 268- 2017

Página : 1 de 5

Expediente : T 268 - 2017  
Fecha de Emiso

1. Solicitante : OM INGENIERIA Y LABORATORIA S.R.L.  
Dirección : MZA. D LOTE. 11 EL AMAUTA ZH A (ALT. CDRA 7 AV. PEDRO MOTA) SAN JUAN DE MIRAFLORES

El Equipo de medición con el modelo y número de serie abajo, indicado ha sido calibrado probado y verificado usando patrones certificados con trazabilidad a la Dirección de Metrología del INACAL y otros.

2. Descripción del Equipo : ANILLO DE CARGA TRIAXIAL  
Marca de Prensa : DSSI  
Modelo de Prensa : S-60010  
Serie de Prensa : 1112  
Marca de Anillo : ELE INTERNATIONAL  
Serie de Anillo : 74-0540-01564  
Capacidad del Anillo : 20 kN  
Código de identificación : AC-9  
Marca del Dial : ELE INTERNATIONAL  
Modelo del Dial : NO INDICA  
Serie del Dial : ZCO344  
Código de identificación : DF-11

Los resultados son válidos en el momento y en las condiciones de la calibración. Al solicitante le corresponde disponer en su momento la ejecución de una recalibración, la cual está en función del uso, conservación y mantenimiento del instrumento de medición o a reglamentaciones vigentes.

Punto de Precisión S.A.C no se responsabiliza de los perjuicios que pueda ocasionar el uso inadecuado de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración aquí declarados.

3. Lugar y fecha de Calibración  
OM INGENIERIA Y LABORATORIO S.R.L.  
01 - NOVIEMBRE - 2017

4. Método de Calibración  
La calibración se realizó por el método de comparación del dial del anillo y la lectura de celda patrón.

#### 5. Trazabilidad

INSTRUMENTO	MARCA	CERTIFICADO O INFORME	TRAZABILIDAD
CELDA DE CARGA	AEP TRANSDUCERS	INF-LE 090-2018	UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
INDICADOR	AEP TRANSDUCERS		

#### 6. Condiciones Ambientales

	INICIAL	FINAL
Temperatura °C	21.1	21.3
Humedad %	73	72

#### 7. Observaciones

Con fines de identificación se ha colocado una etiqueta autoadhesiva de color verde con el número de certificado y fecha de calibración de la empresa PUNTO DE PRECISIÓN S.A.C.



Jefe de Laboratorio  
Ing. Luis Lolyza Capcha  
Reg. CIP N° 152631

Av. Los Angeles 653 - LIMA 42 Telef. 292-5106 292-2095  
www.puntodeprecision.com E-mail: info@puntodeprecision.com / puntodeprecision@hotmail.com