

**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



*Una Institución Adventista*

**Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros  
reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca –  
Caminaca, 2019**

Por:

Cliver Capia Mamani

Asesor:

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona

Juliaca, junio de 2020

## **DECLARACION JURADA DE AUTORÍA DEL INFORME DE TESIS**

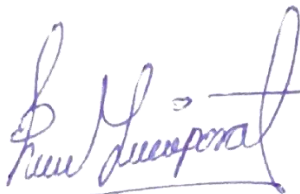
Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS MEDIANTE EL USO DE POLÍMEROS RECICLADOS PET A NIVEL DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA JULIACA – CAMINACA, 2019”, constituye la memoria que presenta el bachiller Cliver Capia Mamani para aspirar al título Profesional de Ingeniero Civil, el cual ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en Juliaca a los catorce días del mes de julio del año dos mil veinte.



---

Ing. Rina Luzmeri Yampara Ticona  
Asesor



082

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Puno, Juliaca, Villa Chullunquiani, a 26 día(s) del mes de junio del año 2020, siendo las 15:00 horas, se reunieron en el Salón de Grados y Títulos de la Universidad Peruana Unión, Filial Juliaca, bajo la dirección del Señor Presidente del jurado: Ing. Herson Duberly Pari Buxi, el secretario: Mg. Espain Velazquez Mamani y los demás miembros: Ing. Percy Armando Cota Mayorga y Mg. Arnaldo Bohui Salazar y el asesor: Ing. Rina Luzneri Yampara

con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de pedimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la Carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

de el(los)/a(las) bachiller(es): a) Eliver Espina Mamani b)

conducente a la obtención del título profesional de Ingeniero Civil (Nombre del Título Profesional)

con mención en

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(la)(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): Eliver Espina Mamani

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
A probado	15	B-	Buena	Muy bueno

Candidato (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente

\_\_\_\_\_  
Asesor

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)

\_\_\_\_\_  
Secretario

\_\_\_\_\_  
Miembro

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)

## **DEDICATORIA**

A mis padres Celso Capia Valero y Felomena Mamani Mamani, quienes me han educado en el camino de la verdad y se han esforzado por ver un futuro mejor en mi persona.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios en primer lugar, por la vida, la salud y las bendiciones que ha tenido a lo largo de todo el tiempo de mi permanencia en la “Universidad Peruana Unión – Juliaca”.

A mis padres Celso Capia Valero y Felomena Mamani Mamani, por su esfuerzo y dedicación en mi educación y a los ingenieros de la “Universidad Peruana Unión – Juliaca”, por su apoyo incondicional.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	V
ÍNDICE DE TABLAS .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XV
RESUMEN.....	XVI
ABSTRACT .....	XVII
CAPÍTULO I.....	18
PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	18
1.1. Planteamiento del Problema.....	18
1.2. Formulación del Problema .....	18
1.2.1. Problema general. ....	18
1.2.2. Problemas específicos. ....	18
1.3. Objetivos de la Investigación .....	19
1.3.1. Objetivo general. ....	19
1.3.2. Objetivos específicos. ....	19
1.4. Justificación de la Investigación.....	19
1.4.1. Justificación teórica. ....	19
1.4.2. Justificación práctica. ....	20
1.4.3. Justificación social.....	20
1.4.4. Justificación técnica. ....	20
CAPÍTULO II.....	21
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	21
2.1. Antecedentes de la Investigación .....	21

2.1.1. Antecedentes locales .....	21
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	22
2.1.3. Antecedentes internacionales .....	24
2.2. Marco Teórico.....	25
2.2.1. Subrasante. ....	25
2.2.2. Caracterización de la subrasante. ....	25
2.2.3. Descripción de suelos .....	26
2.2.4. Subrasante de suelos arcillosos. ....	37
2.2.5. Estabilización de suelo.....	38
2.2.6. Factores a considerar en el diseño de pavimento.....	40
2.2.7. Polímeros reciclados.....	41
2.3. Marco Conceptual .....	45
2.3.1. Mecánica de suelos.....	45
2.3.2. Subrasante. ....	45
2.3.3. Estabilización de suelo.....	45
2.3.4. Arcillas. ....	45
2.3.5. Polímeros.....	45
CAPÍTULO III.....	46
MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
3.1. Fases del Proceso de Investigación .....	46
3.1.1. Metodología de investigación.....	46
3.1.2. Tipo de investigación.....	46
3.1.3. Nivel de investigación.....	46
3.2. Diseño de la Investigación. ....	47
3.3. Formulación de Hipótesis.....	47

3.3.1. Hipótesis general.....	47
3.3.2. Hipótesis específicas.....	47
3.4. Identificación de Variables .....	47
3.4.1. Variable independiente.....	47
3.4.2. Variable dependiente. ....	47
3.5. Operacionalización de las Variables.....	48
3.6. Población y Muestra .....	49
3.6.1. Población.....	49
3.6.2. Muestra.....	49
3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos .....	51
3.7.1. Técnicas. ....	51
3.7.2. Instrumentos.....	51
3.8. Método de Análisis de Datos .....	51
3.8.1. Metodología empleada.....	51
3.8.2. Trabajo de campo.....	52
3.8.3. Ensayos para el desarrollo de la investigación. ....	57
3.8.4. Determinación del uso de polímeros reciclados para la presente investigación. ....	66
CAPÍTULO IV .....	68
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	68
4.1. Obtención de las Propiedades Físicas y Mecánicas que Influyen en el Suelo.....	68
4.1.1. Análisis granulométrico de suelos. ....	68
4.1.2. Contenido de humedad .....	70
4.1.3. Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad. ....	71
4.1.4. Clasificación de suelos método SUCS. ....	72
4.1.5. Clasificación de suelos método AASHTO. ....	73



4.1.6. Ensayo de PDC (Penetración Dinámica de Cono).....	74
4.1.7. Proctor modificado. ....	77
4.1.8. CBR (California Bearing Ratio) .....	78
4.2. Determinación de la Dosificación y Uso de Polímeros Reciclados PET como Aditivo.	81
4.2.1. Determinación del tamaño de las partículas de los polímeros reciclados PET. ....	81
4.2.2. Ensayos de CBR más polímeros reciclados PET. ....	82
4.3. Influencia de los Polímeros reciclados PET en el Diseño de un Pavimento Flexible ...	87
4.3.1. Diseño de espesores método AASHTO 1993. ....	87
4.3.2. Módulo de resiliencia (Mr).....	88
4.3.3. Tráfico.....	88
4.3.4. Confiabilidad (R).....	88
4.3.5. Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr). ....	89
4.3.6. Desviación estándar combinada (So).....	89
4.3.7. Índice de serviciabilidad presente (PSI) .....	89
4.3.8. Numero estructural requerido (SN).....	91
4.3.9. Coeficiente de drenaje (mi). ....	91
4.3.10. Coeficiente de capa (ai). ....	92
4.3.11. Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.....	92
4.3.12. Resultados.....	93
4.3.13. Perfil estratigráfico.....	94
4.4. Prueba de Hipótesis .....	94
4.4.1. Paso 01: Formulación de hipótesis.....	95
4.4.2. Paso 02: Nivel de significancia. ....	95
4.4.3. Paso 03: Estadística de prueba. ....	95
4.4.4. Paso 04: Regla de decisión. ....	96

4.4.5. Paso 05: Toma de decisión.....	96
4.5. Prueba de Hipótesis General .....	96
4.6. Prueba de Hipótesis Específica .....	97
4.6.1. Hipótesis específica N° 01. ....	97
4.6.2. Hipótesis específica N° 02. ....	104
4.6.3. Hipótesis específica N° 03. ....	108
CAPÍTULO V .....	112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	112
5.1. Conclusiones .....	112
5.2. Recomendaciones.....	113
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	114
ANEXOS.....	119

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Categorías de la subrasante.....	25
Tabla 2 Número de calicatas para exploración de suelos.....	26
Tabla 3 Clasificación de suelos según tamaños de partículas.....	27
Tabla 4 Sistema de clasificación SUCS (suelos gruesos) .....	31
Tabla 5 Sistema de clasificación SUCS (suelos finos).....	32
Tabla 6 Sistema de clasificación AASHTO.....	33
Tabla 7 Resumen de expresiones para correlacionar el número de PDC con otros valores..	35
Tabla 8 Especificaciones para la prueba de Proctor modificado .....	36
Tabla 9 Operacionalización de las variables .....	48
Tabla 10 Coordenadas geográficas de los ensayos de PDC.....	53
Tabla 11 Coordenadas geográficas de las calicatas .....	53
Tabla 12 Profundidades del ensayo de PDC.....	56
Tabla 13 Profundidades de la toma de muestras de las calicatas .....	57
Tabla 14 Ensayos que se realizarán en el suelo de fundación .....	57
Tabla 15 Resumen de los resultados de análisis granulométrico de suelos .....	68
Tabla 16 Porcentajes de suelo.....	69
Tabla 17 Resumen de los resultados de contenido de humedad .....	70
Tabla 18 Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.....	71
Tabla 19 Clasificación por el método SUCS de las muestras de estudio .....	73
Tabla 20 Clasificación por el método AASHTO de las muestras de estudio .....	74
Tabla 21 Resultados de los ensayos de PDC N°01 y N°02 (in situ).....	75
Tabla 22 Resultados del ensayo de proctor modificado.....	77
Tabla 23 Resultados del ensayo de CBR (California Bearing Ratio).....	79
Tabla 24 Resumen de los resultados del ensayo de CBR al 95% D.M.S. ....	81
Tabla 25 Resumen de los resultados de tamizado de polímeros reciclados PET.....	82
Tabla 26 Resultados del ensayo de CBR de suelo más 1% de polímero reciclado PET.....	83
Tabla 27 Resultados del ensayo de CBR de suelo más 3% de polímero reciclado PET.....	84
Tabla 28 Resultados del ensayo de CBR de suelo más 5% de polímero reciclado PET.....	85
Tabla 29 Resumen de los ensayos de CBR de suelo más polímeros reciclados PET .....	86
Tabla 30 Módulo de resiliencia para diseño de pavimento flexible .....	88
Tabla 31 Valores recomendables de nivel de confiabilidad para solo una etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico .....	88

Tabla 32 Coeficiente estadístico de desviación estándar normal ( $Z_r$ ) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico .....	89
Tabla 33 Índice de Serviciabilidad Inicial ( $P_i$ )según rango de tráfico .....	90
Tabla 34 Índice de Serviciabilidad Final ( $P_f$ ) según rango de tráfico .....	90
Tabla 35 Diferencial de serviciabilidad (PSI) según rango de tráfico.....	91
Tabla 36 Valores recomendados del coeficiente de drenaje ( $m_i$ ) para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles .....	92
Tabla 37 Diseño estructural de un pavimento flexible.....	93
Tabla 38 Resultados de CBR sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 01 .....	98
Tabla 39 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" del CBR de suelo natural.....	100
Tabla 40 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" del CBR de suelo más 1% de polímero reciclado PET.....	100
Tabla 41 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "C" del CBR de suelo más 3% de polímero reciclado PET.....	100
Tabla 42 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "D" del CBR de suelo más 5% de polímero reciclado PET.....	101
Tabla 43 Tabla T - STUDENT .....	102
Tabla 44 Resultados de los espesores del diseño de pavimento flexible sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 02.....	104
Tabla 45 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de los espesores del diseño de pavimento flexible de suelo natural.....	105
Tabla 46 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" de los espesores del diseño de pavimento flexible de suelo más polímeros reciclados PET .....	106
Tabla 47 Tabla T - STUDENT .....	107
Tabla 48 Resultados de DMS sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 03 .....	108
Tabla 49 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de la DMS de suelo natural.....	109
Tabla 50 Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" de la DMS de suelo más la dosificación óptima de polímero reciclado PET .....	110
Tabla 51 Tabla T - STUDENT .....	111

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Curvas granulométricas de suelos (Bañón, 2000) .....	27
<i>Figura 2.</i> Interpretación de la curva granulométrica (Bañón, 2000) .....	28
<i>Figura 3.</i> Definición de los límites de Atterberg (Bañón, 2000).....	29
<i>Figura 4.</i> Cuchara de Casagrande (Bañón, 2000) .....	30
<i>Figura 5.</i> Esquema del Equipo PDC (ASTM D - 6951 -03) Viscarra, 2016. ....	34
<i>Figura 6.</i> Curva PDC para una serie de valores (Viscarra, 2006).....	35
<i>Figura 7.</i> Frasco típico y símbolo de reciclaje PET (Elaboración propia) .....	41
<i>Figura 8.</i> Frasco típico y símbolo de reciclaje HDPE (Elaboración propia) .....	42
<i>Figura 9.</i> Frasco típico y símbolo de reciclaje V (Elaboración propia) .....	42
<i>Figura 10.</i> Frasco típico y símbolo de reciclaje LDPE (Elaboración propia).....	43
<i>Figura 11.</i> Frasco típico y símbolo de reciclaje PP (Elaboración propia) .....	43
<i>Figura 12.</i> Frasco típico y símbolo de reciclaje PS (Elaboración propia) .....	44
<i>Figura 13.</i> Símbolo de reciclaje OTHER (Elaboración propia).....	44
<i>Figura 14.</i> Localización regional y localización provincial (Web) .....	50
<i>Figura 15.</i> Localización y ubicación de la zona de muestra (Web).....	50
<i>Figura 16.</i> Ensayo de PDC y Excavación de Calicatas (Elaboración propia).....	53
<i>Figura 17.</i> Ensayo N°01 de PDC in – situ en el tramo de estudio (Elaboración propia) .....	54
<i>Figura 18.</i> Ensayo N°02 de PDC in – situ en el tramo de estudio (Elaboración propia) .....	54
<i>Figura 19.</i> Vista de C - 01 de la carretera Juliaca - Caminaca (Elaboración propia).....	55
<i>Figura 20.</i> Vista de C - 02 de la carretera Juliaca - Caminaca (Elaboración propia).....	55
<i>Figura 21.</i> Vista de C - 03 de la carretera Juliaca - Caminaca (Elaboración propia).....	56
<i>Figura 22.</i> Realización de análisis granulométrico de suelos (Elaboración propia) .....	58
<i>Figura 23.</i> Muestras de suelo húmedo y muestras de suelo seco (Elaboración propia) .....	59
<i>Figura 24.</i> Realización del ensayo de limite líquido (Elaboración propia) .....	60
<i>Figura 25.</i> Realización del ensayo de limite plástico (Elaboración propia).....	61
<i>Figura 26.</i> Ensayo de PDC in – situ (Elaboración propia).....	62
<i>Figura 27.</i> Compactación por capas y pesado de la muestra (Elaboración propia) .....	63
<i>Figura 28.</i> Compactación y pesado del molde de CBR (Elaboración propia).....	64
<i>Figura 29.</i> Lectura y apunte de expansión (Elaboración propia) .....	65
<i>Figura 30.</i> Penetración en la prensa de CBR (Elaboración propia) .....	65
<i>Figura 31.</i> Recolección de polímeros reciclados PET 1 (Elaboración propia).....	66
<i>Figura 32.</i> Trituradora y recicladora. Empresa RECIPLAST JULIACA (Elaboración propia) ..	66

Figura 33. Preparación de la muestra con polímeros reciclados PET .....	67
Figura 34. Curva granulométrica de la C - 01, C – 02 y C – 03, E – 03 (Elaboración propia) .....	69
Figura 35. Diagrama de fluidez de la C - 01, E - 03 (Elaboración propia) .....	71
Figura 36. Diagrama de fluidez de la C - 02, E - 03 (Elaboración propia) .....	72
Figura 37. Diagrama de fluidez de la C - 03, E - 03 (Elaboración propia) .....	72
Figura 38. Curva PDC del ensayo N°01 (Elaboración propia) .....	76
Figura 39. Curva PDC del ensayo N°02 (Elaboración propia) .....	76
Figura 40. Diagrama relación humedad – densidad seca, C – 01 (Elaboración propia) .....	77
Figura 41. Diagrama relación humedad – densidad seca, C – 02 (Elaboración propia) .....	78
Figura 42. Diagrama relación humedad – densidad seca, C – 03 (Elaboración propia) .....	78
Figura 43. Densidad seca vs. CBR, C - 01 (Elaboración propia) .....	79
Figura 44. Densidad seca vs. CBR, C - 02 (Elaboración propia) .....	80
Figura 45. Densidad seca vs. CBR, C - 03 (Elaboración propia) .....	80
Figura 46. Densidad seca vs. CBR, C - 01 más 1% de polímero reciclado (Elaboración propia) .....	83
Figura 47. Densidad seca vs. CBR, C - 02 más 3% de polímero reciclado (Elaboración propia) .....	85
Figura 48. Densidad seca vs. CBR, C - 03 más 5% de polímero reciclado (Elaboración propia) .....	86
Figura 49. Diseño de un pavimento flexible de suelo natural (Elaboración propia) .....	93
Figura 50. Diseño de un pavimento flexible de suelo natural más polímero reciclado PET (Elaboración propia) .....	93
Figura 51. Perfil estratigráfico de las 3 calicatas (Elaboración propia) .....	94
Figura 52. Región de rechazo, aceptación y valor crítico en las pruebas de hipótesis (Web) .....	96
Figura 53. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 01 (Web) .....	103
Figura 54. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 02 (Web) .....	107
Figura 55. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 03 (Web) .....	111

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Matriz de Consistencia .....	119
Anexo B. Operacionalización de las Variables .....	120
Anexo C. Resumen de la clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO. ....	121
Anexo D. Panel fotográfico.....	122
Anexo E. Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la UPeU. ....	126
Anexo F. Estudio de tráfico. ....	189

## RESUMEN

Los polímeros generan un impacto negativo en la contaminación ambiental ya que no se degradan con el pasar del tiempo, es por eso que el objetivo de esta investigación es utilizar los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de los suelos arcillosos a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

Se tomó como muestra al tramo de estudio, progresiva Km 2+000 – Km 2+500, en donde se realizaron 2 ensayos de PDC in – situ y 3 calicatas a una profundidad de 1.50 m. para ser ensayadas en laboratorio para suelos en estado natural y con la adición de 1%, 3% y 5% de polímeros reciclados PET, se realizó 36 ensayos de CBR.

De los ensayos realizados de PDC in – situ en 2 puntos, los resultados son CBR = 5.31% y CBR = 5.34%. Asimismo, con la realización de las calicatas se pudo apreciar que el suelo de la subrasante se divide en 2 tramos según las características físicas y mecánicas con un CBR al 95% D.M.S. El primer tramo presenta CL – ML con CBR = 5.41%, mientras que el segundo presenta CL con CBR = 5.78%; por lo que según el MTC (2013) se recomienda mejorar o cambiar el suelo de la subrasante.

Con los resultados llegamos a la conclusión que para un suelo natural el CBR = 5.41% y con la adición de 3% de polímeros reciclados PET se incrementa el CBR = 6.19% D.M.S., siendo así el 3% como el óptimo.

**Palabras clave:** Estabilización, suelos arcillosos, subrasante, polímeros reciclados PET.



## ABSTRACT

Polymers generate a negative impact on environmental pollution since they do not degrade over time, that is why the objective of this research is to use recycled PET polymers as an addition to stabilize clay soils at the subgrade level. from the Juliaca - Caminaca highway.

The study section, progressive Km 2 + 000 - Km 2 + 500, was taken as a sample, where 2 PDC tests were carried out in - situ and 3 test pits at a depth of 1.50 m. To be tested in the laboratory for soils in their natural state and with the addition of 1%, 3% and 5% of recycled PET polymers, 36 CBR tests were performed.

Of the PDC tests performed in-situ at 2 points, the results are CBR = 5.31% and CBR = 5.34%. Likewise, with the completion of the test pits it could be seen that the subgrade soil is divided into 2 sections according to the physical and mechanical characteristics with a 95% CBR D.M.S. The first section presents CL-ML with CBR = 5.41%, while the second section presents CL with CBR = 5.78%; therefore, according to MTC (2013), it is recommended to improve or change the subgrade floor.

With the results we conclude that for a natural soil the CBR = 5.41% and with the addition of 3% of recycled PET polymers the CBR = 6.19% D.M.S. is increased, thus being 3% as optimal.

Key words: Stabilization, clayey soils, subgrade, recycled PET polymers.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Planteamiento del Problema**

La construcción de carreteras se realiza en todo el país del mundo, es un rubro muy importante que contribuye de manera eficaz para el crecimiento y mejoramiento de la población.

En muchas obras en la región de Puno, al momento de ejecutar un proyecto de vías se encuentran terrenos de fundación de baja capacidad portante, la cual necesita ser mejorado o cambiado por otro material que cumpla, según los parámetros del MTC.

En la carretera Juliaca – Caminaca, progresiva Km 2+000 – 2+500, el suelo de fundación es arcilloso lo cual presenta baja capacidad portante y requiere ser mejorada con cualquier método sugerido por el MTC o por el método que se plantea en la presente tesis de investigación, que es la estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

Para solucionar este problema se empleará los polímeros reciclados PET con la finalidad de mejorar algunas propiedades físicas – mecánicas del suelo de fundación para evitar grandes movimientos de tierras y explotación de canteras; por ende, se estaría reduciendo el reciclaje de polímeros que conlleva a una contaminación ambiental.

#### **1.2. Formulación del Problema**

##### **1.2.1. Problema general.**

¿Se podrá estabilizar los suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca?

##### **1.2.2. Problemas específicos.**

¿Cuál es la dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca?

¿Cómo influye la utilización de los polímeros reciclados PET, en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca?

¿Qué efecto tiene la dosificación óptima de polímeros reciclados PET en la densidad máxima seca de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca?

### **1.3. Objetivos de la Investigación**

#### **1.3.1. Objetivo general.**

Estabilizar los suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

#### **1.3.2. Objetivos específicos.**

Determinar la dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

Evaluar la influencia de los polímeros reciclados PET en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca.

Determinar el efecto que causa la dosificación óptima de polímeros reciclados PET en la densidad máxima seca de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

### **1.4. Justificación de la Investigación**

#### **1.4.1. Justificación teórica.**

El uso de polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de suelos arcillosos a nivel de la subrasante y para la aplicación se debe tener en consideración las normas técnicas peruanas, MTC y el manual de carreteras (suelos, geología, geotecnia y pavimentos) porque son necesarias para la comprobación de datos.

La información adquirida y procesada servirá de sustento para ésta y otras investigaciones similares, siendo un aporte importante a la ingeniería civil.

#### **1.4.2. Justificación práctica.**

Se realizará la zonificación y ubicación de calicatas a estudiar, con la incorporación de los polímeros reciclados PET en suelos arcillosos y que este a su vez mejore la subrasante servirá para que las empresas constructoras utilicen este método, ayudando al mejoramiento de las vías y en la reducción de la contaminación que se produce por los polímeros reciclados en el medio ambiente.

#### **1.4.3. Justificación social.**

Los polímeros debido a su producción, consumo, bajo costo y múltiples aplicaciones que se les puede dar, se pueden aplicar mediante el reciclaje con la finalidad de disminuir la contaminación.

En la construcción de obras viales es primordial minimizar y compensar al máximo posible el movimiento de tierras para consideraciones económicas, ambientales y técnicas, por ello se debe realizar estudios de suelos y optar por el mejor estabilizador, la ventaja de utilizar el polímero reciclado PET es que es un material reciclable y con facilidad de poder conseguirlo.

#### **1.4.4. Justificación técnica.**

Para que las vías cumplan la función adecuada de su vida útil, necesita un estudio de suelo que abarca desde los planes y hasta el desarrollo de las redes viales en el futuro.

Durante los años de vivencia en la ciudad de Juliaca, observé un tramo km 2+000 – 2+500 de la carretera Juliaca – Caminaca la presencia de suelos arcillosos, lo cual necesita ser mejorado a nivel del CBR, para evitar el asentamiento.

Se realizó un previo estudio con el equipo de PDC (Penetración Dinámica de Cono) in – situ. en 2 puntos, tramo Km 2+150 su CBR = 5.31%, y en el tramo Km 2+350 su CBR = 5.34%. Donde los resultados de la capacidad portante (CBR) son inferiores al 6% la cual necesita ser mejorado.

## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LA LITERATURA

#### 2.1. Antecedentes de la Investigación

##### 2.1.1. Antecedentes locales.

(Pari, 2013); en su tesis “Influencia de la inclusión de desecho de policloruro de vinilo (PVC) sobre la capacidad de soporte de un material granular tipo subbase en la ciudad de Juliaca” cuyo objetivo fue utilizar el desecho de PVC como aditivo, para modificar el comportamiento de una sub base granular, con ensayos de Proctor y CBR comparó el material natural y combinado con porciones del desecho de PVC de una cantera específica de la ciudad de Juliaca. Los resultados de la investigación nos indican que desecho de PVC ayuda a tener un mejor comportamiento para la conformación de pavimentos y que mejora el CBR de un material granular de tipo subbase a partir del 1.8%, en el cual mantiene las propiedades originales. Utilizó porcentajes iguales o mayores al 3%, que aumento la resistencia y disminuyó el peso unitario cumpliendo con los requerimientos de resistencia exigidos en pavimentos y proporciona una superficie de apoyo a la base granular o a la loza de concreto y aligera el peso que debe soportar la subrasante.

(Quispe, 2014); en su tesis “Estabilización de suelos no aptos con desechos de policloruro de vinilo para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos” como objetivo fue evaluar las propiedades mecánicas del suelo estabilizado con desecho de policloruro de vinilo para su aplicación en las capas de base y sub base de Pavimentos, para la obtención de muestras realizó calicatas en zonas aun no alteradas y taludes de corte visible en canteras para luego ser analizadas en el laboratorio con los ensayos correspondientes, llegó a la conclusión de que el policloruro de vinilo mejora las propiedades del material de cantera para su uso como capa base y sub base de pavimentos, ya que tiene alta resistencia

a la ruptura y química siendo su CBR más eficiente del desecho policloruro de vinilo es el 6% requerido por la EG – 2013.

(Mamani & Huaranca, 2013); en su artículo de investigación “Estabilización de suelos con fines de pavimentación, mediante el uso de polímeros reciclados”, cuyo objetivo fue el estudio de tres canteras cuya adición fue los polímeros reciclados y realizando los ensayos en laboratorio logró un aumento de CBR en promedio de 28%, las canteras estudiadas fueron suelos arenosos con presencia importante de arcillas, el porcentaje de material fino (pasante la malla N°200) en promedio fue del 25%. En dicha investigación recomendó que se realice investigaciones en suelos limo – arcillosos.

### **2.1.2. Antecedentes nacionales.**

(Cuipal, 2018); en su tesis “Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018” cuyo objetivo fue analizar el efecto que causa la adición de polímero sintético en la estabilización de la subrasante de suelo arcilloso del tramo de estudio km 4 +500 hasta el km 4 + 900 de la carretera Chachapoyas – Huancas, dividió en 2 tramos, el primero presentó suelos finos con alto contenido de arcilla de plasticidad media a elevada y el segundo tramo mostró contenido de limo arcillas de ligera plasticidad y escaso contenido de grava, en los dos tramos determinó su capacidad de soporte de un CBR al 95% de su densidad máxima seca inferior al 6%, por lo que de acuerdo al MTC se recomienda mejorar o cambiar el suelo de la subrasante. La evaluación de resultados indica que la adición de polímeros sintéticos incrementa en su capacidad portante y el CBR es variable, así que se recomienda realizar ensayos de laboratorio previo a su utilización, para establecer el porcentaje óptimo de adición de polímero sintético para estabilización y obtener mejores resultados en su expansión y resistencia.

(Leyva, 2016); en su tesis “Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva: km 0+000 - km 0+100, distrito de Orcotuna, Concepción”, el objetivo de esta tesis fue determinar el efecto de las bolsas de polietileno en el suelo a nivel de subrasante y este dividió en 2 tramos, el primero presentó un suelo arcilloso de baja plasticidad de la progresiva KM 0+000 - KM 0+100 siendo su CBR al 95% de M.D.S. igual a 4.145% por lo tanto, se tiene que mejorar el suelo de la subrasante, mientras que el segundo mostró un suelo grava arcilloso de la progresiva KM 0+100 - KM 0+230 siendo su CBR al 95% de M.D.S. igual a 12.5% por lo tanto no requiere mejoramiento. Las bolsas de polietileno fundido sirvieron como agente estabilizador en subrasantes para mejorar sus propiedades físicas – mecánicas recomendándose como el más óptimo al 6% con respecto al peso seco del suelo y con la adición de bolsas de polietileno fundido en forma de grumos en una dosificación de 6% del peso seco del suelo incrementó el CBR a 7.98% al 95% de la máxima densidad seca.

(Ramos, 2014); en su tesis “Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará – Huancavelica 2014”, Cuyo objetivo fue darle un valor agregado al polímero reciclado obtenido de las botellas descartables PET para el uso como aditivo para el mejoramiento de suelos de baja capacidad portante, tomó como muestra parte de la subrasante de la carretera no pavimentada y el suelo estudiado lo dividió en dos tramos, el primero tramo presentó un suelo arcilloso de plasticidad media con grava y arena, el segundo presentó un suelo arcilloso con arena y muy carente de grava, ambos tramos presentaron baja capacidad portante con un CBR inferior al 6%. Por lo cual recomienda adicionar los PR al 1.5% del peso seco del suelo, con dimensiones entre 5 y 10 mm, se aprecia un incremento porcentual en promedio del CBR en 26% debido a que el PET es un material resistente y al adicionar al suelo hace que tenga mayor fricción y por ende presente mayor resistencia al corte.

### **2.1.3. Antecedentes internacionales.**

(Lascano & Narvaez, 2010); en su artículo de investigación “Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una sub base granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC”, como objetivo utilizaron el desecho de PVC como un aditivo, para modificar el comportamiento de una sub base granular. Después de los datos obtenidos de los ensayos realizados de Proctor modificado y CBR, pudieron comparar el material de suelo sin y con la adición de desechos de PVC, en diferentes proporciones de 3% y 9%. Llegando a la conclusión que presenta una disminución de la densidad máxima, obteniéndose su mayor resistencia para la adición PVC.

(Rodríguez, Rondón, Vélez, & Aguirre, 2006); en su artículo de investigación “Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase”, cuyo objetivo fue la utilización del PVC como material agregado para modificar las propiedades de una sub base granular, realizaron ensayos de Proctor y CBR realizándose una comparación de suelo natural y suelo con diferentes porciones de desechos de PVC para ver su comportamiento. Llegaron a la conclusión que la mezcla modificada logra mejorar su resistencia y disminuye su peso.

(López, Hernández, Hortan, Coronado, & Castaño, 2010); en su artículo de investigación “Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas”, su objetivo fue estudiar deformaciones causadas por la expansión de arcillas, para dicha investigación usaron el poliuretano que se aplica para el sellado de grietas en la construcción. Consideraron muestras de suelo arcilloso natural y suelo arcilloso con adición de polímero, Calcularon propiedades de índice, resistencia al esfuerzo cortante, compactación, consolidación y expansión. Llegando a la conclusión que la muestra de suelo con polímero reduce la expansión en un 40%, en relación al suelo natural, por lo que el uso de polímero es factible.



## 2.2. Marco Teórico

### 2.2.1. Subrasante.

La subrasante es la superficie finalizada, preparado y compactado en que se puede construir un pavimento, asimismo AASHTO (1993) afirma que “la función de la subrasante es dar un apoyo razonablemente uniforme, sin cambios bruscos en el valor soporte, es decir, es más importante que la subrasante brinde un apoyo estable a que tenga una alta capacidad de soporte” (p.4).

Para el análisis de la subrasante es necesario tener en cuenta las propiedades físicas (análisis granulométrico de suelos, límites de consistencia, densidad, contenido de agua), Menéndez, 2013.

La subrasante de suelos deben contar con  $CBR \geq 6\%$ , en caso que tengan un  $CBR < 6\%$ . Deben ser estabilizados o cambiados por otro material, como se ve en la tabla1.

**Tabla 1**  
*Categorías de la subrasante*

<b>Categorías de la Subrasante</b>	<b>CBR</b>
S0: Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante Pobre	De CBR $\geq 3\%$ A CBR < 6%
S2: Subrasante Regular	De CBR $\geq 6\%$ A CBR < 10%
S3: Subrasante Buena	De CBR $\geq 10\%$ A CBR < 20%
S4: Subrasante Muy Buena	De CBR $\geq 20\%$ A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	De CBR $\geq 30\%$

Categorías de la subrasante (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013)

### 2.2.2. Caracterización de la subrasante.

Con la finalidad de determinar las propiedades físicas y mecánicas de suelos a nivel de la subrasante se lleva a cabo estudios mediante la ejecución de excavaciones exploratorias (calicatas), a una profundidad mínima de 1.50 m. La cantidad de calicatas por kilómetro estará de acuerdo a la tabla 2, según el MTC, 2013.

**Tabla 2**  
*Número de calicatas para exploración de suelos*

<b>Tipo de Carretera</b>	<b>Profundidad (m)</b>	<b>Número o mínimo de Calicatas</b>	<b>Observación</b>
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m. 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 4001veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50 m. 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 - 2001veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 4 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. 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 - 201veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m. 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 Transito: carreteras con un IMDA ≤ 200veh/día, de una calzada.	1.50 m. respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 calicatas x km</li> </ul>	

Número de calicatas para exploración de suelos (MTC, 2013)

### **2.2.3. Descripción de suelos**

#### **2.2.3.1. Análisis granulométrico de suelos.**

“La granulometría comprende todos los métodos tendientes a separar una muestra de suelo en fracciones según los tamaños de sus partículas. Está la granulometría está comprendida por medio de mallas” (Moreno & Ramírez, 2012, p.28).

Asimismo, MTC (2013) afirma que, la distribución de tamaños de la muestra mediante el tamizado según especificaciones técnicas (MTC E – 107) se define de la siguiente manera.

**Tabla 3**  
*Clasificación de suelos según tamaños de partículas*

Tipo de Material	Tamaño de Partículas
Grava	75 mm – 4.75 mm
Arena	Arena gruesa: 4.75 mm – 2.00 mm
	Arena media: 2.00 mm – 0.425 mm
	Arena fina: 0.425 mm – 0.075 mm
Material Fino	Limo
	Arcilla
	0.075 mm – 0.005 mm
	Menor a 0.005 mm

Clasificación de suelos según tamaños de partículas (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2013)

**Curva granulométrica.** “Se puede ver su comportamiento del suelo mediante la curva granulométrica, así diferenciar los dos tipos de granulometría” (Bañón, 2000, p.6).

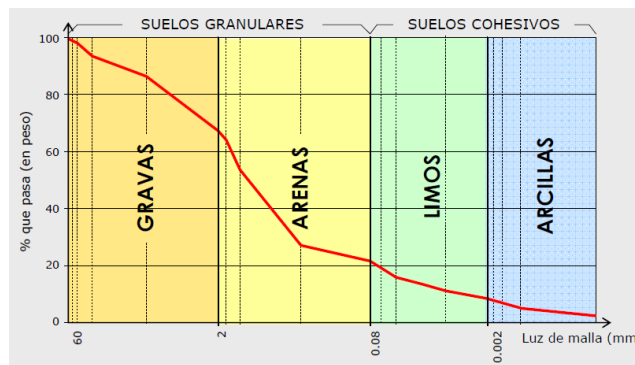


Figura 1. Curvas granulométricas de suelos (Bañón, 2000)

- **Granulometría discontinua.**

La granulometría discontinua se denomina a suelos mal graduados, por ejemplo, la arena de playa es de este tipo.

- **Granulometría continúa.**

Mientras que a la granulometría continua se les designa a suelos bien graduados, las zahorras se engloban dentro de este grupo.

- **Diámetro efectivo ( $D_{10}$ ):** Es aquel diámetro en la curva de distribución del tamaño de las partículas correspondiente al 10%.

- **Coefficiente de uniformidad ( $C_u$ ):** “Alien Hazen propuso para la uniformidad de un suelo” (Juaréz & Rico, 1973, p.81).

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

Donde:

$D_{60}$  = diámetro correspondiente al 60% de finos. Se considera un suelo bien graduado si, el  $C_u$  para gravas es mayor que 4 y para arena es mayor que 6. ( $C_u > 4$  en grava, y  $C_u > 6$  en arena)

- **Coefficiente de curvatura ( $C_c$ ):** “Se emplea para la graduación del suelo numérico” (Bañón, 2000, p.7).

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad (2)$$

Donde:

$D_{30}$  = diámetro correspondiente al 30% de finos. Para una óptima graduación se debe considerar que las gravas y arenas estén entre un valor de 1 y 3 respectivamente.

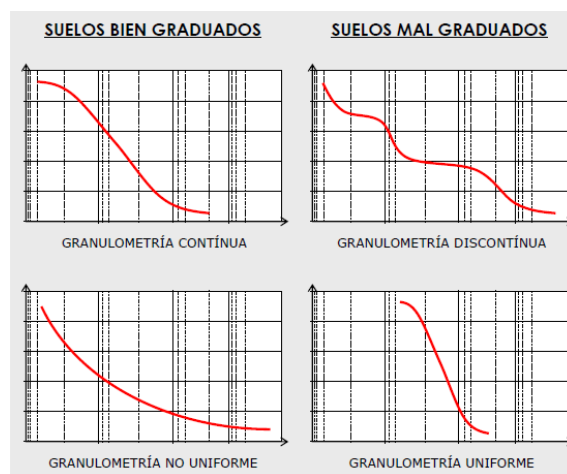


Figura 2. Interpretación de la curva granulométrica (Bañón, 2000)

### 2.2.3.2. Contenido de humedad.

Para Montejo (2002) el contenido de humedad es determinar una cierta cantidad de agua en una muestra de suelo seco, la cual cuenta con partículas sólidas, el aire y el agua (p.62).

Permite estimar su posible comportamiento, como subrasante, si el contenido de agua está cerca al límite líquido se trataría de un suelo muy sensitivo y por el contrario el contenido de agua es próximo límite plástico, este puede presentar un buen comportamiento (MTC, 2016, p.39).

“Existe una relación entre el peso del agua presente y peso seco de la muestra” (Botía, 2015).

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} * 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100 \quad (3)$$

Dónde:

W% = Contenido de humedad del suelo

W<sub>h</sub> = Peso de la muestra húmeda

W<sub>s</sub> = Peso de la muestra seca

### 2.2.3.3. Límites de consistencia en el suelo.

“Atterberg relacionó el grado plasticidad de un suelo con contenido de humedad en función del peso seco de la muestra, también definió las cuatro estaciones de estados de consistencia, observando la variación de diferentes propiedades físicas y mecánicas” (Bañón, 2000, p.10).

Montejo (2002) afirma que, los importantes umbrales de los límites de consistencia son: limite líquido y limite plástico, ya que deforman el suelo y reducen su capacidad portante de un suelo, siendo el interés el intervalo de humedad por el cual se comporta de manera plástica (p.84).

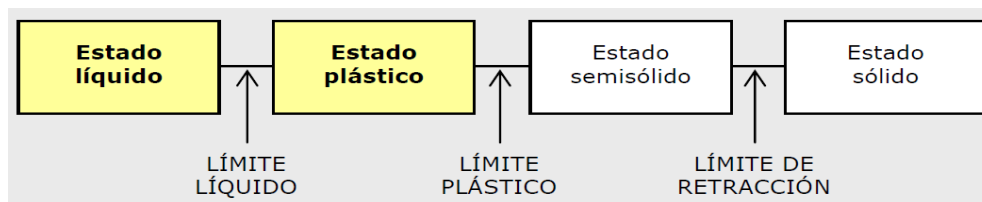


Figura 3. Definición de los límites de Atterberg (Bañón, 2000)

- **Límite líquido.**

Se obtiene mediante la cuchara de Casagrande, con el contenido de agua se cierra una ranura de 1/2" (12.7mm), mediante 25 golpes.

- **Límite plástico.**

Se determina mediante el contenido de agua con el cual se agrieta al formarse un rollito de 1/8" (3.18mm) de diámetro.

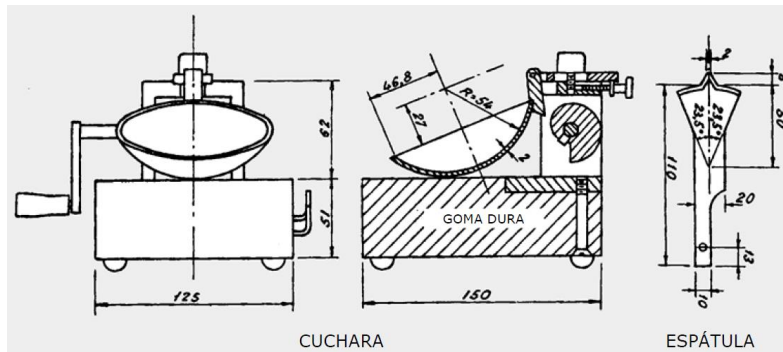


Figura 4. Cuchara de Casagrande (Bañón, 2000)

“La diferencia entre ambos límites se denomina índice de plasticidad” (Bañón, 2000, p.11).  
como se muestra en la siguiente ecuación:

$$IP=LL-LP$$

#### 2.2.3.4. Clasificación de suelos.

“La clasificación de suelo consiste en la repartición metódica de los diferentes tipos de suelos en una serie de grupos, tales que cada uno tiene propiedades geomecánicas y comportamientos similares” (Kraemer, y otros, 2004).

Según Farias & Niemann, 2005 afirma que, “conocer el tipo de suelo a través de una clasificación en un método estandarizado es un factor de vital importancia al momento de diseñar una obra vial” (p.1). Para el diseño de obras viales entre los más destacados se encuentran el SUCS y el método AASHTO.

- **Sistema unificado de clasificación del suelo (SUCS).**

El “Sistema Unificado de Clasificación de Suelos” proviene de un método desarrollado por Arturo Casagrande, y este a su vez se divide en granos gruesos y granos finos.

Niemann (2005) afirma que, se distinguen por el tamizado a través de la malla N°200. Se considera que un suelo es grueso si más del 50% (en peso) de una muestra representativa es retenida por dicha malla. Se considera que un suelo es fino si más del 50% (en peso) de una muestra representativa pasa por ésta (p.4).

Así como se muestra en la tabla 4 y tabla 5 para la clasificación de suelos mediante el método Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

**Tabla 4**  
*Sistema de clasificación SUCS (suelos gruesos)*

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS						
GRUESOS (< 50 % pasa 0.08 mm)						
Tipo de suelo	Símbolo	% Ret. en 5mm	% pasa* 0.08 mm	CU	CC	**IP
Gravas	<b>GW</b>		< 5	> 4	1 a 3	
	<b>GP</b>	≥ 50 % de lo ret. en 0.08 mm		Si no cumple requisitos de GW es GP		
	<b>GM</b>					< 0.73 (WL – 20) o < 4
	<b>GC</b>		> 12			< 0.73 (WL – 20) y > 7
Arenas	<b>SW</b>			> 6	1 a 3	
	<b>SP</b>	< 50 % de lo ret. en 0.08 mm		Si no cumple requisitos de SW es SP		
	<b>SM</b>		< 5			< 0.73 (WL – 20) o < 4
	<b>SC</b>		> 12			< 0.73 (WL – 20) y > 7

- Entre 5 y 12 % usar símbolo doble como:  
GW – GC, GP – GM, SW – SM, SP – SC

\*\* si IP = 0.73 (WL – 20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (WL – 20), usar símbolo doble: GM – GC, SM – SC.

En casos dudoso favorecer clasificación menos plástica:  
Ej: GW – GM en vez de GW – GC.

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$C_u = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} * D_{60}}$$

Sistema de clasificación SUCS para suelos gruesos (Farias & Soto, 2005)

**Tabla 5**  
*Sistema de clasificación SUCS (suelos finos)*

<b>SISTEMA DE CLASIFICACIÓN SUCS</b>			
<b>FINOS (<math>\geq 50</math> % pasa 0.08 mm)</b>			
Tipo de suelo	Símbolo	Lim. Liq. WL	Índice de plasticidad IP
Limos inorgánicos	<b>WL</b>	< 50	< 0.73 (WL – 20) o < 4
	<b>MH</b>	> 50	< 0.73 (WL – 20)
Arcillas orgánicas	<b>CL</b>	< 50	> 0.73 (WL – 20) y > 7
	<b>CH</b>	> 50	> 0.73 (WL – 20)
Limos o Arcillas orgánicos	<b>OL</b>	< 50	** WL seco al horno ≤ 75 % del WL
	<b>OH</b>	> 50	Seco al aire
Altamente orgánicos	<b>Pt</b>	Materia orgánica fibrosa se carboniza, se quema o se pone incandescente	

\* Si IP = 0.73 (WL – 20) o si IP entre 4 y 7 e IP > 0.73 (WL – 20), usar símbolo doble:  
**CL – ML, CH – OH**

\*\* Si tiene olor orgánico debe determinarse adicionalmente WL seco al horno

En casos dudosos favorecer clasificación más plástica  
Ej: **CH – MH** en vez de **CL – ML**

Si WL = 50; **CL – CH** o **ML – MH**

Sistema de clasificación SUCS para suelos finos (Farias & Soto, 2005)

- **Sistema de clasificación AASHTO.**

La clasificación de suelos American Association of State Highway Officials (AASHTO), actualmente es el más usado para vías.

Según Farias & Niemann (2005) afirma que, este sistema clasifica los suelos a partir de los resultados dados por los ensayos de granulometría y los límites de Atterberg (límite líquido y límite plástico).

Se divide en dos grandes grupos: suelos granulares y suelos limo – arcillosos, los cuales se subdividen en 7 grupos (p.7). ver tabla 6.



**Tabla 6**  
Sistema de clasificación AASHTO

SISTEMA DE CLASIFICACIÓN AASTHO										
Clasificación General	Suelos granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)						Suelos Finos ( $> 35\%$ bajo 0.08 mm)			
Grupo	A - 1		A - 3	A - 2			A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
Sub - Grupo	A - 1a	A - 1b	A - 3	A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6*	A - 2 - 7*			A - 7 - 5** A - 7 - 6**
2 mm	$\leq 50$									
0.5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\leq 51$							
0.08 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$		$\leq 35$				$\leq 36$	
WL			$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$	$\leq 40$	$\leq 41$
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 11$	$\leq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\leq 11$
Descripción	Gravas y Arenas		Arena Fina	Gravas y Arenas Limosas o Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos	
	** A - 7 - 5: $IP \leq (WL - 30)$						** A - 7 - 6: $IP > (WL - 30)$			
	$IG = (B / 0,08 - 35) (0,2 + 0,005 (WP - 40)) + (B / 0,08 - 15) (IP - 10) \times 0,01$									
	* Para A - 2-6 y A - 2-7: $IG = (B / 0,08 - 15) (IP - 10) \times 0,01$ Si el suelo es NP: $G = 0$ ; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$									

Sistema de clasificación AASHTO (Farias & Soto, 2005)

Los suelos clasificados en los grupos A-1, A-2 y A-3 son materiales granulares de los cuales 35% o menos de las partículas que pasan por el tamiz N°200. Los suelos que tienen más del 35% de partículas que pasan por el tamiz N°200 se clasifican dentro de los grupos de material fino A-4, A-5, A-6 y A-7.

Estos suelos son principalmente limo y materiales de tipo arcilla (Braja, 2013). El índice de grupo se calcula con la siguiente ecuación dónde:

$$IG = (F - 35)[0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15)(PI - 10) \quad (4)$$

- ✓ F = Porcentaje de material que pasa por la malla N°200.
- ✓ LL = límite líquido.
- ✓ PI = Índice de plasticidad.

A continuación, se presentan algunas reglas para la determinación del índice de grupo:

- ✓ Si la ecuación da un valor negativo para  $IG$ , se toma como 0.
- ✓ El índice de grupo calculado a partir de la ecuación se redondea al número próximo.

### 2.2.3.5. PDC (*Penetración Dinámica de Cono*).

Según Viscarra (2006) menciona que, el PDC fue desarrollado por Scala en 1956, y aplicado en campo por Livneh y Ishali en 1987. Kleyn en 1975 ha hecho estudios básicos para la evaluación de pavimentos. Luego su uso fue en Inglaterra, Australia, Canadá, Nueva Zelanda y Estados Unidos.

“Su uso es esencialmente para evaluar la resistencia de suelos tanto no disturbados como compactados y estimar un valor de CBR en campo” (Viscarra, 2006, p.4). Presenta ventajas como su simplicidad y economía de uso.

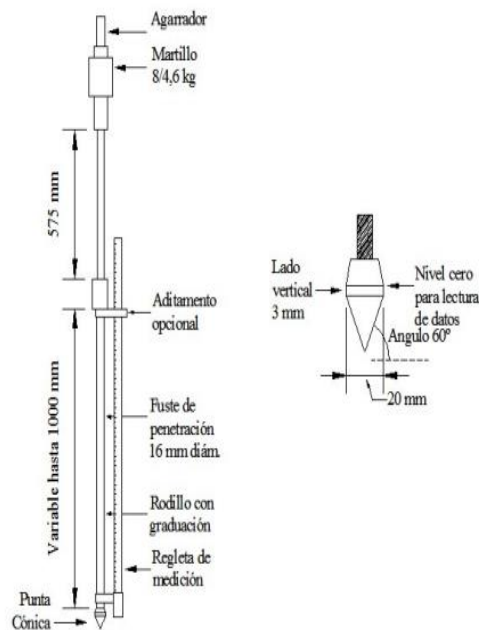


Figura 5. Esquema del Equipo PDC (ASTM D - 6951 -03) Viscarra, 2016.

- **Curva PDC.**

“Es una gráfica que presenta la penetración acumulada en función del número de golpes acumulados” (Vivanco, Wahr, & Casanova, 2001).

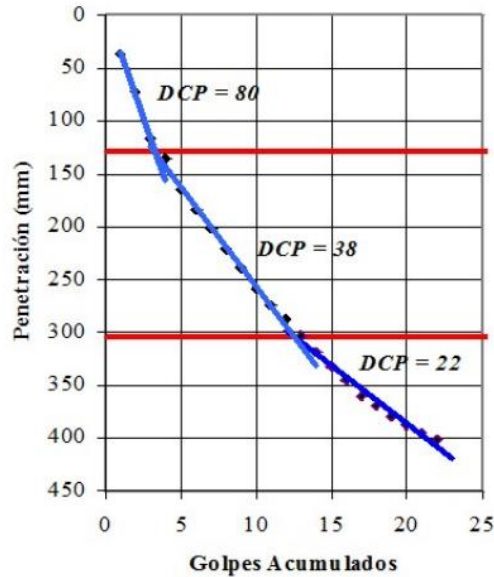


Figura 6. Curva PDC para una serie de valores (Viscarra, 2006)

En la siguiente tabla se muestra la ecuación para determinar el CBR en relación con PDC.

**Tabla 7**

*Resumen de expresiones para correlacionar el número de PDC con otros valores*

Relación entre PDC (mm/gol.) y:	Ecuación	Autor	Observaciones
Limite Liquido (%)	$LL = 0.62 * \text{Log}(PDC) - 1.14$	Gabr, M. et al. (2001)	Suelos con alto contenido de finos (60%)
Valor de Soporte de California	$CBR = \frac{292}{PDC^{1.12}}$	Van Vuren (1968), Kleyn (1975).	Para todo tipo de Suelos
Módulo Resiliente (MPa)	$MR = 537.76 * PDC^{-0.6645}$	Chen D. et al. (2005).	Para Bases y Sub Bases
Compresión No Confinada (KPa)	$\text{Log}(UCS) = 3.29 - 0.809 * \text{Log}(PDC)$	Mc Elvaney y Djatnika (1991).	Suelos con Limos

Resumen de expresiones para correlacionar el número de PDC con otros valores (Viscarra, 2006).

### **2.2.3.6. Compactación de suelos.**

“Es el proceso mecánico por el cual se pretende obtener mejores características en los suelos que constituyen la sección estructural de las carreteras, de tal manera que la obra resulte duradera y cumpla con el objetivo por el cual fue proyectada” (Moreno & Ramírez, 2012, p.33).

- **Prueba Proctor Modificado.**

Montejo (2002) afirma que, conforme fueron aumentando las cargas sobre las terracerías por el uso de camiones y aeronaves cada vez más pesados, se vio la necesidad de desarrollar mayores densidades y resistencias en muchos materiales usando mayor trabajo de compactación. Por esta razón se desarrolló la prueba del proctor modificado, con el objetivo de mejorar las propiedades mecánicas de los suelos y reducir los espacios vacíos (p.486).

**Tabla 8**  
*Especificaciones para la prueba de Proctor modificado*

Descripción	MÉTODO		
	A	B	C
Diámetro de Molde	4"	4"	6"
Peso del Martillo	44.5 N	44.5 N	44.5 N
Altura de Caída	45.7 cm	45.7 cm	45.7 cm
N° de Golpes/Capa	25	25	56
Numero de Capas	5	5	5
Energía de Compactación	2,700 KN-m/m <sup>3</sup>	2,700 KN-m/m <sup>3</sup>	2,700 KN-m/m <sup>3</sup>
Material a Usar	Mat que pasa el Tamiz N° 4	Material que pasa el Tamiz 3/8"	Material que pasa el Tamiz 3/4"
Uso	Ret. Tamiz N° 4 ≤ 20%	Ret. Tamiz N° 4 > 20% Ret. Tamiz 3/8" ≤ 20%	Ret. Tamiz 3/8" > 20% Ret. Tamiz 3/4" ≤ 30%

Especificaciones para la prueba de Proctor modificado (Guía de laboratorio de mecánica de suelos de la UPeU)

Se calcula por la siguiente formula:

$$\gamma_h = \frac{\text{Peso de la Muestra Húmeda}}{\text{Volumen de la Muestra}} \quad (5)$$

$$w\% = \frac{\text{Peso del Agua}}{\text{Peso de Suelo Seco}} * 100 \quad (6)$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_h}{1+w\%} \quad (7)$$

Dónde:

$\gamma_h$  : Densidad Húmeda

$\gamma_d$  : Densidad Seca

$w\%$  : Contenido de Humedad

### **2.2.3.7. CBR (California Bearing Ratio).**

El CBR son ensayos de resistencia de mayor importancia (de laboratorio y campo).

Asimismo, Montejo (2002) menciona que, el CBR es una medida de resistencia al esfuerzo cortante de un suelo en función a la densidad y humedad. Su uso es en diseño de pavimentos flexibles, y se expresa en porcentajes (p.64).

Para realizar el ensayo se hace previamente una mezcla de muestra de suelo con la cantidad de agua requerida para adquirir la humedad óptima, conseguida en el ensayo de proctor, se compacta al 95% de la máxima densidad seca para realizar el ensayo de CBR.

“Para calcular la resistencia de penetración, se confeccionan tres moldes los cuales son saturados por tiempo de 96 horas para simular las condiciones de trabajo, después de haber sometido a distintas energías de compactación, a 12, 25 y 56 golpes” (MTC, 2013).

### **2.2.4. Subrasante de suelos arcillosos.**

“Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con un diámetro menor a 0.005 mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al mezclarse con agua” (Crespo, 2004, p.22).

Según el MTC (2013) para un suelo arcilloso, la magnitud es un elemento de riesgo para una estructura de pavimento, teniendo en cuenta su gran sensibilidad al agua. (p.37).

#### **2.2.4.1. Arcillas.**

Las arcillas son depósitos minerales, el mismo que se convierte con la humedad en plástico que está formado de un material muy fino, son inferiores a 4 micras de tal forma que su principal componente es el silicato de aluminio hidratada. (Angelone, 2014, p.5).

#### **2.2.4.2. Tipos de arcillas.**

“De acuerdo a su estructura, los minerales de arcilla se clasifican en tres grupos: montmorillonitas, ilitas y caolinitas” (Garnica, Pérez, Gómez, & Obil, 2002, p.2).

“Se diferencian principalmente por la plasticidad que presentan, la caolinita tiene baja plasticidad, la illita media plasticidad y las montmorillonitas tienen alta plasticidad” (Valle, 2010).

- **Montmorillonitas.**

Las montmorillonitas están formadas por una lámina alumínica y dos silícicas, en este tipo de arcilla la unión entre las retículas es débil por lo que las moléculas del agua pueden introducirse en la estructura con relativa facilidad. Son expansivas ya que debido a lo anterior se produce un incremento volumétrico de la montmorillonita la cual es un mineral del grupo de los silicatos, subgrupo filosilicatos y dentro de ellos pertenece a las llamadas arcillas. (Cruz, 2014, p.5)

- **Illitas.**

Son semejantes a las montmorillonitas, su constitución interna es forma de grumos de materia, que reducen el área expuesta al agua; ya que mediante este comportamiento su expansión es mínima que a las montmorillonitas y su comportamiento mecánico es más favorable para el ingeniero. (Garnica, Pérez, Gómez, & Obil, 2002, p.3)

- **Caolinitas.**

Según Olguin (2011) afirma que, el grado de acidez de los cristales crece cuando el suelo es menor y el pH es mayor, es decir menores que 7 se hace notable la actividad catiónica. “La capacidad de intercambio también crece con la velocidad y concentración de la solución que circule por la masa de suelo” (p.9).

#### **2.2.5. Estabilización de suelo.**

“Este es un proceso de alteración de las propiedades de ingeniería de suelo in situ o tomado a un costo más bajo y con mejor control de calidad” (Braja, 2013, p.266).

“Sirve para soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas” (Junco del Pino & Tejeda, 2011, p.4)

### **2.2.5.1. Criterios geotécnicos para la estabilización de suelos.**

“Para las subrasantes de suelos con  $\text{CBR} \geq 6\%$ , se considerarán como materiales aptos para las capas. En caso de tener una subrasante  $< 6\%$  (pobre o inadecuada) será materia de estudio para la estabilización, mejoramiento o reemplazo” (MTC, 2013, p.107).

La superficie de la subrasante debe quedar encima del nivel de la napa freática como mínimo a 0.60 m. cuando se trate de una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m. cuando se trate de una subrasante buena y regular; a 1.00 m. cuando se trate de una subrasante pobre y finalmente a 1.20 m. cuando se trate de una subrasante inadecuada.

En zonas sobre los 4,000 msnm, se evaluará la acción de las heladas en los suelos. En general, la acción de congelamiento está asociada con la profundidad de la napa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento.

### **2.2.5.2. Métodos de estabilización según el MTC.**

Estabilización mecánica de suelos.

Estabilización por combinación de suelos.

Estabilización por sustitución de los suelos.

Suelos estabilizados con cal.

Suelos estabilizados con cemento.

Suelos estabilizados con escoria.

Estabilización con cloruro de sodio.

Estabilización con cloruro de calcio.

Estabilización con cloruro de magnesio.

Estabilización con productos asfálticos.

Estabilización con geosintéticos.

## **2.2.6. Factores a considerar en el diseño de pavimento.**

### **2.2.6.1. El tránsito.**

CORASCO (2008) afirma que, en un diseño de pavimentos el tránsito es una de las variables más importantes, es por ello que se debe tener la información más precisa posible del tráfico para dicho diseño para no tener diseños inseguros. La metodología AASHTO considera la vida útil. El método de estimación ya fue expuesto y es similar para el caso de los pavimentos flexibles. (p.72)

### **2.2.6.2. La subrasante.**

Montejo (2002) menciona que, el espesor de un pavimento depende de la calidad de la subrasante, ya que a esta capa se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito, es importante tener en cuenta la sensibilidad (resistencia) y las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción) (p.9)

### **2.2.6.3. El clima.**

“Para los efectos de diseño de un pavimento flexible debemos considerar todos los aspectos que inciden en forma prioritaria en su estructuración” (Pattillo, 1988, p.5).

Asimismo, Montejo (2002) menciona que, las precipitaciones pluviales influyen en la resistencia con la elevación del nivel freático y algunas construcciones como movimiento de tierras, colocación y compactación de capas y asfálticas (p.9).

### **2.2.6.4. Los materiales disponibles.**

Según Montejo (2002) afirma que, los materiales disponibles son para la selección del pavimento más adecuada técnica y económicamente; se toma en cuenta canteras disponibles, depósitos aluviales del área, material disponible, precio, distancia de acarreo. Por otra parte, se deben considerar materiales básicos de mayor costo: ligantes y conglomerantes, especialmente (p.10).



## 2.2.7. Polímeros reciclados.

### 2.2.7.1. Definición.

Según Hermida (2011) menciona que, a los polímeros también se lo denomina como plásticos (p.40).

### 2.2.7.2. Estructura del polímero.

Según Roca (2005) menciona que, la estructura química del Polímero es  $-(CH_2 - CH_2 -)_n$ . Esta molécula está compuesta en su unidad estructural por dos átomos de carbono y 4 átomos de hidrógeno unidos todos por enlaces de tipo covalente. La fuerza de los enlaces C - C y C - H es 347 y 414 KJ/mol, para formar el Polietileno (p.2).

### 2.2.7.3. Tipos de botellas de plástico y su reciclaje.

Se clasifican en 7 grupos según los materiales, se identifican en la parte inferior de cada botella descartable, dichas letras y números indican el tipo de botella plástico.

- **PET o PETE (Tereftalato de polietileno).**

Son polímeros PET que están hechas de tereftalato de polietileno, tienen el número "uno" impreso en la parte inferior, está fabricado de un plástico fuerte y durable que es bueno por su portabilidad, sus principales propiedades son: la alta resistencia al desgaste y corrosión, buena resistencia química y térmica, se puede ver en juguetes, revestimiento de cables, botellas, películas de embalaje, para uso de agrícolas, etc. (López & Mendizábal, 2015, p.38).



Figura 7. Frasco típico y símbolo de reciclaje PET (Elaboración propia)

- **HDPE (El polietileno de alta densidad).**

“Los polímeros HDPE que tienen el número “dos” impreso en la parte inferior, su fabricación es de polietileno de alta densidad. Son plásticos más densos y resistentes, se usa en envases, botellas de champú, detergente, cloro, etc.” (Aguilar, 2001, p.75).



Figura 8. Frasco típico y símbolo de reciclaje HDPE (Elaboración propia)

- **V o PVC (Vinílicos o cloruro de polivinilo).**

Los polímeros V o PVC son las que tienen el número “tres” impreso en la parte inferior, hecha de policloruro de vinilo. Este tipo de plástico es muy flexible y se usa en líquidos que se expanden o contraen para que no pueda romperlo el plástico como: envase en limpiadores de ventanas, botellas de detergente, champú, aceites, etc. (Hermida, 2011, p.42)



Figura 9. Frasco típico y símbolo de reciclaje V (Elaboración propia)

- **LDPE (Polietileno de baja densidad).**

Los polímeros LDPE tiene el numero “cuatro” impreso en la parte inferior, su fabricación es de polietileno de baja densidad. Es un plástico delgado que puede fabricarse a un precio bajo, ya que se funde fácilmente lo que lo hace ideal cuando es necesario usar el sellado por calor. Este plástico fuerte, flexible y transparente (Fernández, 2013, p.1).



Figura 10. Frasco típico y símbolo de reciclaje LDPE (Elaboración propia)

- **PP (Polipropileno).**

Los polímeros PP tienen el número “cinco” impreso en la parte inferior, son botellas hechas de polipropileno y tiene un punto de fusión muy elevado, razón por la cual necesitan ser calentados o en los que es necesario verter líquidos calientes, como el café. También es bueno para tinas pequeñas que necesitan calentarse. (Hermida, 2011, p.50)



Figura 11. Frasco típico y símbolo de reciclaje PP (Elaboración propia)

- **PS (Poliestireno).**

Los polímeros PS son las que tienen el número “seis” impreso en la parte inferior, Su bajo punto de fusión hace que se derrita con el calor. Se pueden obtener diversos productos entre ellos, material para edificación, aislantes, etc. Es utilizado en platos, vasos de usar y botar, hueveras, bandejas desechables utilizadas en alimentación, etc.” (Mano, 2003, p.156).



Figura 12. Frasco típico y símbolo de reciclaje PS (Elaboración propia)

- **Otros.**

Los polímeros con el número “siete” impreso en la parte inferior indica que está hecha de otro material diferente a los anteriores, o hecha de una combinación de dos o más capas de otros plásticos. Por ejemplo, con estos plásticos están hechos algunos materiales a prueba de balas, OVO, gafas de sol, MP3 y PC, etc.



Figura 13. Símbolo de reciclaje OTHER (Elaboración propia)

## **2.3. Marco Conceptual**

### **2.3.1. Mecánica de suelos**

Ciencia que fue fundada por Karl con Terzaghi (1925), se trata de la aplicación de las leyes de la física y las ciencias naturales a los problemas de las cargas impuestas a la capa superficial de la corteza terrestre.

### **2.3.2. Subrasante.**

Es el soporte natural, preparado y compactado, en la cual se puede construir un pavimento. Su función es dar un apoyo uniforme, sin cambios bruscos al valor soporte de tal manera que brinde un apoyo estable y su capacidad de soporte sea alta.

### **2.3.3. Estabilización de suelo.**

Es el mejoramiento de las propiedades físicas que se realiza a los suelos inadecuados o pobres a través de procedimientos mecánicos e incorporación de aditivos químicos, naturales o sintéticos.

### **2.3.4. Arcillas.**

Proviene de sedimentación en los cauces de los ríos o erosiones generales por los cambios geológicos y son sensibles a la humedad.

### **2.3.5. Polímeros.**

Los polímeros son sustancias de alto peso molecular, formados por pequeñas moléculas denominadas monómeros, estos tienen diferentes formas de unirse como: cadenas unidas o termo fijas, cadenas largas y sueltas, cadenas en forma de escalera entre otras.

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Fases del Proceso de Investigación**

##### **3.1.1. Metodología de investigación.**

Hernández, Fernández & Baptista (2010) mencionan que, “En el enfoque cuantitativo se empieza por plantear un problema, por construir un marco teórico, generar una hipótesis y analizar los datos mediante una medición numérica y métodos estadísticos, con el fin de establecer pautas de comportamiento y probar teorías”

La investigación desarrollada pertenece al enfoque CUANTITATIVO, porque los fenómenos que se observan y/o miden son secuenciales y probatorios.

##### **3.1.2. Tipo de investigación.**

Borja (2016) menciona que, “La investigación aplicada se encuentra en todos los proyectos de ingeniería civil, siempre y cuando solucionen alguna problemática” (p.10).

De acuerdo a la finalidad y a la condición de la investigación es APLICADA, porque se aplicará la ciencia y teoría existente de manera directa a casos prácticos, de acuerdo a su normativa.

La investigación busca resolver los problemas de la manera más práctica.

##### **3.1.3. Nivel de investigación.**

“Las investigaciones explicativas son más estructuradas que los estudios con los demás alcances y, de hecho, implican los propósitos de éstos (exploración, descripción y correlación o asociación)” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, p.84).

El nivel de la investigación es EXPLICATIVO, porque se pretende no solo dar una descripción, sino dar a conocer por que los polímeros reciclados PET mejora el CBR a nivel de la subrasante de los suelos arcillosos.

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

“Los diseños experimentales se utilizan cuando el investigador pretende establecer el posible efecto de una causa que se manipula” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, p.122).

Para la investigación emplearemos un diseño EXPERIMENTAL, ya que se apoya en la observación de los fenómenos provocados y manipulación en laboratorio. Se tendrá el control de manipulación de manera intencional, de una o más variables independientes (causas) para analizar las consecuencias de tal manipulación sobre una o más variables dependientes (efecto).

### **3.3. Formulación de Hipótesis**

#### **3.3.1. Hipótesis general.**

El uso de polímeros reciclados PET estabiliza los suelos arcillosos a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

#### **3.3.2. Hipótesis específicas.**

Existe una dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

La utilización de los polímeros reciclados PET reduce el espesor en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca.

La aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET influye de manera positiva en la densidad máxima seca en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

### **3.4. Identificación de Variables**

#### **3.4.1. Variable independiente.**

Polímeros reciclados PET.

#### **3.4.2. Variable dependiente.**

Estabilización de suelos arcillosos a nivel de la subrasante.

### 3.5. Operacionalización de las Variables

En la tabla 9 se puede ver la operacionalización de las variables, “Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, 2019”.

**Tabla 9**  
*Operacionalización de las variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<b>Variable Independiente</b>	Los polímeros son sustancias de alto peso molecular, formados por pequeñas moléculas denominadas monómeros que se encuentran unidas.	Estructura de polímero reciclado PET.	Propiedades químicas	Referencias	
Polímeros reciclados PET.		Determinación de polímero reciclado PET.	Dimensiones de polímeros	Granulometría (MTC E – 107)	<b>Metodología de investigación:</b> Cuantitativo.
<b>Variable Dependiente</b>	Una subrasante de suelo arcilloso presenta baja capacidad portante por lo que su CBR > 6% la cual necesita ser mejorado por los métodos que sugiere el MTC o cualquier otro método.	Características del suelo	Textura y clasificación	Granulometría (MTC E – 107) Contenido de Humedad (MTC E – 108) Limite Líquido (MTC E – 110) Limite Plástico (MTC E – 111) Clasificación de suelos (SUCS – AASHTO)	<b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.
Estabilización de suelos arcillosos a nivel de la subrasante.		Valor de soporte CBR > 6% de suelo arcilloso	Resistencia	Ensayo de PDC (ASTM – 6951 - 03) Ensayo de CBR (MTC E – 132)	<b>Nivel de investigación:</b> Explicativo.
		Densidad máxima seca	Expansión	Ensayo de Proctor (MTC E – 115)	<b>Diseño de investigación:</b> Experimental.

Operacionalización de las variables (Elaboración propia)



### **3.6. Población y Muestra**

#### **3.6.1. Población.**

“Se denomina población al conjunto de elementos o sujetos que serán motivo de estudio” (Borja, 2016, p.30).

La población de la siguiente investigación viene a ser todos los suelos arcillosos a nivel de la subrasante del departamento de Puno.

#### **3.6.2. Muestra.**

“La muestra es un subgrupo de la población” (Hernández, Fernández, & Baptista, 2010, p.175).

La muestra que se analiza es la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca que tiene una longitud total de 16 km, el tramo de muestra consta entre el km 2+000 – 2+500, cuyo tramo tiene un alto contenido de arcilla, por lo que se consideró el más crítico para la realización de calicatas a una profundidad de 1.50 m. para la toma de muestras.

**Tamaño de muestra:** En la tabla 2 se detalla el número de calicatas para exploración según el MTC. Así mismo, sugiere que donde se requiera mayor detalle en los estudios según la naturaleza del suelo, se tomará la delimitación de la zona, en este caso los valores respectivos de los ensayos serán solo válida para dicho sector.

Para la investigación se ubicó los tres puntos diferentes en el tramo más crítico de la carretera, con el objetivo de encontrar el tipo de suelo que cumpla con las características en sus propiedades geotécnicas adecuadas para una buena investigación.

##### **3.6.2.1. Muestreo.**

Tamayo (2012) afirma que, “La finalidad del muestreo es identificar la población escogida, partiendo de la misma, la cual puede ser escogido, al azar o por criterio propio” (p. 181).

Para la presente investigación el muestreo es de tipo no probabilístico, ya que la muestra no fue designada al azar. Se eligió buscando el tramo más crítico.

### 3.6.2.2. Localización y lugar de ejecución.

El proyecto está ubicado en el distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno, con una altitud de 3825 m.s.n.m. su clima es frío seco. El tramo de muestra está comprendido entre el km 2+000 hasta 2+500, la cual se consideró el más crítico para la realización de calicatas para dicha muestra de suelo.

De acuerdo a la figura 14 y 15, se encuentra la localización y lugar de ejecución del proyecto de investigación. Donde se realizaron 2 ensayos de PDC in – situ, y 3 excavaciones de calicatas.

### 3.6.2.1. Localización regional y localización provincial.

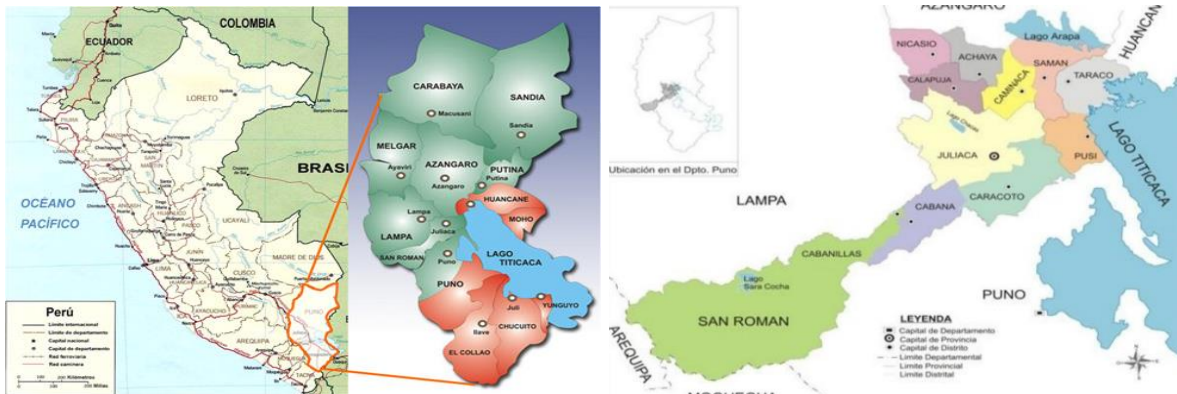


Figura 14. Localización regional y localización provincial (Web)

### 3.6.2.2. Localización distrital y lugar de ejecución.

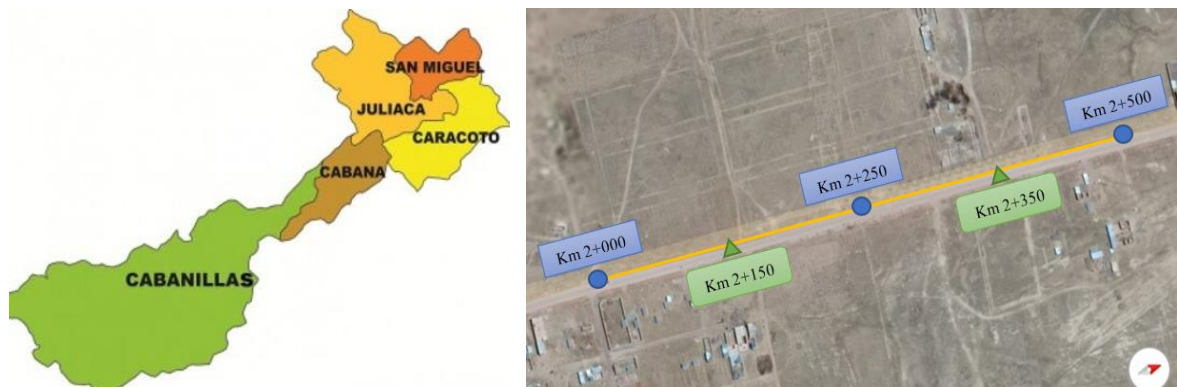


Figura 15. Localización y ubicación de la zona de muestra (Web)

### **3.7. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos**

#### **3.7.1. Técnicas.**

Se utilizó el método de observación y reflexión para tomar datos, puesto que existe una relación directa con la realidad, se seleccionó un tramo de estudio, progresiva Km 2+000 – 2+500 de la carretera Juliaca – Caminaca. Donde se realizó el ensayo de PDC (Penetración Dinámica de Cono), excavación de calicatas para la extracción y el traslado de la muestra al laboratorio, para ser analizadas las características físicas y mecánicas del suelo.

#### **3.7.2. Instrumentos.**

Los instrumentos que se utilizaron son: maquinarias, wincha, bolsas de polietileno, pico y pala, equipos de laboratorio para los ensayos de suelos, manuales o guías de laboratorio, equipo de cómputo para el proceso de datos, información bibliográfica, cámaras fotográficas, equipos de protección personal y materiales de apunte.

### **3.8. Método de Análisis de Datos**

#### **3.8.1. Metodología empleada.**

El proyecto de investigación es de método científico, ya que existe un problema de estabilidad de suelos arcillosos y se procederá a la búsqueda de respuestas de las preguntas de investigación.

Se tomará muestras del tramo más crítico para ser analizado en laboratorio y tener resultados del ensayo de suelo natural más adición de 1%, 3% y 5% de polímeros reciclados PET.

Con los resultados obtenidos de los ensayos que se realicen y el aforo de vehículos, se realizará el diseño estructural de un pavimento flexible con la finalidad de evaluar la influencia de los polímeros reciclados PET

Con la aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET en suelos arcillosos a nivel de la subrasante, se determinará el efecto que causa en la densidad máxima seca.

#### **3.8.1.1. Método de observación.**

Proceso por el cual se pudo percibir deliberadamente el tipo de suelo que existe en los tramos Km 2+000 – 2+500 de la carretera Juliaca – Caminaca.

#### **3.8.1.2. Método inductivo.**

Se inicia con la observación de casos particulares a casos generales, que se aplicaran en el laboratorio con adición de polímeros reciclados PET para el mejoramiento de la subrasante de los suelos arcillosos de la carretera Juliaca – Caminaca, progresiva Km 2+000 – 2+500.

#### **3.8.1.3. Método Comparativo.**

Este método comparativo se refiere a la comparación de tipos de resultados que se obtendrá con los ensayos que se realicen en laboratorio de suelos en estado natural y con la aplicación de los polímeros reciclados PET.

#### **3.8.2. Trabajo de campo.**

Se realizó el ensayo de PDC in – situ y la excavación de calicatas, anotando el espesor de los estratos, color, textura de los suelos; aplicando el procedimiento de campo (visual – manual), se obtuvo la clasificación de los suelos (SUCS y AASHTO), aspecto que se corrobora con los ensayos de laboratorio.

Las muestras se obtuvieron en grandes cantidades para los ensayos correspondientes.

##### **3.8.2.1. PDC in – situ**

Se realizaron 2 ensayos de PDC in – situ en el tramo de estudio, con una profundidad de 1.40 – 1.43 m. aproximadamente, distribuidas convenientemente a 200 metros entre ellas en el lado izquierdo de la carretera, con la finalidad de definir las características de la subrasante, como se observa en la tabla 10.

**Tabla 10***Coordenadas geográficas de los ensayos de PDC*

Prog. (Km)	PDC	COORDENADAS		Prof. (m)	Lado
		Sur	Norte		
Km 2 + 150	N°01	15°26'16.40"	70°5'56.60"	1.43	Izquierdo
Km 2 + 350	N°02	15°26'9.50"	70°5'56.00"	1.40	Izquierdo

Coordenadas geográficas de los ensayos de PDC (Elaboración propia)

**3.8.2.2. Calicatas.**

Se excavaron 3 calicatas en el área de estudio con una profundidad de 1.50 metros, con área de 80 m. de ancho y 1.60 m. de largo, distribuidas convenientemente a 250 metros entre ellas en el lado izquierdo de la carretera, con la finalidad de definir las características de la subrasante y obtener el perfil estratigráfico del suelo, como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11***Coordenadas geográficas de las calicatas*

Prog. (Km)	Calicatas	COORDENADAS		Prof. (m)	Lado
		Sur	Norte		
Km 2 + 000	C – 01	15°26'21.20"	70°5'57.00"	1.50	Izquierdo
Km 2 + 250	C – 02	15°26'13.00"	70°5'56.30"	1.50	Izquierdo
Km 2 + 500	C – 03	15°26'4.80"	70°5'55.60"	1.50	Izquierdo

Coordenadas geográficas de las calicatas (Elaboración propia)

*Figura 16. Ensayo de PDC y Excavación de Calicatas (Elaboración propia)*

**Ensayo N°01:** El día 02 de abril a horas 10:00 a.m. se realizó el primer ensayo de PDC en el km 2+150. Se realizó una excavación de calicata a una profundidad de 0.50 m. para luego hacer el ensayo de PDC, como se observa en la figura 17.



*Figura 17.* Ensayo N°01 de PDC in – situ en el tramo de estudio (Elaboración propia)

**Ensayo N°02:** El día 02 de abril a horas 11:10 a.m. se realizó el segundo ensayo de PDC en el km 2+350. Se realizó una excavación de calicata a una profundidad de 0.50 m para luego hacer el ensayo de PDC. (ver figura 18).



*Figura 18.* Ensayo N°02 de PDC in – situ en el tramo de estudio (Elaboración propia)



**Calicata C – 01:** El día 15 de septiembre a horas 10:30 a.m. se realizó la excavación de la calicata en el km 2+000, se pudo observar que hasta una altura de 0.20 m. se encontró material orgánico, de 0.20 m. – 1.50 m. se encontró 3 estratos. (ver figura 19 y la tabla 13).



Figura 19. Vista de C - 01 de la carretera Juliaca - Caminaca (Elaboración propia)

**Calicata C – 02:** El día 15 de septiembre a horas 11:20 a.m. se realizó la excavación de la calicata en el km 2+250, se pudo observar que hasta una altura de 0.30 m. se encontró material orgánico, de 0.30 m. – 1.50 m. se encontró 3 estratos. (ver figura 20 y la tabla 13).



Figura 20. Vista de C - 02 de la carretera Juliaca - Caminaca (Elaboración propia)

**Calicata C – 03:** El día 15 de septiembre a horas 12:40 p.m. se realizó la excavación de la calicata en el km 2+500, se pudo observar que hasta una altura de 0.20 m. se encontró material orgánico, de 0.20 m. – 1.50 m. se encontró 3 estratos. (ver figura 21 y la tabla 13).



Figura 21. Vista de C - 03 de la carretera Juliaca - Caminaca (Elaboración propia)

### 3.8.2.3. Registro de excavaciones.

La toma de muestras se realizó visualmente, anotándose las características de los tipos de suelos encontrados, tales como espesor, humedad, compacidad, forma, textura, dureza de los materiales pétreos, tamaño máximo, color, permeabilidad, etc., así mismo, se efectuó el registro fotográfico de vistas en detalle de estratos encontrados y vistas panorámicas del terreno.

En la tabla 12 vemos profundidades del ensayo de PDC in – situ, así como también en la tabla 13 se muestra las profundidades de las calicatas del tramo de estudio.

**Tabla 12**  
*Profundidades del ensayo de PDC*

PDC	Estratos	Muestra	Profundidad
N°01	E – 01	M – 01	0.50 – 1.43 m.
N°02	E – 01	M – 01	0.50 – 1.40 m.

Profundidades del ensayo de PDC (Elaboración propia)



**Tabla 13***Profundidades de la toma de muestras de las calicatas*

<b>Calicatas</b>	<b>Estratos</b>	<b>Muestra</b>	<b>Profundidad</b>
C – 01	E – 01	M – 01	0.20 – 0.60 m.
	E – 02	M – 01	0.60 – 1.00 m.
	E – 03	M – 01	1.00 – 1.50 m.
C – 02	E – 01	M – 01	0.30 – 0.70 m.
	E – 02	M – 01	0.70 – 0.90 m.
	E – 03	M – 01	0.90 – 1.50 m.
C – 03	E – 01	M – 01	0.20 – 0.70 m.
	E – 02	M – 01	0.70 – 1.10 m.
	E – 03	M – 01	1.10 – 1.50 m.

Profundidades de la toma de muestras de las calicatas (Elaboración propia)

**3.8.3. Ensayos para el desarrollo de la investigación.**

Para determinar las propiedades físicas y mecánicas de las muestras, se realizarán diferentes ensayos según MTC (EM – 2000) tales como:

**Tabla 14***Ensayos que se realizarán en el suelo de fundación*

<b>ENSAYOS</b>	<b>NORMA</b>
<b>Propiedades Físicas</b>	
Análisis Granulométrico de Suelos	MTC E 107
Contenido de Humedad	MTC E 108
Límite Líquido	MTC E 110
Límite Plástico	MTC E 111
Clasificación de Suelos método SUCS	NTP 339.134
Clasificación de Suelos método AASHTO	NTP 339.135
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
PDC (Penetración Dinámica de Cono)	ASTM D – 6951
Proctor Modificado	MTC E 115
CBR (California Bearing Ratio)	MTC E 132

Ensayos que se realizaran para el desarrollo de la investigación (Elaboración Propia)

### 3.8.3.1. Análisis granulométrico de suelos (MTC E – 107).

Según MTC (2016) afirma que, la granulometría es la distribución de las partículas de un suelo de acuerdo a su tamaño que se determina mediante el tamizado o paso del agregado por mallas de distinto diámetro hasta el tamiz N°200 (diámetro 0,07 mm), considerándose el material que pasa dicha malla en forma global. Se deriva en una curva granulométrica, donde se grafica el diámetro de tamiz versus porcentaje acumulado que pasa o que retiene el mismo.

- **Procedimiento recomendado.**

Para el desarrollo del ensayo se realizó el siguiente procedimiento teniendo en cuenta que el material de estudio pasa el tamiz N°4 según la norma MTC E – 107.

1. Se seleccionó una muestra de suelo que pasa el tamiz N°4 para lavado (Aprox. 300 gr).
2. Una vez pesado la muestra y vaciado sobre el tamiz de lavado N°200, se lavó la parte fina hasta que quedó por completo la fracción fina.
3. La muestra lavada se secó por 24 horas y se dejó secar 10 min una vez retirada del horno.
4. Se tamizo la muestra seca por las mallas N°4, N°10, N°40, N°100, N°200, y fondo.
5. Se peso las fracciones retenidas en las mallas y se tomó el apunte correspondiente.



Figura 22. Realización de análisis granulométrico de suelos (Elaboración propia)

### 3.8.3.2. Contenidos de humedad (MTC E – 108).

Según el MTC (2016) menciona que, el contenido de humedad es la cantidad de agua que existe en un suelo al momento de realizar el ensayo relacionado por la parte sólida, bajo distintos tiempos y distintas condiciones, según el procedimiento y metodología de cálculo con la formula mencionada anteriormente.

- **Procedimiento recomendado.**

En procedimiento del ensayo se realiza de acuerdo a la norma MTC E – 108.

1. Se tomó una muestra de (Aprox. 100 gr).
2. Se pesó taras sin muestra y taras con muestra, anotando los resultados.
3. Se dejó en el horno por 24 horas y a una temperatura de 110 °C para la eliminación del agua.
4. Después de 24 horas se retiró del horno y se dejó enfriar a una temperatura ambiente para luego ser pesadas y anotar los resultados obtenidos.
5. Para encontrar el contenido de humedad de suelo se hace un cálculo con los datos obtenidos; estos datos se remplazan en la siguiente ecuación 3:

$$W\% = \frac{\text{Peso del agua}}{\text{Peso seco}} * 100 = \frac{W_h - W_s}{W_s} * 100.$$



Figura 23. Muestras de suelo húmedo y muestras de suelo seco (Elaboración propia)

### 3.8.3.3. Límite líquido (MTC E – 110).

“Se determina mediante la Cuchara de Casagrande y se define con el contenido de agua con el cual se cierra una ranura de 1/2 (12.7mm), mediante 25 golpes” (MTC, 2016).

- **Procedimiento Recomendado.**

Para determinar el límite líquido de la muestra se realiza bajo la norma MTC E – 110.

1. Del suelo seco pasante al tamiz N°40 se tomó una muestra de 200 gr. para ser colocado en la cápsula de porcelana haciendo una mezcla homogénea y dejar saturado por 24 horas.
2. Una vez saturado, se colocó una porción en la cuchara de Casagrande, moldeando para que el espesor de la muestra de suelos sea de 10 mm. en la parte más baja.
3. El suelo colocado en la cuchara de Casagrande se dividió con un ranurador por la mitad y dando vueltas la manija de la cuchara de Casagrande a una razón de 2 golpes por segundo se ensayó el suelo, contando el número de golpes requeridos para cerrar la ranura.
4. Se determinó en la zona de falla para el contenido de humedad 4 pruebas procurando que la cantidad de golpes requeridos para cerrar la ranura se encuentre en los siguientes intervalos; 15-20, 20-25, 25-30, 30-35.



Figura 24. Realización del ensayo de limite líquido (Elaboración propia)

#### **3.8.3.4. Límite plástico (MTC E – 111).**

“Es el contenido de agua con el cual el suelo se cuartea y quiebra al formar pequeños rollitos de 3.2mm de diámetro” (MTC, 2016).

- **Procedimiento recomendado.**

Para el ensayo nos regimos a la norma MTC E – 111, que indica el proceso del ensayo.

1. Se tomó una porción del suelo saturado, amasando y rodando sobre un vidrio esmerilado, hasta formar un cilindro de 3mm. de diámetro.
2. El límite plástico se alcanza cuando el cilindro se agrieta al ser reducido a un diámetro de 3mm y se toma muestra para contenido de humedad.
3. Se obtuvo los contenidos de humedad y si estos no difieren al 1% entre uno y otro, por lo que se promedió los resultados obtenidos.



*Figura 25. Realización del ensayo de límite plástico (Elaboración propia)*

#### **3.8.3.5. PDC (ATM – 6951 – 03).**

Este ensayo de penetración de suelos se realizó en campo en dos puntos dentro del tramo de estudio de la carretera Juliaca – Caminaca, para determinar el CBR in – situ.

- **Procedimiento recomendado.**

1. Se inspecciono el equipo de PDC antes de realizar el ensayo.

2. Se realizó con la ayuda de un operador que sostuvo el aparato en posición vertical, para luego levantar y soltar desde la altura estándar, según la escala que se usó se anotó los resultados obtenidos.
3. Se registraron los datos de acuerdo al formato que se presenta en la hoja de anexos.



Figura 26. Ensayo de PDC in – situ (Elaboración propia)

### **3.8.3.6. Proctor modificado (MTC E – 115).**

MTC (2016) afirma que, el proctor modificado es el ensayo para obtener el contenido de humedad óptimo y la densidad seca con una energía de compactación determinada.

- **Procedimiento recomendado.**

Para el proyecto se utilizó el método A de la tabla 8 para lo cual se prepara una cantidad de muestra de 2400 gr. Aprox.

1. De la muestra ya preparada se esparció agua en una cantidad del 10 – 15 % en suelos finos, se mezcló procurando que el agua se distribuya uniformemente.
2. Luego se pesó el molde sin el collarín y se tomó su volumen.
3. En un número de 5 capas se colocó y se compactó la muestra de suelo según el método seleccionado.

4. Luego se quitó el collarín y se enrazó con la regla metálica la muestra al nivel superior del molde para ser pesada y anotada el resultado.
4. Para el contenido de humedad se extrajo la muestra de la parte central del molde.



Figura 27. Compactación por capas y pesado de la muestra (Elaboración propia)

### **3.8.3.7. CBR (California Bearing Ratio) MTC E – 132.**

Según el MTC (2016) afirma que, el ensayo de CBR sirve para determinar la capacidad portante de un suelo para luego determinar espesores de pavimentos con el valor de CBR obtenido.

- **Procedimiento recomendado.**

Para realizar el ensayo de CBR se debe seguir tres procesos.

**a. Determinación de la densidad y humedad:**

1. Se realizó de la misma forma que el proctor modificado la compactación y la preparación con una cantidad de muestra seca de 6 kg. Aprox.
2. Se pesó el molde sin el collarín para luego insertar el disco espaciador y poner papel filtro.
3. Se compactó en 5 capas, luego se tomó una muestra representativa para el contenido de humedad.
4. Se quitó el collarín y se enrazó hasta nivelarla de tal forma rellenar los espacios vacíos.



5. Se retiró la base y el disco espaciador invirtiéndolo para luego colocar el papel filtro y pesar la muestra y anotar los resultados.
6. El procedimiento para determinar el CBR al 100% de compactación es a distintas energías de compactación, utilizando números de golpes de 56, 25 y 12 para cada muestra.



Figura 28. Compactación y pesado del molde de CBR (Elaboración propia)

**b. Determinación de la expansión del material:**

1. Una vez puesto papel filtro, se colocó la placa metálica perforada y sobre esta placa se colocó pesas cuyo número es especificado.
2. Seguidamente se colocó dentro de un recipiente para luego montar el trípode e instalar el deformímetro de manera que su punta quede tocando al vástago.
3. Se llenó de agua el recipiente para saturar completamente.
4. Se tomó lectura inicial, luego tomar lecturas a las 0, 24, 48, 72 y 96 horas de tiempo transcurrido.
5. Registrada la lectura final en el deformímetro se retiró el trípode y se sacó el molde del agua para dejarlo drenar durante 15 minutos.





Figura 29. Lectura y apunte de expansión (Elaboración propia)

**c. Determinación de la resistencia de expansión:**

1. Se puso la muestra a la prensa de penetración de CBR y en ella se colocó una cantidad de pesas para reproducir una sobrecarga igual a un pavimento del camino proyectado.
2. Se colocó el pistón de penetración hasta que haga contacto con la muestra.
3. Luego se ajustó el deformímetro de carga y el deformímetro de penetración a cero.
4. Se anotaron las lecturas de carga a los niveles de penetración con una velocidad constante de 1.27 mm/minuto.
5. Finalmente se retira el total de la muestra de suelo del molde.



Figura 30. Penetración en la prensa de CBR (Elaboración propia)

### 3.8.4. Determinación del uso de polímeros reciclados para la presente investigación.

#### 3.8.4.1. Obtención de los polímeros reciclados PET.

- **Identificación del botadero:** Para esta investigación se seleccionó el botadero de Chilla.
- **Reciclaje de polímeros en el botadero:** Se recicló distintos tipos de descartables. El código de identificación de botellas de descartables es PET 1 (ver figura 7).



Figura 31. Recolección de polímeros reciclados PET 1 (Elaboración propia)

- **Lavado y secado:** Se procedió al lavado y secado al aire libre de polímeros reciclados.
- **Obtención del aditivo PET reciclado:** Para la obtención del polímero a utilizar, se llevó a una máquina trituradora para obtener los polímeros reciclados PET en cortes de una dimensión, ya que la maquina solo corta a una sola dimensión (ver figura 32).



Figura 32. Trituradora y recicladora. Empresa RECIPLAST JULIACA (Elaboración propia)

#### **3.8.4.2. Costo de las botellas PET.**

Se realizó un análisis de costo unitario para el aditivo PET, ya que el costo de reciclaje de las botellas descartables es relativamente bajo, pero incrementa bastante con la mano de obra. En la empresa quien nos ayudó con el triturado de botellas PET, vende a S/. 2.10 el kg las botellas PET triturado, un valor un tanto elevado con respecto al costo por kg que la empresa compra a los recicladores que es de S/. 0.50 soles por kg.

#### **3.8.4.3. Determinación de las dimensiones de los polímeros reciclados PET.**

Una vez adquirido los polímeros reciclados se realizó el ensayo de granulometría con el objetivo de clasificar según a sus dimensiones, el 96.82 % pasa por la malla ½” retenido en la malla N°4 (4.7mm). Las dosificaciones de polímeros son a 1%, 3% y 5% con respecto al peso seco del suelo.

Se procedió a realizar ensayos de CBR con polímeros triturados retenidos en la malla N°4, siendo los diámetros equivalentes con el objetivo de remplazar el escaso porcentaje de gravas.

#### **3.8.4.4. Ensayo de CBR con la adición de botellas PET.**

Unas ves seleccionado las dimensiones de los polímeros reciclados PET se pesó las muestras a dosificaciones de 1%, 3% y 5% para cada muestra de suelo. Se realizó la mezcla de los 6 kg de suelo más polímero reciclado como se muestra en la figura 33.



Figura 33. Preparación de la muestra con polímeros reciclados PET

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Obtención de las Propiedades Físicas y Mecánicas que Influyen en el Suelo

Es muy importante conocer las propiedades físicas y mecánicas de una subrasante, ya que mediante su interpretación adecuada se puede predecir el comportamiento de los diferentes suelos.

##### 4.1.1. Análisis granulométrico de suelos.

Según el manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos del MTC, recomienda que debe contener mayor porcentaje de gravas una subrasante, ya que proporcionarán resistencia al corte, seguido de porcentaje de arenas porque ocuparán los vacíos entre gravas y menos porcentajes de las partículas finas para la cohesión del suelo.

Este ensayo nos sirve para poder clasificar los suelos y poder apreciar las distribuciones granulométricas del suelo. En la tabla 15 se muestra el resumen de los ensayos para las tres calicatas y su respectivo estrato.

**Tabla 15**

*Resumen de los resultados de análisis granulométrico de suelos*

MALLA		Porcentaje que pasa (%)		
		C – 01	C – 02	C – 03
Tamices ASTM	Abertura (mm)	E – 03	E – 03	E – 03
2"	50.80	100.00	100.00	100.00
1 1/2"	38.10	100.00	100.00	100.00
1"	25.40	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.05	100.00	100.00	100.00
1/2"	12.70	100.00	100.00	100.00
3/8"	9.53	100.00	100.00	100.00
1/4"	6.35	100.00	100.00	100.00
N°4	4.76	100.00	100.00	98.32
N°10	2.00	99.79	99.61	91.33
N°40	0.42	98.89	94.71	78.98
N°100	0.15	63.63	60.72	43.00
N°200	0.07	50.01	38.28	36.01

Análisis granulométrico de suelos (Elaboración propia)

Según los resultados del análisis granulométrico de suelos como se muestra en la tabla 15 de la calicata C - 01, C – 02 y C – 03, se puede observar que los porcentajes que pasa por la malla N°200 del E - 03 están en porcentajes de 50.01%, 38.28% y 36.01%, por lo que el suelo de subrasante tiene porcentajes de finos (arenas y arcillas, limos) suelo poco resistente ante el efecto de las cargas. En la siguiente tabla, se muestra el resumen de porcentaje del suelo.

**Tabla 16**  
*Porcentajes de suelo*

SUELO	C – 01	C – 02	C – 03
	E – 03	E – 03	E – 03
Grava (2" - N°4)	0.00	0.00	1.68
Arena (N°4 - N°200)	49.99	61.72	62.31
Finos (< N°200)	50.01	38.28	36.01

Porcentajes de suelo (Elaboración propia)

En la tabla 16 se observa que el suelo de estudio de la calicata C – 01, C – 02 y C – 03, presenta un porcentaje mínimo en gravas, los altos porcentajes que se presenta son arenas y arcillas, por lo que se concluye que nos encontramos ante un suelo con contenido de arcillas y limos.

Para el desarrollo de la curva granulométrica se relaciona con el porcentaje de suelo que pasa por cada tamiz de diferentes aberturas.

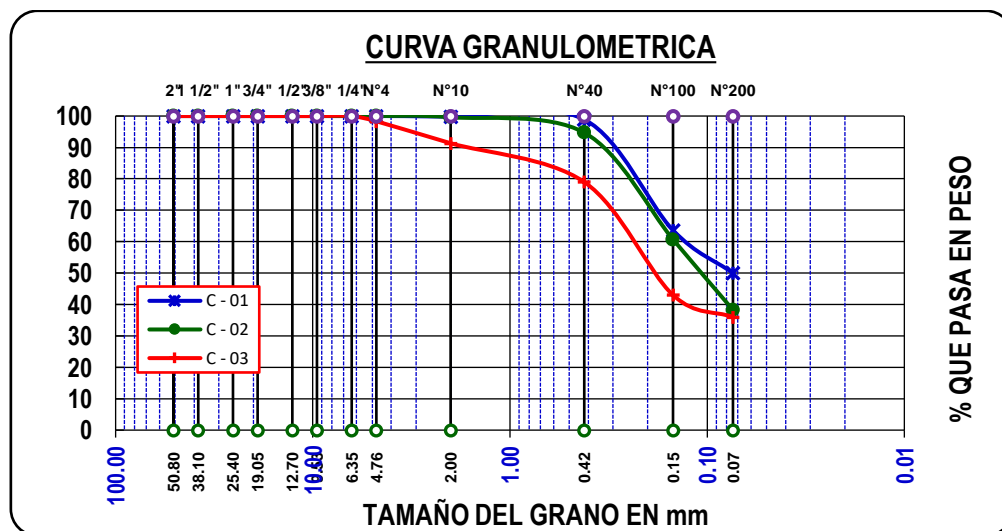


Figura 34. Curva granulométrica de la C - 01, C – 02 y C – 03, E – 03 (Elaboración propia)

En la figura 34 se tiene la curva granulométrica, se puede ver que la calicata C – 01 y C - 02, tiende su desviación desde la malla N°40, mientras que la calicata C – 03 su desviación de curvatura se da a partir de la malla N°10, se concluye que la calicata 1 y 2 presenta menor tamaño de partículas con respecto a la calicata 3. Las tres figuras de distribución granulométrica presentan una distribución continua ya que no presenta quiebres, por lo que se considera una granulometría bien graduada.

#### 4.1.2. Contenido de humedad

El contenido de humedad nos da referencia para saber si es mayor o menor que el contenido de humedad óptima, se planteará la compactación normal de suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. “Si resulta superior a la humedad óptima y según la situación del suelo se planteará aumentar la energía de compactación, secar el suelo o reemplazar el material saturado” (MTC, 2013).

En la siguiente tabla se muestra el resumen del ensayo de contenido de humedad que se realizó a cada calicata con su respectivo contenido de humedad óptima.

**Tabla 17**  
*Resumen de los resultados de contenido de humedad*

Calicata	Progresiva	Estrato	Muestra	Contenido de Humedad (%)	Humedad Óptima (%)
C – 01	Km 2 + 000	E – 01	M – 01	23.25	14.70
C – 02	Km 2 + 250	E – 01	M – 01	25.47	14.00
C – 03	Km 2 + 500	E – 01	M – 01	27.45	14.50

Contenido de humedad (Elaboración propia)

En la tabla 17 del resumen del contenido de humedad, el resultado natural de las tres calicatas es superior a la humedad óptima. Como primer análisis tenemos que el suelo a estudiar va a necesitar ser secado, aumentar su energía de compactación o probablemente se tendrá que cambiar el suelo por el otro material para que cumpla con la norma MTC.



#### 4.1.3. Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad.

En la siguiente tabla se resume los ensayos del límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad, datos que son de gran importancia para poder clasificar el suelo de estudio y también nos da una referencia de que el suelo pueda requerir de un mejoramiento, ayudando a tomar una mejor decisión sobre el tipo de estabilizador a utilizar y recomendado por el MTC.

**Tabla 18**

*Resultados de limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad*

Calicata	Progresiva	Estrato	Límite líquido (%)	Límite plástico (%)	Índice de plasticidad (%)
C – 01	Km 2 + 000	E – 03	23.12	19.35	3.77
C – 02	Km 2 + 250	E – 03	28.10	17.55	10.55
C – 03	Km 2 + 500	E – 03	33.07	22.31	10.76

Limite líquido, limite plástico e índice de plasticidad (Elaboración propia)

En la tabla 18 se muestra los resultados de límite líquido, limite plástico e índice de plasticidad de la calicata C – 01, C – 02 y C – 03; el índice de plasticidad determina la medida de intervalo de humedad en la cual el suelo posee una consistencia plástica y de acuerdo a la clasificación de suelo según su índice de plasticidad, se concluye que la C – 01 presenta un suelo de arcilla y limo de baja plasticidad; mientras que la C – 02 y C – 03 se trata de un suelo arcilloso de baja plasticidad. En las siguientes figuras 35,36 y 37 se muestran el diagrama de fluidez de las tres calicatas.

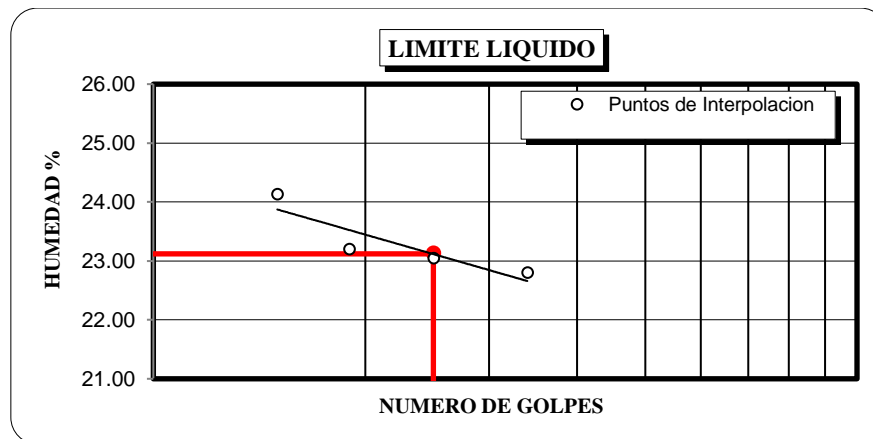


Figura 35. Diagrama de fluidez de la C - 01, E - 03 (Elaboración propia)

Como se puede observar en la figura 35, muestra el diagrama de fluidez de la C – 01; la cual se determinó que a 25 golpes tiene un límite líquido de 23.12%.

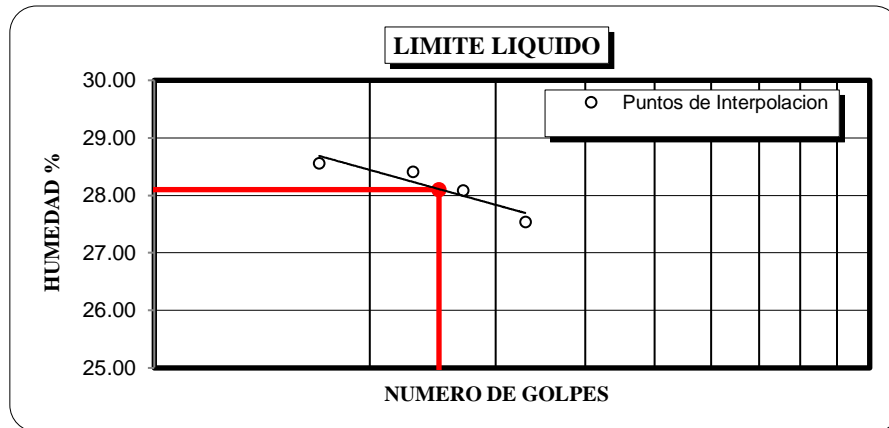


Figura 36. Diagrama de fluidez de la C - 02, E - 03 (Elaboración propia)

La figura 36 se muestra el diagrama de fluidez de la C – 02; la cual se determinó que a 25 golpes tiene un límite líquido de 28.1%.

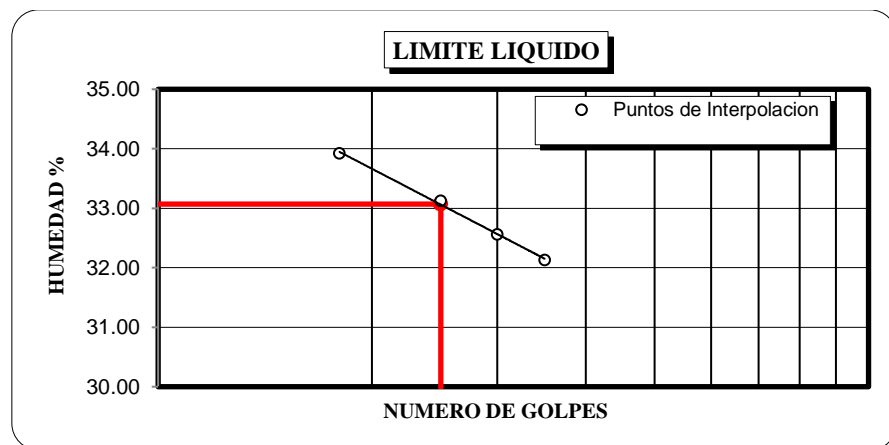


Figura 37. Diagrama de fluidez de la C - 03, E - 03 (Elaboración propia)

Según la figura 37 se observa que el diagrama de fluidez de la C – 03 tiene un límite líquido de 33.07%, la cual fue determinado a 25 golpes.

#### 4.1.4. Clasificación de suelos método SUCS.

Para la clasificación de suelos por el método de SUCS se consideró la granulometría de muestra de suelo para los porcentajes pasantes las mallas N°4, N°200 y sus características plásticas.



En la tabla 19 se muestra el resumen de la clasificación de suelos por el método SUCS.

**Tabla 19**  
*Clasificación por el método SUCS de las muestras de estudio*

<b>CALICATA</b>	<b>C – 01</b>	<b>C – 02</b>	<b>C – 03</b>
<b>Progresiva (Km)</b>	2 + 000	2 + 250	2 + 500
<b>Muestra</b>	M – 01	M – 01	M – 01
<b>Estrato</b>	E – 03	E – 03	E – 03
<b>Profundidad (m)</b>	1.50	1.50	1.50
<b>Grava (2" - N°4)</b>	0.00	0.00	1.68
<b>Arena (N°4 - N°200)</b>	49.99	61.72	62.31
<b>Finos (&lt; N°200)</b>	50.01	38.28	36.01
<b>Límite líquido</b>	23.12	28.10	33.07
<b>Índice de plasticidad</b>	3.77	10.55	10.76
<b>Clasificación SUCS</b>	CL - ML	CL	CL
<b>Denominación</b>	Arcilla y Limo de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad

Clasificación por el método SUCS (Elaboración propia)

De los resultados que se muestra en la tabla 19 acerca de la clasificación de suelos por el método SUCS, se concluye que las calicatas C – 01, C -02 y C – 03 más de la mitad de la muestra de suelo pasa la malla N°4 y N°200 esto se denomina en arcillas y limos.

#### **4.1.5. Clasificación de suelos método AASHTO.**

Para la clasificación de suelos por el método AASHTO se consideró la granulometría, los porcentajes que pasa la malla N°10, N°40 y N°200; también se consideró el límite líquido e índice de plasticidad.

Para la evaluación de la calidad de un suelo como material para subrasante de carreteras es muy importante conocer el índice de grupo (IG), que está en función del LL, IP y el porcentaje pasante la malla N°200.

En la siguiente tabla se puede observar la clasificación de suelos por el método AASHTO.

**Tabla 20***Clasificación por el método AASHTO de las muestras de estudio*

<b>CALICATA</b>	<b>C – 01</b>	<b>C – 02</b>	<b>C – 03</b>
<b>Progresiva (Km)</b>	2 + 000	2 + 250	2 + 500
<b>Muestra</b>	M – 01	M – 01	M – 01
<b>Estrato</b>	E – 03	E – 03	E – 03
<b>Profundidad (m)</b>	1.50	1.50	1.50
<b>Porcentaje que pasa N°10</b>	99.79	99.61	91.33
<b>Porcentaje que pasa N°40</b>	98.89	94.71	78.98
<b>Porcentaje que pasa N°200</b>	50.01	38.28	36.01
<b>Límite líquido</b>	23.12	28.10	33.07
<b>Índice de plasticidad</b>	3.77	10.55	10.76
<b>Índice de grupo</b>	0	1	0
<b>Clasificación AASHTO</b>	A - 4 (0)	A - 6 (1)	A - 6 (0)
<b>Denominación</b>	Suelos limosos	Suelos arcillosos	Suelos arcillosos

Clasificación por el método AASHTO (Elaboración propia)

Los resultados de la clasificación de suelos por el método AASHTO (Tabla 20), muestran que en la calicata C – 01, C – 02 y C – 03 del estrato E – 03; el porcentaje que pasa la malla N°200 es mayor al 35%, por lo que se clasifica como un suelo limo arcilloso denominado A – 4 (0), A – 6 (1) y A – 6 (0), para las calicatas C – 01, C – 02, Y C – 03, respectivamente.

#### **4.1.6. Ensayo de PDC (Penetración Dinámica de Cono).**

Este instrumento fue utilizado esencialmente para evaluar la resistencia y estimar un valor de CBR en campo. A diferencia de este último, el PDC presenta ventajas como su simplicidad y economía de uso.

En la tabla 21 se muestra los dos ensayos de PDC en campo en km 2+150 y km 2+350 de la carretera Juliaca – Caminaca.

**Tabla 21***Resultados de los ensayos de PDC N°01 y N°02 (in situ)*

ENSAYO N°01				ENSAYO N°02					
Nivel de inicio		Resp T.N.		Nivel de inicio		Resp T.N.			
N° de Golpes	Lectura PDC	Penetración (cm)	Npdc (mm/gol)	N° de Golpes	Lectura PDC	Penetración (cm)	Npdc (mm/gol)		
0	100.00	0.00	0.00	0.00	0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	98.50	1.50	15.00		2	98.00	2.00	20.00	
4	95.50	4.50	30.00		4	95.00	5.00	30.00	
6	91.50	8.50	40.00		6	90.50	9.50	45.00	
8	89.00	11.00	25.00		8	87.50	12.50	30.00	
10	85.50	14.50	35.00		10	83.00	17.00	45.00	
12	82.00	18.00	35.00		12	79.50	20.50	35.00	
14	79.00	21.00	30.00		14	76.00	24.00	35.00	
16	76.50	23.50	25.00		16	71.50	28.50	45.00	
18	72.50	27.50	40.00		18	67.00	33.00	45.00	
20	69.00	31.00	35.00		20	63.50	36.50	35.00	
22	66.00	34.00	30.00		22	60.50	39.50	30.00	
24	62.50	37.50	35.00		24	58.50	41.50	20.00	
26	60.00	40.00	25.00		26	55.00	45.00	35.00	
28	56.50	43.50	35.00	35.77	28	52.50	47.50	25.00	35.60
30	53.50	46.50	30.00		30	49.00	51.00	35.00	
32	49.00	51.00	45.00		32	45.00	55.00	40.00	
34	45.00	55.00	40.00		34	41.00	59.00	40.00	
36	41.00	59.00	40.00		36	37.00	63.00	40.00	
38	37.00	63.00	40.00		38	33.50	66.50	35.00	
40	33.50	66.50	35.00		40	30.00	70.00	35.00	
42	30.00	70.00	35.00		42	25.50	74.50	45.00	
44	26.50	73.50	35.00		44	22.00	78.00	35.00	
46	23.00	77.00	35.00		46	18.50	81.50	35.00	
48	19.00	81.00	40.00		48	16.00	84.00	25.00	
50	15.50	84.50	35.00		50	12.00	88.00	40.00	
52	11.00	89.00	45.00		52	11.00	89.00	10.00	
54	7.00	93.00	40.00						

Ensayo de PDC realizado in situ (Elaboración propia)

En la figura 40 y 41 se muestra la curva PDC de los dos ensayos realizados en campo donde se puede observar que cuenta con un solo estrato, esto se debe a que las arenas, arcillas y limos son partículas finas.

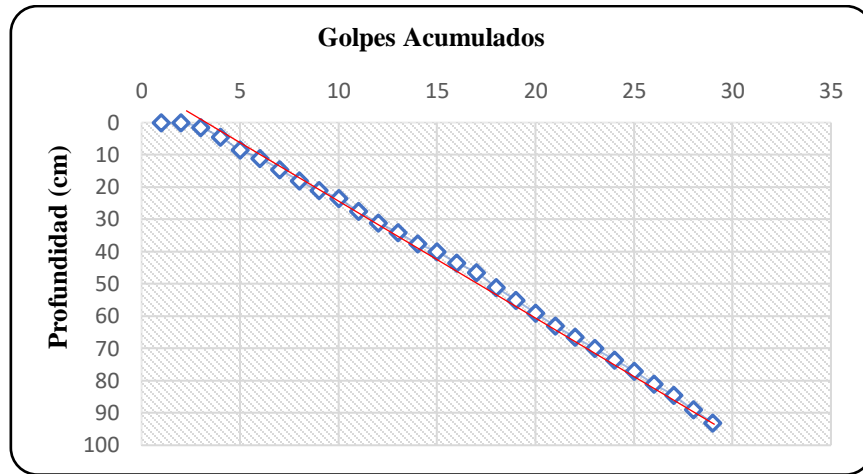


Figura 38. Curva PDC del ensayo N°01 (Elaboración propia)

Con los datos obtenidos correlacionamos y calculamos el CBR del primer ensayo de PDC con la siguiente formula que se muestra en la tabla 7:

$$CBR = \frac{292}{PDC^{1.12}} = \frac{292}{35.77^{1.12}} = 5.31\%$$

El resultado del CBR < 6% por lo cual necesita ser mejorado ese tramo de estudio.

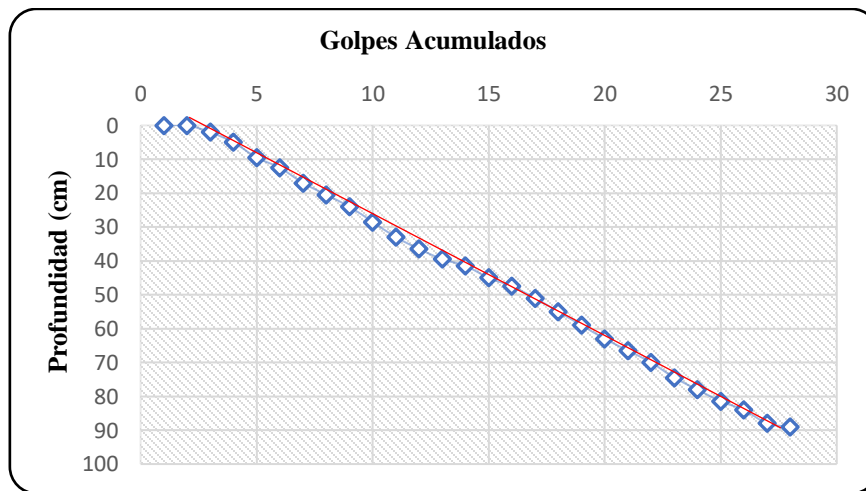


Figura 39. Curva PDC del ensayo N°02 (Elaboración propia)

El resultado del segundo ensayo de PDC según la formula nos da un CBR = 5.34%; la cual es inferior al 6%, por lo que necesita ser mejorado.

$$CBR = \frac{292}{PDC^{1.12}} = \frac{292}{35.60^{1.12}} = 5.34\%$$

#### 4.1.7. Proctor modificado.

El ensayo de proctor se determinó con la relación de contenido de humedad y peso específico seco mediante una curva de compactación, en donde se determina la humedad óptima y la densidad máxima seca, asimismo la gravedad específica de acuerdo al método Proctor Modificado.

En la siguiente tabla se muestra el resumen de la densidad máxima seca y humedad óptima.

**Tabla 22**

*Resultados del ensayo de proctor modificado*

Calicata	Progresiva	Estrato	Humedad Óptima (%)	Densidad Máxima Seca (gr/cm <sup>3</sup> )
C - 01	Km 2 + 000	E - 03	14.70	1.857
C - 02	Km 2 + 250	E - 03	14.00	1.868
C - 03	Km 2 + 500	E - 03	14.50	1.852

Proctor modificado (Elaboración propia)

En la figura 40 se muestra la relación del contenido de humedad y la densidad seca de la calicata C - 01, así como también se observa su óptimo contenido de humedad.

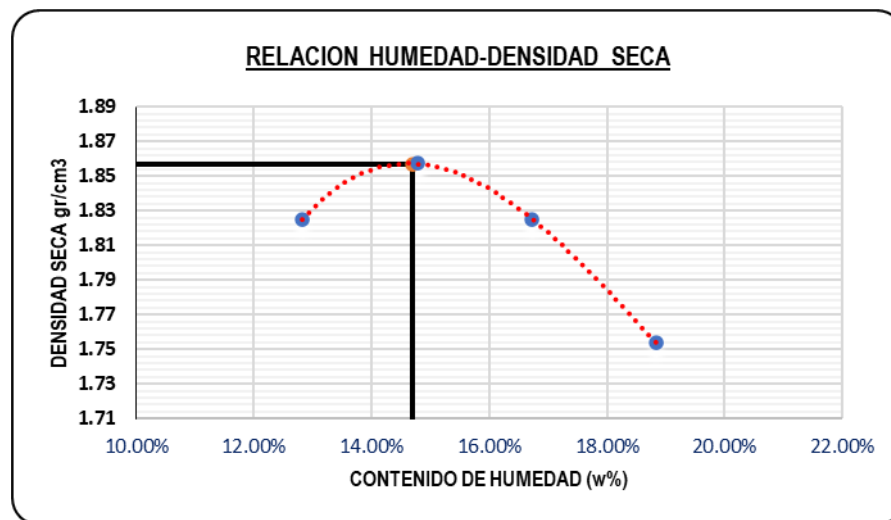


Figura 40. Diagrama relación humedad – densidad seca, C - 01 (Elaboración propia)

En la figura 41 se observa que el porcentaje de la humedad óptima para dicho suelo es 14.00 % teniendo una densidad máxima seca 1.868 gr/cm<sup>3</sup>.

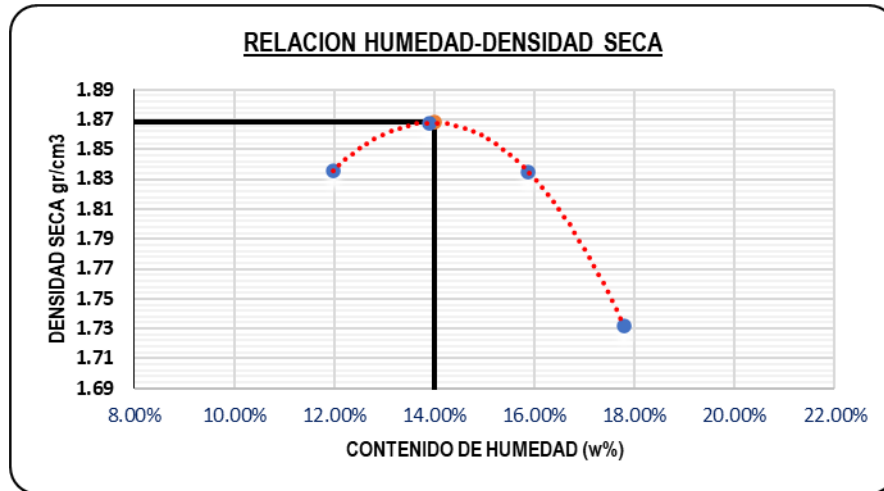


Figura 41. Diagrama relación humedad – densidad seca, C – 02 (Elaboración propia)

Como se observa en la figura 42 el porcentaje de humedad óptimo para dicho suelo es 14.50 % teniendo una densidad máxima seca 1.852 gr/cm<sup>3</sup>

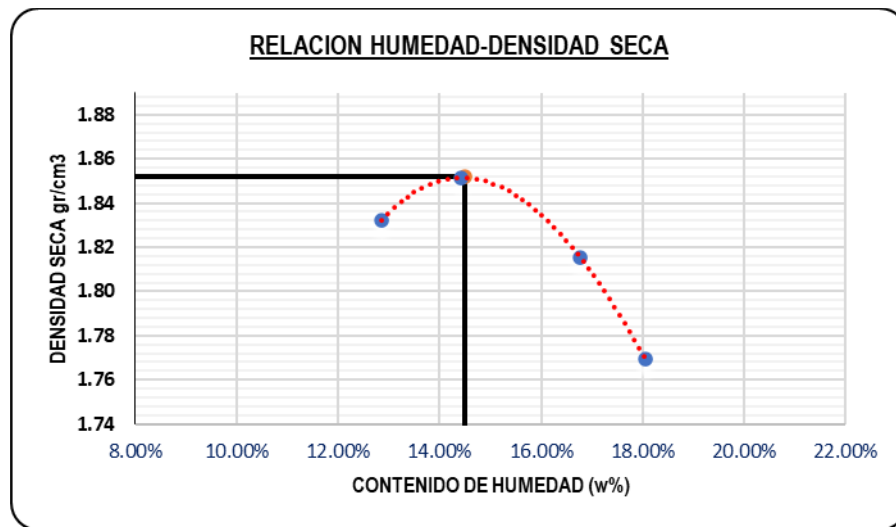


Figura 42. Diagrama relación humedad – densidad seca, C – 03 (Elaboración propia)

#### 4.1.8. CBR (California Bearing Ratio)

Es el ensayo que se considera más importante para la investigación, puesto que en él se determinará el comportamiento de adición de polímero reciclado PET en la muestra de suelo.

Se realizaron ensayos de CBR (California Bearing Ratio) para las tres calicatas seleccionadas del tramo km 2 + 000 hasta km 2 + 500.

#### 4.1.8.1. Ensayo de CBR con suelo natural.

Para determinar la capacidad portante de cada muestra de las calicatas 1, 2 y 3, se preparó tres moldes de CBR la cual se realizó a diferentes energías de compactación de 12, 25 y 56 golpes.

En la tabla 23 se muestra el resumen de los resultados del ensayo de CBR de las muestras de suelos de cada calicata, sumergidos a 96 horas con una sobrecarga de 4.5 kg. Determinada el porcentaje de expansión y el valor del CBR al 95% de la D.M.S. a una penetración de 0.1”.

**Tabla 23**

*Resultados del ensayo de CBR (California Bearing Ratio)*

GOLPES		C – 01			C – 02			C – 03		
		12	25	56	12	25	56	12	25	56
D. M. Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.726	1.803	1.857	1.755	1.822	1.867	1.724	1.785	1.853
Expansión	%	2.13%	2.00%	1.35%	1.08%	1.04%	0.56%	1.56%	1.25%	1.15%
Esfuerzo de Penetración	gr/cm <sup>2</sup>	3.29	4.27	5.14	3.81	4.81	5.71	3.11	4.47	5.45
Valor de CBR	1" 100 % D.M.S.	4.71%	6.13%	7.27%	5.42%	6.85%	8.13%	4.42%	6.42%	7.84%

Ensayo de CBR (California Bearing Ratio) Elaboración propia

En la figura 43 se muestra el valor de CBR al 95% de su densidad máxima seca a 0,1” para el ensayo de CBR de la calicata C – 01. El resultado al 95% de la densidad máxima seca tiene un valor de CBR = 5.41% con una densidad 1.765 gr/cm<sup>3</sup>.

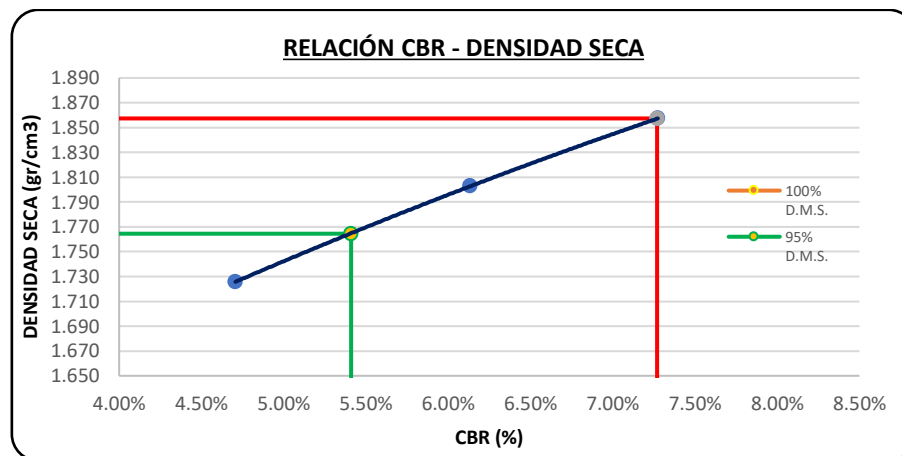


Figura 43. Densidad seca vs. CBR, C - 01 (Elaboración propia)

En la figura 44 se muestra la variación de CBR con respecto a su densidad seca, el valor de CBR = 5.80% tiene una densidad 1.774 gr/cm<sup>3</sup> de la calicata C – 02.

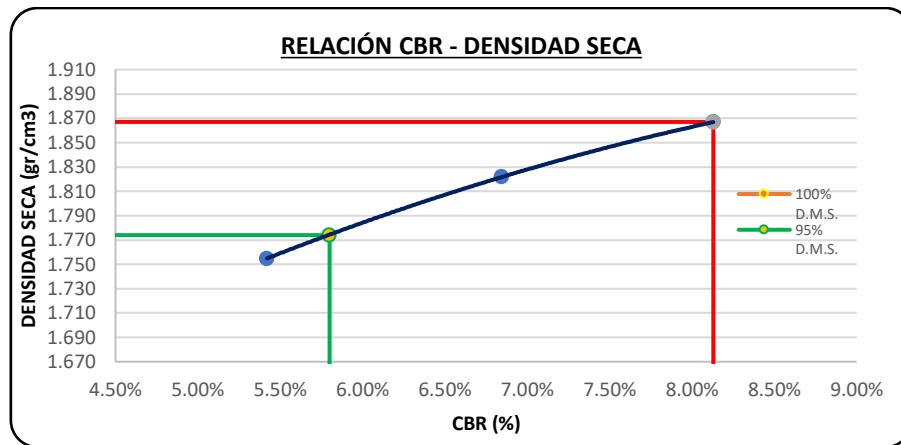


Figura 44. Densidad seca vs. CBR, C - 02 (Elaboración propia)

Como se muestra en la figura 45, la calicata C – 03 tiene el índice de CBR = 5.75% al 95% de la densidad máxima seca.

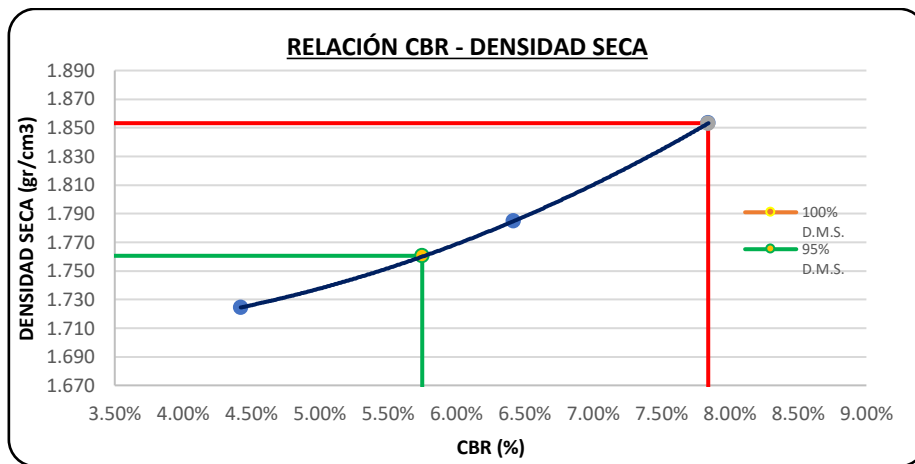


Figura 45. Densidad seca vs. CBR, C - 03 (Elaboración propia)

En la siguiente tabla se muestra el resumen del ensayo de CBR (California Bearing Ratio) al 95% de su densidad máxima seca (DMS); los resultados de resistencia a la deformación de un suelo de cada calicata presentan valores de estabilidad.



**Tabla 24**

*Resumen de los resultados del ensayo de CBR al 95% D.M.S.*

<b>CBR</b>	<b>C - 01</b>	<b>C - 02</b>	<b>C - 03</b>
<b>100 % D.M.S.</b>	7.27%	8.13%	7.84%
<b>95 % D.M.S.</b>	5.41%	5.80%	5.75%

Resultados del ensayo de CBR al 95% M.D.S. (Elaboración propia)

Según los resultados que se muestra la tabla 24 del CBR al 95% de su D.M.S. son inferiores al 6 % y sabiendo que una subrasante de buena capacidad portante debe ser superior; caso contrario se recomienda estabilizar la subrasante inestable con cualquier método o adición de aditivos que recomienda el MTC, así como el método que plantea la presente investigación.

El resultado de CBR está muy relacionado con las distribuciones granulométricas de suelo entre las 3 calicatas realizadas del estrato 3; donde se observa mayor presencia de partículas finas (limo arcillosas) y escasa presencia de grava (agregado grueso).

El suelo de estudio carece de gravas, por lo que en los siguientes ensayos se adicionará polímeros reciclados PET mayores a 4.76 mm para que cumpla la función de grava, esto le dará mayor fricción y por ende mayor resistencia al corte.

## **4.2. Determinación de la Dosificación y Uso de Polímeros Reciclados PET como**

### **Aditivo**

Puesto que las muestras de estudio carecen de gravas, se sustituyó con el aditivo propuesto para esta investigación, adicionando polímeros reciclados PET en diferentes dimensiones y en porcentajes 1%, 3% y 5% con respecto del suelo seco, con el objetivo de encontrar una dosificación óptima cuantificando en valor de soporte (CBR).

#### **4.2.1. Determinación del tamaño de las partículas de los polímeros reciclados PET.**

Con el objetivo de determinar la dosificación óptima suelo – polímero y cuantificarlo en función al índice del CBR, se tamizó el material desde la malla ½” hasta la malla N°4, para clasificarlos por sus dimensiones y realizar ensayos con diferentes dimensiones de polímero.

En la tabla 25 se muestra las dimensiones adecuadas para realizar el ensayo de CBR; clasificamos el material que se utilizará, sabiendo que grava se considera a todas las partículas de 4.76 mm hasta 50.80 mm.

**Tabla 25**

*Resumen de los resultados de tamizado de polímeros reciclados PET*

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa
1/2"	12.70	9.55	3.18	3.18	96.82
3/8"	9.53	22.22	7.41	10.59	89.41
1/4"	6.35	109.02	36.34	46.93	53.07
N°4	4.76	146.51	48.84	95.77	4.23
	<b>BASE</b>	12.70	4.23	100.00	

Resultados de tamizado de polímeros reciclados PET (Elaboración propia)

Como se observa en la tabla anterior, para el tamizado del polímero reciclado PET se tomó una muestra de 300 gr. la cual retiene mayor porcentaje en la malla N°4 (95.77%) lo que significa que el material tiene una dimensión de 4.76 mm hasta 12.70 mm y será utilizado para los ensayos; lo que se quiere conseguir es remplazar la grava por el polímero reciclado PET a la muestra de suelo con mayor porcentaje en finos.

#### **4.2.2. Ensayos de CBR más polímeros reciclados PET.**

Para los ensayos de CBR se separó polímeros reciclados PET con dimensiones de aproximadamente (4.76 mm a 12.70 mm), como adición para las muestras.

En la tabla 26 se detalla el resumen de los ensayos realizados a las tres calicatas con contenido de polímeros reciclados PET en dosificaciones de 1%, 3% y 5% respecto al peso seco de la muestra con 12, 25 y 56 golpes respectivamente.

**Tabla 26**

*Resultados del ensayo de CBR de suelo más 1% de polímero reciclado PET*

GOLPES		C - 01			C - 02			C - 03		
		1% Polímero reciclado PET			1% Polímero reciclado PET			1% Polímero reciclado PET		
		12	25	56	12	25	56	12	25	56
D. M. Seca	gr/cm <sup>3</sup>	1.699	1.755	1.834	1.745	1.794	1.844	1.628	1.759	1.843
Expansión	%	2.48%	2.39%	1.91%	1.70%	1.67%	1.42%	2.30%	2.13%	1.61%
Esfuerzo de Penetración	gr/cm <sup>2</sup>	3.70	4.32	5.14	3.96	4.89	5.89	3.42	4.55	5.56
Valor de CBR	1" 100 % D.M.S.	5.28%	6.13%	7.42%	5.71%	6.99%	8.42%	4.85%	6.49%	8.00%

Ensayo de CBR de suelo más 1% de polímero reciclado PET (Elaboración propia)

Según los resultados del ensayo de CBR que se muestra en la tabla anterior, para la dosificación de 1% de polímero reciclado PET tiene un aumento mínimo en su resistencia, por lo que no se puede determinar que existen mejoras en porcentajes mínimas de resistencia.

En la figura 46 se observa que la calicata C – 01, según la gráfica de densidad seca vs. CBR para muestras de suelo más 1% de polímero reciclado PET aumenta 0.53% de CBR al 95% de su densidad máxima seca del suelo sin adición

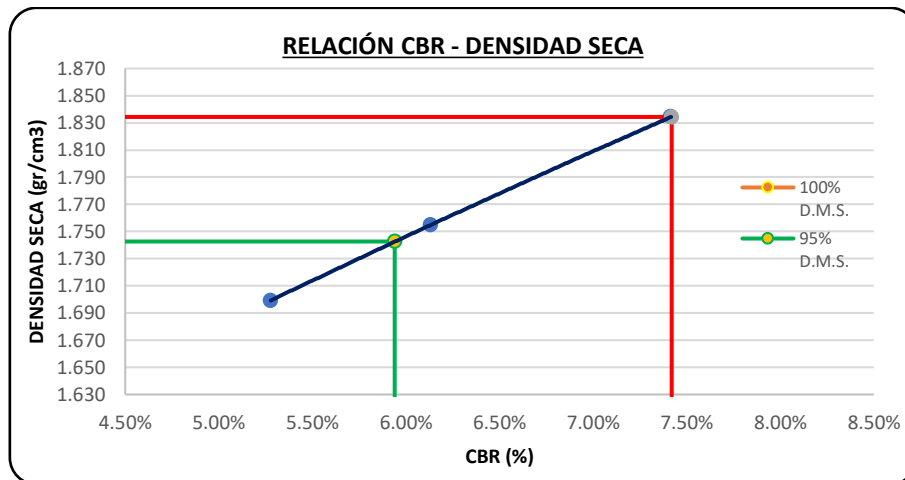


Figura 46. Densidad seca vs. CBR, C - 01 más 1% de polímero reciclado (Elaboración propia)

En la siguiente tabla se muestra el resumen de los ensayos realizados a las tres calicatas con dosificación de 3% de polímero reciclado PET respecto al peso seco de la muestra, este porcentaje se utilizó para moldes con 12, 25 y 56 golpes respectivamente.

**Tabla 27**  
*Resultados del ensayo de CBR de suelo más 3% de polímero reciclado PET*

			C - 01			C - 02			C - 03		
			3% Polímero reciclado PET			3% Polímero reciclado PET			3% Polímero reciclado PET		
GOLPES			12	25	56	12	25	56	12	25	56
<b>D. M. Seca</b>	<b>gr/cm3</b>		1.684	1.733	1.812	1.680	1.745	1.820	1.631	1.720	1.810
<b>Expansión</b>	<b>%</b>		2.58%	2.33%	2.28%	1.91%	1.77%	1.77%	2.48%	1.86%	1.75%
<b>Esfuerzo de Penetración</b>	<b>gr/cm2</b>		3.81	4.53	5.61	3.91	5.04	6.33	3.52	4.58	5.89
<b>Valor de CBR</b>	<b>1"</b>	<b>100 % D.M.S.</b>	5.42%	6.42%	7.99%	5.56%	7.13%	9.00%	4.99%	6.56%	8.42%

Ensayo de CBR de suelo más 3% de polímero reciclado PET (Elaboración propia)

La tabla 27 nos muestra los resultados del ensayo de CBR, con una dosificación de 3% de polímero reciclado PET; la cual tiene un aumento de su resistencia llegando pasar el 6% de CBR mínimo al 95% D.M.S., por lo que se puede determinar que existen mejoras y que esta dosificación es el óptimo para este suelo de estudio.

Un suelo con altos contenidos de arcilla genera inestabilidad, para el suelo utilizado en la investigación con adición de polímero reciclado PET al 3% genera aumento de resistencia, por lo que se concluye que el suelo cuenta alto contenido de plasticidad.

En la figura 47, en la calicata C – 02 se observa en la gráfica de densidad seca vs. CBR para muestras de suelo más 3% de polímero reciclado PET; aumenta 0.95% del valor de CBR al 95% de su densidad seca del suelo natural.

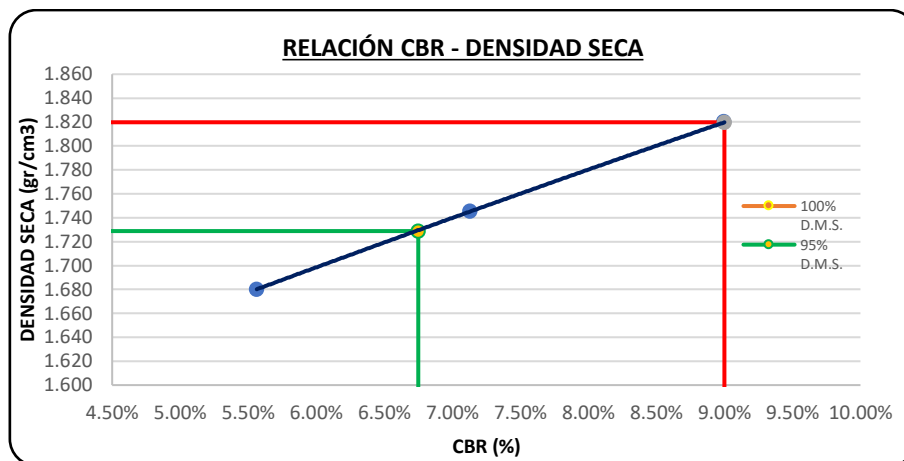


Figura 47. Densidad seca vs. CBR, C - 02 más 3% de polímero reciclado (Elaboración propia)

Finalmente, en la tabla 28 se muestra el resumen de los ensayos realizados a las tres calicatas con una dosificación de 5% de polímero reciclado PET respecto al peso seco de la muestra, este porcentaje se utilizó para moldes con 12, 25 y 56 golpes respectivamente.

**Tabla 28**

*Resultados del ensayo de CBR de suelo más 5% de polímero reciclado PET*

GOLPES		C - 01			C - 02			C - 03		
		5% Polímero reciclado PET			5% Polímero reciclado PET			5% Polímero reciclado PET		
		12	25	56	12	25	56	12	25	56
<b>D. M. Seca</b>	<b>gr/cm3</b>	1.656	1.724	1.793	1.641	1.712	1.778	1.676	1.734	1.792
<b>Expansión</b>	<b>%</b>	2.82%	2.58%	2.41%	2.93%	2.71%	2.39%	2.88%	2.37%	2.13%
<b>Esfuerzo de Penetración</b>	<b>gr/cm2</b>	3.09	4.01	4.99	3.39	4.47	5.61	3.29	4.42	5.45
<b>Valor de CBR</b>	<b>1" 100 % D.M.S.</b>	4.42%	5.78%	7.13%	4.85%	6.42%	7.97%	4.71%	6.28%	7.77%

Ensayo de CBR de suelo más 5% de polímero reciclado PET (Elaboración propia)

Según resultados, con la adición de 5% polímero reciclado PET tiene un efecto no favorable para la subrasante de suelo arcilloso, ya que se observa que su variación de volumen es mayor en comparación con el suelo natural. El aumento de variación volumétrica (expansión) no permite que el suelo tenga buena capacidad de resistencia, motivo por el cual los resultados

de los valores de CBR con la adición de 5% de polímero reciclado PET fueron menores al CBR de suelo natural.

En la figura 48 se muestra la calicata C – 03 para muestras de suelo más 5% de polímero reciclado PET, para un 95% D.M.S. disminuye -0.3% del suelo sin adición.

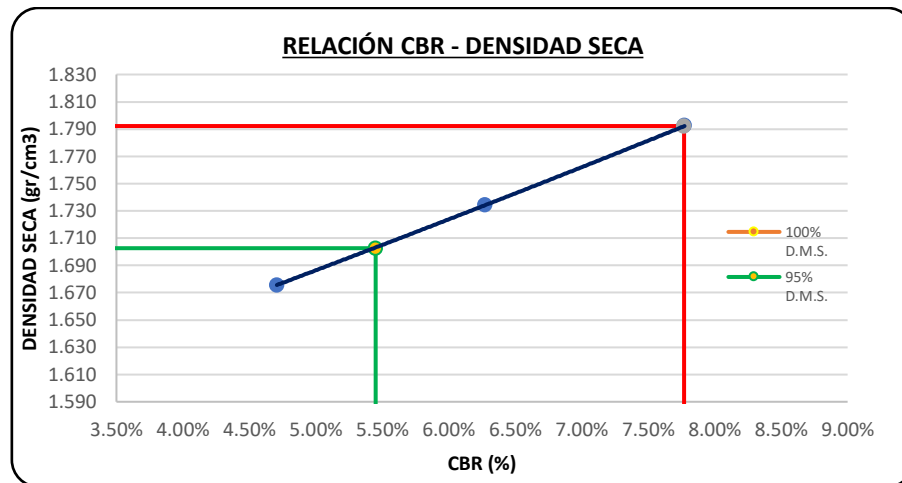


Figura 48. Densidad seca vs. CBR, C - 03 más 5% de polímero reciclado (Elaboración propia)

En la siguiente tabla se muestra los resultados del ensayo de CBR de suelo al 95% DMS y el aumento porcentual con respecto al suelo sin aditivo polímero reciclado PET.

**Tabla 29**

*Resumen de los ensayos de CBR de suelo más polímeros reciclados PET*

SUELO		C - 01				C - 02				C - 03			
		SN	Suelo + Polímero			SN	Suelo + Polímero			SN	Suelo + Polímero		
			1%	3%	5%		1%	3%	5%		1%	3%	5%
D. M. S.	gr/cm3	1.857	1.834	1.812	1.793	1.867	1.844	1.820	1.778	1.853	1.843	1.810	1.792
Expansión	%	1.35%	1.91%	2.28%	2.41%	0.56%	1.42%	1.77%	2.39%	1.15%	1.61%	1.75%	2.13%
Valor de CBR	100 % D.M.S.	7.27%	7.42%	7.99%	7.13%	8.13%	8.42%	9.00%	7.97%	7.84%	8.00%	8.42%	7.77%
	95 % D.M.S.	5.41%	5.94%	6.19%	5.36%	5.80%	5.90%	6.75%	5.91%	5.75%	6.31%	6.55%	5.45%

Ensayos de CBR de suelo más polímeros reciclados PET (Elaboración propia)

De los resultados mostrados en la tabla 29 se observa que la adición de polímero reciclado PET en dosificaciones de 1%, 3% y 5% a cada muestra de suelo tiene una variación en los valores de su densidad máxima seca, expansión y CBR con respecto al suelo natural.

La densidad máxima seca de suelo natural más adición de polímeros reciclados PET, existe una disminución entre 0.01 g/cm<sup>3</sup> hasta 0.09 g/cm<sup>3</sup> respectivamente, significa que la adición de polímeros reciclados PET en dosificaciones de 1%, 3% y 5% disminuye el peso de la muestra haciendo que la densidad disminuya.

Comparando la expansión de los ensayos con aditivo incrementa entre 0.46 % a 1.83 % con respecto a los ensayos sin aditivo; no hay mucha incidencia sobre la expansión del suelo, el aumento de la expansión se debe a que el suelo – polímero es menos denso, esta mezcla genera vacíos entre el plástico y la arcilla ya que no existe cohesión entre ellas.

Con respecto a la resistencia de suelo, al agregar porcentaje de aditivo de 3% si aumenta su resistencia de CBR al 95% y logra pasar el 6%, la cual se encuentra en la categoría subrasante regular según el cuadro de clasificación de subrasante vs. Índice CBR del MTC.

### **4.3. Influencia de los Polímeros reciclados PET en el Diseño de un Pavimento Flexible**

#### **4.3.1. Diseño de espesores método AASHTO 1993.**

La ecuación básica para el diseño de la estructura de un pavimento flexible es la siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{1094}\right)}{0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (8)$$

W18 = El tránsito en ejes equivalentes acumulados para el período de diseño

R = El parámetro de confiabilidad.

So = La desviación estándar global.

Mr = El módulo de resiliencia efectivo, del material usado para la subrasante.

ΔPSI = La pérdida o diferencia entre los índices de servicios inicial y final deseados.

#### 4.3.2. Módulo de resiliencia (Mr).

$$Mr = 2555 * CBR^{0.64} \quad (9)$$

**Tabla 30**

*Módulo de resiliencia para diseño de pavimento flexible*

Tratamiento	CBR (%)	Mr (psi)
Subrasante de suelo natural	7.75	9474.2
Subrasante con polímero reciclado PET	8.47	10028.5

Módulo de resiliencia para diseño de pavimento flexible (Elaboración propia)

#### 4.3.3. Tráfico.

El estudio de tráfico realizado para el diseño es: 3.63E+06, considerados para 20 años.

#### 4.3.4. Confiabilidad (R).

La confiabilidad es un parámetro relacionado con el grado de incertidumbre, la variación en las predicciones del tráfico y la importancia de la vía. Según el tráfico TP7 el valor de confiabilidad es 85% para resto de caminos (ver tabla 31).

**Tabla 31**

*Valores recomendables de nivel de confiabilidad para solo una etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de tráfico*

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Nivel de Confiabilidad
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP0	100000	150000	65.00%
	TP1	150001	300000	70.00%
	TP2	300001	500000	75.00%
	TP3	500001	750000	80.00%
	TP4	750001	1000000	80.00%
	TP5	1000001	1500000	85.00%
	TP6	1500001	3000000	85.00%
	TP7	3000001	5000000	85.00%
	TP8	5000001	7500000	90.00%
Resto de caminos	TP9	7500001	10000000	90.00%
	TP10	10000001	12500000	90.00%
	TP11	12500001	15000000	90.00%
	TP12	15000001	20000000	95.00%
	TP13	20000001	25000000	95.00%
	TP14	25000001	30000000	95.00%
	TP15		>30000000	

Valores recomendables de nivel de confiabilidad para solo una etapa de diseño (10 o 20 años) MTC, 2013.



#### 4.3.5. Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr).

Presenta el valor de confiabilidad seleccionada para un conjunto de datos en una distribución normal, siendo el Zr igual a -1.036 como se muestra en la tabla 32.

**Tabla 32**

*Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr) para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico*

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados	Desviación Estándar Normal	
Caminos de bajo volumen de transito	TP0	100000	150000	-0.385
	TP1	150001	300000	-0.524
	TP2	300001	500000	-0.674
	TP3	500001	750000	-0.842
	TP4	750001	1000000	-0.842
	TP5	1000001	1500000	-1.036
	TP6	1500001	3000000	-1.036
	TP7	3000001	5000000	-1.036
	TP8	5000001	7500000	-1.282
	TP9	7500001	10000000	-1.282
Resto de Caminos	TP10	10000001	12500000	-1.282
	TP11	12500001	15000000	-1.282
	TP12	15000001	20000000	-1.645
	TP13	20000001	25000000	-1.645
	TP14	25000001	30000000	-1.645
	TP15		>30000000	-1.645

Coeficiente estadístico de desviación estándar normal (Zr) MTC, 2013.

#### 4.3.6. Desviación estándar combinada (So).

La desviación estándar combinada (So), es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. La guía de AASHTO adopta para los pavimentos flexibles, valores de 0.40 y 0.50, en la presente investigación se usará un valor de 0.45 como recomienda el MTC, 2013.

#### 4.3.7. Índice de serviciabilidad presente (PSI)

- **Serviciabilidad inicial (Pi).**

Es la condición de una vía recientemente construida como se muestra en la tabla 33 del MTC, siendo el valor de 4.00 para nuestro diseño

**Tabla 33***Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) según rango de tráfico*

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Inicial
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP1	150001	300000	3.80
	TP2	300001	500000	3.80
	TP3	500001	750000	3.80
	TP4	750001	1000000	3.80
	TP5	1000001	1500000	4.00
	TP6	1500001	3000000	4.00
	TP7	3000001	5000000	4.00
	TP8	5000001	7500000	4.00
Resto de caminos	TP9	7500001	10000000	4.00
	TP10	10000001	12500000	4.00
	TP11	12500001	15000000	4.00
	TP12	15000001	20000000	4.20
	TP13	20000001	25000000	4.20
	TP14	25000001	30000000	4.20
	TP15		>30000000	4.20

Índice de Serviciabilidad Inicial (Pi) MTC, 2013.

- **Serviciabilidad final o terminal (Pt).**

Es la condición de una vía que ha alcanzado la necesidad de algún tipo de rehabilitación o reconstrucción, Pt es igual 2.50 según la tabla de MTC, 2013.

**Tabla 34***Índice de Serviciabilidad Final (Pt) según rango de tráfico*

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados		Índice de Serviciabilidad Final
Caminos de bajo volumen de tránsito	TP1	150001	300000	2.00
	TP2	300001	500000	2.00
	TP3	500001	750000	2.00
	TP4	750001	1000000	2.00
	TP5	1000001	1500000	2.50
	TP6	1500001	3000000	2.50
	TP7	3000001	5000000	2.50
	TP8	5000001	7500000	2.50
Resto de caminos	TP9	7500001	10000000	2.50
	TP10	10000001	12500000	2.50
	TP11	12500001	15000000	2.50
	TP12	15000001	20000000	3.00
	TP13	20000001	25000000	3.00
	TP14	25000001	30000000	3.00
	TP15		>30000000	3.00

Índice de Serviciabilidad Final (Pt) MTC, 2013.

Para el índice de serviciabilidad presente (PSI) es la diferencia entre la inicial y terminal asumida para la presente investigación (ver tabla 35).

**Tabla 35**

*Diferencial de serviciabilidad (PSI) según rango de tráfico*

Tipo de Caminos	Trafico	Ejes Equivalentes Acumulados	Diferencia de Serviciabilidad	
Caminos de bajo volumen de transito	TP1	150001	300000	1.80
	TP2	300001	500000	1.80
	TP3	500001	750000	1.80
	TP4	750001	1000000	1.80
	TP5	1000001	1500000	1.50
	TP6	1500001	3000000	1.50
	TP7	3000001	5000000	1.50
	TP8	5000001	7500000	1.50
	TP9	7500001	10000000	1.50
Resto de caminos	TP10	10000001	12500000	1.50
	TP11	12500001	15000000	1.50
	TP12	15000001	20000000	1.20
	TP13	20000001	25000000	1.20
	TP14	25000001	30000000	1.20
	TP15	>30000000		1.20

Diferencial de serviciabilidad (PSI) según rango de tráfico (MTC, 2013)

#### **4.3.8. Numero estructural requerido (SN).**

Los datos obtenidos y procesados se aplican a la ecuación de diseño de AASHTO y se obtiene el número estructural con la ecuación 8 en donde los resultados nos dan:

El número estructural requerido para suelo natural es  $SN = 3.87$

El número estructural requerido para suelo más polímero reciclado PET es  $SN = 3.79$ .

#### **4.3.9. Coeficiente de drenaje (mi).**

El drenaje está considerado dentro del diseño como un factor que afecta directamente al coeficiente de capa y se estima en función del porcentaje de tiempo que la estructura está próxima a la saturación, de acuerdo a la calidad del drenaje de las estructuras del pavimento de la presente investigación, el coeficiente para las capas de base y subbase, según el manual es  $m_2 = m_3 = 1.0$  (ver tabla 36).

**Tabla 36**

Valores recomendados del coeficiente de drenaje (mi) para bases y sub bases granulares no tratadas en pavimentos flexibles

Calidad del Drenaje	P=% Del tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad cercano a la saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5%-25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Valores de coeficiente de drenaje (mi) MTC, 2013

#### 4.3.10. Coeficiente de capa (ai).

Para el coeficiente de capa fueron correlacionados según la guía AASHTO – 93, también menciona la EG – 2013, requisitos mínimos que deben cumplir la capacidad de soporte (CBR) para el diseño de pavimentos.

- **Sub bases granulares**

Requerimiento de CBR para altitudes < 3000 msnm: 40% min.

Requerimiento de CBR para altitudes ≥ 3000 msnm: 40% min.

- **Bases granulares**

Requerimiento de CBR para tráfico en ejes equivalentes (< 10<sup>6</sup>): 80% min.

Requerimiento de CBR para tráfico en ejes equivalentes (≥ 10<sup>6</sup>): 100% min.

#### 4.3.11. Cálculo del espesor de las capas del pavimento flexible.

Mediante la ecuación 10 obtenemos los espesores.

$$SN = a_1 * d_1 + a_2 * d_2 * m_2 + a_3 * d_3 * m_3 \quad (10)$$

Para suelo natural tenemos un resultado de SN = 3.94 > SN = 3.87, por lo tanto, si cumple.

Para suelo natural más polímero nos da un SN = 3.82 > SN = 3.79, por lo tanto, si cumple.

#### 4.3.12. Resultados.

- Para suelo natural.

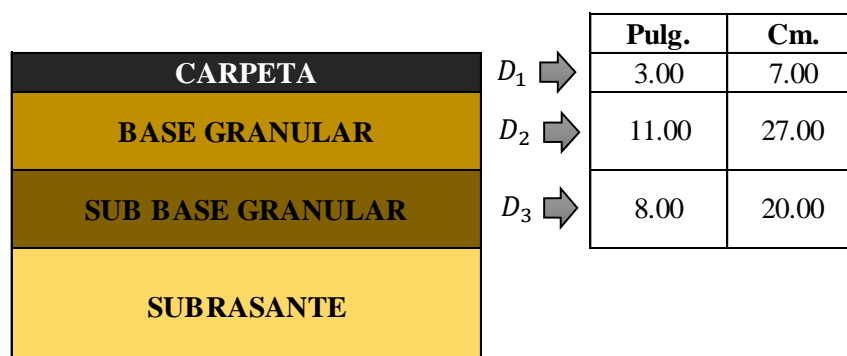


Figura 49. Diseño de un pavimento flexible de suelo natural (Elaboración propia)

- Para suelo natural más polímero reciclado PET.

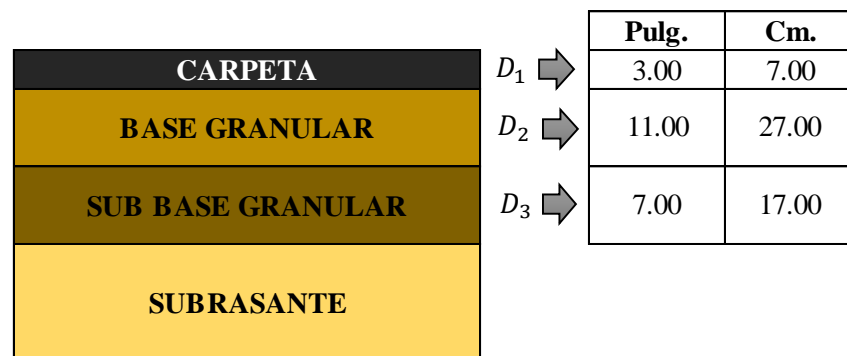


Figura 50. Diseño de un pavimento flexible de suelo natural más polímero reciclado PET (Elaboración propia)

En la tabla 37 podemos observar los diseños de suelo natural y más adición de polímeros reciclados PET.

**Tabla 37**

*Diseño estructural de un pavimento flexible*

CAPAS	Subrasante con Suelo Natural (pulg)	Subrasante más adición de polímeros reciclados PET (pulg)
Carpeta	3	3
Base	11	11
Sub base	8	7

Diseño estructural de un pavimento flexible (Elaboración propia)

### 4.3.13. Perfil estratigráfico

El perfil estratigráfico de las tres calicatas de estudio de la carretera Juliaca – Caminaca según la tabla de resumen de la clasificación de suelos que se muestra en el anexo C.

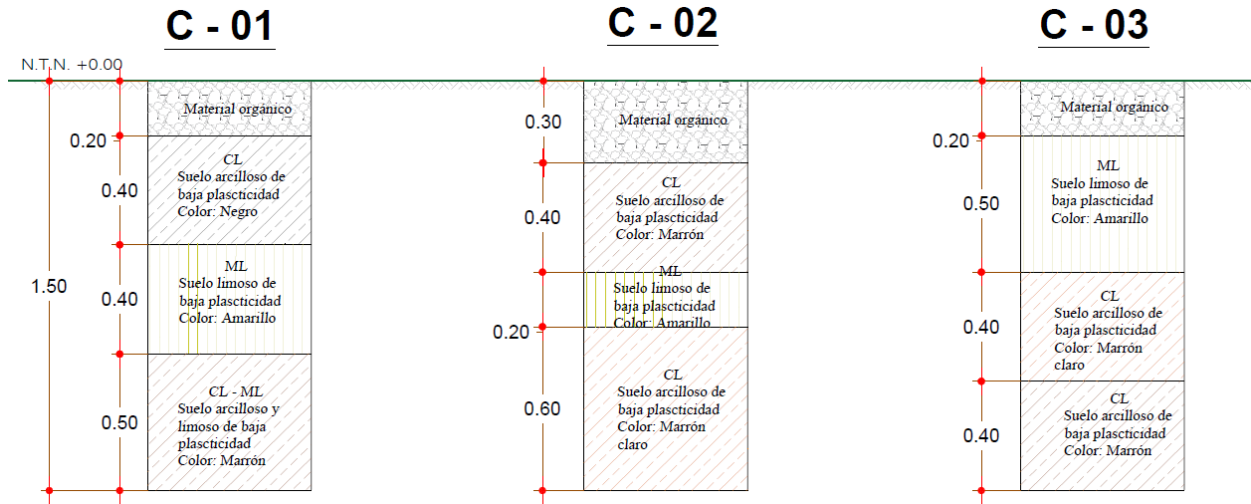


Figura 51. Perfil estratigráfico de las 3 calicatas (Elaboración propia)

### 4.4. Prueba de Hipótesis

Walpole, Myers & Myers (2012) menciona que, las hipótesis en el enfoque cuantitativo, cuando se implementa un diseño de investigación se someten a una prueba, se recolectan datos con uno o varios instrumentos de medición, para luego ser analizadas e interpretadas.

Las hipótesis son proposiciones tentativas relacionado entre dos o más variables, basado en el análisis de una muestra de población y teoría de probabilidad; se usa para la validación de una hipótesis.

Moya & Saravia (2007) indica que, la prueba de hipótesis estadística es quizás el área más importante de la teoría de decisión. Cuando los valores experimentales son observados nos lleva a tomar una decisión de aceptar o rechazar la hipótesis bajo consideración de una regla.

En la presente investigación, para verificar la afirmación dada en el planteamiento de la hipótesis se hace un análisis estadístico con los datos obtenidos para tomar la decisión de aceptar o rechazar la hipótesis planteada, según el siguiente proceso.

- Paso 01: Formulación de hipótesis.
- Paso 02: Nivel de significancia.
- Paso 03: Estadística de prueba.
- Paso 04: Regla de decisión.
- Paso 05: Toma de decisión.

Para la investigación se adopta el procedimiento mencionado anteriormente para la prueba de hipótesis.

#### **4.4.1. Paso 01: Formulación de hipótesis.**

La estructura de la prueba de hipótesis se establece usando el término hipótesis nula, el cual se refiere a la hipótesis que se desea probar ( $H_0$ ). El rechazo de la hipótesis nula conduce a la aceptación de la hipótesis alterna ( $H_1$ ).

#### **4.4.2. Paso 02: Nivel de significancia.**

Mendenhall, Beaver & Beaver (2010) menciona que, el nivel de significancia ( $\alpha$ ) representa un nivel de probabilidad de equivocarse, es decir un valor de certeza que el investigador fija. Existen dos niveles de significancia que usan los investigadores.

El nivel de significancia de 0.05, indica que el investigador tiene un 95% de seguridad y 5% de equivocarse. En probabilidad 0.95 y 0.05, ambos suman la unidad.

El nivel de significancia de 0.01. el cual implica que el investigador tiene 99% a su favor y 1% en contra, para generalizar sin temor.

#### **4.4.3. Paso 03: Estadística de prueba.**

Moya & Saravia (2007) menciona que, para el análisis entre las medias de dos poblaciones independientes se usa la prueba T. “diferencia entre medias poblacionales”.

Por otro lado, hay diversas pruebas estadísticas entre las más utilizadas son:

- Coeficiente de correlación de Pearson y regresión lineal.
- Prueba T.

- Análisis de varianza unidireccional (ANOVA en un sentido).
- Análisis de varianza factorial (ANOVA).

#### 4.4.4. Paso 04: Regla de decisión.

Mendenhall, Beaver, & Beaver (2010) indican, que los valores que puede tomar el estadístico se dividen en dos regiones o conjuntos. Un conjunto que apoya la hipótesis alterna y lleva a rechazar a la hipótesis nula (región de rechazo). El otro conjunto que apoya a la hipótesis nula y lleva a la aceptación de la hipótesis alterna (región de aceptación).

El valor crítico es el punto de división que separa las regiones de rechazo y aceptación, como se muestra en la siguiente figura.



Figura 52. Región de rechazo, aceptación y valor crítico en las pruebas de hipótesis (Web)

#### 4.4.5. Paso 05: Toma de decisión.

El último paso y el más importante se trata de la comparación estadística de prueba con el valor crítico y se toma la decisión de rechazar o aceptar (no rechazar) la hipótesis nula, solo se puede tomar una decisión.

### 4.5. Prueba de Hipótesis General

En el planteamiento de la hipótesis general de la presente investigación menciona que:

“El uso de polímeros reciclados PET estabiliza los suelos arcillosos a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca”.

Se quiere probar que el uso de los polímeros reciclados PET es favorable como adición al mejoramiento de la capacidad de soporte (CBR) de suelos arcillosos.



Las cuales se puede realizar en cualquier laboratorio de mecánica de suelos, dentro de estos ensayos se tienen: análisis granulométrico de suelos, contenido de humedad, límite líquido y límite plástico, proctor modificado y CBR. A través de los resultados obtenidos acerca de los ensayos realizados se validan las hipótesis.

Por consiguiente, para la validación o rechazo de la prueba de hipótesis general se ha realizado mediante el desarrollo de las hipótesis específica 01.

#### **4.6. Prueba de Hipótesis Específica**

##### **4.6.1. Hipótesis específica N° 01.**

En el planteamiento de la hipótesis específica 01 de la presente investigación menciona que:

“Existe una dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca”.

Para validar la hipótesis específica 01 y demostrar la confiabilidad de los ensayos realizados se debe demostrar que una dosificación adecuada de polímeros reciclados PET mejora su capacidad de soporte CBR, se presentan los grupos de datos obtenidos sobre el cual se va a realizar la prueba de diferencia entre dos medias poblaciones en dosificaciones de 1%, 3% y 5%.

En la primera columna se muestran las calicatas estudiadas. En la segunda columna se muestran los resultados de CBR de suelo natural y finalmente en la tercera, cuarta y quinta columna se muestran los resultados de CBR de suelo más adición de polímeros reciclados PET en diferentes dosificaciones, que serán los valores sobre el cual se probará la estadística.

En la tabla 38 se muestra los valores de CBR de suelo natural más adición de polímeros reciclados PET en dosificaciones de 1%, 3% y 5%.

**Tabla 38**

Resultados de CBR sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 01

Calicatas	CBR de suelo natural (%)	CBR + 1% polímero reciclado PET (%)	CBR + 3% polímero reciclado PET (%)	CBR + 5% polímero reciclado PET (%)
C - 01	5.41	5.94	6.19	5.36
C - 02	5.80	5.90	6.75	5.91
C - 03	5.75	6.31	6.55	5.45

Resultados de CBR sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 01 (Elaboración propia)

Se denominará como variable “A” a los resultados de CBR de suelo natural y como variable “B, C y D” a los resultados de CBR con adición de polímeros reciclados PET.

- **Paso 01: Formulación de hipótesis.**

$H_0$  = No existe una dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca

$$H_0 = \mu_0 = \mu_1$$

$H_1$  = Existe una dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca

$$H_1 = \mu_0 \neq \mu_1$$

- **Paso 02: Nivel de significancia.**

El nivel de significancia es asumido y queda establecido en 0.05 ( $\alpha = 5\%$ )

- **Paso 03: Estadística de prueba.**

Para la estadística de prueba de la diferencia entre dos medias poblaciones, con varianzas poblaciones desconocidas, se usa T – STUDENT, porque  $n > 30$ . Es necesario considerar si las dos varianzas poblaciones son iguales o diferentes. Para esto se aplica la ecuación 11:

$$RV = \frac{s_2^2}{s_1^2} \quad (11)$$

Si  $RV < 2.5$  se acepta que las dos varianzas poblacionales son iguales, caso contrario son diferentes. Cuando las varianzas poblaciones son iguales el estadístico de prueba se determina por la siguiente ecuación:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}} \quad (12)$$

Donde:

$t$  = Valor estadístico de prueba

$x_1$  = Promedio muestral del grupo 1

$x_2$  = Promedio muestral del grupo 2

$n_1$  = Tamaño de la muestra del grupo 1

$n_2$  = Tamaño de la muestra del grupo 2

$S_1^2$  = Varianza de la muestra 1

$S_2^2$  = Varianza de la muestra 2

Moya & Saravia (2007) menciona que, se tiene la siguiente ecuación 13 y 14, para el cálculo de promedio muestral y varianza muestral.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (13)$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n} \quad (14)$$

Para el cálculo del estadístico de prueba se realiza con la ayuda de las siguientes tablas, la cual es variable de la hipótesis que se quiere probar.

**Tabla 39**

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" del CBR de suelo natural

Calicata	Variable "A"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C - 01	5.41	0.24	0.06
C - 02	5.80	-0.15	0.02
C - 03	5.75	-0.10	0.01
$\Sigma =$	16.96		0.09
	Promedio muestral ( $x_1$ ) = 5.65		
	Varianza muestral ( $S_1^2$ ) = 0.030		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" del CBR de suelo natural (Elaboración propia)

**Tabla 40**

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" del CBR de suelo más 1% de polímero reciclado PET

Calicata	Variable "B"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C - 01	5.94	0.11	0.01
C - 02	5.90	0.15	0.02
C - 03	6.31	-0.26	0.07
$\Sigma =$	18.15		0.10
	Promedio muestral ( $x_2$ ) = 6.05		
	Varianza muestral ( $S_2^2$ ) = 0.034		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" del CBR más 1% de PET (Elaboración propia)

**Tabla 41**

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "C" del CBR de suelo más 3% de polímero reciclado PET

Calicata	Variable "C"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C - 01	6.19	0.31	0.09
C - 02	6.75	-0.25	0.06
C - 03	6.55	-0.05	0.00
$\Sigma =$	19.49		0.16
	Promedio muestral ( $x_3$ ) = 6.50		
	Varianza muestral ( $S_3^2$ ) = 0.054		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "C" del CBR más 3% de PET (Elaboración propia)

**Tabla 42**

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "D" del CBR de suelo más 5% de polímero reciclado PET

Calicata	Variable "D"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C - 01	5.36	0.21	0.05
C - 02	5.91	-0.34	0.11
C - 03	5.45	0.12	0.02
$\Sigma =$	16.72		0.17
	Promedio muestral ( $\bar{x}_4$ ) = 5.57		
	Varianza muestral ( $S_4^2$ ) = 0.058		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "D" del CBR más 5% de PET (Elaboración propia)

Reemplazando en la ecuación 11 obtenemos resultados de RV, para diferentes dosificaciones de 1%, 3% y 5%.

$$RV_{1\%} = \frac{0.030}{0.034} = 1.133$$

$$RV_{3\%} = \frac{0.054}{0.030} = 1.800$$

$$RV_{5\%} = \frac{0.058}{0.030} = 1.933$$

La relación de varianza obtenido en las tres dosificaciones es menor que 2.5, por lo tanto, se acepta que las dos varianzas poblacionales son iguales y se calcula el estadístico de prueba con la ecuación 12 para las tres dosificaciones, reemplazando tenemos:

$$t_{1\%} = \frac{5.65 - 6.05}{\sqrt{\frac{(3-1) * 0.030 + (3-1) * 0.034}{3+3-2} * \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)}} = -2.739$$

$$t_{3\%} = \frac{5.65 - 6.50}{\sqrt{\frac{(3-1) * 0.030 + (3-1) * 0.054}{3+3-2} * \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)}} = -5.080$$

$$t_{5\%} = \frac{5.65 - 5.57}{\sqrt{\frac{(3-1) * 0.030 + (3-1) * 0.058}{3+3-2} * \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)}} = 0.467$$

- **Paso 04: Regla de decisión.**

Moya & Saravia (2007) indica que, la regla de decisión se formula teniendo en cuenta que es una prueba de hipótesis bilateral o prueba de dos colas. Por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza cuando. Ver ecuación 15.

$$t < -t_{\alpha/2} \quad \text{ó} \quad t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2} \quad (15)$$

Hernández, Fernández, & Baptista (2010) menciona que, para el caso de la población los grados de libertad menor que 30 con varianzas poblacionales desconocidas pero iguales se calcula por la ecuación 16.

$$gl = (n_1 + n_2) - 2 \quad (16)$$

En la tabla 43 se muestra un fragmento de la tabla T – STUDENT. Donde se calcula en función de grados libertad.

**Tabla 43**  
*Tabla T - STUDENT*

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074
7	0.7111	1.4149	1.8946	2.3646	2.9979	3.4995
8	0.7064	1.3968	1.8595	2.3060	2.8965	3.3554

Tabla T – STUDENT, Moya & Saravia (2007)

Para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula de acuerdo a la tabla T – STUDENT, para un nivel de significancia de 0.05 y 4 grados de libertad queda definido de la siguiente forma:

$$t_{-\frac{\alpha}{2}} = t_{\frac{0.05}{2}} = t_{-0.025} = -2.7765$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = t_{1-\frac{0.05}{2}} = t_{0.975} = 2.7765$$

Los resultados para la regla de decisión con la dosificación de 1%, 3% y 5% de polímeros reciclados PET son:

$$-2.739 < -2.7765 \quad \text{ó} \quad -2.739 > 2.7765$$

$$-5.080 < -2.7765 \quad \text{ó} \quad -5.080 > 2.7765$$

$$0.467 < -2.7765 \quad \text{ó} \quad 0.467 > 2.7765$$



Figura 53. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 01 (Web)

- **Paso 05: Toma de decisión.**

Para la toma de decisión se realiza en función a la figura 53.

Para la primera dosificación de suelo más 1% de polímero reciclado PET el valor estadístico de prueba determinado es de  $t = -2.739$ , la cual no cae dentro de la zona de rechazo y se acepta la hipótesis nula, al afirmar que “no hay diferencia significativa”.

Para la segunda dosificación de suelo más 3% de polímero reciclado PET el valor estadístico de prueba determinado es de  $t = -5.080$ , la cual cae dentro de la zona de rechazo y acepta la hipótesis alterna, al afirmar que “hay diferencia significativa”.

Para la tercera dosificación de suelo más 5% de polímero reciclado PET el valor estadístico de prueba determinado es de  $t = 0.467$ , la cual no cae dentro de la zona de rechazo y se acepta la hipótesis nula, al afirmar que “no hay diferencia significativa”.

Concluyendo que los polímeros reciclados PET en una dosificación de 3% influyen en la estabilización de suelos arcillosos a nivel de la subrasante. Con un nivel de confianza de 95%.

#### 4.6.2. Hipótesis específica N° 02.

En el planteamiento de la hipótesis específica 02 menciona que:

“Influye de manera positiva la incorporación los polímeros reciclados PET, en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca”.

Para la validación de la hipótesis y demostrar que influye de manera positiva en el diseño de un pavimento flexible, se presentan dos grupos de datos sobre el cual se va a realizar la prueba.

En la siguiente tabla se muestra la conformación de las columnas y los resultados obtenidos, que serán los valores para la prueba estadística.

**Tabla 44**

*Resultados de los espesores del diseño de pavimento flexible sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 02*

Pavimento Flexible	Espesores sin adición (cm)	Espesores con polímero reciclado PET (cm)
Carpeta	7.00	7.00
Base granular	27.00	27.00
Sub base granular	20.00	17.00

Espesores del diseño de pavimento flexible (Elaboración propia)

La variable “A” será los resultados de espesores del diseño de pavimento flexible sin adición y la variable “B” con adición de polímeros reciclados PET.

- **Paso 01: Formulación de hipótesis.**

$H_0$  = No influye de manera positiva la incorporación los polímeros reciclados PET, en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca.

$$H_0 = \mu_0 = \mu_1$$

$H_1$  = Influye de manera positiva la incorporación los polímeros reciclados PET, en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca.

$$H_1 = \mu_0 \neq \mu_1$$



- **Paso 02: Nivel de significancia.**

El nivel de significancia es asumido en 0.05 ( $\alpha = 5\%$ ),

- **Paso 03: Estadística de prueba.**

Para la prueba de estadística entre dos poblaciones, se usa T – STUDENT, porque  $n > 30$ . Según la ecuación 11.

$$RV = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

Si  $RV < 2.5$  se acepta que las dos varianzas poblacionales son iguales, el estadístico de prueba se determina por la ecuación 12:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Para el cálculo de promedio muestral y varianza muestral se usa las siguientes ecuaciones.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n}$$

En las siguientes tablas se encuentra la variable de la hipótesis que se quiere probar.

**Tabla 45**

*Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de los espesores del diseño de pavimento flexible de suelo natural*

Pavimento flexible	Variable "A"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
Carpeta	7.00	11.00	121.00
Base granular	27.00	-9.00	81.00
Sub base granular	20.00	-2.00	4.00
$\Sigma =$	54.00		206.00
	Promedio muestral ( $x_1$ ) = 18.00		
	Varianza muestral ( $S_1^2$ ) = 68.67		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" del pavimento flexible (Elaboración propia)

**Tabla 46**

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" de los espesores del diseño de pavimento flexible de suelo más polímeros reciclados PET

Pavimento flexible	Variable "B"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
Carpeta	7.00	10.00	100.00
Base granular	27.00	-10.00	100.00
Sub base granular	17.00	-0.00	0.00
$\Sigma =$	51.00		200.00
	Promedio muestral ( $x_2$ ) = 17.00		
	Varianza muestral ( $S_2^2$ ) = 66.67		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" del pavimento flexible + PET (Elaboración propia)

Remplazando en la ecuación obtenemos RV.

$$RV = \frac{66.67}{68.67} = 0.97$$

La relación de varianza es menor que 2.5, por lo tanto, se acepta que las poblaciones son iguales y se calcula el estadístico de prueba con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{18.00 - 17.00}{\sqrt{\frac{(3-1) * 68.67 + (3-1) * 66.67}{3+3-2} * \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)}} = 0.149$$

- **Paso 04: Regla de decisión.**

La regla de decisión se formula teniendo en cuenta que es una prueba de hipótesis bilateral o prueba de dos colas. Por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza cuando.

$$t < -t_{\alpha/2} \quad \text{ó} \quad t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$$

Para el caso de la población los grados de libertad menor que 30 se calcula por la ecuación:

$$gl = (n_1 + n_2) - 2$$

Los grados de libertad se calcula en la tabla T – STUDENT.

**Tabla 47**  
**Tabla T - STUDENT**

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074

Tabla T – STUDENT, Moya & Saravia (2007)

De acuerdo a la tabla T – STUDENT, tiene un nivel significancia de 0.05 y 4 grados de libertad para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula y queda definido de la siguiente forma:

$$t_{\frac{\alpha}{2}} = t_{\frac{0.05}{2}} = t_{0.025} = -2.7765$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = t_{1-\frac{0.05}{2}} = t_{0.975} = 2.7765$$

$$0.149 < -2.7765 \quad \text{ó} \quad 0.149 > 2.7765$$



Figura 54. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 02 (Web)

- **Paso 05: Toma de decisión.**

Para la toma de decisión se realiza en función a la figura 54, el valor estadístico de prueba determinado es de  $t = 0.149$ , la cual no cae dentro de la zona de rechazo, por lo tanto, no se puede rechazar la hipótesis nula.

La decisión es que se acepta la hipótesis nula, al afirmar que “no hay diferencia significativa” en el diseño de pavimento flexible.

### 4.6.3. Hipótesis específica N° 03.

En el planteamiento de la hipótesis específica 03 menciona que:

“La aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET influye de manera positiva en la densidad máxima seca en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca”.

Para la validación de la hipótesis y demostrar que influye de manera positiva en la densidad máxima seca la dosificación óptima de polímeros reciclados PET, se presentan dos grupos de datos sobre el cual se va a realizar la prueba.

En la tabla 48 se muestra la conformación de las columnas y los resultados obtenidos, que serán los valores para la prueba estadística.

**Tabla 48**

*Resultados de DMS sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 03*

Calicatas	D.M.S. de suelo natural (gr/cm <sup>3</sup> )	D.M.S. + 3% polímero reciclado PET (gr/cm <sup>3</sup> )
C - 01	5.41	5.94
C - 02	5.80	5.90
C - 03	5.75	6.31

Resultados de DMS sobre el cual se quiere probar la hipótesis específica 03 (Elaboración propia)

La variable “A” será los resultados de la densidad máxima seca de suelo natural y la variable “B” con adición de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET.

- **Paso 01: Formulación de hipótesis.**

$H_0$  = La aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET no influye de manera positiva en la densidad máxima seca en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca

$$H_0 = \mu_0 = \mu_1$$

$H_1$  = La aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET influye de manera positiva en la densidad máxima seca en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.

$$H_1 = \mu_0 \neq \mu_1$$

- **Paso 02: Nivel de significancia.**

El nivel de significancia es asumido en 0.05 ( $\alpha = 5\%$ ),

- **Paso 03: Estadística de prueba.**

Para la prueba de estadística entre dos poblaciones, se usa T – STUDENT, porque  $n > 30$ . Según la ecuación 11.

$$RV = \frac{S_2^2}{S_1^2}$$

Si  $RV < 2.5$  se acepta que las dos varianzas poblacionales son iguales, el estadístico de prueba se determina por la ecuación 12:

$$t = \frac{x_1 - x_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1) * S_1^2 + (n_2 - 1) * S_2^2}{n_1 + n_2 - 2} * \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}\right)}}$$

Para el cálculo de promedio muestral y varianza muestral se usa las ecuaciones 13 y 14.

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n}$$

En las siguientes tablas se encuentra la variable de la hipótesis que se quiere probar.

**Tabla 49**

*Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de la DMS de suelo natural*

Calicata	Variable "A"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C – 01	1.85700	0.00200	0.00000
C – 02	1.86700	-0.00800	0.00006
C – 03	1.85300	0.00600	0.00004
$\Sigma =$	5.57700		0.00010
	Promedio muestral ( $x_1$ ) = 1.85900		
	Varianza muestral ( $S_1^2$ ) = 0.00003		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "A" de la DMS de suelo natural (Elaboración propia)

**Tabla 50**

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" de la DMS de suelo más la dosificación óptima de polímero reciclado PET

Calicata	Variable "B"		
	$x_i$	$x - x_i$	$(x - x_i)^2$
C - 01	1.81200	0.00200	0.00000
C - 02	1.82000	-0.00600	0.00004
C - 03	1.81000	0.00400	0.00002
$\Sigma =$	5.44200		0.00006
	Promedio muestral ( $x_2$ ) = 1.81400		
	Varianza muestral ( $S_2^2$ ) = 0.00002		

Valores para calcular el estadístico de prueba de la variable "B" más la dosificación óptima (Elaboración propia)

Remplazando en la ecuación 11 obtenemos RV.

$$RV = \frac{0.00002}{0.00003} = 0.667$$

La relación de varianza es menor que 2.5, por lo tanto, se acepta que las poblaciones son iguales y se calcula el estadístico de prueba con la siguiente ecuación:

$$t = \frac{1.85900 - 1.81400}{\sqrt{\frac{(3-1) * 0.00003 + (3-1) * 0.00002}{3+3-2} * \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{3}\right)}} = 11.023$$

- **Paso 04: Regla de decisión.**

La regla de decisión se formula teniendo en cuenta que es una prueba de hipótesis bilateral o prueba de dos colas. Por lo tanto, la hipótesis nula se rechaza cuando.

$$t < -t_{\alpha/2} \quad \text{ó} \quad t > t_{\alpha/2} = t_{1-\alpha/2}$$

Para el caso de la población los grados de libertad menor que 30 se calcula por la ecuación:

$$gl = (n_1 + n_2) - 2$$

Los grados de libertad se calcula en la tabla T – STUDENT.

**Tabla 51**  
*Tabla T - STUDENT*

Grados de libertad	0.25	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005
1	1.0000	3.0777	6.3137	12.7062	31.8210	63.6559
2	0.8165	1.8856	2.9200	4.3027	6.9645	9.9250
3	0.7649	1.6377	2.3534	3.1824	4.5407	5.8408
4	0.7407	1.5332	2.1318	2.7765	3.7469	4.6041
5	0.7267	1.4759	2.0150	2.5706	3.3649	4.0321
6	0.7176	1.4398	1.9432	2.4469	3.1427	3.7074

Tabla T – STUDENT, Moya & Saravia (2007)

De acuerdo a la tabla T – STUDENT, tiene un nivel significancia de 0.05 y 4 grados de libertad para la aceptación o rechazo de la hipótesis nula y queda definido de la siguiente forma:

$$t_{-\frac{\alpha}{2}} = t_{-\frac{0.05}{2}} = t_{-0.025} = -2.7765$$

$$t_{1-\frac{\alpha}{2}} = t_{1-\frac{0.05}{2}} = t_{0.975} = 2.7765$$

$$11.023 < -2.7765 \quad \text{ó} \quad 11.023 > 2.7765$$



Figura 55. Zona de aceptación y rechazo de la hipótesis específica N° 03 (Web)

- **Paso 05: Toma de decisión.**

Para la toma de decisión se realiza en función a la figura 55, el valor estadístico de prueba determinado es de  $t = 11.023$ , la cual cae dentro de la zona de rechazo, por lo tanto, se puede rechazar la hipótesis nula.

La decisión es que se acepta la hipótesis alterna, al afirmar que “hay diferencia significativa” en la densidad máxima seca de la dosificación óptima.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

Después de haber realizado y obtenido los estudios de las características físicas y mecánicas de las muestras de suelo arcilloso, con respecto al CBR se pudo llegar a las siguientes conclusiones:

Se demuestra parcialmente a la hipótesis que dice: existe una dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante. Según los resultados se observa que para un suelo natural más adición del 3% de polímero reciclado PET aumenta su capacidad de soporte CBR en un 0.58% hasta 0.87% de la capacidad de soporte CBR de suelo sin adición, llegando así a la conclusión que la adición de polímero reciclado PET logra mejorar su resistencia a la deformación de cargas vehiculares si logramos agregar una dosificación de 3% de polímeros reciclados PET, ya que el polímero es un material resistente de baja densidad que ayuda a tener mayor fricción y resistencia al corte.

De la hipótesis que dice que: La utilización de los polímeros reciclados PET reduce el espesor en el diseño estructural de un pavimento. En el diseño estructural del pavimento flexible depende de la calidad del material de la subrasante depende en gran medida de los espesores del pavimento siendo la sub base, base y carpeta asfáltica; la reducción de espesor es mínima ya que al adicionar el polímero reciclado PET aumenta en 0.87% del CBR de suelo natural, razón por la cual en el diseño de pavimento solo reduce la sub base como se muestra en la tabla.

CAPAS	Subrasante con Suelo Natural (pulg)	Subrasante más adición de polímeros reciclados PET (pulg)
Carpeta	3	3
Base	11	11
Sub base	8	7



Se demuestra parcialmente la hipótesis que dice: La aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET influye de manera positiva en la densidad máxima seca en la subrasante. Se concluye que la D.M.S. de suelo más polímero reciclado PET en la dosificación óptima disminuye entre 0.043 gr/cm<sup>3</sup> hasta 0.047 gr/cm<sup>3</sup> con respecto a la densidad del suelo natural.

## **5.2. Recomendaciones**

Se recomienda que este método de estabilización se utilice para subrasante de suelo arcilloso de baja plasticidad y que tengan capacidad portante mayores o iguales a 8.13%, en una adición de polímero reciclado PET de 3% con dimensiones de 5 a 10 mm.

Debido a las diferentes propiedades que se puede encontrar en una subrasante de suelo, se debe realizar estudios de suelo para analizar el porcentaje de adición para una buena estabilización ya que son datos importantes en el diseño de un pavimento. Definen la estructura del pavimento y el espesor que se debe utilizar, se recomienda minimizar y compensar el movimiento de tierras debido a consideraciones ambientales.

Analizar, evaluar y profundizar la utilización de material estabilizador más usados y recomendado por el manual de carreteras del MTC, para realizar comparaciones de porcentajes de estabilización de suelo más polímero reciclado PET al 3%.

Para determinar la dosificación óptima de suelo más polímero reciclado PET se recomienda realizar ensayos de CBR a diferentes porcentajes de 0.2 %, 0.5 % y 0.8 % respecto al peso seco de la muestra.

Finalmente se recomienda profundizar investigaciones utilizando otros materiales reciclables como PVC, HDPE, Tecnoport, ceniza, entre otros para estabilizar un suelo o para utilizarlos como reforzamiento de los aditivos más utilizados en la estabilización de suelo recomendado por MTC.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO, M. d. (1993). *(American Asociation of State Highway and Transportation Officials)*.
- Aguilar, J. A. (2001). *Polímeros*. (Revista de información).
- Angelone, S. (2014). *Geología y Geotecnia (Tipos de suelos: arcillas)* (4 ed.).
- Bañón, L. (2000). *Manual de carreteras*. Construcción Mantenimiento 2.
- Borja, M. (2016). *Metodología de la investigación científica para ingenieros*. Chiclayo.
- Botía, W. A. (2015). *Manual de procesamiento de ensayos de suelos y memoria de cálculo*. (Trabajo de Grado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá.
- Braja, D. (2013). *Fundamentos de ingeniería geotecnia* (4 ed.). México.
- Chura Mamani, E. E., & Romero Yupanqui, S. (2017). *Estabilización de suelos cohesivos mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca*. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Peruana Unión, Juliaca.
- CORASCO, C. y. (2008). *Manual para la Revisión de Estudios y Diseños de Pavimentos*. (Ministerio de Transporte e Infraestructura División General de Planificación, Nicaragua).
- Crespo, I. (2004). *Mecánica de suelos y cimentaciones* (5 ed.). México, Limusa.
- Cruz, A. (2014). *Clasificación de las arcillas en base a su estabilidad*. (Trabajo de Investigación). Instituto Tecnológico de Tijuana, México.
- Cuipal, B. K. (2018). *Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018*. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad César Vallejo, Lima.
- Elizondro, I., Navas, A., & Sibaja, D. (2008). *Efecto de las propiedades de calidad de la cal en la estabilización de subrasantes de alta plasticidad*. (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales). Universidad de Costa Rica.

- Farias, D., & Niemann, J. (2005). *Clasificación de suelos*. (Documento técnico).
- Fernández, I. J. (2013). *Polímeros en solución y aplicación de los polímeros en la industria petrolera*. (Departamento de Manejo Integrado de Producción). Estado Miranda, Venezuela.
- Garnica, P., Pérez, A., Gómez, J. A., & Obil, E. Y. (2002). *Estabilización de suelos con cloruro de sodio para su uso en las vías terrestres*. (Documento Técnico N°201). Instituto Mexicano del Transporte, México.
- Gómez, M. M. (2006). *Introducción a la metodología de la investigación científica*. Argentina.
- Hermida, É. B. (2011). *Polímeros* (Vol. 9). (Guía Didáctica). Instituto Nacional de Educación Tecnológica, Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Republica de Argentina.
- Hernández, D., Fernández, D., & Baptista, D. (2010). *Metodología de la investigación*. México.
- Juaréz, E., & Rico, A. (1973). *Fundamentos de la mecánica de suelos* (2 ed.). México.
- Junco del Pino, J. M., & Tejeda, E. (2011). *Aditivo químico obtenido de sales cuaternarias empleado para la estabilización de suelos arcillosos de*. (Revista de Arquitectura e Ingeniería). Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas, Cuba.
- Kraemer, C., Melús, M. A., Pardillo, M., Rocci, S., Romana, M. G., & Sánchez, V. (2004). *Ingeniería de carreteras*. España.
- Lascano, S. D., & Narvaez, L. A. (2010). *Mejoramiento de la capacidad portante del CBR de una sub base granular con material proveniente de la provincia de Esmeraldas por medio de la adición de desechos de PVC*. (Plan de Disertación de Grado Previa la Obtención del título de Ingeniería Civil). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito.
- Leyva, R. R. (2016). *Utilización de bolsas de polietileno para el mejoramiento de suelo a nivel de la subrasante en el Jr. Arequipa, progresiva: km 0+000 - km 0+100, distrito de*

- Orcotuna, Concepción*. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- López Carrasquero, F. (2004). *Fundamentos de polímeros*. VI Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química.
- López, F., & Mendizábal, E. (2015). *Introducción a la ciencia de polímeros*. (Centro Universitario de Ciencias Exactas e Ingenierías). Universidad de Guadalajara, Jalisco.
- López, T., Hernández, J. B., Hortan, J., Coronado, A., & Castaño, V. M. (2010). *Polímeros para la estabilización volumétrica de arcillas expansivas*. (Revista Iboamericana de Polímeros). Universidad Autónoma de Querétaro, México.
- Mamani, D., & Huaranca, A. (2013). Estabilización de suelos con fines de pavimentación, mediante el uso de polímeros reciclados.
- Mano, J. F. (2003). *Propiedades térmicas de los polímeros en la enseñanza de la ciencia de materiales e ingeniería - estudios DSC sobre poli (tereftalato de etileno)*. (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal). Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca.
- Mendenhall, W., Beaver, R. J., & Beaver, B. M. (2010). *Introducción a la probabilidad y estadística* (13 ed.). México.
- Menéndez, J. R. (2013). *Ingeniería de Pavimentos: Diseño y Gestión de Pavimentos* (1 ed.). Lima, Perú.
- Montejo, A. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (2 ed.). Universidad Católica de Colombia Ediciones y Publicaciones. Bogotá, Colombia.
- Moreno, D. P., & Ramírez, R. J. (2012). *Mejoramiento del ángulo de fricción interna en arenas arcillosas mediante la adición de geotextil tejido t-2400, 78*. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.
- Moya, R., & Saravia, G. (2007). *Probabilidad e inferencia estadística*. Perú.

- MTC. (2013). Manual de carreteras (Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos). Sección suelos y pavimentos.
- MTC. (2013). *Manual de carreteras: Especificaciones técnicas generales para construcción*. Perú.
- MTC. (2016). Manual de Ensayo de Materiales.
- Olguin, F. J. (2011). *Introducción a la mecánica de suelos*. (Mecánica de Suelos I). Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Pachuca de Soto.
- Pari, E. R. (2013). *Influencia de la inclusión de desecho de policloruro de vinilo (PVC) sobre la capacidad de soporte de un material granular tipo subbase en la ciudad de Juliaca*. (Tesis de Ingeniería Metalúrgica). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Pattillo, J. (1988). *Consideraciones generales sobre diseño de pavimentos asfálticos*. (Revista de Ingeniería de Construcción). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago.
- Quispe, F. (2014). *Estabilización de suelos no aptos con desechos de policloruro de vinilo para su uso en la conformación de la capa base y sub base de pavimentos*. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Nacional del Altiplano, Puno.
- Ramos, G. P. (2014). *Mejoramiento de subrasante de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados en carreteras, Paucará – Huancavelica 2014*. (Tesis de Ingeniería Civil). Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.
- Roca, I. E. (2005). *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*. (Trabajo de Graduación). Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Rodríguez, E., Rondón, H. A., Vélez, D. M., & Aguirre, L. C. (2006). *Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase*. (Revista de Ingenierías). Universidad de Medellín, Colombia.
- Tamayo, M. (2012). *El Proceso de la investigación científica* (4 ed.). México.

- Valle, W. A. (2010). *Estabilización de suelos arcillosos plásticos con mineralizadores en ambientes sulfatados o yesíferos*. (Tesis de Fin de Máster). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid.
- Viscarra, F. (2006). El Cono Dinámico de Penetración y su Aplicación en la Evaluación de Suelos. (Artículo de Investigación) Universidad Privada Boliviana, Bolivia.
- Vivanco, I., Wahr, I., & Casanova, C. (2001). Diseño con Cono de Penetración en Vías Secundarias. Universidad Técnico Federico Santa María, Chile.
- Walpole, R. E., Myers, R. H., & Myers, S. L. (2012). *Probabilidad y estadística para ingeniería y ciencias* (9 ed.). México.

## ANEXOS

### Anexo A. Matriz de Consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>Problema General</b>	<b>Objetivos General</b>	<b>Hipótesis General</b>	<b>Variable Independiente</b>			
¿Se podrá estabilizar los suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca?	Estabilizar los suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.	El uso de polímeros reciclados PET estabiliza los suelos arcillosos a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.	Polímeros reciclados PET.	Estructura de polímero reciclado PET.  Determinación de polímero reciclado PET.	Propiedades químicas  Dimensiones de polímeros	Referencias  Granulometría
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis Específicos</b>	<b>Variable Dependiente</b>			
¿Cuál es la dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca?	Determinar la dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.	Existe una dosificación adecuada de los polímeros reciclados PET como adición para la estabilización de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.		Características del suelo	Textura y clasificación	Granulometría Contenido de Humedad Limite Liquido Limite Plástico Clasificación de suelos (SUCS – AASHTO)
¿Cómo influye la utilización de los polímeros reciclados PET, en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca?	Evaluar la influencia de los polímeros reciclados PET en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca.	La utilización de los polímeros reciclados PET reduce el espesor en el diseño estructural de un pavimento flexible de la carretera Juliaca – Caminaca.	Estabilización de suelos arcillosos a nivel de la subrasante.	Valor de soporte CBR > 6% de suelo arcilloso	Resistencia  Expansión	Ensayo de PDC  Ensayo de CBR
¿Qué efecto tiene la dosificación óptima de polímeros reciclados PET en la densidad máxima seca de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca?	Determinar el efecto que causa la dosificación óptima de polímeros reciclados PET en la densidad máxima seca de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.	La aplicación de la dosificación óptima de polímeros reciclados PET influye de manera positiva en la densidad máxima seca en la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca.		Densidad máxima seca	Densidad	Ensayo de Proctor

## Anexo B. Operacionalización de las Variables

VARIABLE	DEFINICIÓN	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
<b>Variable Independiente</b>	Los polímeros son sustancias de alto peso molecular, formados por pequeñas moléculas denominadas monómeros que se encuentran unidas.	Estructura de polímero reciclado PET.	Propiedades químicas	Referencias	
Polímeros reciclados PET.		Determinación de polímero reciclado PET.	Dimensiones de polímeros	Granulometría (MTC E – 107)	<b>Metodología de investigación:</b> Cuantitativo.
<b>Variable Dependiente</b>	Una subrasante de suelo arcilloso presenta baja capacidad portante por lo que su CBR > 6% la cual necesita ser mejorado por los métodos que sugiere el MTC o cualquier otro método.	Características del suelo	Textura y clasificación	Granulometría (MTC E – 107) Contenido de Humedad (MTC E – 108) Limite Líquido (MTC E – 110) Limite Plástico (MTC E – 111) Clasificación de suelos (SUCS – AASHTO)	<b>Tipo de investigación:</b> Aplicada.
Estabilización de suelos arcillosos a nivel de la subrasante.		Valor de soporte CBR > 6% de suelo arcilloso	Resistencia	Ensayo de PDC (ASTM – 6951 - 03) Ensayo de CBR (MTC E – 132)	<b>Nivel de investigación:</b> Explicativo.
		Densidad máxima seca	Expansión		<b>Diseño de investigación:</b> Experimental.
			Densidad	Ensayo de Proctor (MTC E – 115)	



**Anexo C. Resumen de la clasificación de suelos por el método SUCS y AASHTO.**

<b>CALICATA</b>		<b>C - 01</b>			<b>C - 02</b>			<b>C - 03</b>	
<b>Progresiva (Km)</b>		2 + 000			2 + 250			2 + 500	
<b>Muestra</b>	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01	M - 01
<b>Estrato</b>	E - 01	E - 02	E - 03	E - 01	E - 02	E - 03	E - 01	E - 02	E - 03
<b>Profundidad (m)</b>	0.60	1.00	1.50	0.70	0.90	1.50	0.70	1.10	1.50
<b>Clasificación por el método SUCS</b>									
<b>Grava (2" - N°4)</b>	0.00	1.48	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	9.17	1.68
<b>Arena (N°4 - N°200)</b>	56.47	65.28	49.99	62.92	79.72	61.72	55.85	64.54	62.31
<b>Finos (&lt; N°200)</b>	43.53	33.24	50.01	37.08	20.28	38.28	44.15	26.29	36.01
<b>Límite líquido</b>	34.71	28.02	23.12	27.84	NP	28.10	NP	34.79	33.07
<b>Índice de plasticidad</b>	11.49	5.71	3.77	7.98	NP	10.55	NP	13.13	10.76
<b>Clasificación SUCS</b>	CL	ML	CL - ML	CL	ML	CL	ML	CL	CL
<b>Denominación</b>	Arcilla de baja plasticidad	Limo de baja plasticidad	Arcilla y Limo de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad	Limo de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad	Limo de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad	Arcilla de baja plasticidad
<b>Clasificación por el método AASHTO</b>									
<b>Porcentaje que pasa N°10</b>	98.34	90.34	99.79	96.68	99.82	99.61	99.69	74.43	91.33
<b>Porcentaje que pasa N°40</b>	96.45	70.36	98.89	85.86	89.58	94.71	95.39	66.47	78.98
<b>Porcentaje que pasa N°200</b>	43.53	33.24	50.01	37.08	20.28	38.28	44.15	26.29	36.01
<b>Límite líquido</b>	34.71	28.02	23.12	27.84	NP	28.10	NP	34.79	33.07
<b>Índice de plasticidad</b>	11.49	5.71	3.77	7.98	NP	10.55	NP	13.13	10.76
<b>Índice de grupo</b>	2	0	0	0	0	1	0	0	0
<b>Clasificación AASHTO</b>	A - 6 (2)	A - 2 - 4 (0)	A - 4 (0)	A - 4 (0)	A - 2 - 4 (0)	A - 6 (1)	A - 4 (0)	A - 2 - 6 (0)	A - 6 (0)
<b>Denominación</b>	Suelos arcillosos	Limo o grava arcillosa y arena	Suelos limosos	Suelos limosos	Limo o grava arcillosa y arena	Suelos arcillosos	Suelos limosos	Limo o grava arcillosa y arena	Suelos arcillosos

**Anexo D. Panel fotográfico.**



Exploración y muestro in – situ del tramo de estudio.



Recolección y secado de muestras por diferentes estratos.



Ensayo de contenido de humedad.



Lavado y tamizado de la muestra para el ensayo de análisis granulométrico.



Saturado de la muestra y el ensayo de límite líquido.



Ensayo de límite plástico y pesado de la muestra.





Muestra compactada en 5 capas para el ensayo de proctor modificado.



Recolección y triturado de polímeros reciclados PET.



Mezclado de suelo más polímeros reciclados PET.



Compactación y pesado de la muestra para el ensayo de CBR.



Medición de la expansión y penetración en la prensa de CBR.



Ensayo de PDC in – situ en dos puntos del tramo de estudio.



## Anexo E. Ensayos realizados en el laboratorio de mecánica de suelos de la UPeU.



### ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

# CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y el Jefe de laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

#### HACE CONSTAR:

Que el Bachiller en Ingeniería Civil:

**CLIVER CAPIA MAMANI**

Código universitario N° 201220946

Ha realizado ensayos en el Laboratorio de Mecánica de Suelos para completar su trabajo de tesis denominado: “**Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca – Caminaca, 2019**” con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil. Los trabajos se realizaron entre 19/09/19 al 31/10/19.

Los ensayos efectuados por el tesista fueron los siguientes:

- ✓ 02 Ensayos de Penetración Dinámica de Cono (PDC)
- ✓ 09 Ensayos de Contenido de Humedad.
- ✓ 09 Ensayos de Análisis Granulométrico por Tamizado.
- ✓ 09 Ensayos de Límite Líquido.
- ✓ 09 Ensayos de Límite Plástico.
- ✓ 12 Ensayos de Proctor modificado.
- ✓ 12 Ensayos de CBR.

Se expide la presente constancia a solicitud del interesado para los fines que estime por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiari, 04 de junio del 2020

Ing. Herson Duberly Pari Cusi  
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil



Ing. Yesenia Apaza Pinto  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS

(MTC E- 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.60 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (2)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 24/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°10	2.00	1.10	1.66	1.66	98.34	
N°40	0.42	1.25	1.89	3.55	96.45	
N°100	0.15	23.14	34.91	38.46	61.54	
N°200	0.07	11.94	18.01	56.47	43.53	
<b>BASE</b>		28.85	43.53	100.00		
<b>TOTAL</b>		66.28				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

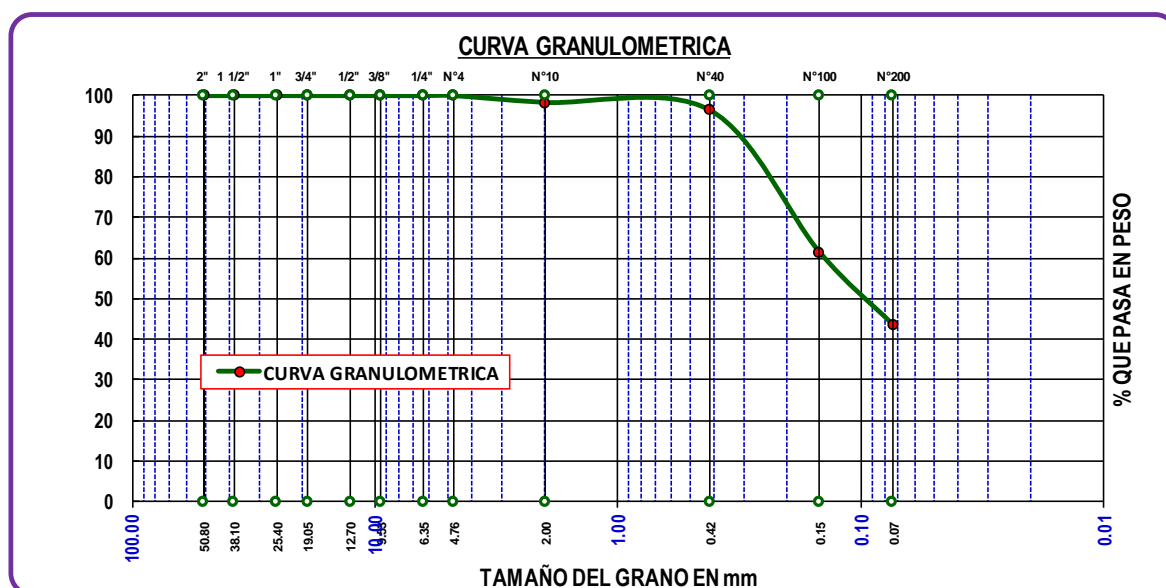
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 66.28 gr.  
 Peso Perdido : 233.72 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 34.71 %  
 Limite Plastico : 23.22 %  
 Indice Plasticidad : 11.49 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.14  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.00 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 24/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.48	1.48	1.48	98.52	
N°10	2.00	2.66	8.19	9.66	90.34	
N°40	0.42	6.49	19.98	29.64	70.36	
N°100	0.15	10.73	33.03	62.67	37.33	
N°200	0.07	1.33	4.09	66.76	33.24	
<b>BASE</b>		10.80	33.24	100.00		
<b>TOTAL</b>		32.49				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

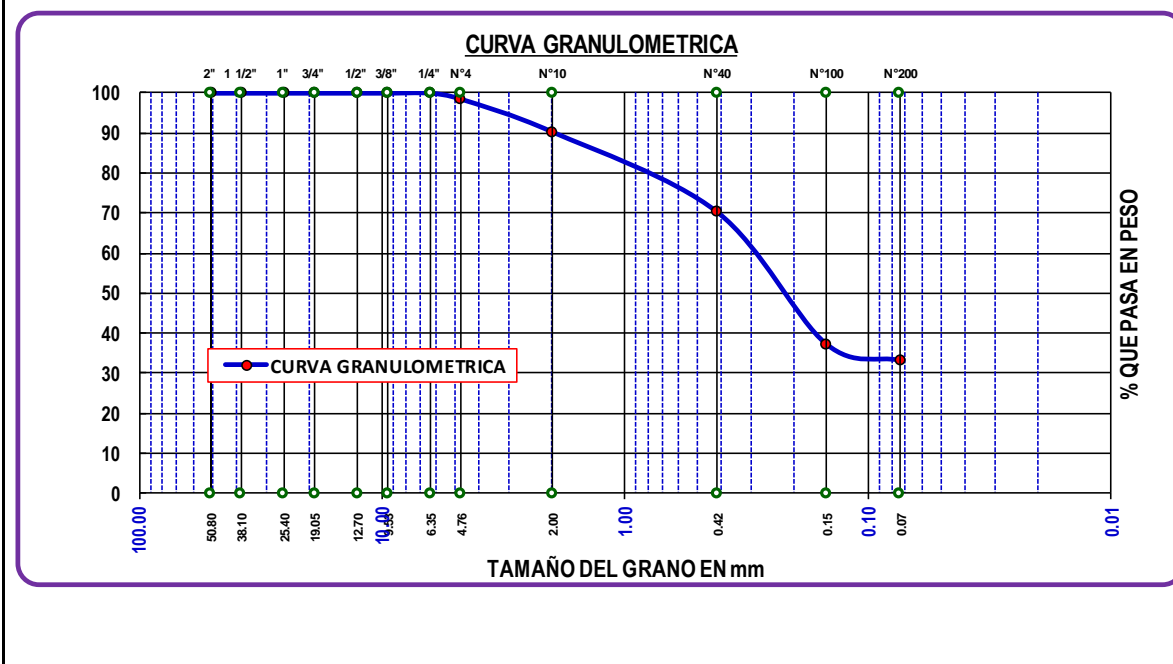
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 32.49 gr.  
 Peso Perdido : 267.51 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 28.02 %  
 Limite Plastico : 22.31 %  
 Indice Plasticidad : 5.71 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.34  
 CU = NP  
 CC = NP







**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

**Progresiva** : Km 2 + 000    **Calicata** : C - 01    **Muestra** : M - 01    **Clasificación SUCS** : CL - ML

**Sondaje** : Arcilla    **Prof.** : 1.50 m.    **Estrato** : E - 03    **Clasificación AASHTO** : A - 4 (0)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"    **Fecha** : 24/09/19    **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°10	2.00	0.09	0.21	0.21	99.79	
N°40	0.42	0.39	0.90	1.11	98.89	
N°100	0.15	15.27	35.26	36.37	63.63	
N°200	0.07	5.90	13.62	49.99	50.01	
<b>BASE</b>		21.66	50.01	100.00		
<b>TOTAL</b>		43.31				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

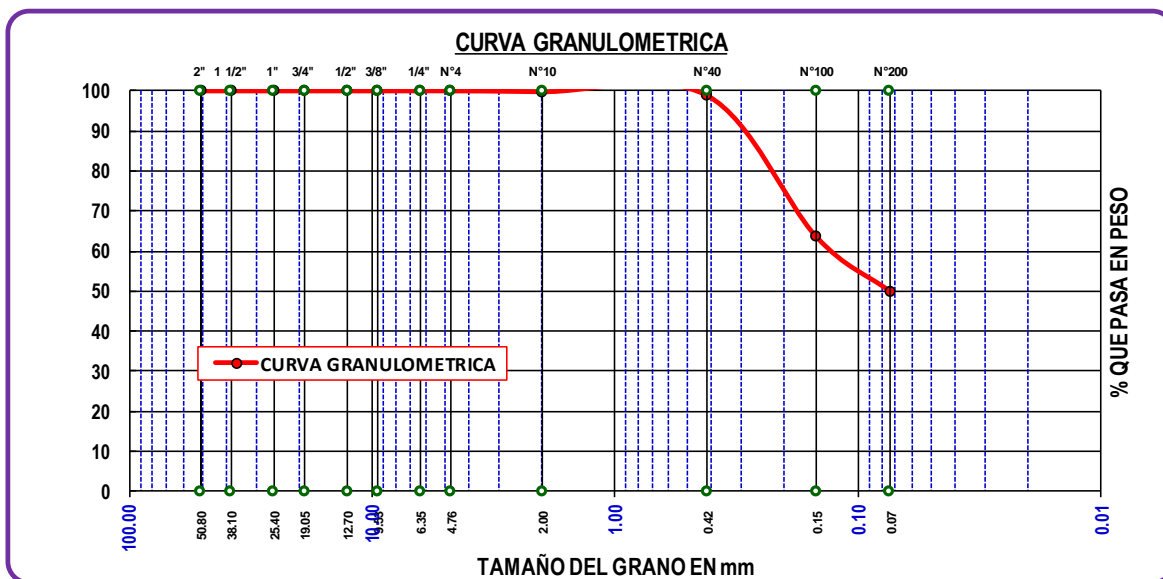
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 43.31 gr.  
 Peso Perdido : 256.69 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 23.12 %  
 Limite Plastico : 19.35 %  
 Indice Plasticidad : 3.77 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.13  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.70 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"		<b>Fecha</b> : 24/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°10	2.00	1.87	3.32	3.32	96.68	
N°40	0.42	6.09	10.82	14.14	85.86	
N°100	0.15	21.02	37.34	51.48	48.52	
N°200	0.07	6.44	11.44	62.92	37.08	
<b>BASE</b>		20.87	37.08	100.00		
<b>TOTAL</b>		56.29				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

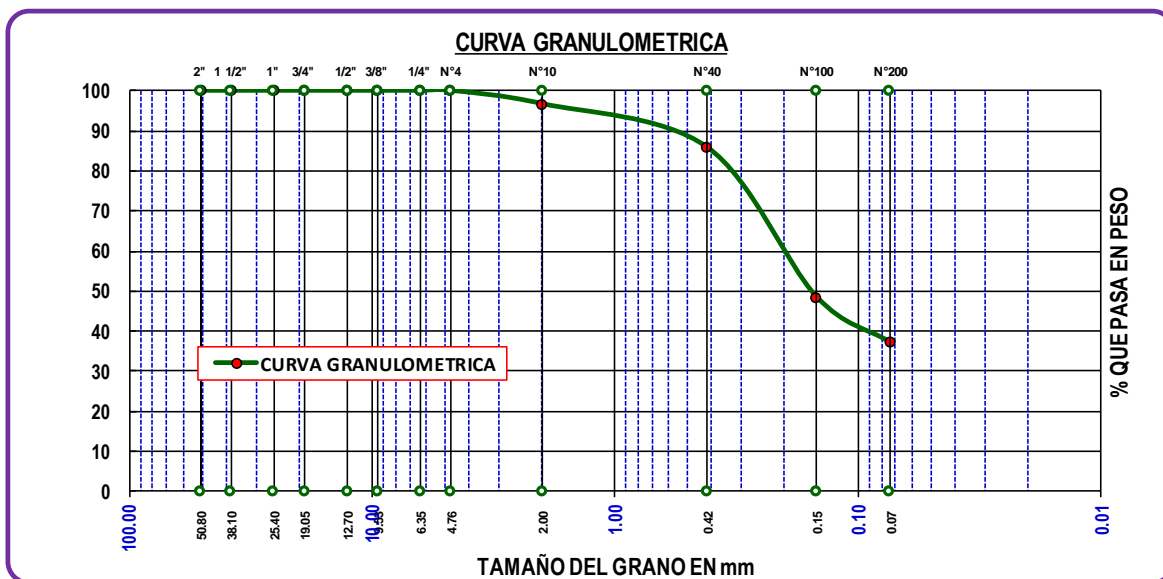
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 56.29 gr.  
 Peso Perdido : 243.71 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 27.84 %  
 Limite Plastico : 19.86 %  
 Indice Plasticidad : 7.98 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.23  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.90 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 24/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°10	2.00	0.45	0.18	0.18	99.82	
N°40	0.42	25.26	10.24	10.42	89.58	
N°100	0.15	135.12	54.78	65.20	34.80	
N°200	0.07	35.81	14.52	79.72	20.28	
<b>BASE</b>		50.03	20.28	100.00		
<b>TOTAL</b>		246.67				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

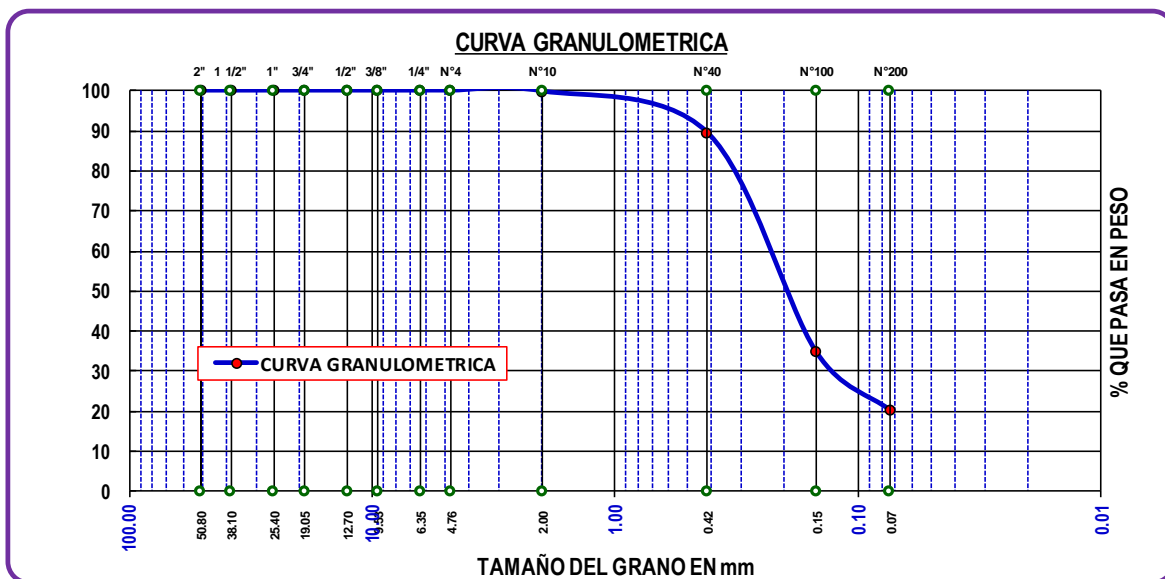
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 246.67 gr.  
 Peso Perdido : 53.33 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : NP  
 Limite Plastico : NP  
 Indice Plasticidad : NP

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = 0.12  
 D60 = 0.27  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 24/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°10	2.00	0.37	0.39	0.39	99.61	
N°40	0.42	4.69	4.91	5.29	94.71	
N°100	0.15	32.50	33.99	39.28	60.72	
N°200	0.07	21.45	22.43	61.72	38.28	
<b>BASE</b>		36.60	38.28	100.00		
<b>TOTAL</b>		95.61				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

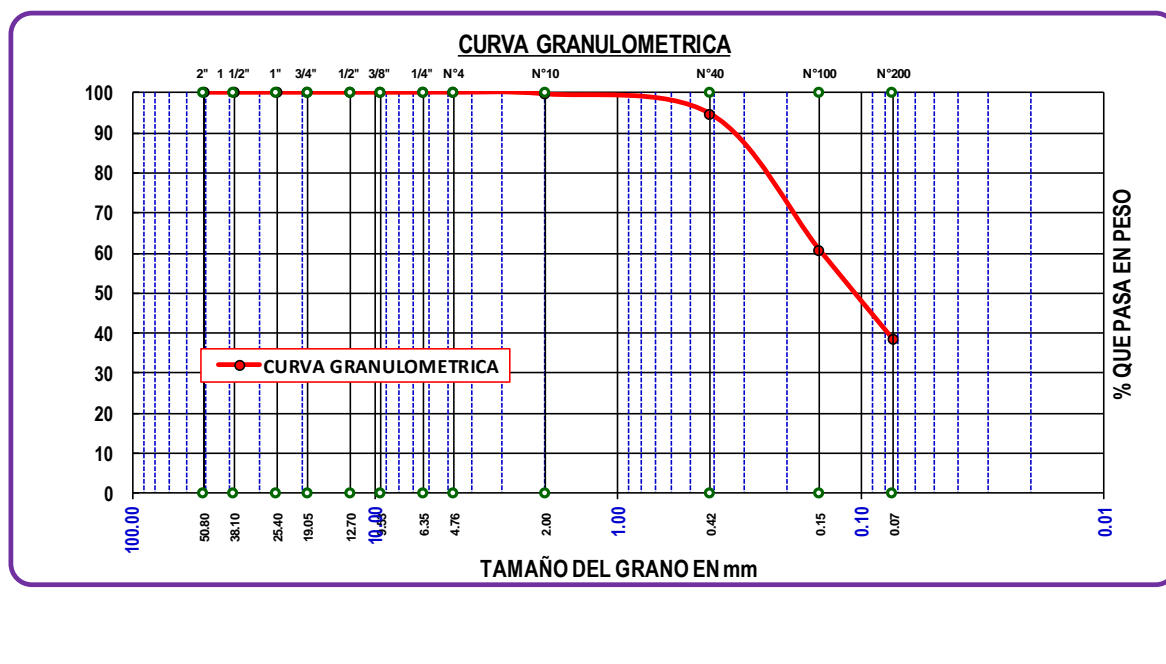
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 95.61 gr.  
 Peso Perdido : 204.39 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 28.10 %  
 Limite Plastico : 17.55 %  
 Indice Plasticidad : 10.55 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.15  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.70 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 25/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°10	2.00	0.33	0.31	0.31	99.69	
N°40	0.42	4.55	4.30	4.61	95.39	
N°100	0.15	34.65	32.75	37.36	62.64	
N°200	0.07	19.57	18.50	55.85	44.15	
<b>BASE</b>		46.71	44.15	100.00		
<b>TOTAL</b>		105.81				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

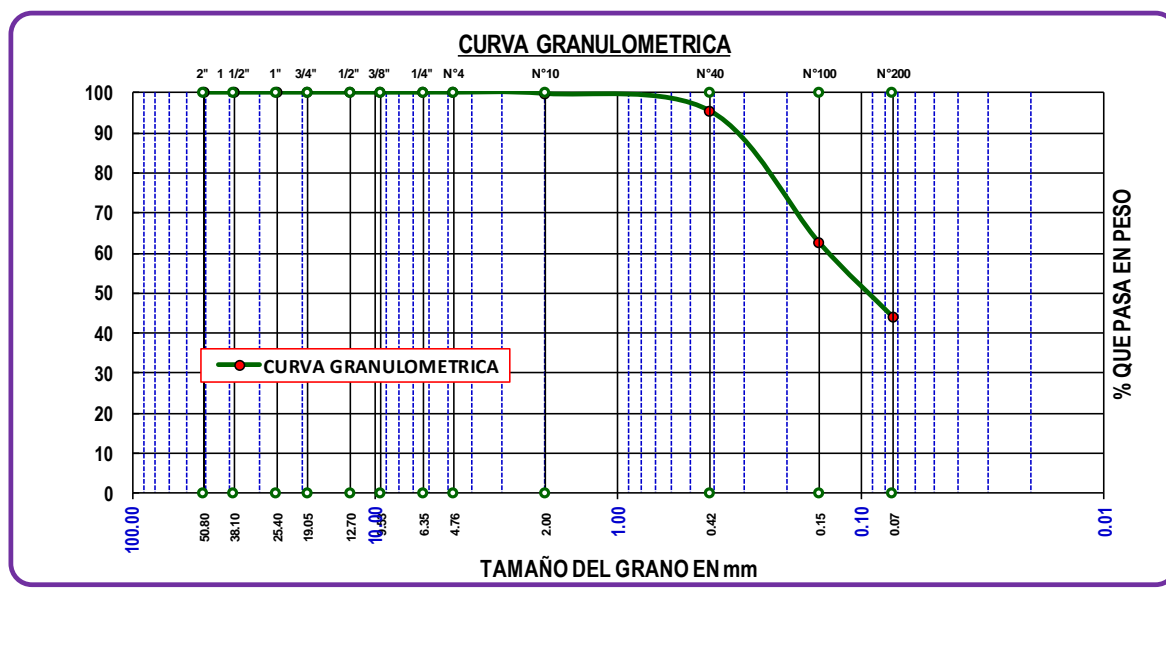
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 105.81 gr.  
 Peso Perdido : 194.19 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : NP  
 Limite Plastico : NP  
 Indice Plasticidad : NP

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.14  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.10 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 25/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	3.19	9.17	9.17	90.83	
N°10	2.00	5.70	16.39	25.57	74.43	
N°40	0.42	2.77	7.97	33.53	66.47	
N°100	0.15	11.37	32.70	66.24	33.76	
N°200	0.07	2.60	7.48	73.71	26.29	
<b>BASE</b>		9.14	26.29	100.00		
<b>TOTAL</b>		34.77				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

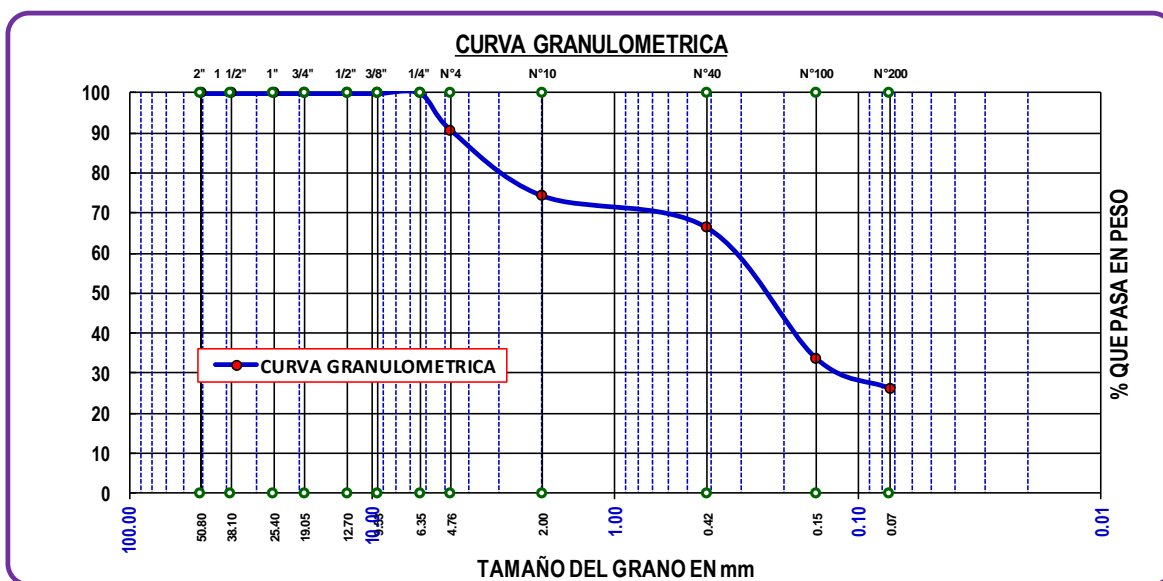
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 34.77 gr.  
 Peso Perdido : 265.23 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 34.79 %  
 Limite Plastico : 21.66 %  
 Indice Plasticidad : 13.13 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = 0.11  
 D60 = 0.37  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE SUELOS**

(MTC E - 107; ASTM D - 422)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 25/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (gr)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que pasa	Observaciones
2"	50.80	0.00	0.00	0.00	100.00	
1 1/2"	38.10	0.00	0.00	0.00	100.00	
1"	25.40	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/4"	19.05	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/2"	12.70	0.00	0.00	0.00	100.00	
3/8"	9.53	0.00	0.00	0.00	100.00	
1/4"	6.35	0.00	0.00	0.00	100.00	
N°4	4.76	0.61	1.68	1.68	98.32	
N°10	2.00	2.54	6.99	8.67	91.33	
N°40	0.42	4.49	12.35	21.02	78.98	
N°100	0.15	13.08	35.98	57.00	43.00	
N°200	0.07	2.54	6.99	63.99	36.01	
<b>BASE</b>		13.09	36.01	100.00		
<b>TOTAL</b>		36.35				

**DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA**

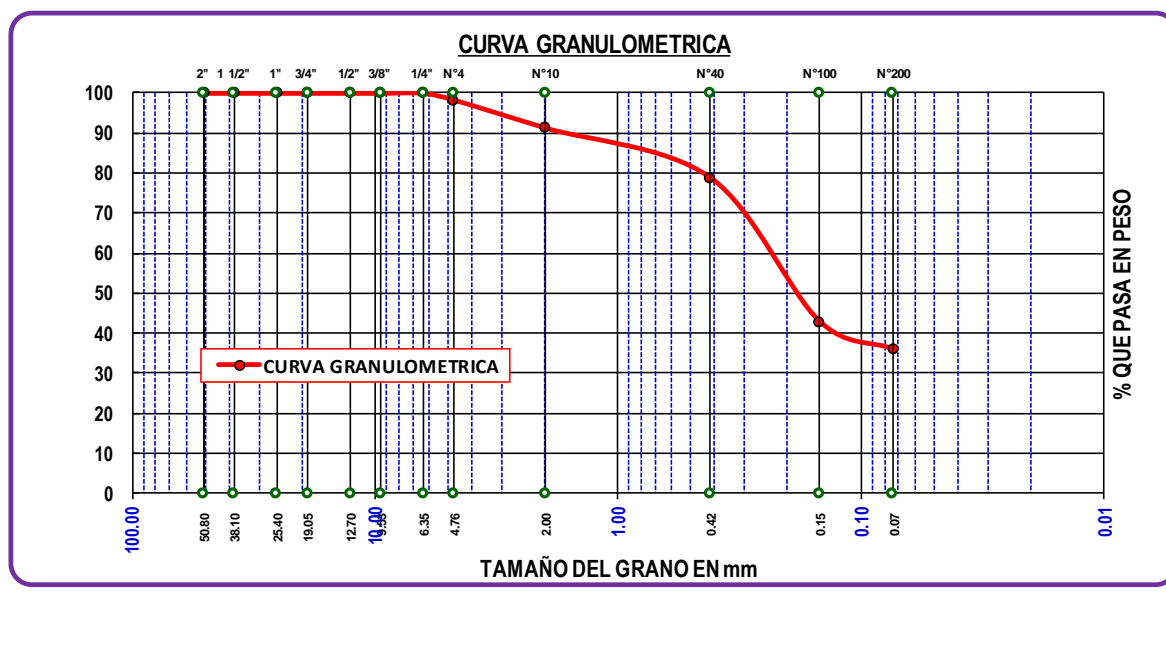
Peso Inicial : 300.00 gr.  
 Peso Lavado : 36.35 gr.  
 Peso Perdido : 263.65 gr.

**LIMITES DE CONSISTENCIA**

Limite Liquido : 33.07 %  
 Limite Plastico : 22.31 %  
 Indice Plasticidad : 10.76 %

**CARACT. GRANULOMETRICAS**

D10 = NP  
 D30 = NP  
 D60 = 0.28  
 CU = NP  
 CC = NP





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019\*

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.60 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (2)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-012	T-011	T-005
Peso de tara	gr 23.25	22.40	18.65
Peso de tara + suelo húmedo	gr 83.34	90.47	80.73
Peso de tara + suelo seco	gr 72.19	77.75	69.35
Peso del agua	gr 11.15	12.72	11.38
Peso del suelo seco	gr 48.94	55.35	50.70
Contenido de humedad	% 22.78%	22.98%	22.45%
Contenido de humedad promedio	%	22.74%	

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara			
Peso de tara	gr		
Peso de tara + suelo húmedo	gr		
Peso de tara + suelo seco	gr		
Peso del agua	gr		
Peso del suelo seco	gr		
Contenido de humedad	%		
Contenido de humedad promedio	%		





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.00 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-034	T-015	T-036
Peso de tara	gr 16.51	16.00	16.48
Peso de tara + suelo húmedo	gr 78.72	84.67	82.37
Peso de tara + suelo seco	gr 66.12	71.67	69.73
Peso del agua	gr 12.60	13.00	12.64
Peso del suelo seco	gr 49.61	55.67	53.25
Contenido de humedad	% 25.40%	23.35%	23.74%
Contenido de humedad promedio	% 24.16%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-001	T-018	T-007
Peso de tara	gr 24.01	16.50	18.47
Peso de tara + suelo húmedo	gr 88.75	78.56	95.65
Peso de tara + suelo seco	gr 75.82	67.05	81.72
Peso del agua	gr 12.93	11.51	13.93
Peso del suelo seco	gr 51.81	50.55	63.25
Contenido de humedad	% 24.96%	22.77%	22.02%
Contenido de humedad promedio	% 23.25%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.70 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-032	T-017	T-022
Peso de tara	gr 16.33	16.24	16.17
Peso de tara + suelo húmedo	gr 77.44	81.16	74.89
Peso de tara + suelo seco	gr 65.39	68.36	62.93
Peso del agua	gr 12.05	12.80	11.96
Peso del suelo seco	gr 49.06	52.12	46.76
Contenido de humedad	% 24.56%	24.56%	25.58%
Contenido de humedad promedio	% 24.90%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.90 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 -4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-026	T-038	T-004
Peso de tara	gr 16.28	16.25	16.36
Peso de tara + suelo húmedo	gr 78.51	82.46	76.93
Peso de tara + suelo seco	gr 74.28	78.04	72.91
Peso del agua	gr 4.23	4.42	4.02
Peso del suelo seco	gr 58.00	61.79	56.55
Contenido de humedad	% 7.29%	7.15%	7.11%
Contenido de humedad promedio	% 7.19%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b>	: Km 2 + 250	<b>Calicata</b>	: C - 02	<b>Muestra</b>	: M - 01	<b>Clasificación SUCS</b>	: CL
<b>Sondaje</b>	: Arcilla	<b>Prof.</b>	: 1.50 m.	<b>Estrato</b>	: E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b>	: A - 6 (1)
<b>Ubicación</b>	: Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"			<b>Fecha</b>	: 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b>	: Yesenia Apaza Pinto

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-003	T-014	T-019
Peso de tara	gr 16.40	16.62	16.32
Peso de tara + suelo húmedo	gr 81.33	83.91	85.91
Peso de tara + suelo seco	gr 68.26	70.32	71.60
Peso del agua	gr 13.07	13.59	14.31
Peso del suelo seco	gr 51.86	53.70	55.28
Contenido de humedad	% 25.20%	25.31%	25.89%
Contenido de humedad promedio	% 25.47%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b>	: Km 2 + 500	<b>Calicata</b>	: C - 03	<b>Muestra</b>	: M - 01	<b>Clasificación SUCS</b>	: ML
<b>Sondaje</b>	: Arcilla	<b>Prof.</b>	: 0.70 m.	<b>Estrato</b>	: E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b>	: A - 4 (0)
<b>Ubicación</b>	: Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"			<b>Fecha</b>	: 19/09/19	<b>Ing. Responsable</b>	: Yesenia Apaza Pinto

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-042	T-041	T-040
Peso de tara	gr 21.02	21.75	22.03
Peso de tara + suelo húmedo	gr 78.53	81.23	85.11
Peso de tara + suelo seco	gr 65.31	66.40	71.66
Peso del agua	gr 13.22	14.83	13.45
Peso del suelo seco	gr 44.29	44.65	49.63
Contenido de humedad	% 29.85%	33.21%	27.10%
Contenido de humedad promedio	% 30.05%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E- 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

**Progresiva** : Km 2 + 500    **Calicata** : C - 03    **Muestra** : M - 01    **Clasificación SUCS** : CL

**Sondaje** : Arcilla    **Prof.** : 1.10 m.    **Estrato** : E - 02    **Clasificación AASHTO** : A - 2 - 6 (0)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"    **Fecha** : 19/09/19    **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

DESCRIPCION		CONTROL DE HUMEDAD		
		1	2	3
Ensayo N°				
N° de tara		T-046	T-047	T-044
Peso de tara	gr	29.01	28.54	28.14
Peso de tara + suelo húmedo	gr	93.11	91.99	93.57
Peso de tara + suelo seco	gr	76.86	77.14	78.80
Peso del agua	gr	16.25	14.85	14.77
Peso del suelo seco	gr	47.85	48.60	50.66
Contenido de humedad	%	33.96%	30.56%	29.16%
Contenido de humedad promedio	%	<b>31.22%</b>		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CONTENIDO DE HUMEDAD**

(MTC E - 108; ASTM D - 2216)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

**Progresiva** : Km 2 + 500    **Calicata** : C - 03    **Muestra** : M - 01    **Clasificación SUCS** : CL

**Sondaje** : Arcilla    **Prof.** : 1.50 m.    **Estrato** : E - 03    **Clasificación AASHTO** : A - 6 (0)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"    **Fecha** : 19/09/19    **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD		
	1	2	3
Ensayo N°			
N° de tara	T-045	T-043	T-049
Peso de tara	gr 28.44	22.04	28.51
Peso de tara + suelo húmedo	gr 95.29	72.62	89.90
Peso de tara + suelo seco	gr 79.65	61.81	77.77
Peso del agua	gr 15.64	10.81	12.13
Peso del suelo seco	gr 51.21	39.77	49.26
Contenido de humedad	% 30.54%	27.18%	24.62%
Contenido de humedad promedio	% 27.45%		



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

(MTC E - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

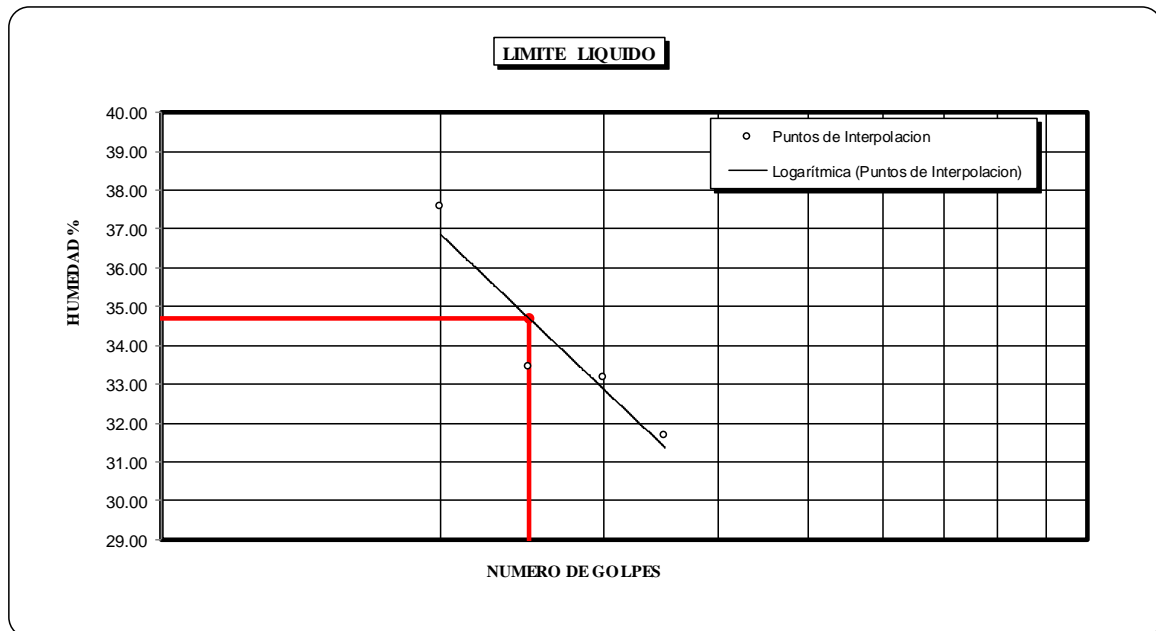
**Progresiva** : Km 2 + 000    **Calicata** : C - 01    **Muestra** : M - 01    **Clasificación SUCS** : CL

**Sondaje** : Arcilla    **Prof.** : 0.60 m.    **Estrato** : E - 01    **Clasificación AASHTO** : A - 6 (2)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"    **Fecha** : 04/10/19    **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara	T-025	T-023	T-013	T-030	TT-039	TT-024
Numero de Golpes	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>20</b>		
Peso de tara	gr 16.33	16.21	16.04	16.10	9.06	7.89
Peso de tara + suelo húmedo	gr 43.39	44.77	42.69	45.55	11.13	9.80
Peso de tara + suelo seco	gr 36.88	37.66	36.01	37.51	10.74	9.44
Peso del agua	gr 6.51	7.11	6.68	8.04	0.39	0.36
Peso de suelo seco	gr 20.55	21.45	19.97	21.41	1.68	1.55
Contenido de humedad	% <b>31.68</b>	<b>33.15</b>	<b>33.45</b>	<b>37.55</b>	23.21%	23.23%

**RESULTADO**



Limite Liquido : 34.71 %      Limite Plastico : 23.22 %      Indice de Plasticidad : 11.49 %



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**PROYECTO DE TESIS**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

(MTCE - 110, 111; ASTM D - 4318)

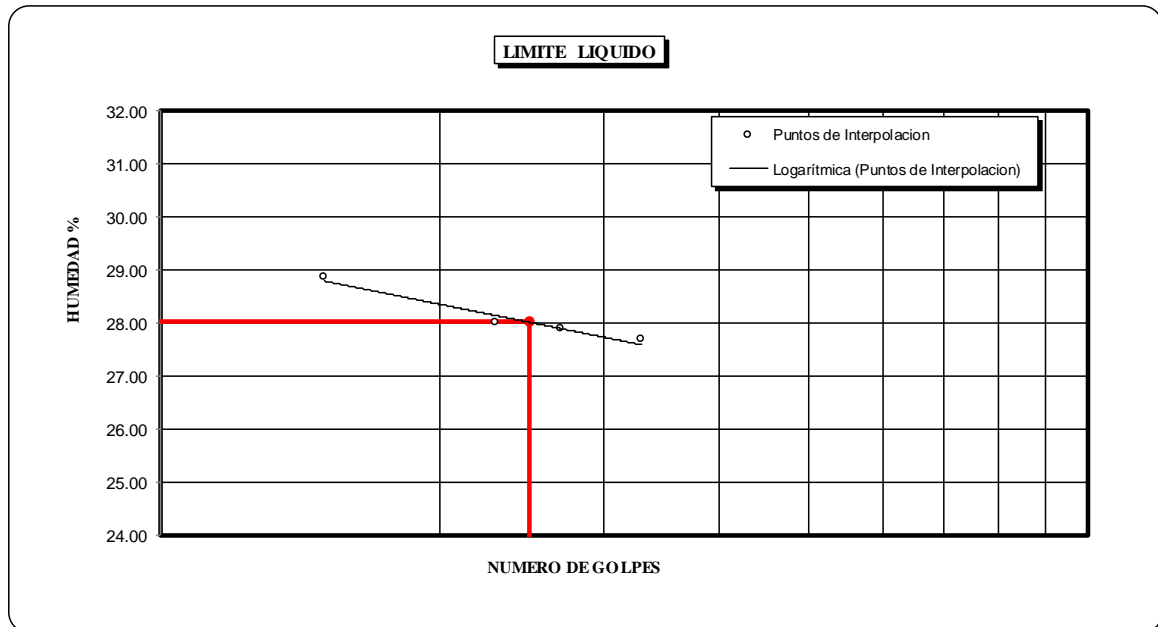
**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.00 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 04/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		01	02	03	04	01	02
Ensayo N°							
Numero de tara		T-034	T-026	T-004	T-008	TT-005	TT-028
Numero de Golpes		<b>33</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>15</b>		
Peso de tara	gr	16.53	16.28	16.36	16.26	7.97	7.90
Peso de tara + suelo húmedo	gr	48.13	53.93	45.44	52.20	9.73	9.54
Peso de tara + suelo seco	gr	41.28	45.72	39.08	44.15	9.41	9.24
Peso del agua	gr	6.85	8.21	6.36	8.05	0.32	0.30
Peso de suelo seco	gr	24.75	29.44	22.72	27.89	1.44	1.34
Contenido de humedad	%	<b>27.68</b>	<b>27.89</b>	<b>27.99</b>	<b>28.86</b>	22.22%	22.39%

**RESULTADO**



Limite Liquido : 28.02 %      Limite Plastico : 22.31 %      Indice de Plasticidad : 5.71 %



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**PROYECTO DE TESIS**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

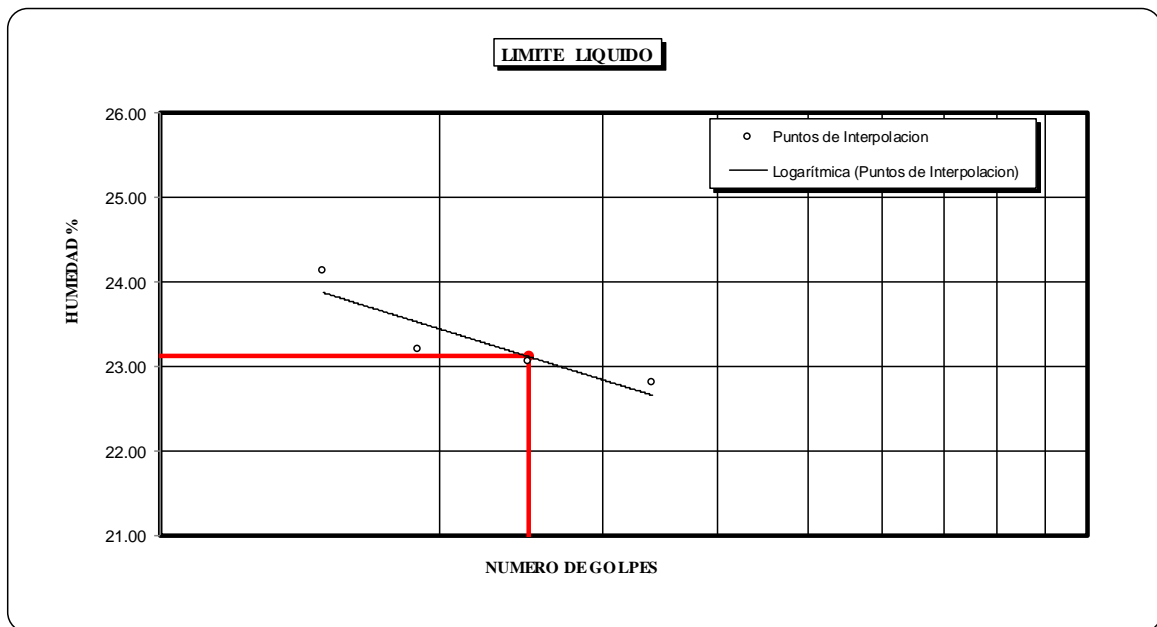
(MTCE - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 04/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara	T-029	T-016	T-010	T-001	TT-034	TT-032
Numero de Golpes	<b>34</b>	<b>25</b>	<b>19</b>	<b>15</b>		
Peso de tara	gr 20.82	16.76	17.25	24.02	8.09	7.85
Peso de tara + suelo húmedo	gr 56.91	53.44	49.33	50.87	9.64	9.63
Peso de tara + suelo seco	gr 50.21	46.57	43.29	45.65	9.39	9.34
Peso del agua	gr 6.70	6.87	6.04	5.22	0.25	0.29
Peso de suelo seco	gr 29.39	29.81	26.04	21.63	1.30	1.49
Contenido de humedad	% <b>22.80</b>	<b>23.05</b>	<b>23.20</b>	<b>24.13</b>	19.23%	19.46%
<b>RESULTADO</b>						



Limite Liquido : 23.12 %      Limite Plastico : 19.35 %      Indice de Plasticidad : 3.77 %





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

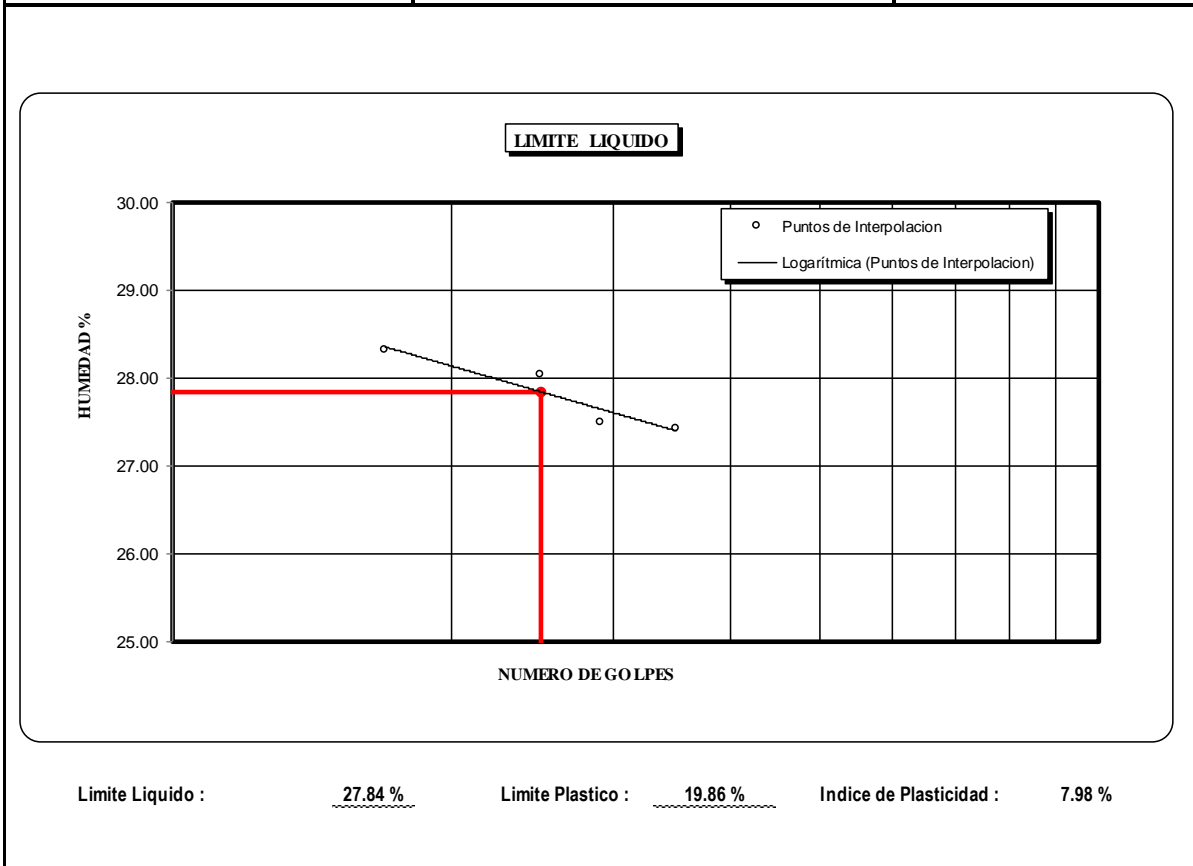
(MTC E - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.70 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 02/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara	T-050	T-046	T-045	T-044	TT-006	TT-020
Numero de Golpes	35	29	25	17		
Peso de tara	gr 16.24	29.02	28.45	28.16	10.98	8.63
Peso de tara + suelo húmedo	gr 43.85	59.08	56.13	57.31	12.42	10.33
Peso de tara + suelo seco	gr 37.91	52.60	50.07	50.88	12.18	10.05
Peso del agua	gr 5.94	6.48	6.06	6.43	0.24	0.28
Peso de suelo seco	gr 21.67	23.58	21.62	22.72	1.20	1.42
Contenido de humedad	% 27.41	27.48	28.03	28.30	20.00%	19.72%
<b>RESULTADO</b>						





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

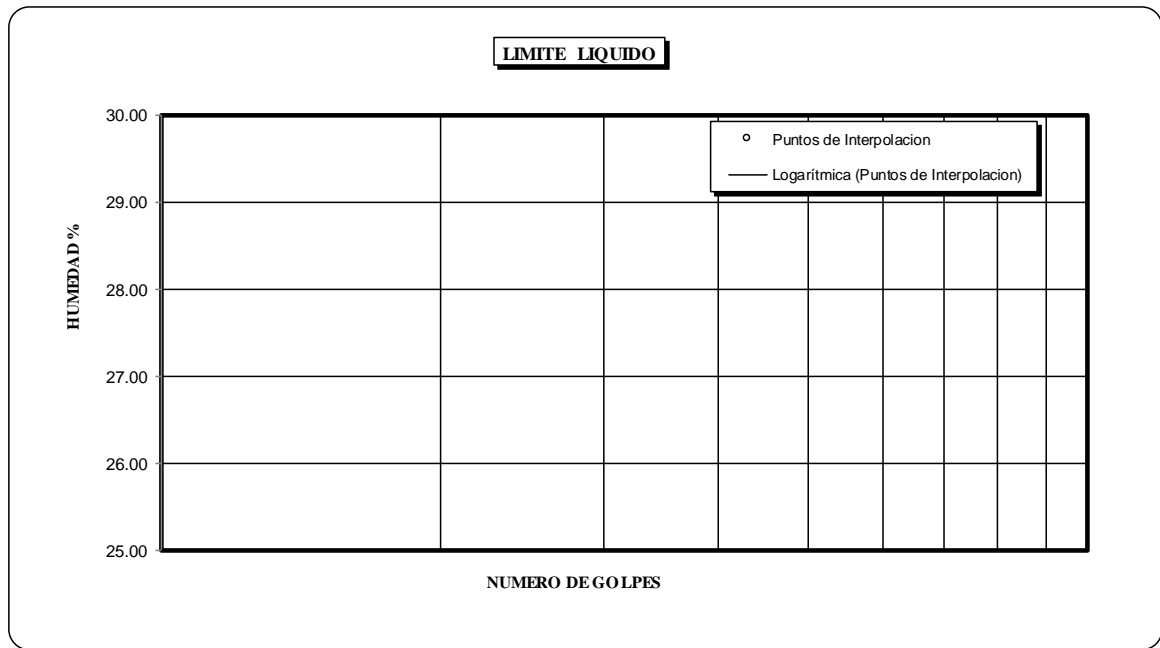
(MTC E - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.90 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 02/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION		LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
		01	02	03	04	01	02
Ensayo N°							
Numero de tara							
Numero de Golpes							
Peso de tara	gr						
Peso de tara + suelo húmedo	gr						
Peso de tara + suelo seco	gr						
Peso del agua	gr						
Peso de suelo seco	gr						
Contenido de humedad	%	NP	NP	NP	NP	NP	NP
<b>RESULTADO</b>							



Limite Liquido : NP      Limite Plastico : NP      Indice de Plasticidad : NP



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

(MTC E - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

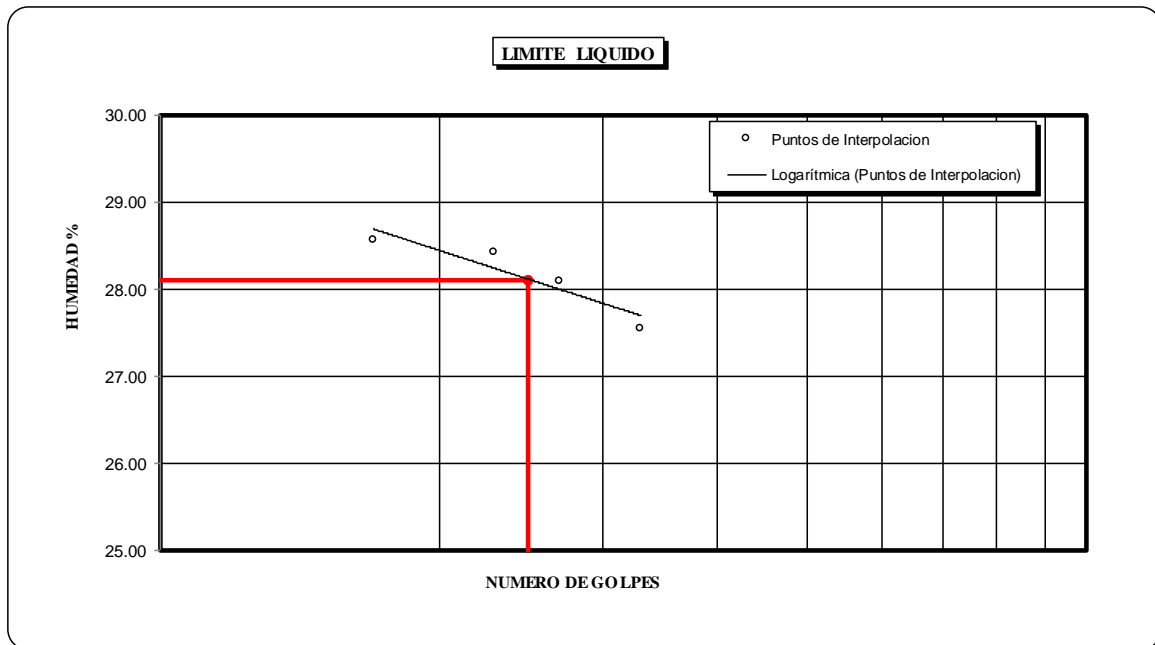
**Progresiva** : Km 2 + 250      **Calicata** : C - 02      **Muestra** : M - 01      **Clasificación SUCS** : CL

**Sondaje** : Arcilla      **Prof.** : 1.50 m.      **Estrato** : E - 03      **Clasificación AASHTO** : A - 6 (1)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"      **Fecha** : 02/10/19      **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara	T-017	T-016	T-036	T-004	TT-002	TT-023
Numero de Golpes	<b>33</b>	<b>27</b>	<b>23</b>	<b>17</b>		
Peso de tara	gr 16.38	16.73	16.49	16.36	8.37	7.80
Peso de tara + suelo húmedo	gr 40.69	42.77	41.39	43.55	11.13	9.80
Peso de tara + suelo seco	gr 35.44	37.06	35.88	37.51	10.72	9.50
Peso del agua	gr 5.25	5.71	5.51	6.04	0.41	0.30
Peso de suelo seco	gr 19.06	20.33	19.39	21.15	2.35	1.70
Contenido de humedad	% <b>27.54</b>	<b>28.09</b>	<b>28.42</b>	<b>28.56</b>	17.45%	17.65%

**RESULTADO**



Limite Liquido : 28.10 %      Limite Plastico : 17.55 %      Indice de Plasticidad : 10.55 %



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

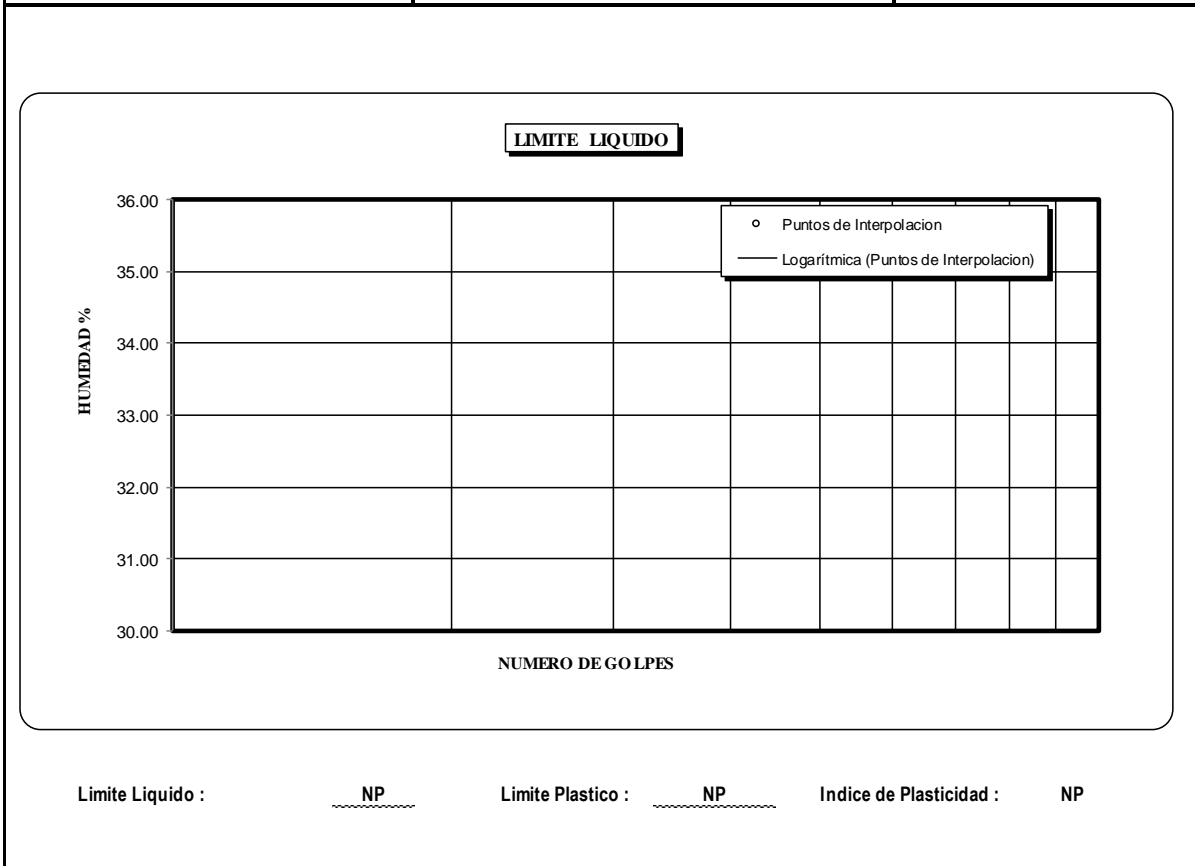
(MTC E - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 0.70 m.	<b>Estrato</b> : E - 01	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 02/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara						
Numero de Golpes						
Peso de tara	gr					
Peso de tara + suelo húmedo	gr					
Peso de tara + suelo seco	gr					
Peso del agua	gr					
Peso de suelo seco	gr					
Contenido de humedad	%	NP	NP	NP	NP	NP
<b>RESULTADO</b>						





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

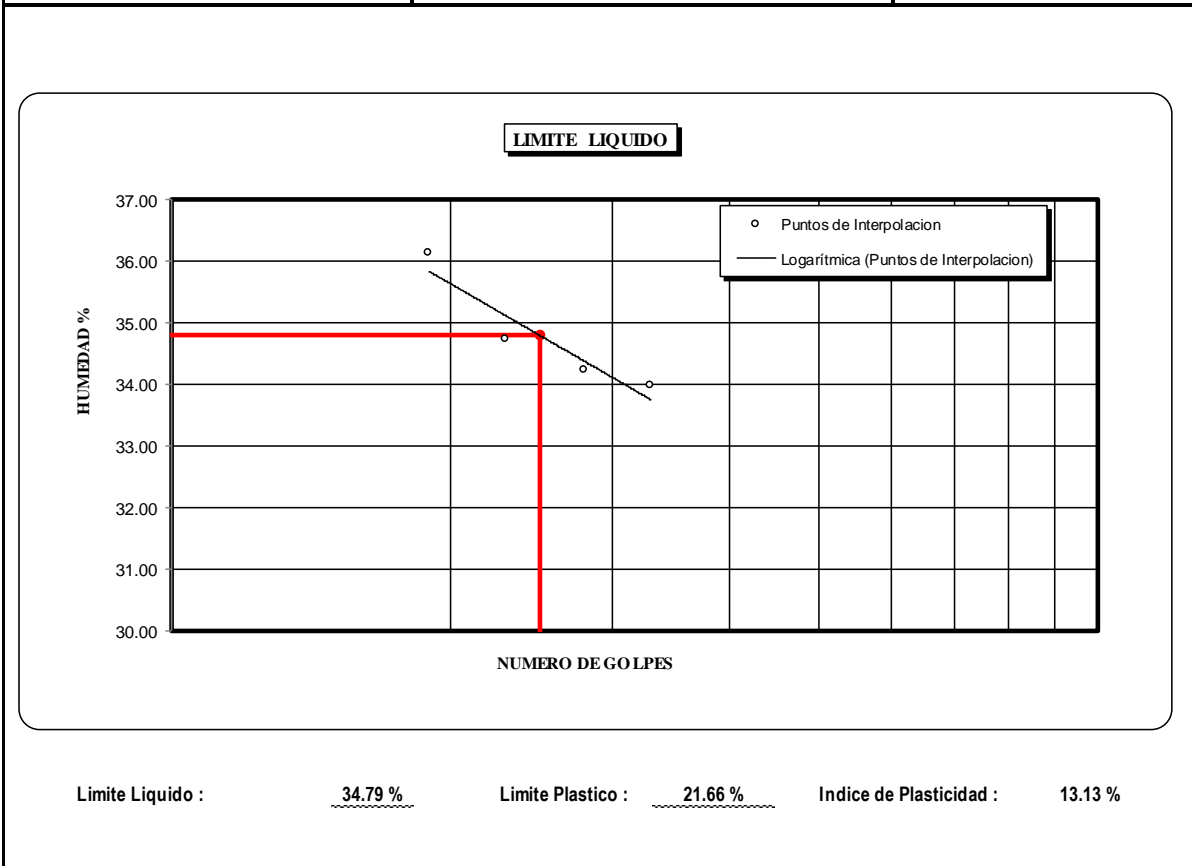
(MTCE - 110, 111; ASTM D - 4318)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.10 m.	<b>Estrato</b> : E - 02	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 2 - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 02/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara	T-040	T-047	T-049	T-041	TT-023	TT-002
Numero de Golpes	33	28	23	19		
Peso de tara	gr 22.04	gr 28.52	gr 28.55	gr 21.76	gr 7.80	gr 8.37
Peso de tara + suelo húmedo	gr 44.87	gr 56.44	gr 51.13	gr 50.62	gr 8.91	gr 9.28
Peso de tara + suelo seco	gr 39.08	gr 49.32	gr 45.31	gr 42.96	gr 8.71	gr 9.12
Peso del agua	gr 5.79	gr 7.12	gr 5.82	gr 7.66	gr 0.20	gr 0.16
Peso de suelo seco	gr 17.04	gr 20.80	gr 16.76	gr 21.20	gr 0.91	gr 0.75
Contenido de humedad	% 33.98	% 34.23	% 34.73	% 36.13	% 21.98%	% 21.33%
<b>RESULTADO</b>						





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**PROYECTO DE TESIS**

**LÍMITES DE CONSISTENCIA**

(MTCE - 110, 111; ASTM D - 4318)

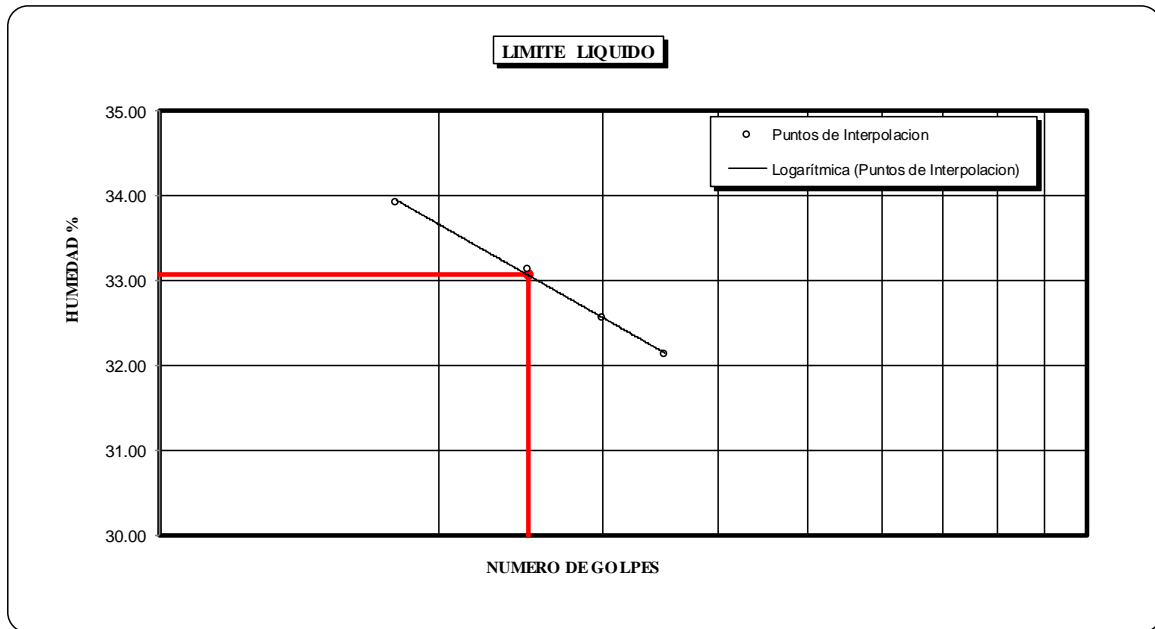
**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 02/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCION	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO	
	01	02	03	04	01	02
Ensayo N°						
Numero de tara	T-042	T-036	T-043	T-028	TT-012	TT-025
Numero de Golpes	<b>35</b>	<b>30</b>	<b>25</b>	<b>18</b>		
Peso de tara	21.03	16.48	22.04	20.79	7.94	8.04
Peso de tara + suelo húmedo	52.20	42.05	51.10	45.86	8.93	8.86
Peso de tara + suelo seco	44.62	35.77	43.87	39.51	8.75	8.71
Peso del agua	7.58	6.28	7.23	6.35	0.18	0.15
Peso de suelo seco	23.59	19.29	21.83	18.72	0.81	0.67
Contenido de humedad	<b>32.13</b>	<b>32.56</b>	<b>33.12</b>	<b>33.92</b>	22.22%	22.39%

**RESULTADO**



Limite Liquido : 33.07 %      Limite Plastico : 22.31 %      Indice de Plasticidad : 10.76 %



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO**

(ASTM D - 6951 - 03)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019\*

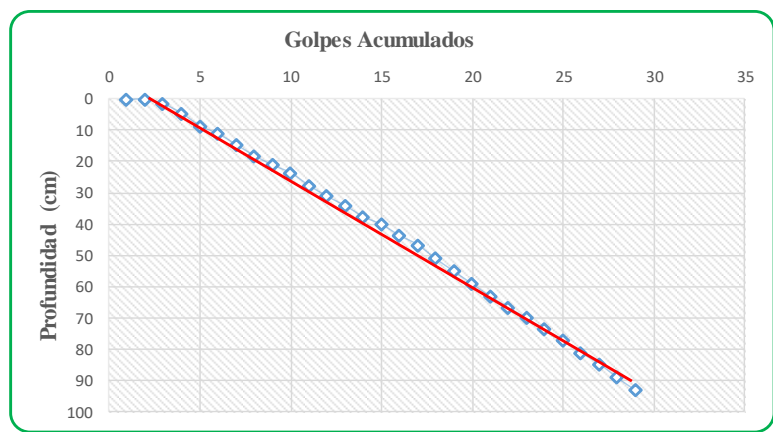
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 150	<b>Ensayo</b> : N°01	<b>Muestra</b> : M - 01
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.43 m.	<b>Fecha</b> : 02/04/19
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'16.40"; 70°5'56.60"	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**ENSAYO N°01**

Nivel de inicio Resp T.N.

N° de Golpes	Lectura PDC	Penetracion (cm)	Npdc (mm/gol)	
0	100.00	0.00	0.00	0.00
2	98.50	1.50	15.00	
4	95.50	4.50	30.00	
6	91.50	8.50	40.00	
8	89.00	11.00	25.00	
10	85.50	14.50	35.00	
12	82.00	18.00	35.00	
14	79.00	21.00	30.00	
16	76.50	23.50	25.00	
18	72.50	27.50	40.00	
20	69.00	31.00	35.00	
22	66.00	34.00	30.00	
24	62.50	37.50	35.00	
26	60.00	40.00	25.00	
28	56.50	43.50	35.00	35.77
30	53.50	46.50	30.00	
32	49.00	51.00	45.00	
34	45.00	55.00	40.00	
36	41.00	59.00	40.00	
38	37.00	63.00	40.00	
40	33.50	66.50	35.00	
42	30.00	70.00	35.00	
44	26.50	73.50	35.00	
46	23.00	77.00	35.00	
48	19.00	81.00	40.00	
50	15.50	84.50	35.00	
52	11.00	89.00	45.00	
54	7.00	93.00	40.00	

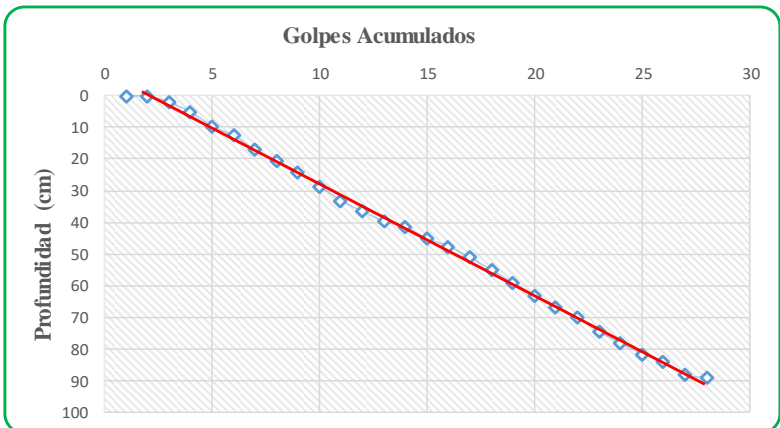


**CBR 5.31 %**

 <b>UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA</b> E. P. INGENIERIA CIVIL			
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS			
PROYECTO DE TESIS			
PENETRACIÓN DINÁMICA DE CONO (ASTM D - 6951 - 03)			
<b>PROYECTO</b> : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"			
<b>SOLICITANTE</b> : Cliver Capia Mamani			
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 350	<b>Ensayo</b> : N°02	<b>Muestra</b> : M - 01	
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.40 m.	<b>Fecha</b> : 02/04/19	
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'9.50"; 70°5'56.00"	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto		
ENSAYO N°02			
Nivel de inicio		Resp T.N.	
N° de Golpes	Lectura PDC	Penetracion (cm)	Npdc (mm/gol)
0	100.00	0.00	0.00
2	98.00	2.00	20.00
4	95.00	5.00	30.00
6	90.50	9.50	45.00
8	87.50	12.50	30.00
10	83.00	17.00	45.00
12	79.50	20.50	35.00
14	76.00	24.00	35.00
16	71.50	28.50	45.00
18	67.00	33.00	45.00
20	63.50	36.50	35.00
22	60.50	39.50	30.00
24	58.50	41.50	20.00
26	55.00	45.00	35.00
28	52.50	47.50	25.00
30	49.00	51.00	35.00
32	45.00	55.00	40.00
34	41.00	59.00	40.00
36	37.00	63.00	40.00
38	33.50	66.50	35.00
40	30.00	70.00	35.00
42	25.50	74.50	45.00
44	22.00	78.00	35.00
46	18.50	81.50	35.00
48	16.00	84.00	25.00
50	12.00	88.00	40.00
52	11.00	89.00	10.00
			35.60

**Golpes Acumulados**



**CBR      5.34    %**





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTCE - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

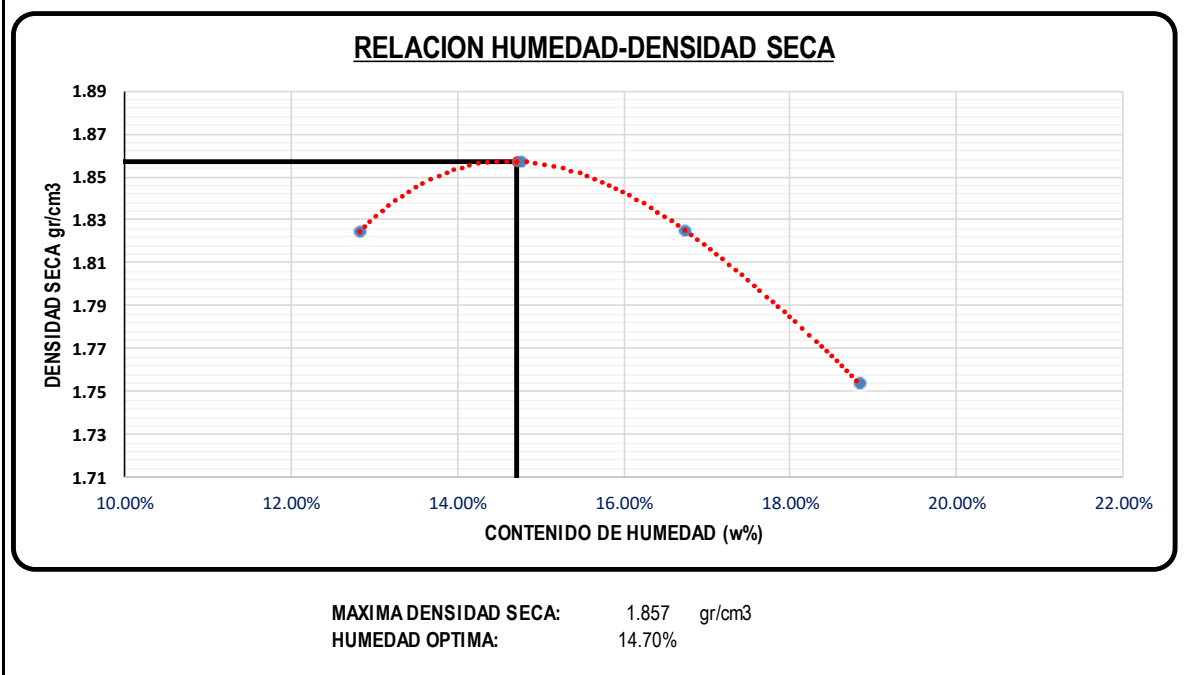
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 01/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo humedo + molde	gr	6285	6353	6352	6309
Peso del suelo humedo	gr	1913	1981	1980	1937
Densidad de suelo humedo	gr/cm3	2.06	2.13	2.13	2.08

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-003	T-029	T-030	T-016	T-015	T-034	T-008	T-014
N° de tara									
Peso de tara	gr	16.06	20.81	16.10	16.75	15.98	16.52	16.26	16.63
Peso de tara + suelo húmedo	gr	71.74	81.19	67.01	69.60	63.76	66.28	63.99	73.32
Peso de tara + suelo seco	gr	65.40	74.35	60.54	62.71	56.87	59.19	56.44	64.32
Peso del agua	gr	6.34	6.84	6.47	6.89	6.89	7.09	7.55	9.00
Peso del suelo seco	gr	49.34	53.54	44.44	45.96	40.89	42.67	40.18	47.69
Contenido de humedad	%	12.85%	12.78%	14.56%	14.99%	16.85%	16.62%	18.79%	18.87%
Promedio de humedad	%	12.81%		14.78%		16.73%		18.83%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.82		1.86		1.83		1.75	





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

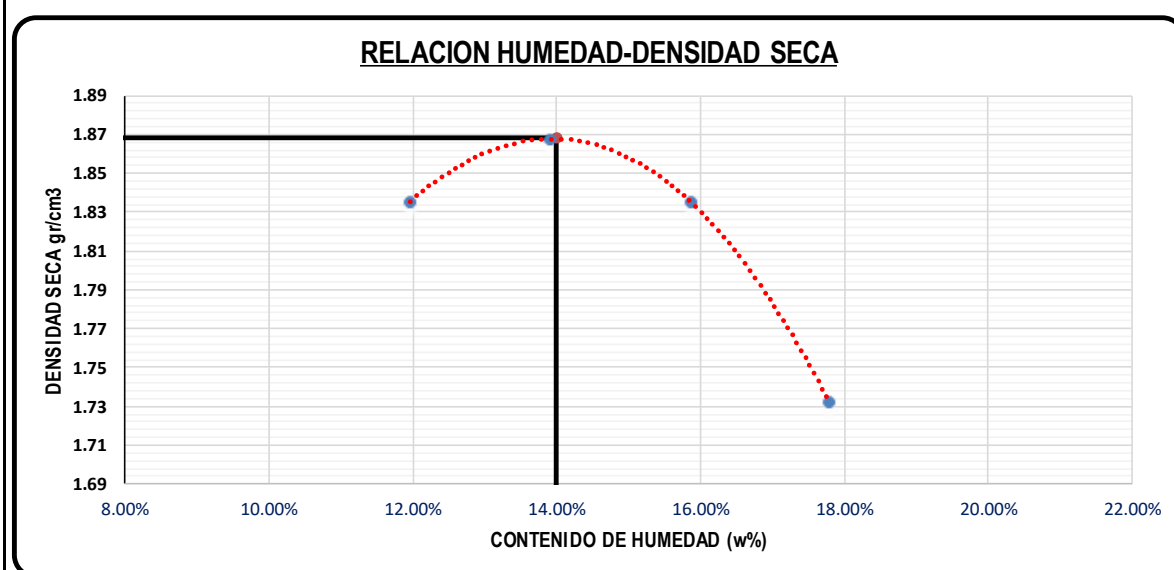
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 01/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	6282	6349	6348	6268
Peso del suelo húmedo	gr	1910	1977	1976	1896
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	2.06	2.13	2.13	2.04

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-011	T-005	T-010	T-002	T-032	T-007	T-003	T-019
N° de tara									
Peso de tara	gr	22.42	18.66	17.24	23.59	16.33	18.48	16.40	16.32
Peso de tara + suelo húmedo	gr	75.31	77.32	74.46	81.46	58.87	70.71	63.75	63.20
Peso de tara + suelo seco	gr	69.65	71.06	67.45	74.43	53.05	63.55	56.58	56.14
Peso del agua	gr	5.66	6.26	7.01	7.03	5.82	7.16	7.17	7.06
Peso del suelo seco	gr	47.23	52.40	50.21	50.84	36.72	45.07	40.18	39.82
Contenido de humedad	%	11.98%	11.95%	13.96%	13.83%	15.85%	15.89%	17.84%	17.73%
Promedio de humedad	%	11.97%		13.89%		15.87%		17.79%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.84		1.87		1.83		1.73	



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.868 gr/cm3  
**HUMEDAD OPTIMA:** 14.00%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTCE - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

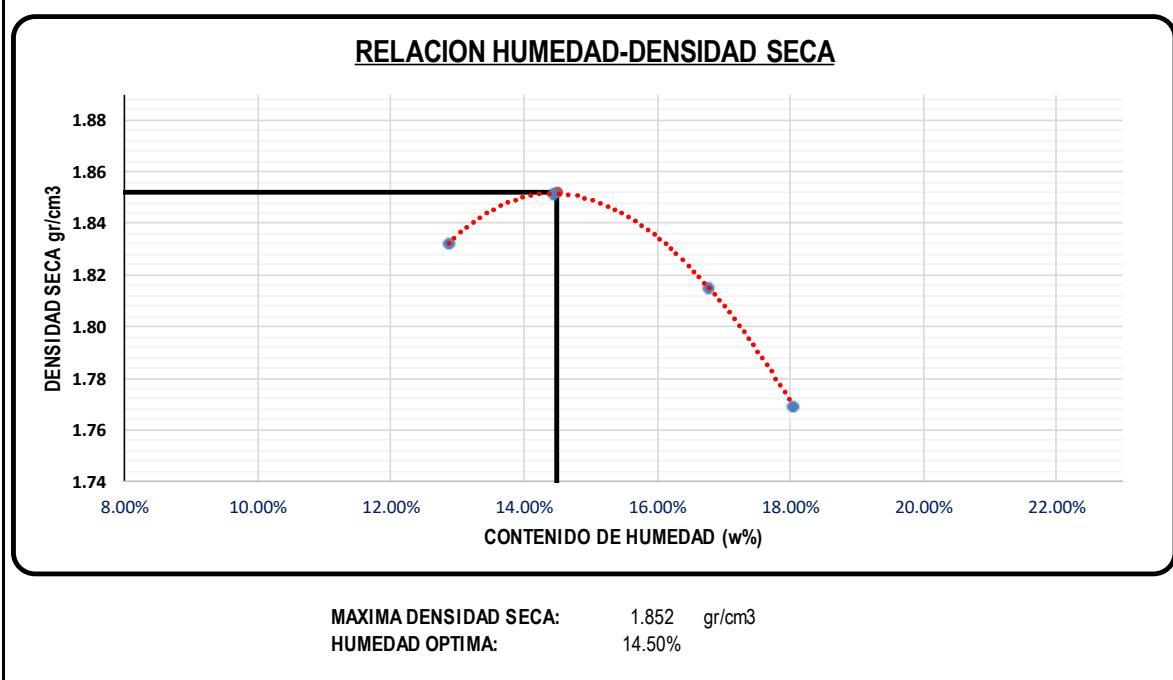
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 01/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	6294	6341	6342	6313
Peso del suelo húmedo	gr	1922	1969	1970	1941
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	2.07	2.12	2.12	2.09

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-023	T-004	T-013	T-022	T-018	T-039	T-001	T-012
N° de tara									
Peso de tara	gr	16.20	16.36	16.04	16.13	16.51	15.82	24.01	23.25
Peso de tara + suelo húmedo	gr	55.06	59.96	63.13	65.77	67.69	68.72	76.18	71.93
Peso de tara + suelo seco	gr	50.65	54.97	57.21	59.49	60.35	61.11	68.21	64.48
Peso del agua	gr	4.41	4.99	5.92	6.28	7.34	7.61	7.97	7.45
Peso del suelo seco	gr	34.45	38.61	41.17	43.36	43.84	45.29	44.20	41.23
Contenido de humedad	%	12.80%	12.92%	14.38%	14.48%	16.74%	16.80%	18.03%	18.07%
Promedio de humedad	%	12.86%		14.43%		16.77%		18.05%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.83		1.85		1.82		1.77	





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**PROYECTO DE TESIS**

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 11/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-01		CBR-07		CBR-08	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	2169.48		2141.21		2123.06	
Peso del molde	gr	7279		8744		7600	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	11575	11621	13172	13227	12123	12171
Peso del suelo húmedo	gr	4296	4342	4428	4483	4523	4571
Densidad del suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.98	2.00	2.07	2.09	2.13	2.15

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-021	T-018	T-006	T-011	T-034	T-030
Peso de tara	gr	24.22	16.51	23.17	22.42	16.53	16.26
Peso de tara + suelo húmedo	gr	69.02	62.29	69.05	69.45	55.32	57.60
Peso de tara + suelo seco	gr	63.26	56.41	63.16	63.42	50.35	52.30
Peso del agua	gr	5.76	5.88	5.89	6.03	4.97	5.3
Peso del suelo seco	gr	39.04	39.9	39.99	41.00	33.82	36.04
Contenido de humedad	%	14.75%	14.74%	14.73%	14.71%	14.70%	14.71%
Promedio de humedad	%	14.75%		14.72%		14.70%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.726		1.803		1.857	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
11/10/2019	11:00 a.m.	0	0.038	0.000	0.034	0.000	0.095	0.000
12/10/2019	11:00 a.m.	24	0.071	0.710	0.065	0.667	0.115	0.434
13/10/2019	11:00 a.m.	48	0.102	1.378	0.095	1.313	0.134	0.847
14/10/2019	11:00 a.m.	72	0.137	2.131	0.127	2.002	0.157	1.346

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		22.50	1.16	30.50	1.57	34.00	1.75
1.27	1:00		35.00	1.80	47.00	2.42	58.00	2.98
1.91	1:30		52.00	2.67	65.00	3.34	80.50	4.14
2.54	2:00		64.00	3.29	83.00	4.27	100.00	5.14
3.81	3:00		92.50	4.76	114.00	5.86	131.00	6.74
5.08	4:00		118.50	6.09	141.00	7.25	162.00	8.33
6.35	5:00		135.50	6.97	170.00	8.74	185.00	9.52
7.62	6:00		151.50	7.79	192.00	9.87	210.00	10.80
8.89	7:00		169.50	8.72	213.00	10.95	232.00	11.93
10.16	8:00		185.00	9.51	232.00	11.93	255.00	13.12



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

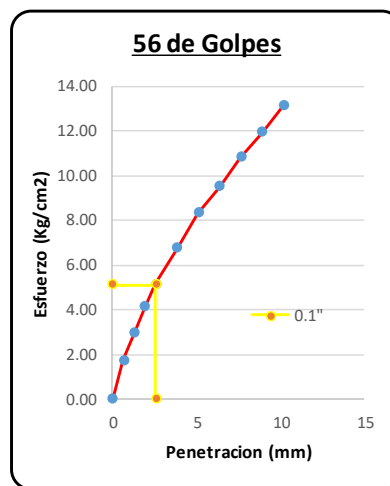
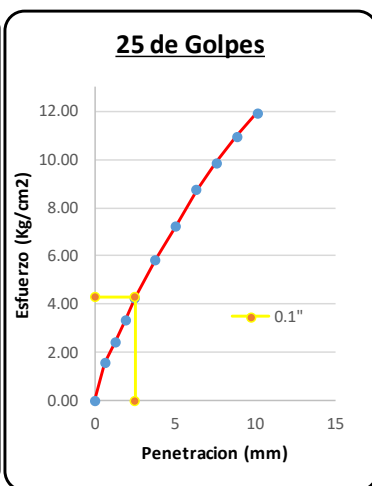
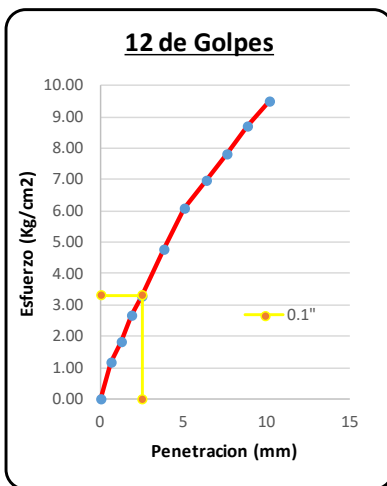
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTCE - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

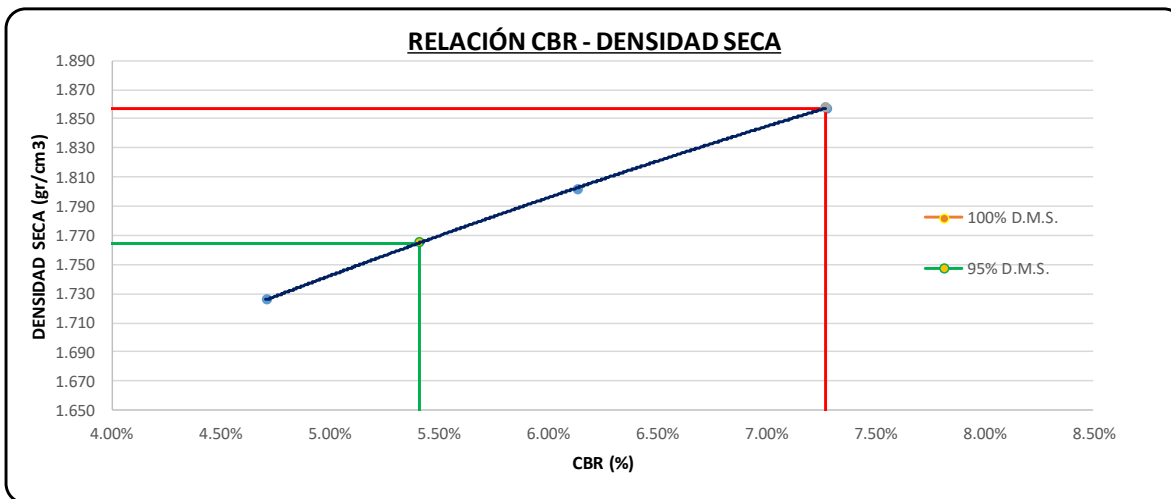
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 11/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 4.71%

**CBR 0.1" :** 6.13%

**CBR 0.1" :** 7.27%



**CBR 01" AL 100 %**

**1.857 gr/cm3**

**CBR: 7.27%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.765 gr/cm3**

**CBR: 5.41%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
**E. P. INGENIERIA CIVIL**



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 07/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE DENSIDAD								
	CBR-03		CBR-04		CBR-07				
Número del molde	5		5		5				
Numero por capas	12		25		56				
Golpes por capa	2169.48		2123.06		2141.21				
Volumen de molde	cm3								
Peso del molde	gr	8343		7486		8744			
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado		
Peso del material + molde	gr	12699	12747	11904	11953	13301	13341		
Peso del suelo húmedo	gr	4356	4404	4418	4467	4557	4597		
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	2.01	2.03	2.08	2.10	2.13	2.15		

DESCRIPCIÓN	CONTROL DE HUMEDAD								
	T-032	T-022	T-039	T-020	T-015	T-038			
Nº de tara	16.33		16.13		15.82		20.80		
Peso de tara	gr	61.22		62.28		59.82		69.60	
Peso de tara + suelo húmedo	gr	55.56		56.47		54.35		63.51	
Peso de tara + suelo seco	gr	5.66		5.81		5.47		6.09	
Peso del agua	gr	39.23		40.34		38.53		42.71	
Peso del suelo seco	gr	14.43%		14.40%		14.20%		14.26%	
Contenido de humedad	%	14.42%		14.23%		14.00%			
Promedio de humedad	%	1.755		1.822		1.867			
Densidad del suelo seco	gr/cm3								

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
07/10/2019	4:00 p. m.	0	0.375	0.000	0.357	0.000	0.021	0.000
08/10/2019	4:00 p. m.	24	0.394	0.409	0.383	0.564	0.031	0.215
09/10/2019	4:00 p. m.	48	0.413	0.818	0.394	0.803	0.038	0.366
10/10/2019	4:00 p. m.	72	0.425	1.076	0.405	1.042	0.047	0.560

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estatica	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		17.50	0.90	22.50	1.16	31.50	1.62
1.27	1:00		31.50	1.62	51.00	2.62	57.00	2.93
1.91	1:30		54.50	2.80	75.00	3.86	85.50	4.40
2.54	2:00		74.00	3.81	93.50	4.81	111.00	5.71
3.81	3:00		107.50	5.53	122.50	6.30	147.50	7.59
5.08	4:00		135.50	6.97	149.00	7.66	179.00	9.21
6.35	5:00		155.50	8.00	172.50	8.87	210.00	10.80
7.62	6:00		175.50	9.03	198.00	10.18	241.50	12.42
8.89	7:00		200.50	10.31	231.50	11.91	275.50	14.17
10.16	8:00		229.50	11.80	290.00	14.91	310.00	15.95



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

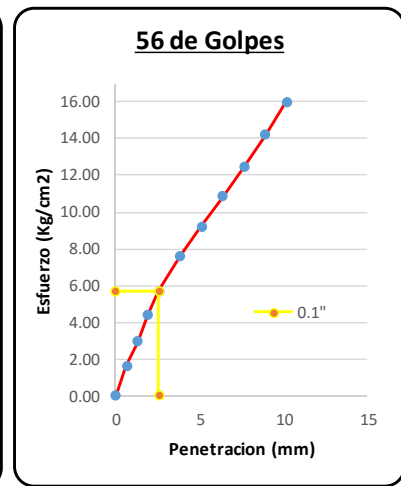
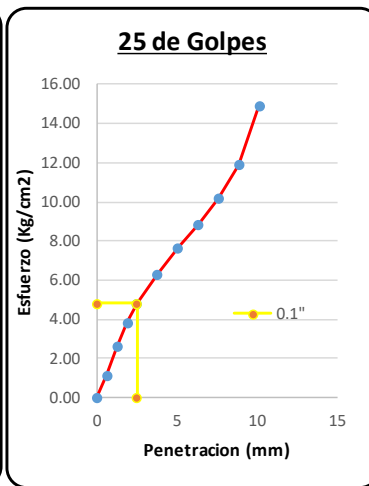
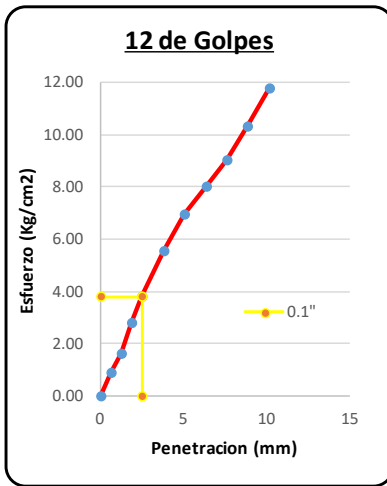
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

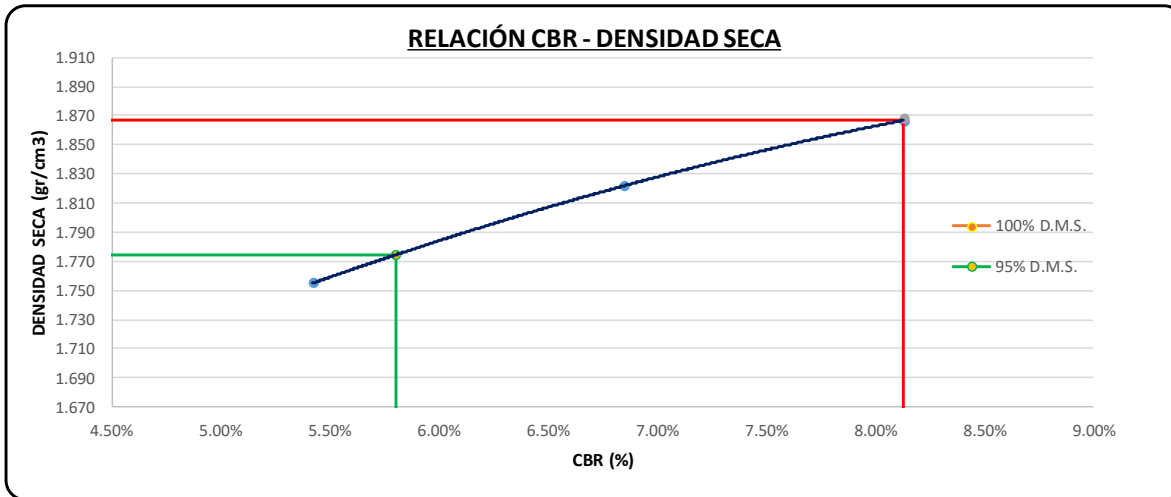
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 07/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 5.42%

**CBR 0.1" :** 6.85%

**CBR 0.1" :** 8.13%



**CBR 01" AL 100 %**

**1.867 gr/cm3**

**CBR: 8.13%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.774 gr/cm3**

**CBR: 5.80%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 07/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-04		CBR-01		CBR-08	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm3	2123.06		2169.48		2123.06	
Peso del molde	gr	7486		7279		7600	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	11679	11701	11713	11739	12105	12152
Peso del suelo húmedo	gr	4193	4215	4434	4460	4505	4552
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	1.97	1.99	2.04	2.06	2.12	2.14

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-017	T-039	T-036	T-019	T-005	T-011
Peso de tara	gr	16.23	15.83	16.48	16.32	18.66	22.42
Peso de tara + suelo húmedo	gr	58.09	57.31	54.45	55.59	67.28	67.92
Peso de tara + suelo seco	gr	52.78	52.05	49.63	50.62	61.12	62.16
Peso del agua	gr	5.31	5.26	4.82	4.97	6.16	5.76
Peso del suelo seco	gr	36.55	36.22	33.15	34.30	42.46	39.74
Contenido de humedad	%	14.53%	14.52%	14.54%	14.49%	14.51%	14.49%
Promedio de humedad	%	14.53%		14.51%		14.50%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.724		1.785		1.853	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
07/10/2019	3:40 p.m.	0	0.041	0.000	0.341	0.000	0.393	0.000
08/10/2019	3:40 p.m.	24	0.064	0.499	0.361	0.431	0.411	0.391
09/10/2019	3:40 p.m.	48	0.086	0.977	0.380	0.839	0.428	0.760
10/10/2019	3:40 p.m.	72	0.113	1.563	0.399	1.248	0.446	1.151

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		23.50	1.21	32.50	1.67	35.50	1.83
1.27	1:00		39.00	2.01	49.50	2.55	57.50	2.96
1.91	1:30		51.50	2.65	68.00	3.50	82.00	4.22
2.54	2:00		60.50	3.11	87.00	4.47	106.00	5.45
3.81	3:00		74.50	3.83	130.00	6.69	145.50	7.48
5.08	4:00		86.00	4.42	165.50	8.51	185.50	9.54
6.35	5:00		97.50	5.01	194.50	10.00	219.00	11.27
7.62	6:00		109.00	5.61	218.50	11.24	248.50	12.78
8.89	7:00		119.50	6.15	241.50	12.42	270.50	13.91
10.16	8:00		131.50	6.76	267.00	13.73	290.50	14.94





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

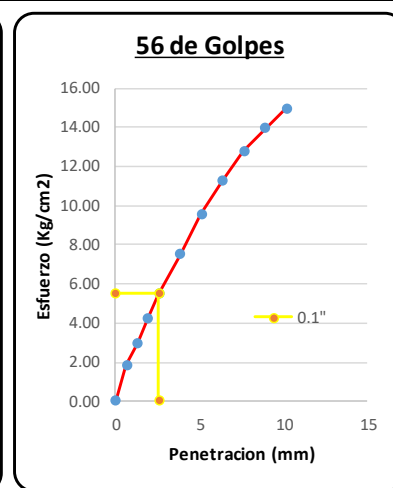
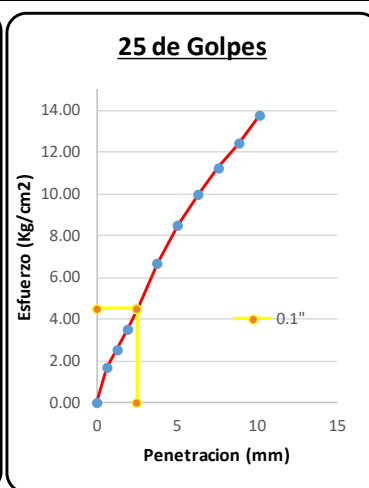
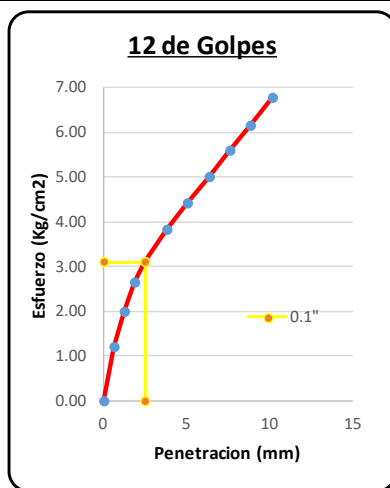
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

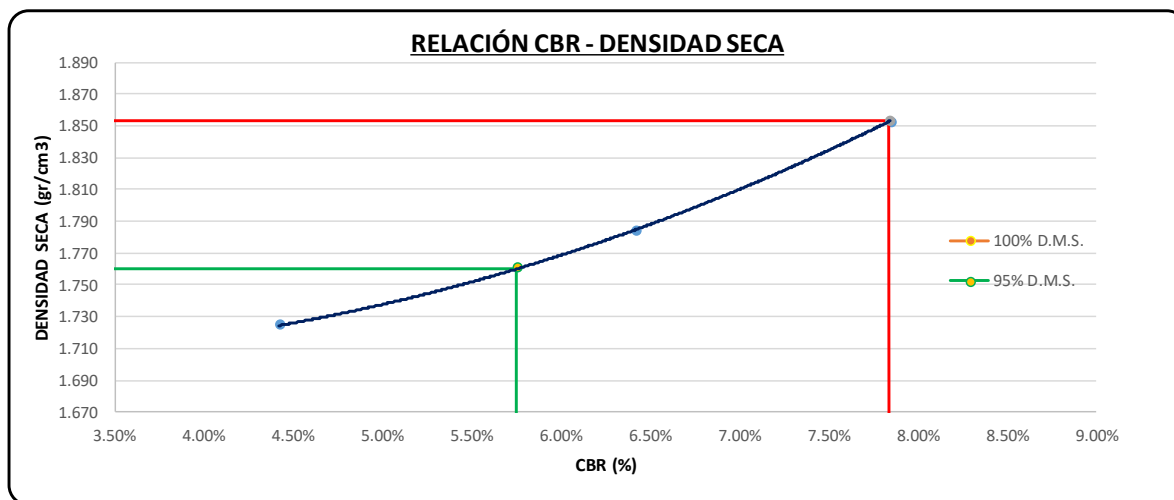
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Muestra</b> : M - 01	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 07/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 4.42%

**CBR 0.1" :** 6.42%

**CBR 0.1" :** 7.84%



**CBR 01" AL 100%**  
**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.853 gr/cm3**  
**1.761 gr/cm3**

**CBR: 7.84%**  
**CBR: 5.75%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTCE - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

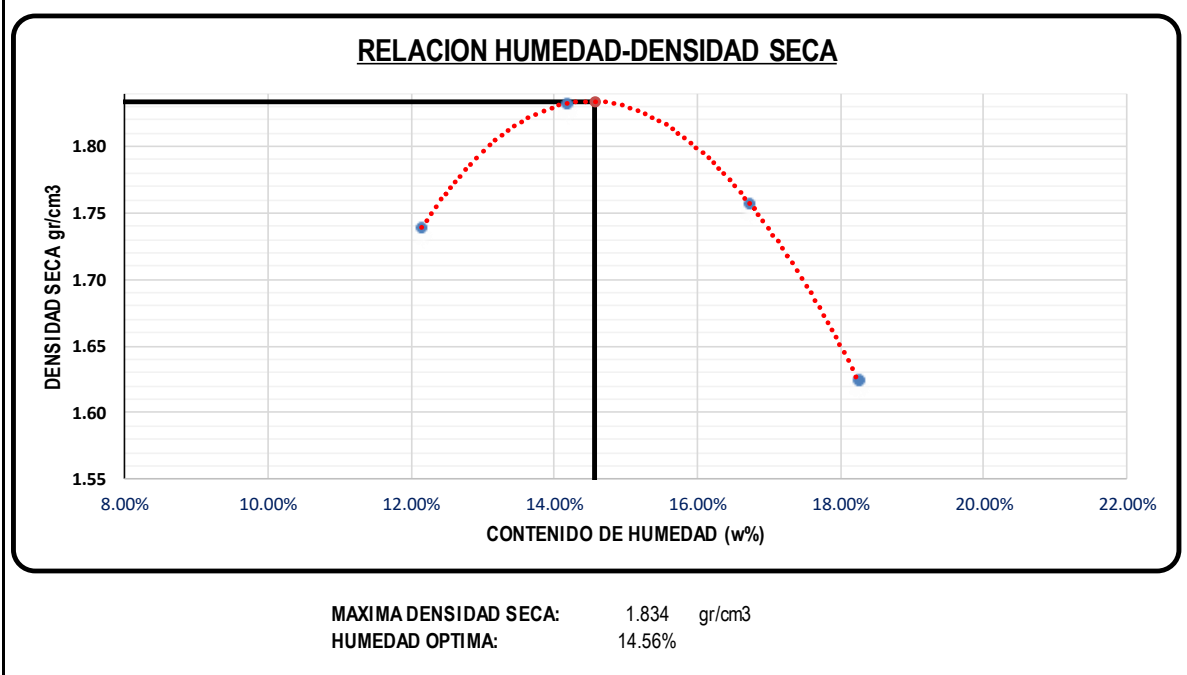
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosific.</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 14/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
Ensayo N°		1	2	3	4
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo humedo + molde	gr	6185	6316	6278	6157
Peso del suelo humedo	gr	1813	1944	1906	1785
Densidad de suelo humedo	gr/cm3	1.95	2.09	2.05	1.92

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
N° de tara		T-017	T-014	T-044	T-047	T-007	T-036	T-002	T-015
Peso de tara	gr	16.22	16.61	28.11	28.52	18.46	16.46	23.57	15.96
Peso de tara + suelo húmedo	gr	53.87	51.82	63.04	70.17	61.17	53.19	65.30	66.89
Peso de tara + suelo seco	gr	49.72	48.07	58.74	64.96	55.12	47.86	58.79	59.11
Peso del agua	gr	4.15	3.75	4.30	5.21	6.05	5.33	6.51	7.78
Peso del suelo seco	gr	33.50	31.46	30.63	36.44	36.66	31.40	35.22	43.15
Contenido de humedad	%	12.39%	11.92%	14.04%	14.30%	16.50%	16.97%	18.48%	18.03%
Promedio de humedad	%	12.15%			14.17%		16.74%		18.26%
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.74			1.83		1.76		1.62





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosificación</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 22/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-08		CBR-05		CBR-03	
Golpes por capa		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	2123.06		2151.09		2169.48	
Peso del molde	gr	7600		7349		8343	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	11740	11785	11677	11735	12902	12951
Peso del suelo húmedo	gr	4140	4185	4328	4386	4559	4608
Densidad del suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.95	1.97	2.01	2.04	2.10	2.12

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-030	T-038	T-035	T-027	T-011	T-005
Peso de tara	gr	16.10	16.26	16.68	16.65	22.43	18.67
Peso de tara + suelo húmedo	gr	55.26	50.95	45.60	51.89	53.10	55.59
Peso de tara + suelo seco	gr	50.22	46.49	41.90	47.39	49.20	50.90
Peso del agua	gr	5.04	4.46	3.70	4.5	3.90	4.69
Peso del suelo seco	gr	34.12	30.23	25.22	30.74	26.77	32.23
Contenido de humedad	%	14.77%	14.75%	14.67%	14.64%	14.57%	14.55%
Promedio de humedad	%	14.76%		14.65%		14.56%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.699		1.755		1.834	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
22/10/2019	3:00 p.m.	0	0.406	0.000	0.008	0.000	0.793	0.000
23/10/2019	3:00 p.m.	24	0.448	0.904	0.048	0.861	0.824	0.673
24/10/2019	3:00 p.m.	48	0.489	1.787	0.086	1.679	0.854	1.324
25/10/2019	3:00 p.m.	72	0.521	2.475	0.119	2.389	0.881	1.910

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		21.50	1.11	30.00	1.54	35.00	1.80
1.27	1:00		40.00	2.06	49.00	2.52	59.00	3.03
1.91	1:30		58.00	2.98	65.00	3.34	81.50	4.19
2.54	2:00		72.00	3.70	84.00	4.32	100.00	5.14
3.81	3:00		96.00	4.94	114.00	5.86	134.00	6.89
5.08	4:00		121.00	6.22	143.00	7.35	165.50	8.51
6.35	5:00		142.00	7.30	170.00	8.74	194.50	10.01
7.62	6:00		162.00	8.33	195.00	10.03	222.00	11.42
8.89	7:00		181.50	9.33	219.50	11.29	245.00	12.60
10.16	8:00		200.00	10.29	241.00	12.39	267.00	13.73



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

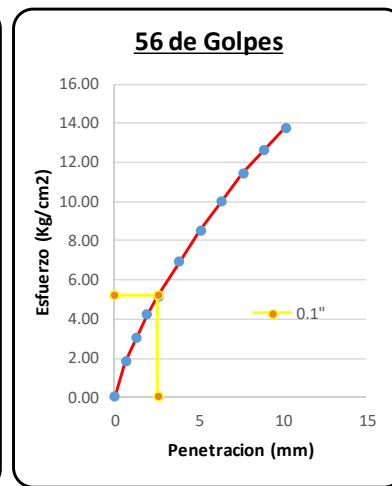
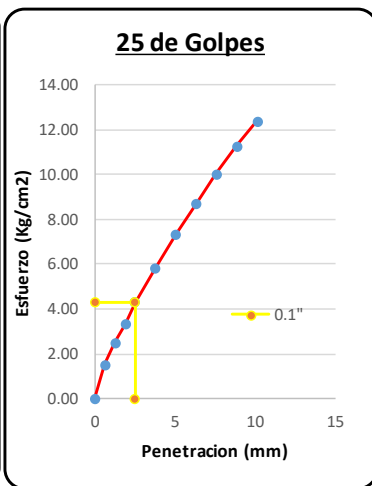
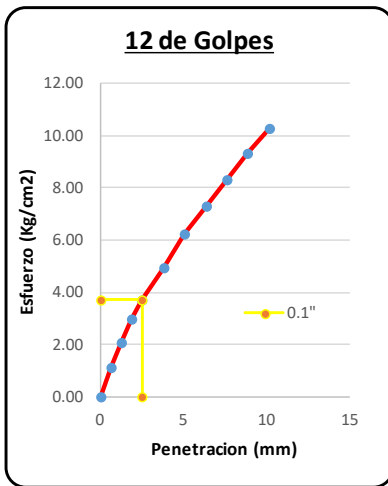
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTCE - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

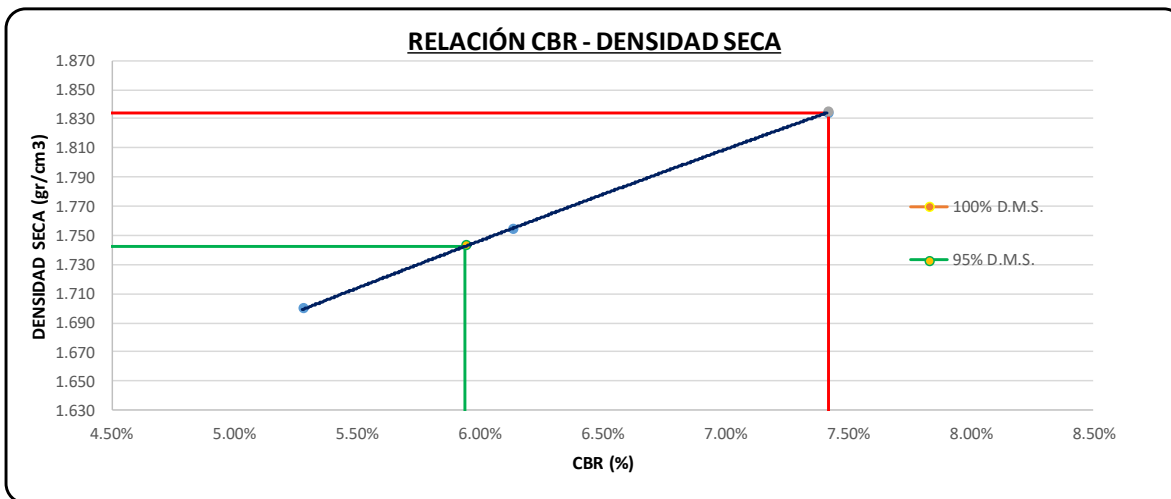
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosificación</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 22/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" : 5.28%**

**CBR 0.1" : 6.13%**

**CBR 0.1" : 7.42%**



**CBR 01" AL 100%**

**1.834 gr/cm3**

**CBR: 7.42%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.743 gr/cm3**

**CBR: 5.94%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

**Progresiva** : Km 2 + 000      **Calicata** : C - 01      **Dosific.** : 3% Polímero      **Clasificación SUCS** : CL - ML

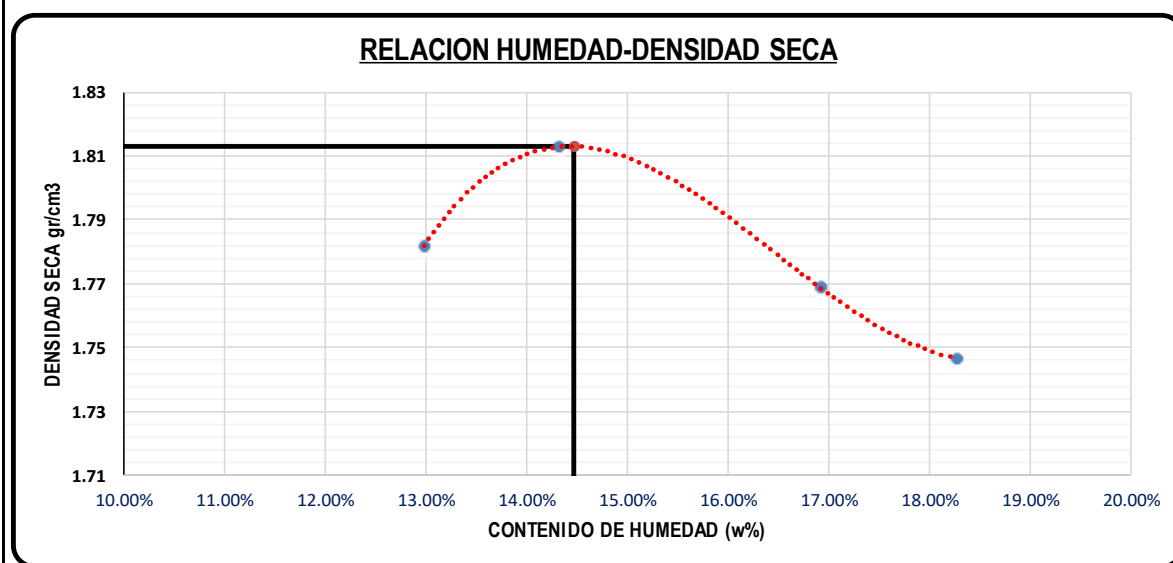
**Sondaje** : Arcilla      **Prof.** : 1.50 m.      **Estrato** : E - 03      **Clasificación AASHTO** : A - 4 (0)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"      **Fecha** : 14/10/19      **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

Molde N° 01	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo humedo + molde	gr	6243	6298	6294	6292
Peso del suelo humedo	gr	1871	1926	1922	1920
Densidad de suelo humedo	gr/cm3	2.01	2.07	2.07	2.07

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-024	T-016	T-038	T-017	T-035	T-003	T-027	T-013
N° de tara									
Peso de tara	gr	16.44	16.73	16.25	16.38	16.65	16.38	16.65	16.03
Peso de tara + suelo húmedo	gr	60.74	50.26	52.78	51.39	49.92	55.18	53.41	52.21
Peso de tara + suelo seco	gr	55.65	46.41	48.22	46.99	45.08	49.60	47.64	46.71
Peso del agua	gr	5.09	3.85	4.56	4.40	4.84	5.58	5.77	5.50
Peso del suelo seco	gr	39.21	29.68	31.97	30.61	28.43	33.22	30.99	30.68
Contenido de humedad	%	12.98%	12.97%	14.26%	14.37%	17.02%	16.80%	18.62%	17.93%
Promedio de humedad	%	12.98%		14.32%		16.91%		18.27%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.78		1.81		1.77		1.75	



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.813 gr/cm3  
**HUMEDAD OPTIMA:** 14.46%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosificación</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 21/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-06		CBR-01		CBR-02	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm3	2141.21		2169.48		2104.92	
Peso del molde	gr	8499		7279		7641	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	12631	12665	11587	11645	12007	12048
Peso del suelo húmedo	gr	4132	4166	4308	4366	4366	4407
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	1.93	1.95	1.99	2.01	2.07	2.09

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
N° de tara		T-016	T-013	T-017	T-036	T-007	T-004
Peso de tara	gr	16.76	16.05	16.23	16.49	18.49	16.36
Peso de tara + suelo húmedo	gr	67.13	60.88	54.29	57.12	61.48	49.77
Peso de tara + suelo seco	gr	60.71	55.17	49.45	51.96	56.05	45.55
Peso del agua	gr	6.42	5.71	4.84	5.16	5.43	4.22
Peso del suelo seco	gr	43.95	39.12	33.22	35.47	37.56	29.19
Contenido de humedad	%	14.61%	14.60%	14.57%	14.55%	14.46%	14.46%
Promedio de humedad	%	14.60%		14.56%		14.46%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.684		1.733		1.812	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
21/10/2019	4:10 p.m.	0	0.452	0.000	0.487	0.000	0.156	0.000
22/10/2019	4:10 p.m.	24	0.510	1.248	0.540	1.141	0.215	1.281
23/10/2019	4:10 p.m.	48	0.543	1.959	0.567	1.722	0.245	1.932
24/10/2019	4:10 p.m.	72	0.572	2.583	0.595	2.325	0.261	2.279

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo(min)	Carga Estatica	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		32.00	1.65	37.00	1.90	42.00	2.16
1.27	1:00		48.00	2.47	55.50	2.85	65.50	3.37
1.91	1:30		61.00	3.14	74.50	3.83	84.50	4.35
2.54	2:00		74.00	3.81	88.00	4.53	109.00	5.61
3.81	3:00		99.00	5.09	120.00	6.17	142.50	7.33
5.08	4:00		121.00	6.22	148.00	7.61	169.50	8.72
6.35	5:00		150.50	7.74	171.00	8.79	197.50	10.16
7.62	6:00		184.50	9.49	192.50	9.90	219.00	11.27
8.89	7:00		208.00	10.70	224.00	11.52	245.00	12.60
10.16	8:00		221.00	11.37	249.50	12.83	285.50	14.69



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

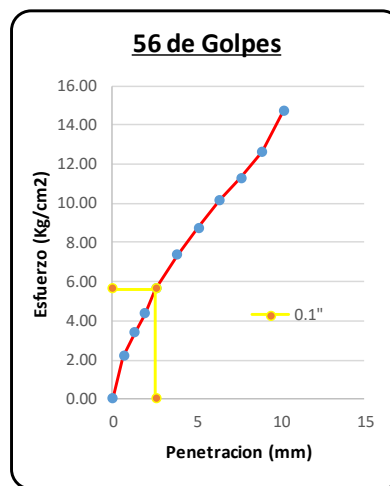
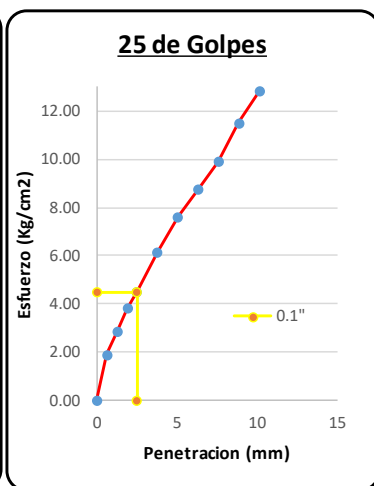
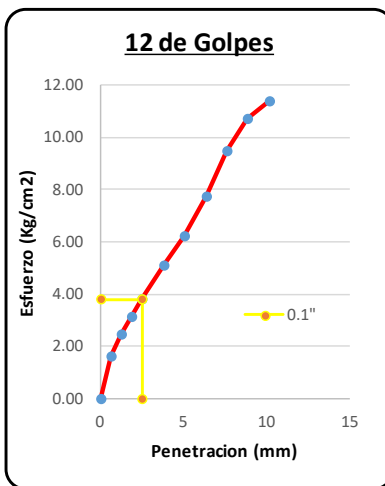
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

(MTCE - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

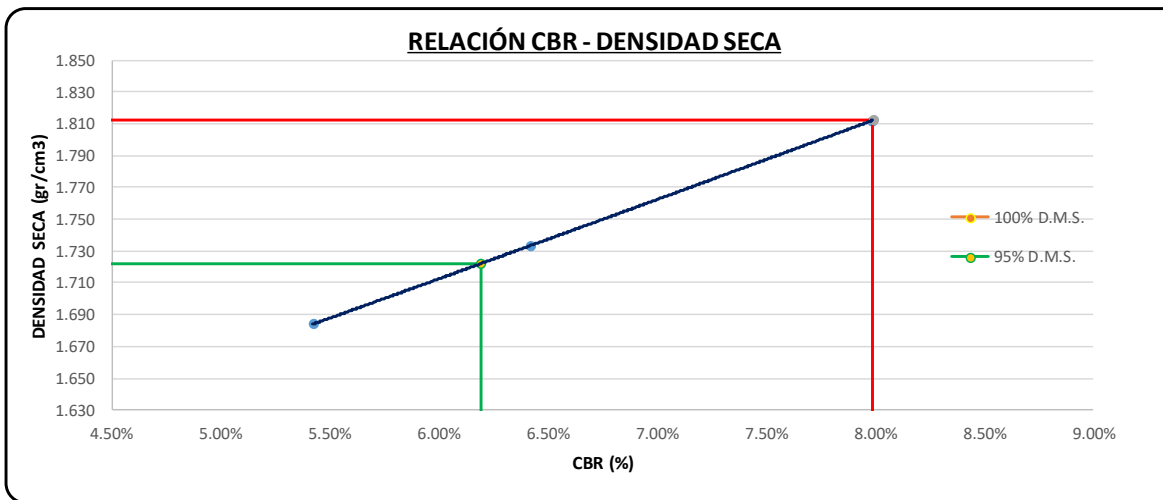
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosificación</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 21/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 5.42%

**CBR 0.1" :** 6.42%

**CBR 0.1" :** 7.99%



**CBR 01" AL 100 %**

**1.812 gr/cm3**

**CBR: 7.99%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.722 gr/cm3**

**CBR: 6.19%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

**Progresiva** : Km 2 + 000    **Calicata** : C - 01    **Dosific.** : 5% Polímero    **Clasificación SUCS** : CL - ML

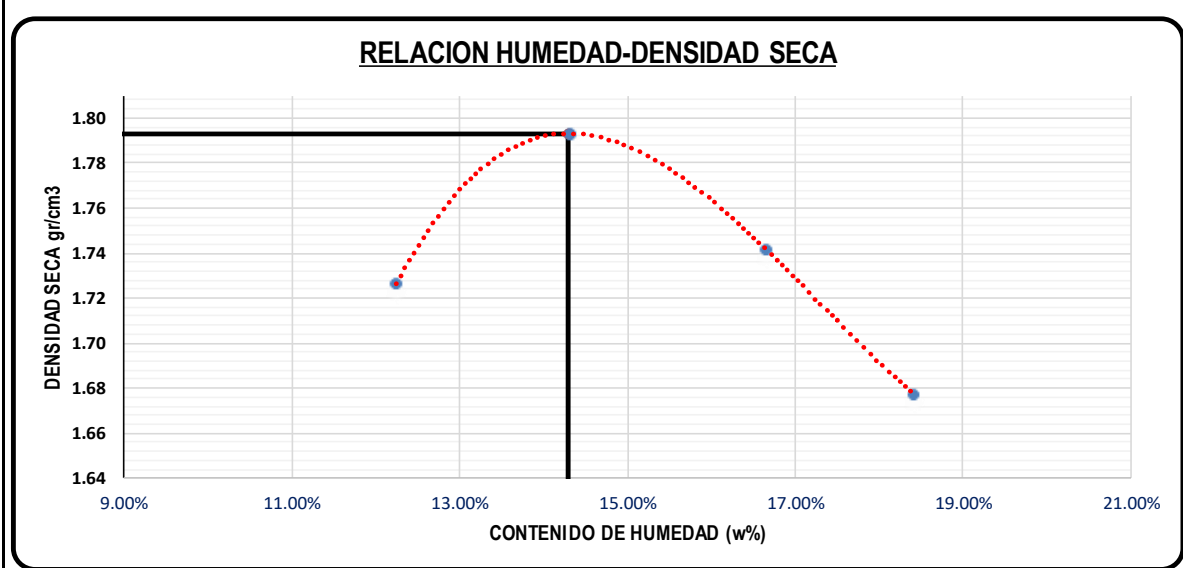
**Sondaje** : Arcilla    **Prof.** : 1.50 m.    **Estrato** : E - 03    **Clasificación AASHTO** : A - 4 (0)

**Ubicación** : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"    **Fecha** : 14/10/19    **Ing. Responsable** : Yesenia Apaza Pinto

Molde N° 01	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	6173	6277	6260	6218
Peso del suelo húmedo	gr	1801	1905	1888	1846
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	1.94	2.05	2.03	1.99

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-042	T-041	T-010	T-028	T-029	T-022	T-040	T-050
N° de tara									
Peso de tara	gr	20.01	21.74	17.23	20.77	20.81	16.13	22.01	16.22
Peso de tara + suelo húmedo	gr	51.87	60.90	63.19	63.52	65.44	50.40	65.32	66.46
Peso de tara + suelo seco	gr	48.49	56.51	57.41	58.19	59.04	45.53	58.61	58.62
Peso del agua	gr	3.38	4.39	5.78	5.33	6.40	4.87	6.71	7.84
Peso del suelo seco	gr	28.48	34.77	40.18	37.42	38.23	29.40	36.60	42.40
Contenido de humedad	%	11.87%	12.63%	14.39%	14.24%	16.74%	16.56%	18.33%	18.49%
Promedio de humedad	%	12.25%		14.31%		16.65%		18.41%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.73		1.79		1.74		1.68	



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.793 gr/cm3  
**HUMEDAD OPTIMA:** 14.29%





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

**PROYECTO DE TESIS**

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosificación</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 21/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-04		CBR-07		CBR-09	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	2123.06		2141.21		2132.70	
Peso del molde	gr	7486		8744		7811	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	11515	11561	12968	12998	12182	12221
Peso del suelo húmedo	gr	4029	4075	4224	4254	4371	4410
Densidad del suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.90	1.92	1.97	1.99	2.05	2.07

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-037	T-008	T-035	T-039	T-020	T-005
Peso de tara	gr	16.40	16.26	16.67	15.83	20.80	18.67
Peso de tara + suelo húmedo	gr	57.06	55.51	51.29	52.40	64.58	53.28
Peso de tara + suelo seco	gr	51.89	50.52	46.93	47.80	59.10	48.96
Peso del agua	gr	5.17	4.99	4.36	4.6	5.48	4.32
Peso del suelo seco	gr	35.49	34.26	30.26	31.97	38.3	30.29
Contenido de humedad	%	14.57%	14.57%	14.41%	14.39%	14.31%	14.26%
Promedio de humedad	%	14.57%		14.40%		14.29%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.656		1.724		1.793	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
21/10/2019	4:00 p.m.	0	0.067	0.000	0.063	0.000	0.336	0.000
22/10/2019	4:00 p.m.	24	0.124	1.237	0.115	1.119	0.378	0.920
23/10/2019	4:00 p.m.	48	0.169	2.214	0.156	2.002	0.417	1.774
24/10/2019	4:00 p.m.	72	0.197	2.822	0.183	2.583	0.446	2.409

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		15.00	0.77	28.50	1.47	28.00	1.44
1.27	1:00		31.00	1.59	47.50	2.44	54.50	2.80
1.91	1:30		45.00	2.31	62.00	3.19	75.00	3.86
2.54	2:00		60.00	3.09	78.00	4.01	97.00	4.99
3.81	3:00		88.00	4.53	102.00	5.25	130.00	6.69
5.08	4:00		110.00	5.66	128.50	6.61	160.00	8.23
6.35	5:00		131.00	6.74	151.50	7.79	189.00	9.72
7.62	6:00		146.00	7.51	176.00	9.05	212.00	10.91
8.89	7:00		162.00	8.33	201.00	10.34	235.00	12.09
10.16	8:00		180.00	9.26	226.00	11.62	250.00	12.86



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

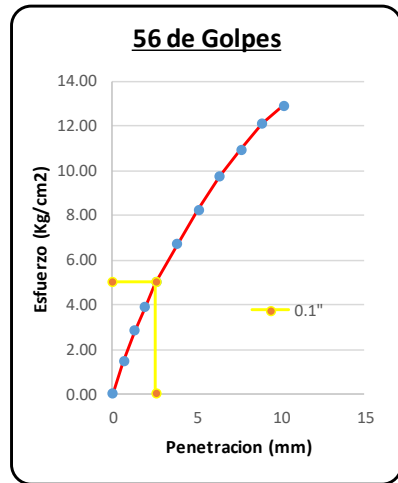
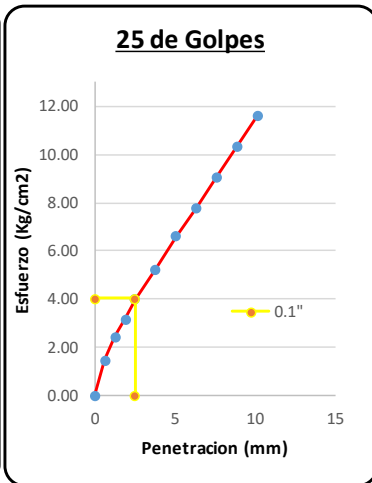
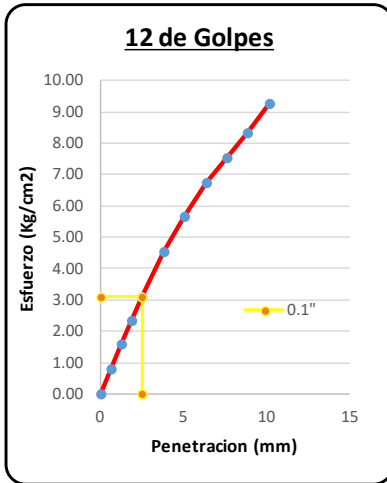
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTCE - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polimeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

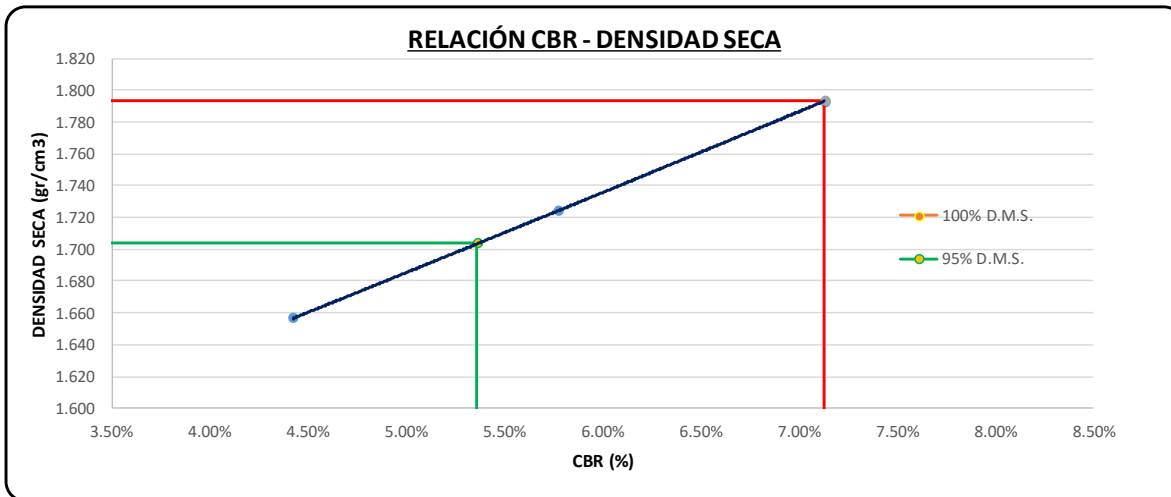
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 000	<b>Calicata</b> : C - 01	<b>Dosificación</b> : 5% Polimero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL - ML
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 4 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'21.20"; 70°5'57.00"	<b>Fecha</b> : 21/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 4.42%

**CBR 0.1" :** 5.78%

**CBR 0.1" :** 7.13%



**CBR 01" AL 100 %**  
**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.793 gr/cm3**  
**1.704 gr/cm3**

**CBR: 7.13%**  
**CBR: 5.36%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

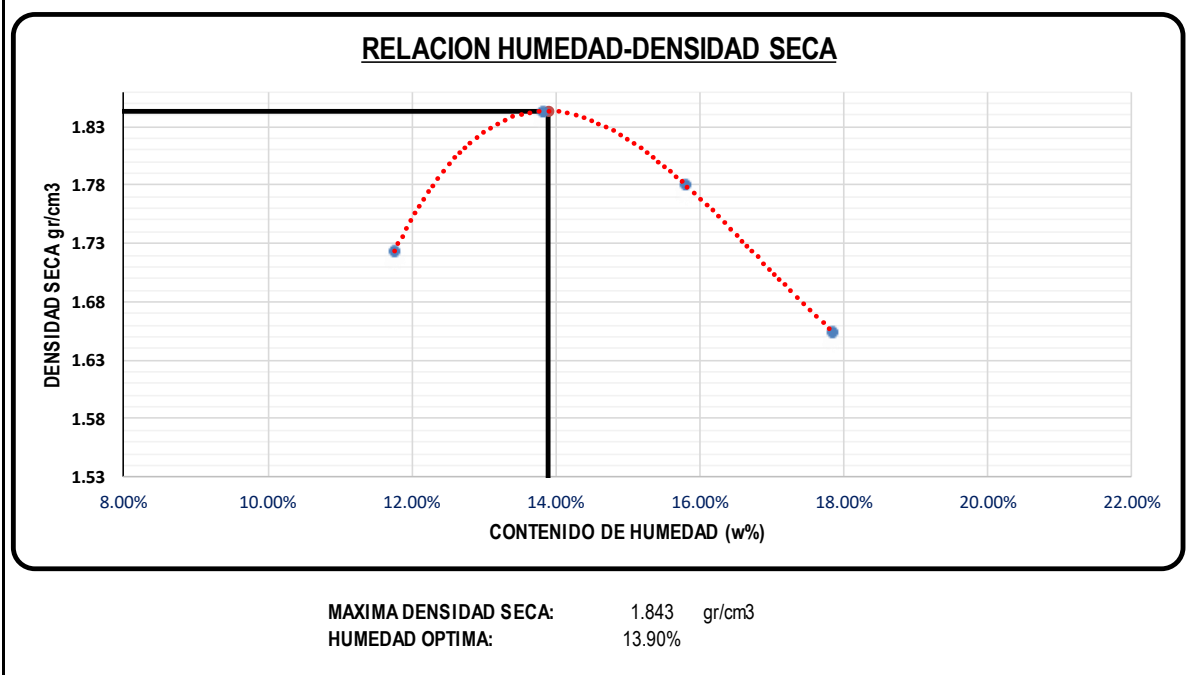
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosific.</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 16/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	3899	3899	3899	3899
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo humedo + molde	gr	5689	5849	5815	5711
Peso del suelo humedo	gr	1790	1950	1916	1812
Densidad de suelo humedo	gr/cm3	1.93	2.10	2.06	1.95

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD									
		T-029	T-011	T-037	T-008	T-035	T-039	T-040	T-050	
N° de tara										
Peso de tara	gr	20.81	22.42	16.40	16.26	16.67	15.83	22.04	16.23	
Peso de tara + suelo húmedo	gr	66.78	69.01	52.66	53.32	56.96	54.90	67.56	53.27	
Peso de tara + suelo seco	gr	62.03	64.02	48.22	48.85	51.46	49.57	60.75	47.59	
Peso del agua	gr	4.75	4.99	4.44	4.47	5.50	5.33	6.81	5.68	
Peso del suelo seco	gr	41.22	41.60	31.82	32.59	34.79	33.74	38.71	31.36	
Contenido de humedad	%	11.52%	12.00%	13.95%	13.72%	15.81%	15.80%	17.59%	18.11%	
Promedio de humedad	%	11.76%		13.83%		15.80%		17.85%		
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.72		1.84		1.78		1.65		





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosificación</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 24/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-07		CBR-04		CBR-06	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	2141.21		2123.06		2141.21	
Peso del molde	gr	8744		7486		8499	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	13009	13051	11828	11884	12997	13032
Peso del suelo húmedo	gr	4265	4307	4342	4398	4498	4533
Densidad del suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.99	2.01	2.05	2.07	2.10	2.12

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-013	T-005	T-015	T-024	T-022	T-025
Peso de tara	gr	16.04	18.66	16.12	16.50	16.14	16.46
Peso de tara + suelo húmedo	gr	74.18	83.85	59.78	59.60	61.38	66.75
Peso de tara + suelo seco	gr	66.98	75.78	54.41	54.31	55.86	60.61
Peso del agua	gr	7.2	8.07	5.37	5.29	5.52	6.14
Peso del suelo seco	gr	50.94	57.12	38.29	37.81	39.72	44.15
Contenido de humedad	%	14.13%	14.13%	14.02%	13.99%	13.90%	13.91%
Promedio de humedad	%	14.13%		14.01%		13.90%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.745		1.794		1.844	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
24/10/2019	3:20 p. m.	0	0.794	0.000	0.080	0.000	0.446	0.000
25/10/2019	3:20 p. m.	24	0.827	0.710	0.113	0.716	0.472	0.560
26/10/2019	3:20 p. m.	48	0.854	1.292	0.139	1.281	0.495	1.055
27/10/2019	3:20 p. m.	72	0.873	1.701	0.157	1.672	0.512	1.421

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		13.50	0.69	27.00	1.39	36.00	1.85
1.27	1:00		34.50	1.77	55.00	2.83	65.00	3.34
1.91	1:30		58.00	2.98	78.00	4.01	93.00	4.78
2.54	2:00		77.00	3.96	95.00	4.89	114.50	5.89
3.81	3:00		110.00	5.66	135.00	6.94	157.50	8.10
5.08	4:00		137.00	7.05	168.00	8.64	196.00	10.08
6.35	5:00		159.00	8.18	201.00	10.34	229.00	11.78
7.62	6:00		178.00	9.15	231.00	11.88	259.50	13.35
8.89	7:00		201.50	10.36	261.50	13.45	288.50	14.84
10.16	8:00		232.50	11.96	292.00	15.02	313.50	16.13



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

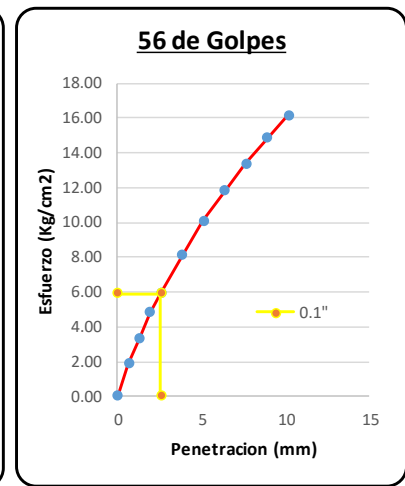
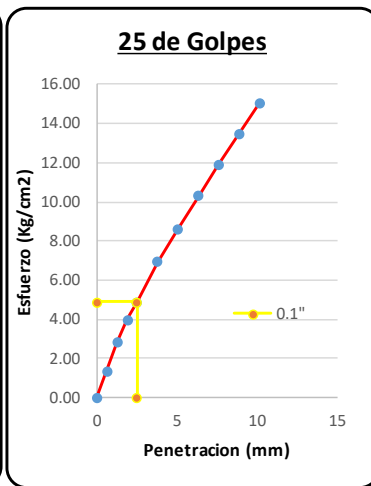
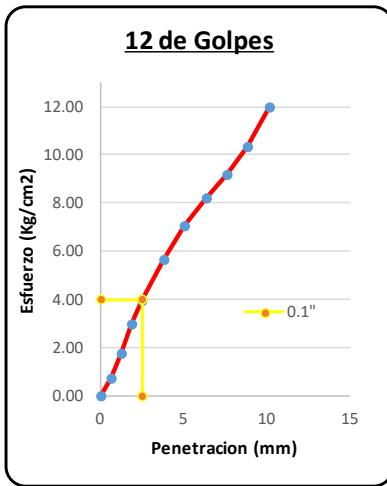
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

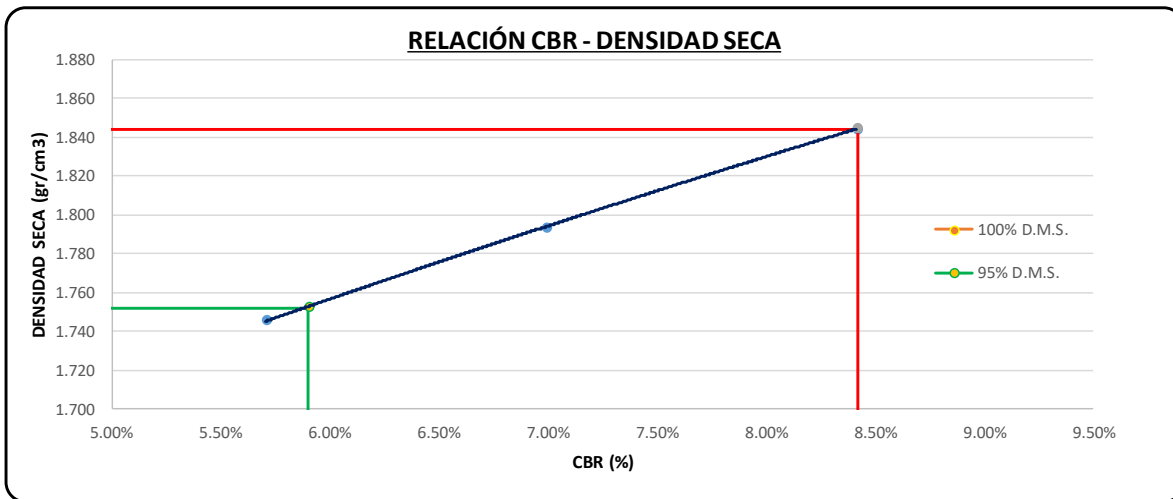
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosificación</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 24/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 5.71%

**CBR 0.1" :** 6.99%

**CBR 0.1" :** 8.42%



**CBR 01" AL 100 %**

**1.844 gr/cm3**

**CBR: 8.42%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.752 gr/cm3**

**CBR: 5.90%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTCE - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

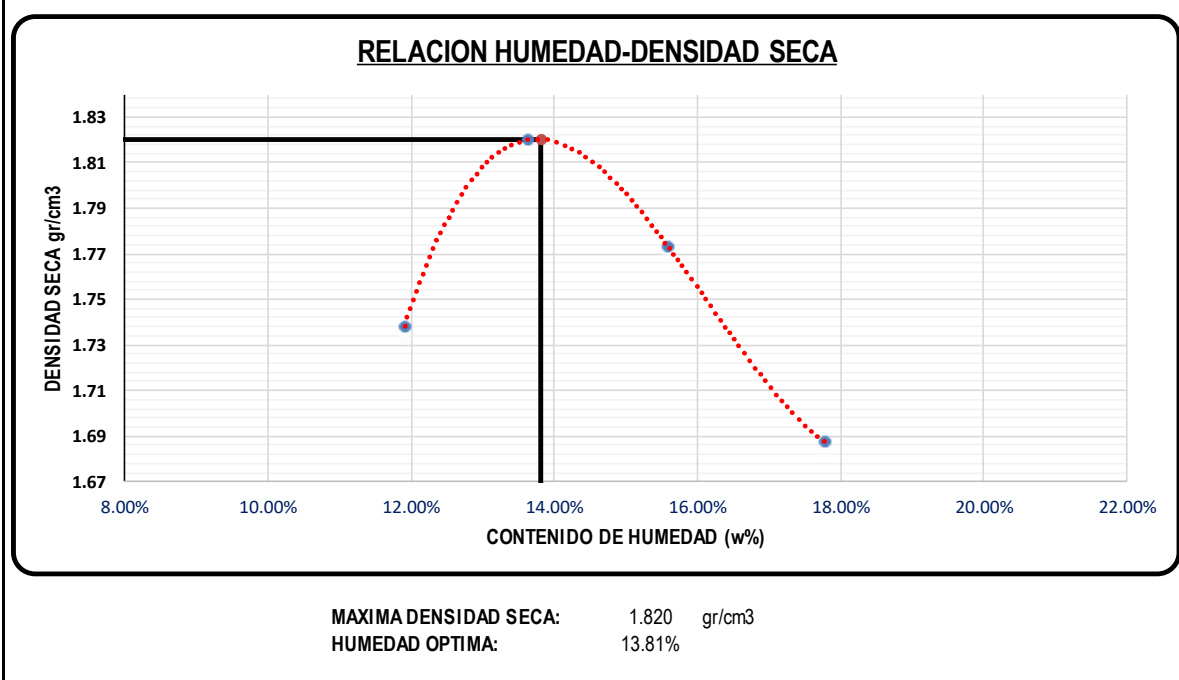
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosific.</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 16/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	6180	6294	6277	6219
Peso del suelo húmedo	gr	1808	1922	1905	1847
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	1.95	2.07	2.05	1.99

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-030	T-015	T-038	T-034	T-027	T-022	T-042	T-041
N° de tara									
Peso de tara	gr	16.12	15.99	16.28	16.52	16.66	16.13	21.03	21.76
Peso de tara + suelo húmedo	gr	59.90	58.67	53.67	53.49	58.47	59.64	66.42	67.22
Peso de tara + suelo seco	gr	55.25	54.12	49.26	48.98	52.88	53.72	59.48	60.45
Peso del agua	gr	4.65	4.55	4.41	4.51	5.59	5.92	6.94	6.77
Peso del suelo seco	gr	39.13	38.13	32.98	32.46	36.22	37.59	38.45	38.69
Contenido de humedad	%	11.88%	11.93%	13.37%	13.89%	15.43%	15.75%	18.05%	17.50%
Promedio de humedad	%	11.91%		13.63%		15.59%		17.77%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.74		1.82		1.77		1.69	





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosificación</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 24/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-02		CBR-01		CBR-09	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm3	2104.92		2169.48		2132.70	
Peso del molde	gr	7641		7279		7811	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	11673	11720	11592	11632	12228	12276
Peso del suelo húmedo	gr	4032	4079	4313	4353	4417	4465
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	1.92	1.94	1.99	2.01	2.07	2.09

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-019	T-035	T-027	T-009	T-012	T-017
Peso de tara	gr	16.32	16.67	16.65	16.71	23.24	16.23
Peso de tara + suelo húmedo	gr	58.2	63.98	51.08	52.19	67.17	54.31
Peso de tara + suelo seco	gr	53.05	58.17	46.87	47.86	61.84	49.69
Peso del agua	gr	5.15	5.81	4.21	4.33	5.33	4.62
Peso del suelo seco	gr	36.73	41.5	30.22	31.15	38.6	33.46
Contenido de humedad	%	14.02%	14.00%	13.93%	13.90%	13.81%	13.81%
Promedio de humedad	%	14.01%		13.92%		13.81%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.680		1.745		1.820	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
24/10/2019	3:30 p. m.	0	0.505	0.000	0.027	0.000	0.113	0.000
25/10/2019	3:30 p. m.	24	0.557	1.139	0.079	1.119	0.153	0.876
26/10/2019	3:30 p. m.	48	0.576	1.555	0.095	1.464	0.174	1.336
27/10/2019	3:30 p. m.	72	0.592	1.905	0.109	1.765	0.194	1.774

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		16.50	0.85	28.00	1.44	39.50	2.03
1.27	1:00		39.00	2.01	52.50	2.70	67.50	3.47
1.91	1:30		55.50	2.85	75.50	3.88	95.50	4.91
2.54	2:00		76.00	3.91	98.00	5.04	123.00	6.33
3.81	3:00		108.00	5.55	131.00	6.74	159.50	8.20
5.08	4:00		137.50	7.07	170.50	8.77	198.50	10.21
6.35	5:00		162.50	8.36	208.00	10.70	233.50	12.01
7.62	6:00		185.50	9.54	241.00	12.39	265.50	13.66
8.89	7:00		210.50	10.83	271.00	13.94	293.50	15.10
10.16	8:00		231.50	11.91	298.00	15.33	332.50	17.10



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

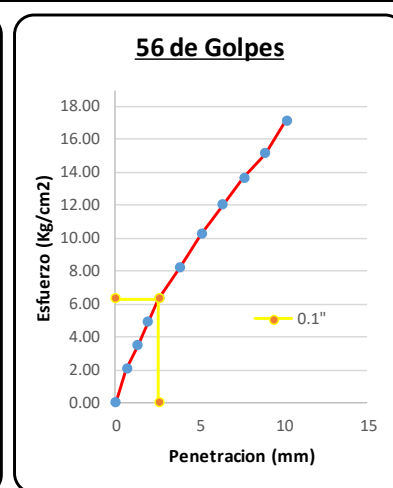
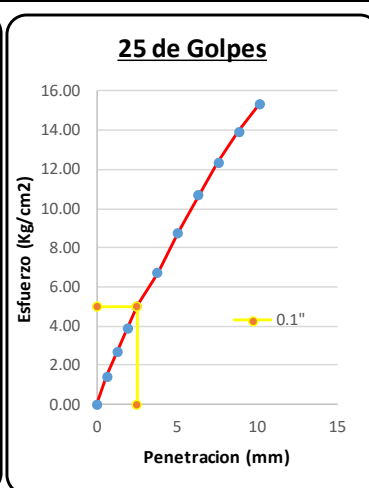
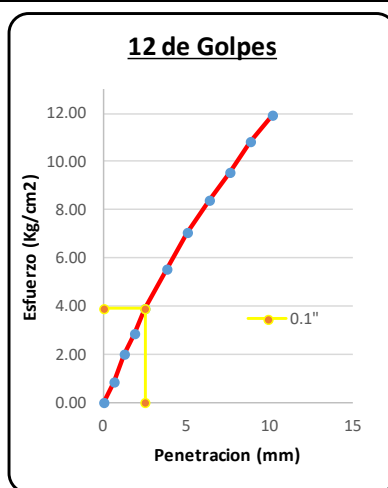
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

(MTCE - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

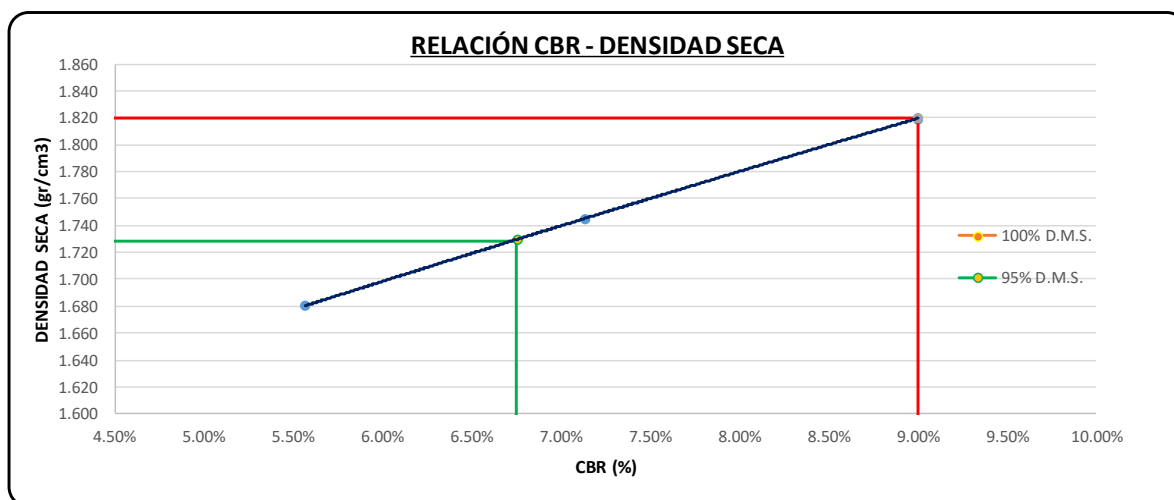
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosificación</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 24/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



CBR 0.1" : 5.56%

CBR 0.1" : 7.13%

CBR 0.1" : 9.00%



CBR 01" AL 100 %  
 CBR 01" AL 95% M.D.S.

1.820 gr/cm3  
 1.729 gr/cm3

CBR: 9.00%  
 CBR: 6.75%





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTCE - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

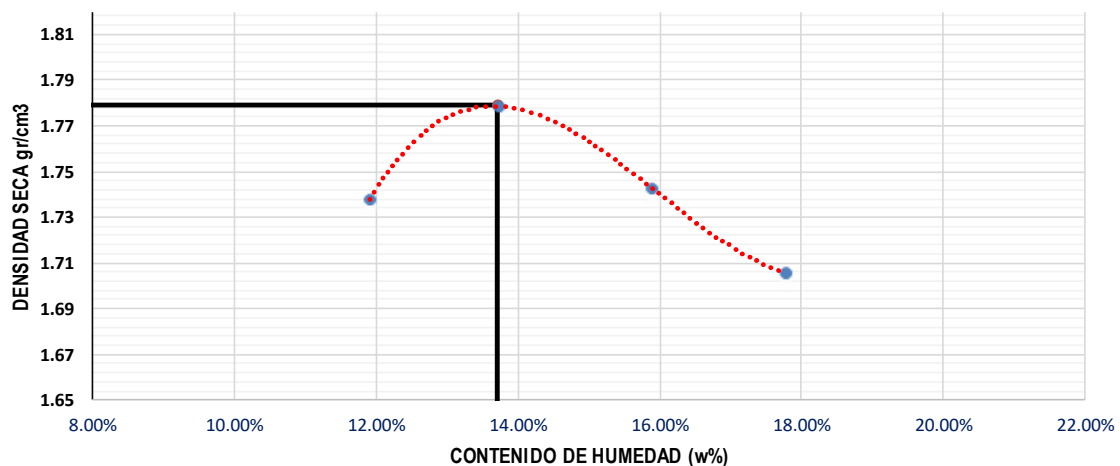
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosific.</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 16/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	4372	4372	4372	4372
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	6179	6252	6249	6239
Peso del suelo húmedo	gr	1807	1880	1877	1867
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	1.94	2.02	2.02	2.01

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-010	T-028	T-036	T-024	T-020	T-007	T-043	T-044
N° de tara									
Peso de tara	gr	17.26	20.79	16.48	16.46	20.80	18.48	28.55	28.15
Peso de tara + suelo húmedo	gr	72.91	74.61	53.83	57.46	76.19	61.21	64.21	65.09
Peso de tara + suelo seco	gr	66.99	68.89	49.43	52.39	68.56	55.38	58.81	59.53
Peso del agua	gr	5.92	5.72	4.40	5.07	7.63	5.83	5.40	5.56
Peso del suelo seco	gr	49.73	48.10	32.95	35.93	47.76	36.90	30.26	31.38
Contenido de humedad	%	11.90%	11.89%	13.35%	14.11%	15.98%	15.80%	17.85%	17.72%
Promedio de humedad	%	11.90%		13.73%		15.89%		17.78%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.74		1.78		1.74		1.71	

**RELACION HUMEDAD-DENSIDAD SECA**



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.779 gr/cm3  
**HUMEDAD OPTIMA:** 13.71%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillosos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 250	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosificación</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 25/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-05		CBR-03		CBR-08	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm <sup>3</sup>	2151.09		2169.48		2123.06	
Peso del molde	gr	7349		8343		7600	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	11369	11409	12571	12616	11893	11925
Peso del suelo húmedo	gr	4020	4060	4228	4273	4293	4325
Densidad del suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.87	1.89	1.95	1.97	2.02	2.04

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
Nº de tara		T-022	T-019	T-009	T-017	T-005	T-013
Peso de tara	gr	16.13	16.32	16.72	16.24	18.65	16.05
Peso de tara + suelo húmedo	gr	51.96	63.37	53.85	62.87	60.62	61.23
Peso de tara + suelo seco	gr	47.58	57.63	49.34	57.21	55.56	55.78
Peso del agua	gr	4.38	5.74	4.51	5.66	5.06	5.45
Peso del suelo seco	gr	31.45	41.31	32.62	40.97	36.91	39.73
Contenido de humedad	%	13.93%	13.89%	13.83%	13.81%	13.71%	13.72%
Promedio de humedad	%	13.91%		13.82%		13.71%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.641		1.712		1.778	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
25/10/2019	1:20 p. m.	0	0.486	0.000	0.445	0.000	0.114	0.000
26/10/2019	1:20 p. m.	24	0.532	0.999	0.485	0.861	0.147	0.716
27/10/2019	1:20 p. m.	48	0.575	1.932	0.526	1.744	0.185	1.541
28/10/2019	1:20 p. m.	72	0.621	2.931	0.571	2.712	0.224	2.388

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		16.50	0.85	24.00	1.23	30.50	1.57
1.27	1:00		32.00	1.65	51.50	2.65	61.00	3.14
1.91	1:30		49.00	2.52	70.00	3.60	87.00	4.48
2.54	2:00		66.00	3.39	87.00	4.47	109.00	5.61
3.81	3:00		95.50	4.91	120.00	6.17	142.50	7.33
5.08	4:00		122.50	6.30	147.00	7.56	177.00	9.10
6.35	5:00		146.50	7.53	175.00	9.00	210.50	10.83
7.62	6:00		170.50	8.77	202.00	10.39	241.00	12.40
8.89	7:00		193.50	9.95	237.00	12.19	272.50	14.02
10.16	8:00		220.00	11.31	273.50	14.07	298.50	15.35



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

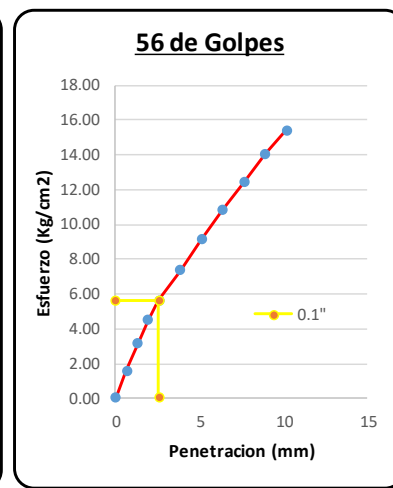
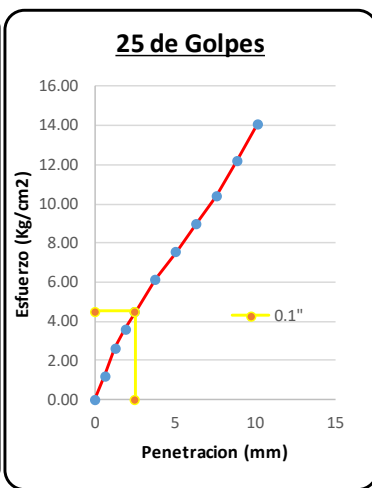
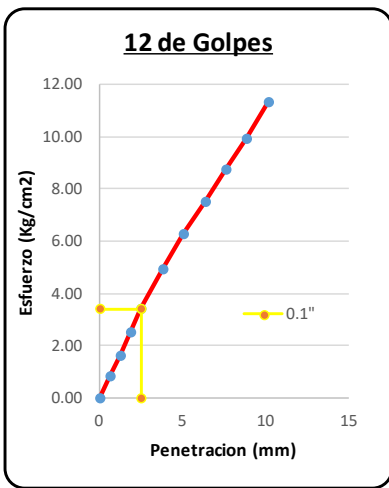
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

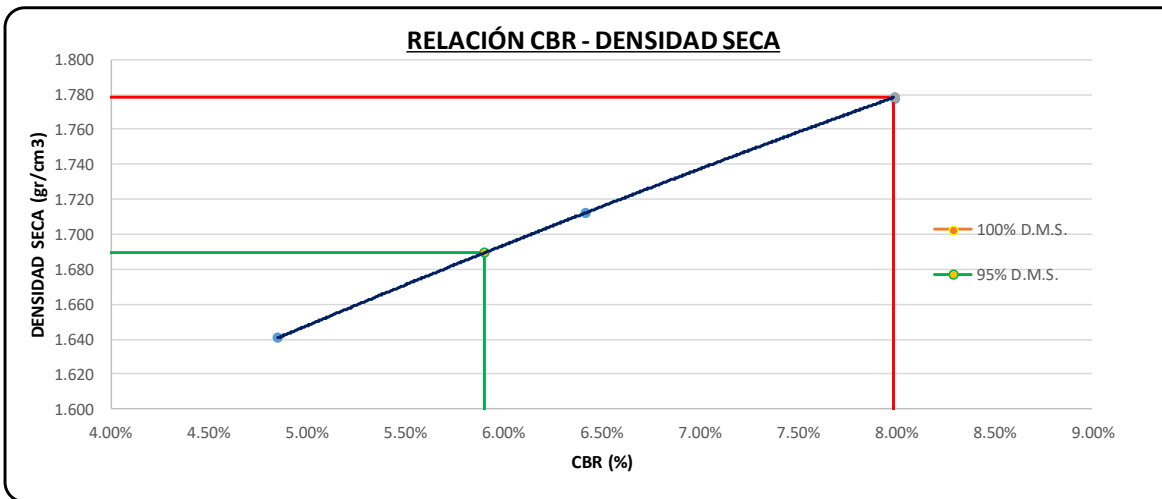
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 02	<b>Dosificación</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (1)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'13.00"; 70°5'56.30"	<b>Fecha</b> : 25/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1"** : 4.85%

**CBR 0.1"** : 6.42%

**CBR 0.1"** : 7.99%



**CBR 01" AL 100%**

**1.778 gr/cm3**

**CBR: 7.99%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.689 gr/cm3**

**CBR: 5.90%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E- 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

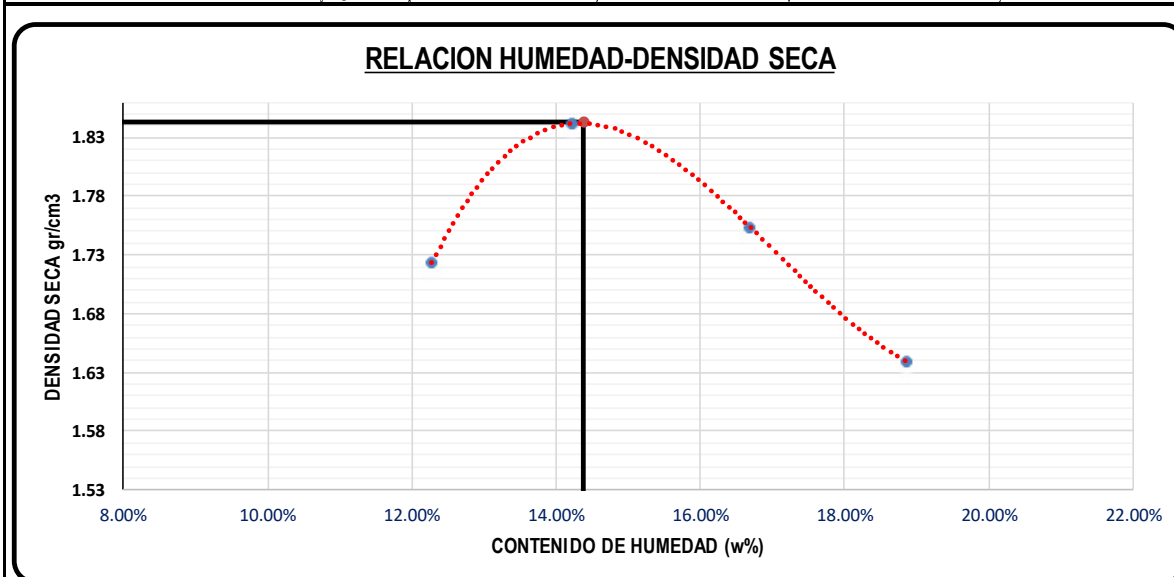
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosific.</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 22/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	<b>Diámetro molde</b>	4"	6"		<b>N° de capas</b>	5	
	<b>Método</b>	A	B	C	<b>N° de golpes</b>	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	3899	3899	3899	3899
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo humedo + molde	gr	5697	5854	5801	5710
Peso del suelo humedo	gr	1798	1955	1902	1811
Densidad de suelo humedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.93	2.10	2.05	1.95

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-029	T-020	T-017	T-008	T-036	T-037	T-016	T-039
N° de tara									
Peso de tara	gr	20.82	20.81	16.24	16.26	16.49	16.40	16.76	15.85
Peso de tara + suelo húmedo	gr	68.64	64.97	50.23	51.18	54.98	58.73	59.89	60.01
Peso de tara + suelo seco	gr	63.39	60.16	46.04	46.79	49.48	52.67	53.01	53.04
Peso del agua	gr	5.25	4.81	4.19	4.39	5.50	6.06	6.88	6.97
Peso del suelo seco	gr	42.57	39.35	29.80	30.53	32.99	36.27	36.25	37.19
Contenido de humedad	%	12.33%	12.22%	14.06%	14.38%	16.67%	16.71%	18.98%	18.74%
Promedio de humedad	%	12.28%		14.22%		16.69%		18.86%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.72		1.84		1.75		1.64	



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.843 gr/cm<sup>3</sup>  
**HUMEDAD OPTIMA:** 14.38%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosificación</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 28/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-06		CBR-04		CBR-01	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm3	2141.21		2123.06		2169.48	
Peso del molde	gr	8499		7486		7179	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	12625	12679	11761	11793	11752	11799
Peso del suelo húmedo	gr	4126	4180	4275	4307	4573	4620
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	1.93	1.95	2.01	2.03	2.11	2.13

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
N° de tara		T-002	T-020	T-018	T-028	T-008	T-023
Peso de tara	gr	23.60	20.80	16.51	20.79	16.25	16.20
Peso de tara + suelo húmedo	gr	74.15	72.95	57.17	67.75	58.48	66.63
Peso de tara + suelo seco	gr	67.71	66.31	52.02	61.81	53.17	60.29
Peso del agua	gr	6.44	6.64	5.15	5.94	5.31	6.34
Peso del suelo seco	gr	44.11	45.51	35.51	41.02	36.92	44.09
Contenido de humedad	%	14.60%	14.59%	14.50%	14.48%	14.38%	14.38%
Promedio de humedad	%	14.60%		14.49%		14.38%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.682		1.759		1.843	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
28/10/2019	5:00 p.m.	0	0.059	0.000	0.436	0.000	0.370	0.000
29/10/2019	5:00 p.m.	24	0.126	1.442	0.494	1.259	0.407	0.796
30/10/2019	5:00 p.m.	48	0.148	1.916	0.512	1.650	0.424	1.162
31/10/2019	5:00 p.m.	72	0.166	2.303	0.534	2.128	0.445	1.614

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estatica	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		24.00	1.23	33.00	1.70	36.00	1.85
1.27	1:00		42.50	2.19	54.50	2.80	64.50	3.32
1.91	1:30		57.00	2.93	74.00	3.81	89.00	4.58
2.54	2:00		66.50	3.42	88.50	4.55	108.00	5.56
3.81	3:00		82.00	4.22	126.50	6.51	152.50	7.84
5.08	4:00		92.50	4.76	165.00	8.49	187.00	9.62
6.35	5:00		103.00	5.30	198.00	10.18	223.00	11.47
7.62	6:00		113.00	5.81	225.00	11.57	248.00	12.76
8.89	7:00		123.00	6.33	251.50	12.93	274.50	14.12
10.16	8:00		135.50	6.97	271.00	13.94	296.00	15.23



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

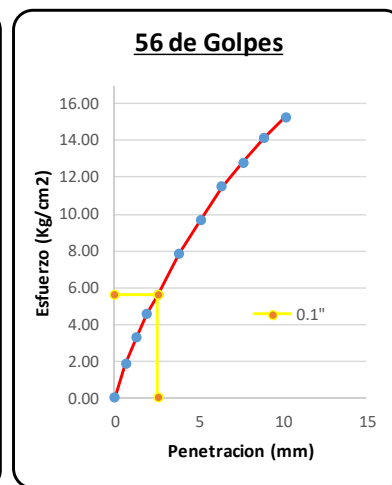
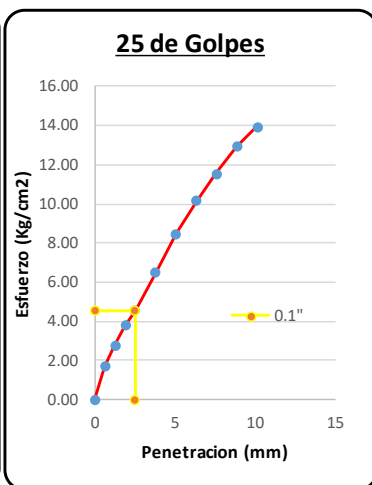
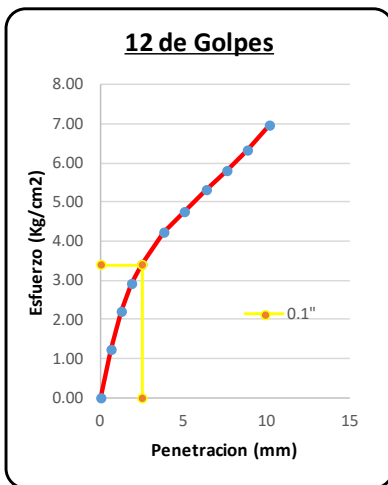
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

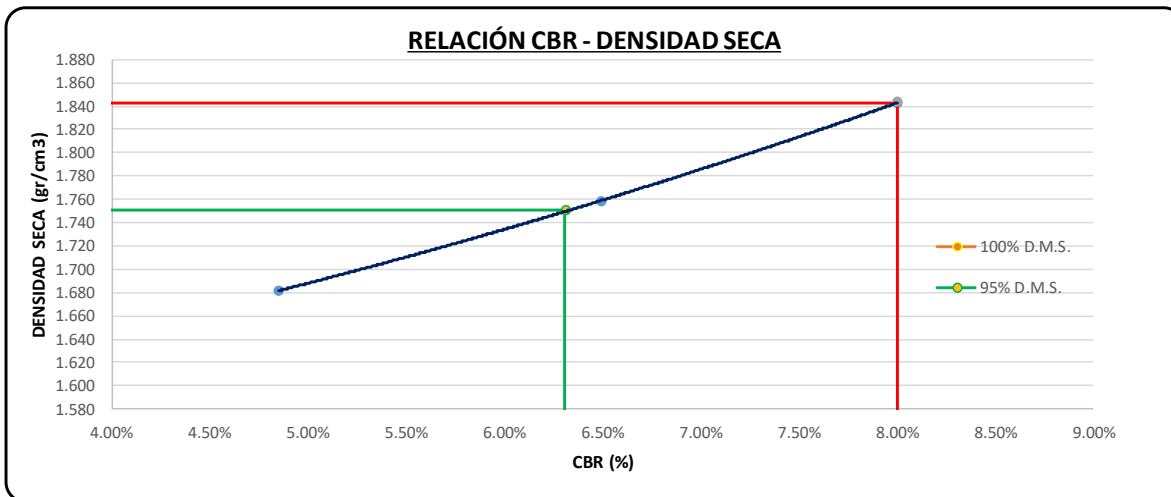
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosificación</b> : 1% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 28/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



CBR 0.1" : 4.85%

CBR 0.1" : 6.49%

CBR 0.1" : 8.00%



CBR 01" AL 100 %  
 CBR 01" AL 95% M.D.S.

1.843 gr/cm<sup>3</sup>  
 1.751 gr/cm<sup>3</sup>

CBR: 8.00%  
 CBR: 6.31%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

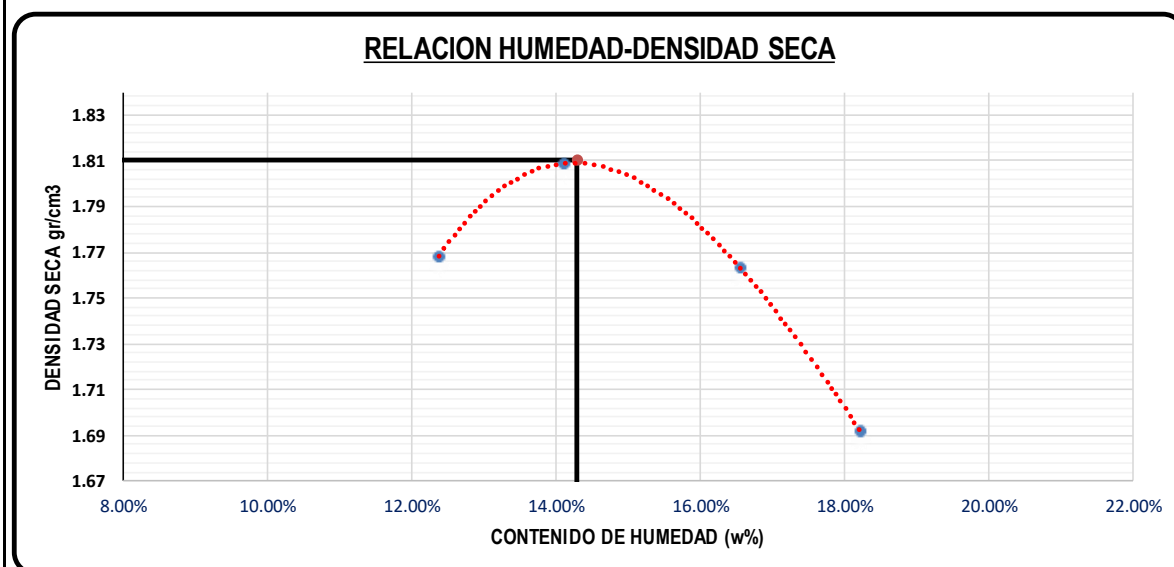
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosific.</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 22/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	3899	3899	3899	3899
Volumen del molde	cm3	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	5746	5817	5809	5758
Peso del suelo húmedo	gr	1847	1918	1910	1859
Densidad de suelo húmedo	gr/cm3	1.99	2.06	2.06	2.00

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-016	T-013	T-044	T-047	T-017	T-036	T-021	T-011
N° de tara									
Peso de tara	gr	16.77	16.08	28.15	28.55	16.28	16.49	24.22	22.42
Peso de tara + suelo húmedo	gr	56.40	55.54	77.90	71.80	58.86	60.00	72.14	73.98
Peso de tara + suelo seco	gr	52.07	51.16	71.76	66.45	52.81	53.83	64.78	66.01
Peso del agua	gr	4.33	4.38	6.14	5.35	6.05	6.17	7.36	7.97
Peso del suelo seco	gr	35.30	35.08	43.61	37.90	36.53	37.34	40.56	43.59
Contenido de humedad	%	12.27%	12.49%	14.08%	14.12%	16.56%	16.52%	18.15%	18.28%
Promedio de humedad	%	12.38%		14.10%		16.54%		18.21%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.77		1.81		1.76		1.69	



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.810 gr/cm3  
**HUMEDAD OPTIMA:** 14.28%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosificación</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 28/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-07		CBR-09		CBR-02	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm3	2141.21		2132.70		2104.92	
Peso del molde	gr	8744		7811		7641	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	12742	12781	12007	12098	11995	12035
Peso del suelo húmedo	gr	3998	4037	4196	4287	4354	4394
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	1.87	1.89	1.97	2.01	2.07	2.09

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
N° de tara		T-014	T-006	T-010	T-035	T-027	T-003
Peso de tara	gr	16.62	23.17	17.25	16.67	16.65	16.40
Peso de tara + suelo húmedo	gr	57.49	72.84	63.66	55.60	57.76	63.52
Peso de tara + suelo seco	gr	52.32	66.56	57.83	50.71	52.62	57.64
Peso del agua	gr	5.17	6.28	5.83	4.89	5.14	5.88
Peso del suelo seco	gr	35.7	43.39	40.58	34.04	35.97	41.24
Contenido de humedad	%	14.48%	14.47%	14.37%	14.37%	14.29%	14.26%
Promedio de humedad	%	14.48%		14.37%		14.27%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.631		1.720		1.810	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
28/10/2019	5:00 p.m.	0	0.124	0.000	0.426	0.000	0.065	0.000
29/10/2019	5:00 p.m.	24	0.195	1.528	0.479	1.161	0.112	1.029
30/10/2019	5:00 p.m.	48	0.220	2.066	0.497	1.555	0.131	1.445
31/10/2019	5:00 p.m.	72	0.239	2.475	0.511	1.861	0.145	1.752

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		25.00	1.29	34.50	1.77	37.00	1.90
1.27	1:00		42.50	2.19	55.00	2.83	68.50	3.52
1.91	1:30		56.50	2.91	72.50	3.73	90.00	4.63
2.54	2:00		68.50	3.52	89.00	4.58	114.50	5.89
3.81	3:00		82.00	4.22	131.00	6.74	152.00	7.82
5.08	4:00		95.50	4.91	166.00	8.54	189.50	9.75
6.35	5:00		108.00	5.55	195.00	10.03	220.00	11.32
7.62	6:00		121.00	6.22	218.50	11.24	245.00	12.60
8.89	7:00		130.50	6.71	241.50	12.42	269.50	13.86
10.16	8:00		143.00	7.35	278.00	14.30	302.00	15.53





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

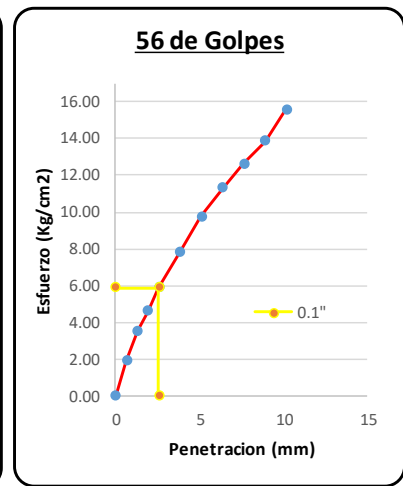
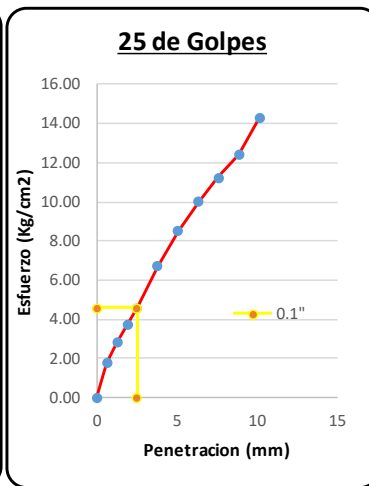
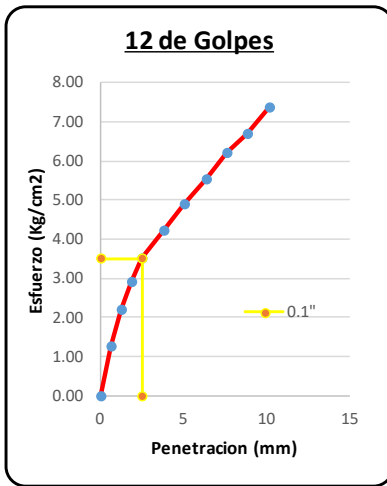
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

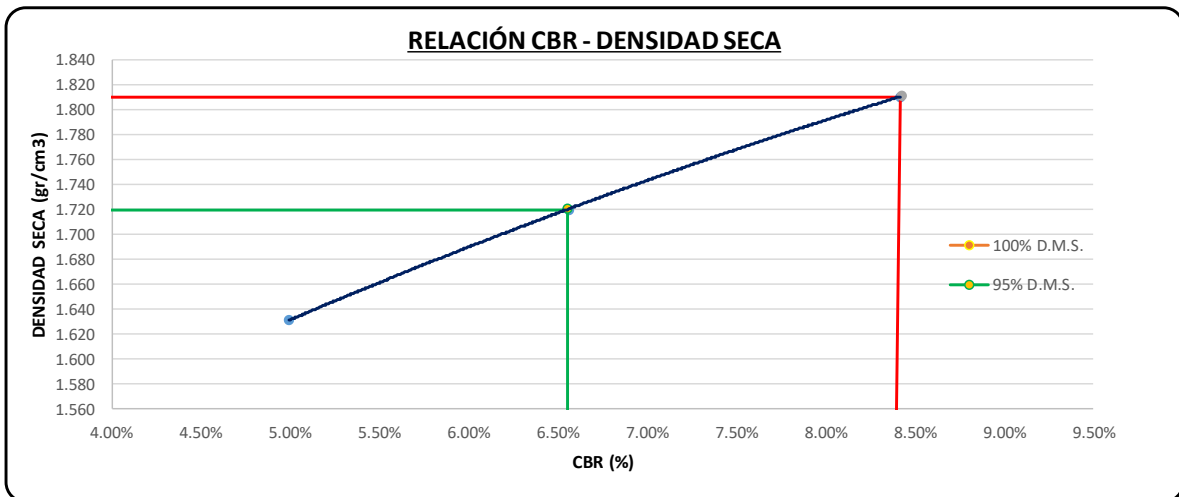
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosificación</b> : 3% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 28/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1"** : 4.99%

**CBR 0.1"** : 6.56%

**CBR 0.1"** : 8.42%



**CBR 01" AL 100 %**

**1.810 gr/cm3**

**CBR: 8.42%**

**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.720 gr/cm3**

**CBR: 6.55%**



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**PROCTOR MODIFICADO**

(MTC E - 115; ASTM D - 1557)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

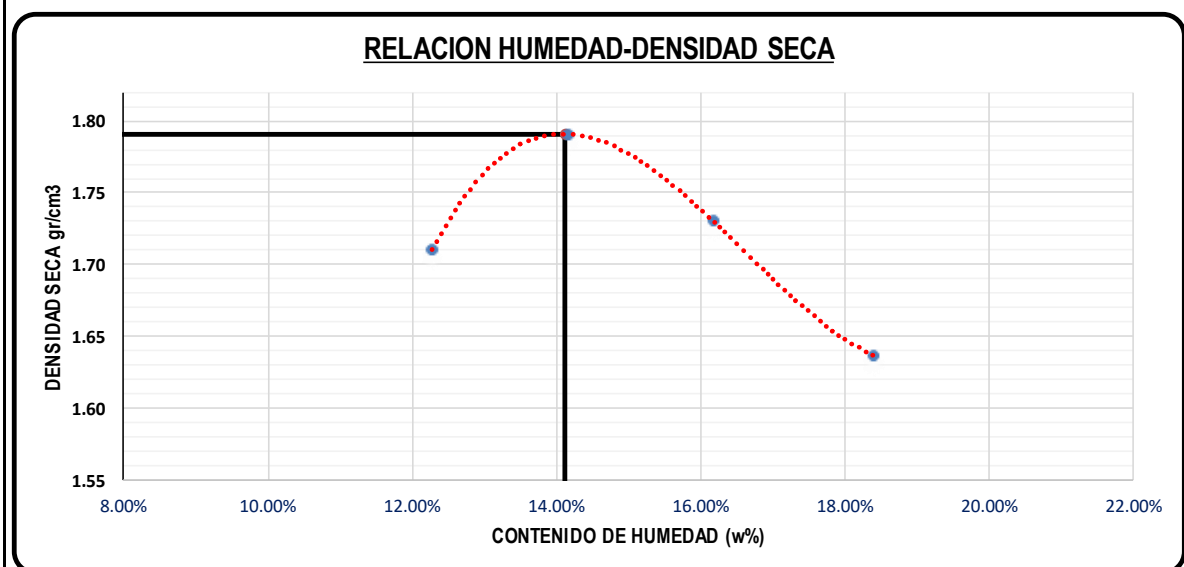
**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosific.</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 22/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

<b>Molde N° 01</b>	Diámetro molde	4"	6"		N° de capas	5	
	Método	A	B	C	N° de golpes	25	Golpes

DESCRIPCION	CONTROL DE DENSIDAD				
		1	2	3	4
Ensayo N°					
Peso del molde	gr	3899	3899	3899	3899
Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	929.37	929.37	929.37	929.37
Peso del suelo húmedo + molde	gr	5684	5799	5767	5700
Peso del suelo húmedo	gr	1785	1900	1868	1801
Densidad de suelo húmedo	gr/cm <sup>3</sup>	1.92	2.04	2.01	1.94

DESCRIPCION	CONTROL DE HUMEDAD								
		T-028	T-010	T-039	T-035	T-005	T-008	T-044	T-047
N° de tara									
Peso de tara	gr	20.78	17.25	15.83	16.67	18.67	16.26	28.15	28.56
Peso de tara + suelo húmedo	gr	63.23	66.89	53.77	56.79	69.99	54.51	69.85	70.01
Peso de tara + suelo seco	gr	58.56	61.49	49.09	51.79	62.78	49.23	63.45	63.49
Peso del agua	gr	4.67	5.40	4.68	5.00	7.21	5.28	6.40	6.52
Peso del suelo seco	gr	37.78	44.24	33.26	35.12	44.11	32.97	35.30	34.93
Contenido de humedad	%	12.36%	12.21%	14.07%	14.24%	16.35%	16.01%	18.13%	18.67%
Promedio de humedad	%	12.28%		14.15%		16.18%		18.40%	
Densidad del suelo seco	gr/cm <sup>3</sup>	1.71		1.79		1.73		1.64	



**MAXIMA DENSIDAD SECA:** 1.791 gr/cm<sup>3</sup>  
**HUMEDAD OPTIMA:** 14.13%



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosificación</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 28/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE DENSIDAD					
Número del molde		CBR-03		CBR-08		CBR-05	
Numero por capas		5		5		5	
Golpes por capa		12		25		56	
Volumen de molde	cm3	2169.48		2123.06		2151.09	
Peso del molde	gr	8343		7600		7379	
Condición de la muestra		No saturado	Saturado	No saturado	Saturado	No saturado	Saturado
Peso del material + molde	gr	12498	12543	11805	11853	11779	11837
Peso del suelo húmedo	gr	4155	4200	4205	4253	4400	4458
Densidad del suelo húmedo	gr/cm3	1.92	1.94	1.98	2.00	2.05	2.07

DESCRIPCIÓN		CONTROL DE HUMEDAD					
N° de tara		T-004	T-034	T-021	T-001	T-026	T-015
Peso de tara	gr	16.36	16.52	24.26	24.01	16.28	16.16
Peso de tara + suelo húmedo	gr	55.01	48.93	63.64	64.46	58.11	55.10
Peso de tara + suelo seco	gr	50.17	44.88	58.74	59.43	52.93	50.28
Peso del agua	gr	4.84	4.05	4.90	5.03	5.18	4.82
Peso del suelo seco	gr	33.81	28.36	34.48	35.42	36.65	34.12
Contenido de humedad	%	14.32%	14.28%	14.21%	14.20%	14.13%	14.13%
Promedio de humedad	%	14.30%		14.21%		14.13%	
Densidad del suelo seco	gr/cm3	1.676		1.734		1.792	

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA EXPANSIÓN					
Altura de la muestra								
Fecha	Hora	Tiempo	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)	Lectura (")	Expansion (%)
28/10/2019	5:00 p.m.	0	0.717	0.000	0.020	0.000	0.349	0.000
29/10/2019	5:00 p.m.	24	0.782	1.399	0.084	1.389	0.405	1.216
30/10/2019	5:00 p.m.	48	0.815	2.109	0.105	1.845	0.426	1.672
31/10/2019	5:00 p.m.	72	0.851	2.884	0.129	2.366	0.447	2.128

DESCRIPCIÓN			CONTROL DE LA PENETRACIÓN					
Penetración (mm)	Tiempo (min)	Carga Estática	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)	Lectura (kg)	Esfuerzo (Kg/cm2)
0	0:00		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0:30		21.50	1.11	27.00	1.39	31.50	1.62
1.27	1:00		36.50	1.88	47.50	2.44	61.00	3.14
1.91	1:30		51.50	2.65	66.00	3.39	85.00	4.37
2.54	2:00		64.00	3.29	86.00	4.42	106.00	5.45
3.81	3:00		82.00	4.22	123.50	6.35	147.50	7.59
5.08	4:00		96.00	4.94	156.50	8.05	181.50	9.34
6.35	5:00		108.00	5.55	187.00	9.62	212.50	10.93
7.62	6:00		117.00	6.02	210.50	10.83	239.50	12.32
8.89	7:00		126.00	6.48	235.00	12.09	262.50	13.50



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**



E. P. INGENIERIA CIVIL

**LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS**

PROYECTO DE TESIS

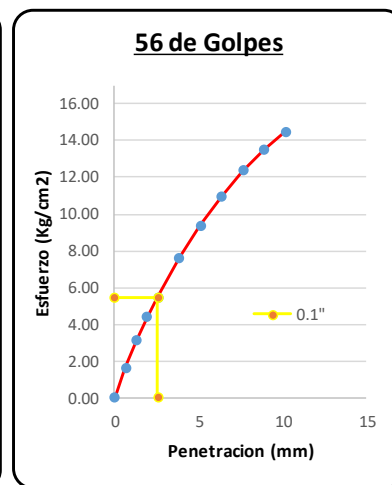
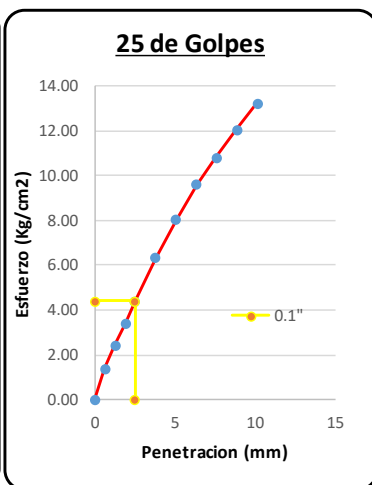
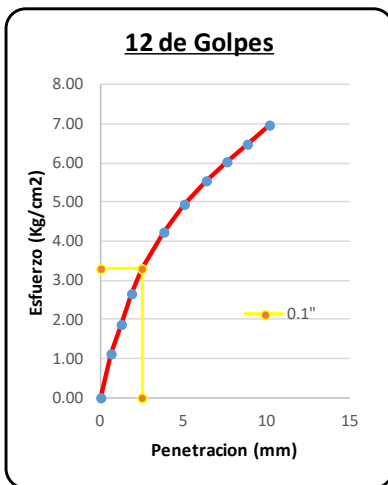
**CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

(MTC E - 132; ASTM D - 1883)

**PROYECTO** : Estabilización de suelos arcillos mediante el uso de polímeros reciclados PET a nivel de la subrasante de la carretera Juliaca - Caminaca, 2019"

**SOLICITANTE** : Cliver Capia Mamani

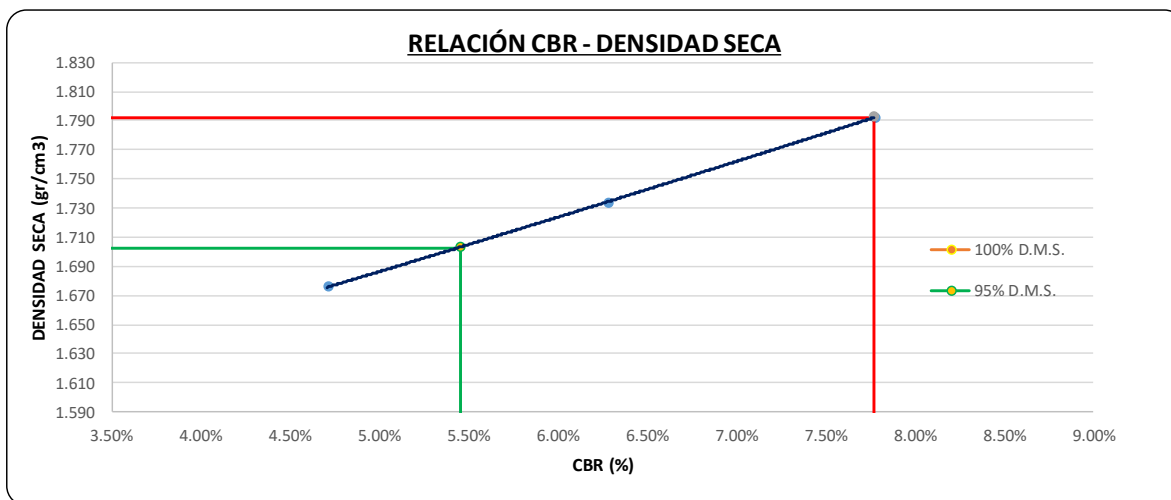
<b>Progresiva</b> : Km 2 + 500	<b>Calicata</b> : C - 03	<b>Dosificación</b> : 5% Polímero	<b>Clasificación SUCS</b> : CL
<b>Sondaje</b> : Arcilla	<b>Prof.</b> : 1.50 m.	<b>Estrato</b> : E - 03	<b>Clasificación AASHTO</b> : A - 6 (0)
<b>Ubicación</b> : Coordenadas: 15°26'4.80"; 70°5'55.60"	<b>Fecha</b> : 28/10/19	<b>Ing. Responsable</b> : Yesenia Apaza Pinto	



**CBR 0.1" :** 4.71%

**CBR 0.1" :** 6.28%

**CBR 0.1" :** 7.77%



**CBR 01" AL 100 %**  
**CBR 01" AL 95% M.D.S.**

**1.792 gr/cm3**  
**1.703 gr/cm3**

**CBR: 7.77%**  
**CBR: 5.45%**

## Anexo F. Estudio de tráfico.

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN		FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA		E. P. INGENIERIA CIVIL																			
AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO																							
TRAMO DE LA VIA		ENTRADA E ← SALIDA S →		ESTACION																			
SENTIDO				CODIGO DE LA ESTACION																			
UBICACIÓN				DIA Y FECHA																			
				domingo 3 11 2019																			
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	PICKUP	PANEL	RURAL Combi	MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL		
DIAGRA. VEH.																							
00-01	E																						0
	S																						0
01-02	E																						0
	S																						0
02-03	E																						0
	S																						0
03-04	E																						0
	S																						0
04-05	E																						0
	S																						0
05-06	E																						0
	S																						0
06-07	E	10	15	15	12	19	18				2												91
	S	9	13	14	15	13	16																80
07-08	E	12	14	14	12	18	21		1														92
	S	12	12	16	11	15	15			1	2												84
08-09	E	2	2	4	6	6	4																24
	S	1	3	11	3	3	11																32
09-10	E	4	3	6	4	3	9																29
	S	2	3	12	1	6	14																38
10-11	E	8	8	9	5	4	13			2													49
	S	4	6	11	2	6	11																40
11-12	E	10	8	15	3	6	12																54
	S	11	7	21	2	4	15																60
12-13	E	9	5	9	4		6																33
	S	2	4	3	2	5	2		1	1													20
13-14	E	11	9	8	1	1	11				2												43
	S	12	10	2	3	4	11																42
14-15	E	14	10	9	11	13	15			2													74
	S	6	4	3	4	2	10																29
15-16	E	16	11	15	12	14	17				1												86
	S	7	3	4	5	6	12			1													38
16-17	E	18	13	17	17	16	13																94
	S	8	6	6	6	6	13		1														46
17-18	E	9	11	11	5	8	14																58
	S	4	3	5	2	3	12				1												30
18-19	E	4	8	4	4	3	7																30
	S	2	2	2	1	2	8			1	2												20
19-20	E																						0
	S																						0
20-21	E																						0
	S																						0
21-22	E																						0
	S																						0
22-23	E																						0
	S																						0
23-24	E																						0
	S																						0
<b>TOTAL</b>		<b>207</b>	<b>193</b>	<b>246</b>	<b>153</b>	<b>186</b>	<b>310</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1316</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA VIA		ENTRADA		E	←	SALIDA		S	→	ESTACION													
SENTIDO		ENTRADA		E	←	SALIDA		S	→	CODIGO DE LA ESTACION													
UBICACIÓN		ENTRADA		E	←	SALIDA		S	→	DIA Y FECHA													
										lunes 4 11 2019													
HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
DIAGRA. VEH.																							
00-01	E																					0	
00-01	S																						0
01-02	E																						0
01-02	S																						0
02-03	E																						0
02-03	S																						0
03-04	E																						0
03-04	S																						0
04-05	E																						0
04-05	S																						0
05-06	E																						0
05-06	S																						0
06-07	E	1	2	2	3	4	2																14
06-07	S	2	2	2	2	2	3			1	1												15
07-08	E	3	5	5	3	5	13																34
07-08	S	6	2	3	1	2	15		1		1												31
08-09	E	2	2	3	5	2	11			2													27
08-09	S	4	2	2	1	3	11																23
09-10	E	1	3	2	2	3	19																30
09-10	S	4	5	7	3	7	12	1															39
10-11	E	1	3	3	3	5	18																33
10-11	S	3	4	9	1	3	11																31
11-12	E	2	3	2	3	1	12			1													24
11-12	S	5	1	6	2	2	12																28
12-13	E	4	2	2	4	3	16			1	1												33
12-13	S	2	3	3	1	3	14																26
13-14	E	3	3	2	2	4	13																27
13-14	S	2	2	2	3	4	11			2													26
14-15	E	2	3	1	3	4	17		1	1													32
14-15	S	3	1	4	2	3	6																19
15-16	E	2	4	3	3	2	7				2												23
15-16	S	1	3	2	2	7	3			1													19
16-17	E	3	5	3	2	3	2																18
16-17	S	2	3	5	2	4	1				2												19
17-18	E	1	1	2	2	3	18			1													28
17-18	S	2	3	2	3	4	11	1															26
18-19	E	1	2	1	1	2	4				1												12
18-19	S	1	3	1	2	3	6			1	1												18
19-20	E																						0
19-20	S																						0
20-21	E																						0
20-21	S																						0
21-22	E																						0
21-22	S																						0
22-23	E																						0
22-23	S																						0
23-24	E																						0
23-24	S																						0
<b>TOTAL</b>		<b>63</b>	<b>72</b>	<b>79</b>	<b>61</b>	<b>88</b>	<b>268</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>11</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>655</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA VIA	
SENTIDO	ENTRADA E ← SALIDA S →
UBICACIÓN	

ESTACION	
CODIGO DE LA ESTACION	
DIA Y FECHA	martes 5 11 2019

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
00-01	E																				0
	S																				0
01-02	E																				0
	S																				0
02-03	E																				0
	S																				0
03-04	E																				0
	S																				0
04-05	E																				0
	S																				0
05-06	E																				0
	S																				0
06-07	E	2	1	2	3	5	2			3	1										19
	S	2	2	2	2	2	1														11
07-08	E	3	5	5	3	5	13			2											36
	S	6	2	2	1	3	14				1										29
08-09	E	2	2	5	5	3	15			1											33
	S	4	2	2	1	2	11	1													23
09-10	E	1	3	1	2	3	20			2											32
	S	4	5	6	3	7	12			1	2										40
10-11	E	1	3	3	3	5	18														33
	S	3	4	11	1	3	11		1	1											35
11-12	E	2	3	2	3	1	12			1											24
	S	5	1	12	2	2	12														34
12-13	E	4	2	2	4	3	16			1	1										33
	S	2	3	1	1	3	14				1										25
13-14	E	3	3	2	2	4	13														27
	S	2	2	1	3	4	11				2										25
14-15	E	2	3	1	3	4	17			1											31
	S	3	1	4	2	3	6				1										20
15-16	E	2	4	3	3	2	7			1	1										23
	S	1	3	2	2	7	3	1													19
16-17	E	3	5	3	2	3	2			1											19
	S	2	3	5	2	4	1														17
17-18	E		1	2	6	3	17														29
	S	2	3	2		4	11														22
18-19	E			1	1	2	4														8
	S		4	1	2	3	5			1	1										17
19-20	E																				0
	S																				0
20-21	E																				0
	S																				0
21-22	E																				0
	S																				0
22-23	E																				0
	S																				0
23-24	E																				0
	S																				0
<b>TOTAL</b>		<b>61</b>	<b>70</b>	<b>83</b>	<b>62</b>	<b>90</b>	<b>268</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>16</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>664</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA VIA	
SENTIDO	ENTRADA E ← SALIDA S →
UBICACIÓN	

ESTACION	
CODIGO DE LA ESTACION	
DIA Y FECHA	miercoles 6 11 2019

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																						
00-01	E																					0
00-01	S																					0
01-02	E																					0
01-02	S																					0
02-03	E																					0
02-03	S																					0
03-04	E																					0
03-04	S																					0
04-05	E																					0
04-05	S																					0
05-06	E																					0
05-06	S																					0
06-07	E	2	1	4	3	5	2			1	1											19
06-07	S	4	1	2	2	4	4				1											18
07-08	E	3	5	5	3	5	13															34
07-08	S	6	2	2	1	3	14			2	1											31
08-09	E	2	2	5	5	3	21															38
08-09	S	4	1	2	1	2	18			1	1											30
09-10	E	2	3	1	2	3	21															32
09-10	S	4	5	6	4	7	17				1											44
10-11	E	1	3	3	3	5	15		1	1												32
10-11	S	8	2	11	1	3	11			1	2											39
11-12	E	2	3	2	3	1	10															21
11-12	S	5	1	12	2	2	12															34
12-13	E	4	2	2	4	3	16			1												32
12-13	S	2	2	1	1	3	14				1											24
13-14	E	3	3	2	2	4	12															26
13-14	S	2	2	1	3	4	12			2												26
14-15	E	2	3	2	3	4	15			1												30
14-15	S	3	1	4	2	3	6				1											20
15-16	E	2	4	3	3	2	7	1		2												24
15-16	S	1	3	2	2	7	3			1												19
16-17	E	3	5	3	2	3	2															18
16-17	S	2	3	5	2	4	1															17
17-18	E		1	2	6	3	17															29
17-18	S	2	3	2		4	19															30
18-19	E	1		1	1	2	4															9
18-19	S	1	2	3	2	3	5			1												17
19-20	E																					0
19-20	S																					0
20-21	E																					0
20-21	S																					0
21-22	E																					0
21-22	S																					0
22-23	E																					0
22-23	S																					0
23-24	E																					0
23-24	S																					0
<b>TOTAL</b>		<b>71</b>	<b>63</b>	<b>88</b>	<b>63</b>	<b>92</b>	<b>291</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>13</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>693</b>





**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA VIA			
SENTIDO	ENTRADA	E ←	SALIDA
UBICACIÓN			

ESTACION				
CODIGO DE LA ESTACION				
DIA Y FECHA	jueves	7	11	2019

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																						
00-01	E																					0
00-01	S																					0
01-02	E																					0
01-02	S																					0
02-03	E																					0
02-03	S																					0
03-04	E																					0
03-04	S																					0
04-05	E																					0
04-05	S																					0
05-06	E																					0
05-06	S																					0
06-07	E	3	1	3	3	2	3				1											16
06-07	S	2	2	4	1	4	2															15
07-08	E	3	5	5	3	5	14															35
07-08	S	4	1	3	1	2	12															23
08-09	E	8	2	5	5	3	22		1													46
08-09	S	1	1	2	1	1	24															30
09-10	E	2	3	1	2	3	21			3	1											36
09-10	S	4	2	4	4	12	17															43
10-11	E	1	3	3	3	5	16			2	3											36
10-11	S	8	2	11	1	3	15															40
11-12	E	1	2	2	3	1	10			1	1											21
11-12	S	6	2	12	2	2	12				1											37
12-13	E	4	2	2	4	3	16			1												32
12-13	S	2	2	1	1	3	14															23
13-14	E	3	3	2	2	4	12				2											28
13-14	S	2	2	1	3	4	12			2												26
14-15	E	2	3	2	3	4	14			1												29
14-15	S	3	3	4	2	3	6															21
15-16	E	2	4	3	3	2	7		1	2												24
15-16	S	1	3	2	1	7	3															17
16-17	E	3	5	3	2	3	2			1	1											20
16-17	S	2	3	4	2	4	1															16
17-18	E	5	2	4	6	3	17		1													38
17-18	S	2	3	2	3	4	19			1												34
18-19	E	2		1		2	4															9
18-19	S		2	3	2	3	5			2												17
19-20	E																					0
19-20	S																					0
20-21	E																					0
20-21	S																					0
21-22	E																					0
21-22	S																					0
22-23	E																					0
22-23	S																					0
23-24	E																					0
23-24	S																					0
<b>TOTAL</b>		<b>76</b>	<b>63</b>	<b>89</b>	<b>63</b>	<b>92</b>	<b>300</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>712</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL



**AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO**

TRAMO DE LA VIA	
SENTIDO	ENTRADA E ← SALIDA S →
UBICACIÓN	

ESTACION	
CODIGO DE LA ESTACION	
DIA Y FECHA	viernes 8 11 2019

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																						
00-01	E																					0
00-01	S																					0
01-02	E																					0
01-02	S																					0
02-03	E																					0
02-03	S																					0
03-04	E																					0
03-04	S																					0
04-05	E																					0
04-05	S																					0
05-06	E																					0
05-06	S																					0
06-07	E	2	1	2	2	1	2															10
06-07	S	4	1	1		3	1				1											11
07-08	E	5	3	5	3	5	15			1												37
07-08	S	9	2	6	4	3	11		1		1											37
08-09	E	6	4	4	3	6	21															44
08-09	S	8	3	4	3	4	22				1											45
09-10	E	4		5	5	6	19			1												40
09-10	S	11	3	18	1	9	17															59
10-11	E	3		3	3	5	16	1														31
10-11	S	9	2	15	2	5	13			1												47
11-12	E	2	1	1	2	3	15			1	1											26
11-12	S	8	1	11	1	3	11															35
12-13	E	4	2	3	5	4	18			1												37
12-13	S	3	1	3	2	2	15															26
13-14	E	2	3	3	2	3	12															25
13-14	S	1	1	1	1	4	11			1	2											22
14-15	E	1	2	2	3	3	14			1												26
14-15	S	2	3	1	4	3	9				1											23
15-16	E	2	4	3	3	2	7															21
15-16	S	1	3	2	1	2	6				1											16
16-17	E	3	5	3	5	3	2			1												22
16-17	S	2	3	6	2	4	1			2												20
17-18	E	5	2	4	6	3	17															37
17-18	S	4	3	4	3	4	19															37
18-19	E	1		1	1	2	4															9
18-19	S	1	2	3	2	1	5				2											16
19-20	E																					0
19-20	S																					0
20-21	E																					0
20-21	S																					0
21-22	E																					0
21-22	S																					0
22-23	E																					0
22-23	S																					0
23-24	E																					0
23-24	S																					0
<b>TOTAL</b>		<b>103</b>	<b>55</b>	<b>114</b>	<b>69</b>	<b>93</b>	<b>303</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>759</b>



**UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN**  
**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**  
 E. P. INGENIERIA CIVIL














**AFORO VEHICULAR PARA ESTUDIO DE TRAFICO**











TRAMO DE LA VIA	
SENTIDO	ENTRADA E ← SALIDA S →
UBICACIÓN	

ESTACION	
CODIGO DE LA ESTACION	
DIA Y FECHA	sabado 9 11 2019

HORA	SENTIDO	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
				PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	>=3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
DIAGRA. VEH.																						
00-01	E																					0
00-01	S																					0
01-02	E																					0
01-02	S																					0
02-03	E																					0
02-03	S																					0
03-04	E																					0
03-04	S																					0
04-05	E																					0
04-05	S																					0
05-06	E																					0
05-06	S																					0
06-07	E	11	13	14	21	21	17			1	1											99
06-07	S	9	13	14	15	13	16															80
07-08	E	12	14	14	12	18	21				1											92
07-08	S	12	12	16	11	15	15															81
08-09	E	2	2	8	6	6	4			2												30
08-09	S	1	3	6	3	3	11				1											28
09-10	E	4	3	9	4	3	9			1												33
09-10	S	2	3	12	1	6	14	1		1												40
10-11	E	8	8	9	5	4	13															47
10-11	S	4	6	11	2	6	11			1	1											42
11-12	E	10	8	15	3	6	12															54
11-12	S	11	7	21	2	4	15															60
12-13	E	9	5	9	1	2	6			1												33
12-13	S	2	4	3	2	5	2				1											19
13-14	E	11	9	8	1	1	11															41
13-14	S	11	10	2	3	4	11															41
14-15	E	13	10	9	11	13	15															71
14-15	S	4	4	3	4	2	10															27
15-16	E	15	11	15	12	14	17			1	1											86
15-16	S	8	3	4	5	6	12															38
16-17	E	19	13	17	17	16	13			1	1											97
16-17	S	7	6	6	6	6	13					1										45
17-18	E	6	11	11	5	8	14															55
17-18	S	5	3	5	2	3	12															30
18-19	E	2	8	4	4	3	4															25
18-19	S	1	2	2	3	4	3			1												16
19-20	E																					0
19-20	S																					0
20-21	E																					0
20-21	S																					0
21-22	E																					0
21-22	S																					0
22-23	E																					0
22-23	S																					0
23-24	E																					0
23-24	S																					0
<b>TOTAL</b>		<b>199</b>	<b>191</b>	<b>247</b>	<b>161</b>	<b>192</b>	<b>301</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1310</b>

vehiculo		domingo	lunes	martes	miercoles	jueves	viernes	sabado	total	%
auto		207	63	61	71	76	103	199	780	12.77%
station wagon		193	72	70	63	63	55	191	707	11.57%
pick up		246	79	83	88	89	114	247	946	15.49%
panel		153	61	62	63	63	69	161	632	10.35%
combi rural		186	88	90	92	92	93	192	833	13.64%
Micro		310	268	268	291	300	303	301	2041	33.41%
bus 2E		0	2	2	1	0	1	1	7	0.11%
bus 3E		3	2	1	1	2	1	1	11	0.18%
camion 2E		8	11	16	13	17	10	10	85	1.39%
camion 3E		10	9	11	10	10	10	7	67	1.10%
<b>TOTAL</b>		1316	655	664	693	712	759	1310	6109	100.00%

vehiculo		IMDA
auto		135
station wagon		123
pick up		164
panel		110
combi rural		144
Micro		354
bus 2E		1
bus 3E		2
camion 2E		15
camion 3E		12
<b>TOTAL</b>		1059

Tipo de vehículo		Cargas por ejes en Tn				IMDa 2019	FD				Esal	
		Eje delantero	Ejes posteriores				Eje delantero	Ejes posteriores				Total
			Simple	Tandem	Tridem			Simple	Tandem	Tridem		
auto		1.5	1.5			135	0.003	0.003			0.005	6.81E+03
station wagon		1.75	1.75			123	0.005	0.005			0.010	1.14E+04
pick up		2.5	2.5			164	0.021	0.021			0.041	6.38E+04
panel		2.5	2.5			110	0.021	0.021			0.041	4.26E+04
combi rural		3.5	3.5			144	0.079	0.079			0.158	2.16E+05
Micro		5	5			354	0.329	0.329			0.659	2.20E+06
bus 2E		7	11			1	1.265	3.238			4.504	5.16E+04
bus 3E		7		16		2	1.265		1.366		2.631	4.74E+04
camion 2E		7	11			15	1.265	3.238			4.504	6.27E+05
camion 3E		7		18		12	1.265		2.019		3.285	3.60E+05
											Total	3.63E+06