



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Estabilización de la subrasante en suelos arenosos con adición de  
caucho y cal, AA.HH. San Martín de Porras, Ica 2021

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**AUTORES:**

Munaylla Bautista, Margot

<https://orcid.org/0000-0001-7829-166X>

Yataco Villa, Eder Jesús

<https://orcid.org/0000-0003-1193-3415>

**ASESOR:**

Mg. Villegas Martínez, Carlos Alberto

<https://orcid.org/0000-0002-4926-8556>

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

**LIMA - PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

El presente trabajo está dedicado a Dios, a mis padres e hijos por haberme apoyado en toda la trayectoria de mis estudios, que han sido motor y motivo para poder concluir satisfactoriamente mi carrera profesional y a la vez acompañándome en el trayecto del mismo.

**Margot Munaylla Bautista**

En primer lugar, quiero dedicar la siguiente investigación a Dios por haberme bendecido con salud y trabajo. A mis padres y a mi pareja, quienes con mucho esfuerzo me han apoyado incondicionalmente, especialmente dedicarlo a mis hijos por ser la principal razón de mis esfuerzos diarios.

**Eder Jesús Yataco Villa**

## **Agradecimiento**

En primer lugar, a Dios por darme la bendición de culminar mis estudios, a mi madre Teófila Bautista Alarcón por darme su apoyo incondicional en todo momento de mi carrera y formarme con valores y principios morales, a mi pequeño hijo Jean Franco por ser uno de los principales motivos por el cual me esfuerzo a diario.

**Margot Munaylla Bautista**

Agradecer a Dios, a mis padres Víctor e Isabel quienes con su esfuerzo diario pudieron formar un profesional con carácter, perseverancia, valores y principios morales, a mis abuelos Rufino y María Luisa quienes inculcaron en mí la vocación de la ingeniería y que desde el cielo brindan su protección, a mis hijos Dante y Jean Franco quienes son el motivo por el cual se continúa mejorando cada día más.

**Eder Jesús Yataco Villa**

## Índice de contenidos

Carátula .....	i
Dedicatoria .....	ii
Agradecimiento .....	iii
Índice de contenidos .....	iv
Índice de tablas .....	v
Índice de figuras .....	viii
Resumen .....	x
Abstract .....	xi
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
<b>III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>33</b>
3.1. Tipo y diseño de investigación .....	33
3.2. Variables y operacionalización .....	34
3.3. Población, Muestra y Muestreo .....	34
3.4. Técnicas e Instrumentos de recolección de datos .....	35
3.5. Procedimientos .....	37
3.6. Métodos de Análisis de datos .....	38
3.7. Aspectos éticos .....	38
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>39</b>
<b>V. DISCUSIÓN .....</b>	<b>78</b>
<b>VI. CONCLUSIONES .....</b>	<b>86</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>88</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>89</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>



## Índice de tablas

Tabla 1. Propiedades de la cal.....	10
Tabla 2. Propiedades del suelo a estabilizar con cal.....	13
Tabla 3. Tamaño de tamices de malla cuadrada.....	20
Tabla 4. Clasificación de suelos según índice de plasticidad.....	23
Tabla 5. Otros símbolos utilizados para la clasificación de suelos.....	24
Tabla 6. Criterio para la asignación de símbolos de grupo.....	25
Tabla 7. Criterio para la clasificación de suelos (35% o menos del total de la muestra que pasa la malla #200) .....	27
Tabla 8. Criterio para la clasificación de suelos (más de 35% del total de la muestra que pasa la malla #200) .....	27
Tabla 9. Clasificación de subrasante de acuerdo al índice de grupo.....	29
Tabla 10. Correlación de tipos de suelo AASHTO – SUCS.....	30
Tabla 11. Categorías de subrasante.....	32
Tabla 12. Análisis Granulométrico de la Calicata C-01.....	42
Tabla 13. Coeficientes obtenidos de la Calicata C-01.....	44
Tabla 14. Clasificación de C-01 según SUCS y AASHTO.....	44
Tabla 15. Contenido de Humedad Calicata C-01.....	44
Tabla 16. Resultados de granulometría de Calicata C-01.....	44
Tabla 17. Análisis Granulométrico de la Calicata C- 02.....	45
Tabla 18. Coeficientes obtenidos de la Calicata C-02.....	46
Tabla 19. Clasificación de C-02 según SUCS y AASHTO.....	46
Tabla 20. Contenido de Humedad Calicata C-02.....	47
Tabla 21. Resultados de granulometría de Calicata C-02.....	47
Tabla 22. Análisis Granulométrico de la Calicata C-03.....	47
Tabla 23. Coeficientes obtenidos de la Calicata C-03.....	49
Tabla 24. Clasificación de C-03 según SUCS y AASHTO.....	49
Tabla 25. Contenido de Humedad Calicata C-03.....	49
Tabla 26. Resultados de granulometría de Calicata C-03.....	50
Tabla 27. Análisis Granulométrico de la C-04.....	50
Tabla 28. Clasificación de C-04 según SUCS y AASHTO.....	51
Tabla 29. Contenido de Humedad Calicata C-04.....	51

Tabla 30. Resultados de granulometría de Calicata C-04.....	52
Tabla 31. Resultados de límites de consistencia.....	53
Tabla 32. Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-01, C-02 (SUELO NATURAL) .....	54
Tabla 33. Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-03, C-04 (SUELO NATURAL) .....	55
Tabla 34. Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% DE CAL) .....	56
Tabla 35. Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% DE CAUCHO) .....	58
Tabla 36. Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-03, C-04 (SUELO NATURAL+10% DE CAL) .....	59
Tabla 37. Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-01, C-02 (SUELO NATURAL+10% DE CAUCHO) .....	60
Tabla 38. Comparación de resultados de Proctor modificado.....	60
Tabla 39. Compactación de especímenes del C-1, C-2 a 56, 25 y 12 golpes.....	62
Tabla 40. Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-1, C-2.....	63
Tabla 41. Compactación de especímenes del C-1, C-2 adicionando 8% de caucho a 56, 25 y 12 golpes.....	64
Tabla 42. Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-1, C-2 + 8% de caucho.....	65
Tabla 43. Compactación de especímenes del C-1, C-2 adicionando 10% de caucho a 56, 25 y 12 golpes.....	66
Tabla 44. Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-1, C-2 + 8% de caucho.....	67
Tabla 45. Resumen de resultados obtenidos de la C-1, C-2 al ir adicionando caucho.....	68
Tabla 46. Compactación de especímenes del C-3, C-4 a 56, 25 y 12 golpes .....	69
Tabla 47. Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-3, C-4.....	70
Tabla 48. Compactación de especímenes del C-3, C-4 adicionando 8% de cal a 56, 25 y 12 golpes.....	71
Tabla 49. Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-3, C-4 + 8% de cal...72	
Tabla 50. Compactación de especímenes del C-3, C-4 adicionando 10% de cal a 56, 25 y 12 golpes.....	73

Tabla 51. Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-3, C-4 + 10% de cal.....	74
Tabla 52. Resumen de resultados obtenidos de la C-3, C-4 al ir adicionando cal..	74
Tabla 53. Comparación de resultados de ensayos de CBR adicionando caucho y cal.....	75

## Índice de figuras

Figura 1. Escarificación de subrasante.....	13
Figura 2. Riego de subrasante.....	14
Figura 3. Mezclado y extendido de la cal.....	14
Figura 4. Compactado de la subrasante.....	15
Figura 5. Composición de caucho reciclado.....	16
Figura 6. Caucho granular reciclado.....	17
Figura 7. Procedimiento de reciclado de caucho.....	19
Figura 8. Juego de tamices .....	21
Figura 9. Límites de atterberg.....	21
Figura 10. Copa de Casagrande.....	22
Figura 11. Barritas formadas para determinar la plasticidad.....	23
Figura 12. Gráfica de plasticidad.....	26
Figura 13. Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.....	28
Figura 14. Equipo utilizado para la realización del ensayo de Proctor modificado.....	31
Figura 15. Equipo para ensayo CBR.....	32
Figura 16. Mapa de Provincia de Ica.....	39
Figura 17. Ubicación del AA.HH. San Martín de Porras.....	40
Figura 18. Subrasante del AA.HH. San Martín de Porras.....	41
Figura 19. Subrasante arenosa del AA.HH. San Martín de Porras.....	41
Figura 20. Curva granulométrica C-01.....	43
Figura 21. Curva granulométrica calicata C-02.....	46
Figura 22. Curva granulométrica C-03.....	48
Figura 23. Curva granulométrica C-04.....	51
Figura 24. Ensayo de Compactación C-01, C-02 (ESTADO NATURAL) (Proctor Modificado).....	53
Figura 25. Curva de compactación C-01, C-02 (SUELO NATURAL) .....	54
Figura 26. Curva de compactación C-03, C-04 (SUELO NATURAL) .....	55
Figura 27. Procedimiento de mezclado C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% de CAL).....	56
Figura 28. Curva de compactación C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% de CAL) .....	56

Figura 29. Procedimiento de mezclado C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% de CAL).....	57
Figura 30. Curva de compactación C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% de CAUCHO) .....	57
Figura 31. Curva de compactación C-03, C-04 (SUELO NATURAL+10% de CAL).....	58
Figura 32. Curva de compactación C-01, C-02 (SUELO NATURAL+10% de CAUCHO) .....	59
Figura 33. Realización de ensayo de CBR.....	62
Figura 34. Gráfico de CBR (Suelo natural C-01, C-02) .....	63
Figura 35. Gráfico de CBR (Suelo natural C-01, C-02 + 8% de caucho) .....	65
Figura 36. Gráfico de CBR (Suelo natural C-01, C-2+ 10% de caucho) .....	67
Figura 37. Gráfico de barras de la comparación de CBR al ir adicionando caucho.....	68
Figura 38. Gráfico de CBR (Suelo natural C-03, C-04) .....	69
Figura 39. Gráfico de CBR (Suelo natural C-03, C-04+ 8% de cal) .....	71
Figura 40. Gráfico de CBR (Suelo natural C-03, C-04+ 10% de cal) .....	73
Figura 41. Gráfico de barras de la comparación de CBR al ir adicionando caucho.....	75

## **Resumen**

La tesis Estabilización de la subrasante en suelos arenosos con adición de cal y caucho, AA.HH. San Martín de Porras, Ica 2021. tiene por finalidad buscar dar una solución al problema de la inestabilidad de la subrasante utilizando aditivos estabilizantes como son la cal y el caucho, se evalúa cuál de ellos obtiene los resultados más favorables y tiene un buen comportamiento en el suelo, esto se evalúa de acuerdo a los parámetros establecidos por el MTC para una subrasante sea apta para la transitabilidad, se tendrá que conocer el tipo de suelo mediante ensayos de granulometría, estos resultados son aplicados para la realización de ensayos de límites de consistencia, contenido de humedad, posteriormente con los resultados se evalúa el CBR del suelo natural y posteriormente será evaluado con la adición de caucho y cal, para así poder determinar cuál es la mezcla más favorable y que cumpla con los parámetros mínimos exigidos por el MTC para que una subrasante sea transitable.

Palabras clave: Estabilización, subrasante, porcentaje.

## **Abstract**

The thesis Stabilization of the subgrade in sandy soils with the addition of lime and rubber, AA.HH. The purpose of San Martin de Porras, Ica 2021 is to seek to provide a solution to the problem of the instability of the subgrade using stabilizing additives such as lime and rubber, evaluating which of them obtains the most favorable results and has a good performance on the ground, this is evaluated according to the parameters established by the MTC for a subgrade that is suitable for passability, the type of soil will have to be known through granulometry tests, these results are applied to carry out limit tests consistency, moisture content, subsequently with the results the CBR of the natural soil is evaluated and later it will be evaluated with the addition of rubber and lime, in order to determine which is the most favorable mixture and that meets the minimum parameters required by the MTC to make a subgrade passable.

Keywords: Stabilization, undergrade, percentage.

## **I. INTRODUCCIÓN**

La ciudad de Ica es una zona que se encuentra en constante expansión urbana y crecimiento lineal habitacional; cada vez existen más asentamientos humanos, asociaciones de vivienda, programas de vivienda municipal y pueblos jóvenes que en su mayor parte se encuentran situados en los terrenos eriazos propiedades del estado o de cooperativas agropecuarias; estos terrenos en su mayor parte son de tipo arenosos, con una alta cantidad de partículas granulares, esto hace que sean inestables y en algunos casos extremos completamente intransitables.

A la actualidad Ica es una región que ha logrado crecer de una forma acelerada en el parque automotor, esto es debido a que en la región Ica la mayor parte de la población opta por adquirir un vehículo ya sea para usarlo de forma personal o como una herramienta de trabajo utilizada para generar ingresos para el hogar iqueño, sin embargo a este desarrollo se ha sumado además el problema de las calles de la provincia, estas tienen un estado de conservación deteriorado, además de ello en las zonas descentralizadas y en los pueblos jóvenes no se cuentan con vías asfaltadas, estos factores son causantes de hacer que disminuya la habitabilidad en las zonas de crecimiento poblacional de la Ciudad de Ica, las cuales son una parte importante de la Provincia de Ica. Todos estos factores hacen que los neumáticos se desgasten con mayor rapidez y que surjan problemas mecánicos en los vehículos, esto no solo afecta a los vehículos, sino que también tiene un impacto en la economía de los ciudadanos que cuentan con vehículos puesto que tienen que adquirir neumáticos nuevos cada vez más seguidos. Esto hace que se incrementen los desechos de los neumáticos y que exista difícil acceso vehicular a los asentamientos humano, centros poblados o cualquier otra vía que se encuentre sin asfaltar.

Ante esta problemática, este proyecto de investigación estará dirigido a investigar la estabilización y el mejoramiento de la calidad de la subrasante de un centro poblado utilizando el caucho reciclado de los neumáticos y la cal, dicha idea surgió con la finalidad de dar aprovechamiento a la alta tasa de desechos de los neumáticos y a la cal como potente estabilizador de terrenos, así mismo se va a conseguir bajar la contaminación del medio ambiente y el volumen de los desechos sólidos originados por el parque automotor de la región de Ica.

Se espera que la investigación tenga resultados positivos, porque la ciudad de Ica, es una provincia que tiene vías y caminos que no son asfaltados y que



constantemente se irán creando nuevas vías, las cuales también tendrán el mismo problema de inestabilidad y para dar solución a ello se deberá de aplicar los conocimientos adquiridos con las investigaciones nacionales, internacionales y artículos científicos publicados con información verídica.

Al ir incorporando la cal y caucho reciclado a la subrasante se va a ir conociendo que tan influyente es el cambio en el CBR, asimismo se irán adicionando los estabilizadores con diversas cantidades porcentuales, esperando que no solo incremente el porcentaje del CBR, sino que también sea más sustentable para su aplicación en las diferentes zonas de la ciudad de Ica.

Toda la información que será recopilada será materia de discusión con las conclusiones adquiridas por los investigadores nacionales e internacionales que han estudiado la estabilización de subrasante.

Ante los motivos expuestos en la investigación se está planteando la siguiente problemática:

**General:** ¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras?

**Problemas específicos:** ¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras?, ¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras?, ¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en la resistencia de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras?

**Justificación de la investigación:**

**La justificación teórica**, la meta que se quiere lograr es estabilizar la subrasante mediante la utilización del caucho reciclado y la cal como principales estabilizadores de la subrasante, se tendrán que comparar los resultados obtenidos para poder ver cual alternativa es la indicada para que la subrasante se mantenga en un estado óptimo para su transitabilidad.

**Justificación metodológica** en la investigación que se va a realizar es de índole experimental, ya que consistirá en ir aplicando caucho reciclado y cal e ir observando como las propiedades de plasticidad, resistencia y compactación mejoran.

**Justificación ambiental**, en nuestra investigación se busca, lo cual tendría un impacto positivo en la sociedad.

En la investigación que se va a realizar se busca evaluar si la añadidura de caucho reciclado y cal en la subrasante logra influir de forma positiva en el medio en el cual vivimos, asimismo dar aprovechamiento a la alta cantidad de caucho desechado por los usuarios de autos en la ciudad de Ica, para así dar una alternativa de solución para que de alguna u otra forma al ser utilizados los desperdicios de caucho se tendría una sociedad eco amigable y con accesos vehiculares correctos que faciliten el transporte en la ciudad de Ica.

**Justificación técnica**, se busca conseguir que la subrasante del AAHH San Martin de Porras mejore de forma que los resultados sean favorables técnicamente y satisfagan los parámetros establecidos.

**Hipótesis: Hipótesis General**

La aplicación de cal y caucho influye en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras

**Hipótesis específicas:**

La aplicación de cal y caucho influye en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

La aplicación de cal y caucho influye en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

La aplicación de cal y el caucho influye en la resistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

**Objetivos: Objetivo General:**

Determinar cómo influye la cal y el caucho en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

**Objetivos Específicos:**

Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en la resistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.

## II. MARCO TEÓRICO

Tenemos a Cabana (2017). Con su investigación que lleva por título: “Mejoramiento de la Relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub – Rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria – Wilcahuain, Huaraz, 2017”. Se tuvo por propósito primordial hacer mejor el CBR al ir adicionando el agente químico estabilizante cal a la muestra obtenida de la subrasante de la trocha no pavimentada de bajo tránsito PARIA – WILCAHUAMAN, para eso se buscará determinar las características físicas – mecánicas. Se determinó el nivel y el tipo de investigación como cuantitativa y descriptivo respectivamente.

En el estudio se determinó que prevalecieron 02 tipos de suelos en la muestra tomada, a lo cual en primer lugar se tiene al suelo arena arcillosa (SC) donde se evaluó el CBR al estado natural y con adición de 2% y 8% de cal, teniendo como resultado un CBR de 3.5% (INSUFICIENTE) en estado natural, CBR de 6.5% (REGULAR) al adicionar 2% de cal y CBR de 12.0% (BUENA) al adicionar 8% de cal. Asimismo al realizar los estudios se determinó un suelo con arcilla inorgánica (CL) donde también se hizo evaluación del CBR al estado natural y con adición de 2% y 4% de cal, teniendo como resultado un CBR de 8.0% (REGULAR) en estado natural, CBR de 19.0% (BUENA) al adicionar 2% de cal y CBR de 28.0% (MUY BUENA) al adicionar 4% de cal.

Al observar los resultados se llegó a la conclusión de que en suelos no aptos para transitabilidad, se ha podido corroborar que es posible la utilización de la cal como estabilizante para la subrasante, sin embargo, los costos de estabilización van a depender del tipo de suelo de la sub rasante virgen.

Por otro lado, también tenemos a Huamán, Murguerza (2019) en su tesis que lleva por título “Influencia del caucho granulado en suelos cohesivos relacionado a la propiedad de la resistencia a la penetración (CBR), 2019” se tuvo por propósito saber si el caucho granulado influye en la subrasante que sea de un tipo adherente y que guarde coherencia a las propiedades de la resistencia de la subrasante (CBR). Se determinó el tipo y el nivel de investigación como aplicada y descriptivo.

En la presente investigación se elaboraron 3 calicatas C-1, C-2 y C-3 las cuales fueron clasificadas con suelos de grava arcillosa con arena para las calicatas C-1 y C-2, mientras tanto en la calicata C-3 se tuvo un suelo de arcilla plasticidad baja

(SEGÚN LA CLASIFICACIÓN SUCS), a las cuales se les evaluó el CBR al estado natural obteniendo como resultado un CBR al 95% de 19%, 28.86%, 3% en las calicatas C-1,C-2 y C-3 respectivamente, con un CBR al 100% se tuvo como resultado un CBR de 26.27%, 34.06% y 5.2% en las calicatas C-1,C-2 y C-3.

Asimismo, dando lugar al objetivo principal de la investigación se fueron adicionando porcentajes de caucho al 5%, 10% y 15%, dando como resultado que al adicionar 5% de caucho se obtuvo un CBR al 95% de 18%, 27.70% y 6.4% en las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente, sin embargo, con un CBR al 100% de 22.7%, 30.78% y 8.5% en las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente.

Por otro lado, al adicionar 10% de caucho se obtuvo un CBR al 95% de 17%, 25.20% y 10.4% en las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente, sin embargo, con un CBR al 100% de 22.5%, 29.60% y 12.2% en las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente.

Finalmente, al adicionar 15% de caucho se obtuvo un CBR al 95% de 15%, 23.4% y 8.0% en las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente, sin embargo, con un CBR al 100% de 20.1%, 28.5% y 10.4% en las calicatas C-1, C-2 y C-3 respectivamente.

Posteriormente luego de observar los resultados se llegó a la deducción que la cantidad ideal de caucho granulado es el 10%, este porcentaje ha logrado afectar favorablemente las propiedades mecánicas del CBR, para los insumos a ser utilizados.

Tenemos a Robles (2020) en su tesis que lleva por denominación: “Aplicación de la cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao (2020)”, se tuvo como objetivo determinar en qué magnitud mejora la subrasante al aplicarse cal y caucho en la Av. Canta Callao. Se determinó el tipo y el nivel de investigación como experimental y explicativa.

Para el presente se hicieron los ensayos correspondientes, en donde se determinó que la subrasante natural es un suelo arena arcilloso, se hicieron ensayos para determinar los porcentajes del CBR de la subrasante al estado natural y con el aumento de porcentajes de 4% y 6% de caucho obteniendo como resultado en la muestra en estado natural que el CBR al 95% arroja un porcentaje de 6%, al adicionar 4% de caucho alcanza un CBR al 95% de 11.55%, al adicionar 6% de caucho alcanza un CBR al 95% de 15%.

De la misma forma se adicionó 4% de cal, la cual alcanzó un porcentaje de CBR al 95% de 11.93%, al adicionar 6% de cal arrojó como resultado un porcentaje de CBR al 95% de 25.3%.

Por otro lado, también se hizo el análisis de resultados con el CBR al 100%, en donde se obtuvo que en la muestra en estado natural que el CBR al 100% arroja un resultado de 20.8%, al adicionar 4% de caucho se tuvo que el CBR alcanza un 14.5%, al adicionar 6% de caucho se tuvo que el CBR alcanza un 20.4%, al adicionar 4% de cal alcanza un porcentaje de 14.8%, al adicionar 6% de cal alcanza un 33.6%. Al terminar de analizar los resultados adquiridos se llegó a la deducción de que la subrasante estabilizada con 4% y 6% de cal y caucho, se tiene que mejora la subrasante con ambos porcentajes, ya que ambas arrojan resultados favorables, pero comparando la cal obtiene superiores resultados que el caucho.

Se tiene a Laica (2016) con su tesis que lleva por título: "Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base". Como propósito primordial de la tesis se investigó para saber que tanto mejora la resistencia de la muestra elegida al someterla a la incorporación de polímero reciclado (caucho) en las diversas propiedades que posee una sub base, comparando los resultados conseguidos de la muestra natural vs la muestra estabilizada. Se determinó el nivel y el tipo de investigación como aplicada y experimental respectivamente.

Se tiene que se ha realizado los estudios de los ensayos de laboratorio, en donde se hizo el análisis de laboratorio a la muestra natural, arrojando como resultado un CBR de 25%, posteriormente se hizo la evaluación al ir adicionando 3% de caucho, se obtuvo como promedio de tres muestras que el CBR es de 18.4%, al ir adicionando 6% de caucho se obtuvo como promedio de tres muestras que el CBR es de 18.4%, asimismo cuando se adicionó un 9% de caucho se obtuvo como promedio de tres muestras que el CBR es de 10.2%.

Luego de haber evaluado los resultados, se concluyó que mientras se va adicionando porcentajes de caucho, las propiedades mecánicas van disminuyendo considerablemente, por lo cual en esta investigación se obtuvieron resultados negativos.

Según Gavilanes (2015) en la investigación que lleva por denominación “Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur”, en donde se tuvo como propósito investigar y considerar los resultados obtenidos luego de la modificación y estabilización de subrasante adicionando cal y cemento en tanto por ciento de 2%, 4%, 6% y 8%. Se determinó el tipo de investigación como experimental.

Luego de haber realizado los ensayos de laboratorio, se hicieron análisis de 03 muestras significativas, en donde se tuvo como resultado que el suelo en estado natural tiene un CBR de 21.6%, 23.7% y 30.1% en los 3 moldes respectivamente, sin embargo al ir adicionando 2% de estabilizador (cal o cemento) se obtuvo un CBR de 22.78%, 27.49% y 30.80% en los 3 moldes respectivamente, cuando se fue utilizando un porcentaje de 4% de estabilizador (cal o cemento) se obtuvo un CBR de 23.85%, 29.23% y 33.29% en los 3 moldes respectivamente, cuando se usó un porcentaje de 6% de estabilizador (cal o cemento) se obtuvo un CBR de 23.41%, 29.16% y 33.48% en los 3 moldes respectivamente, por último se analizó un porcentaje de 8% de estabilizador (cal o cemento) se llegó a obtener un 23.25%, 27.54% y 32.57% en los 3 moldes respectivamente.

Culminando la investigación se concluyó que el porcentaje de estabilizador óptimo es 4%, ya sea cal o cemento, uno de los factores es que el valor monetario es menor y el resultado obtenido son favorables debido a que hace reducir los espesores de carpeta de rodadura.

Según Altamirano, Díaz (2015) en su tesis que lleva por título “Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, Municipio Potosí – Rivas”. Para esta investigación se tuvo como propósito primordial mejorar la subrasante de los suelos que contengan alta tasa de cohesividad de los caminos transitables del sector de San Isidro del Pegón, Municipio Potosí – Rivas con una adición de cal hidratada.

Al realizar los estudios en la subrasante, se obtuvo que en el suelo en estado natural alcanza un CBR de 15.70% utilizando el martillo de Geogauge y 16.28% utilizando el martillo de Clegg.

Posteriormente se fue analizando la adición 3%, 6%, 9% y 12% de cal, a lo que se consiguió que la muestra analizada con 3% de cal alcanza un porcentaje de CBR de

30.31% utilizando el martillo de Geogauge y 35.4% utilizando el martillo de Clegg, la muestra con 6% de cal alcanza un porcentaje de CBR de 54.35% utilizando el martillo de Geogauge y 57.64% utilizando el martillo de Clegg, el suelo con 9% de cal alcanza un CBR de 57.2% utilizando el martillo de Geogauge y 64.04% utilizando el martillo de Clegg y la muestra analizada con 12% de cal alcanza un porcentaje de CBR de 29.48% utilizando el martillo de Geogauge y 36.95% utilizando el martillo de Clegg. Luego de evaluar los resultados se llegó a la conclusión de que las mejores condiciones se obtienen al adicionar 9% cal, puesto que cumple con la mayor parte de las propiedades de límite plástico, límite líquido, CBR, expansión y grado de compactación.

Según Peláez, Velásquez Y Giraldo (2017) en su artículo de investigación “Aplicaciones del caucho reciclado: una revisión de la literatura”. En este artículo de investigación el autor tuvo como propósito bajar el impacto negativo de las llantas fuera de uso (LLFU) sobre el medio ambiente con la finalidad de dar un buen aprovechamiento a este tipo de material cuando termine su vida útil primaria.

Ante esta investigación se concluyó que efectivamente las LLFU son una fuente principal de caucho reciclado, asimismo la utilización de estos materiales implica retos tecnológicos puesto que las implementaciones de los procesos de reutilización son altos, ante ello se busca que impulsar nuevas aplicaciones para que sea viable su utilización.

Una de las principales fuentes de aplicación sería utilizar el caucho reciclado como modificador de pavimentos y concretos y asimismo mejorar propiedades como liviandad y ductilidad, pero también se debe de tener en cuenta que disminuye la compresión y flexión.

De la misma forma que se tiene esta aplicación también se determinaron líneas de investigación distintas a la ingeniería en donde se puede dar aprovechamiento al caucho reciclado.

Según F. Hussain Y A. Khan(2017) “Sustainability of using crumb rubber and quarry dust for stabilization of expansive soils in road subgrade: a review” En este artículo se tuvo como objetivo investigar y comparar la viabilidad de la utilización de componentes estabilizadores como los granos de caucho y polvo de cantera para suelos expansivos en la subrasante de las carreteras, se tuvo una metodología

experimental, según la información reunida en el presente artículo se tuvo que se hizo la adición de partículas de caucho en cantidades de (2,4,6,8y10%) por cantidad del espécimen adquirido, el cual han sido sometidas a pruebas de laboratorio tales como el CBR, cantidad de humedad, ensayos de compactación triaxial además de la máxima densidad seca, los cuales fueron positivos, se concluyó que la utilización de los componentes estabilizadores suelen tener una gran eficacia al lograr estabilizar los suelos expansivos a nivel de subrasante, teniendo como efecto principal reducir la tasa de contaminación ambiental y aumentar la vida útil y el rendimiento de las carreteras.

Según G. Odar, D. Chávez, M. Silvera (2019). En la investigación que lleva por nombre "Método de estabilización con cal en subrasantes para pavimentos rígidos diseñados por AASHTO 93 en proyectos viales con presencia de bofedales". Esta investigación está pensada en ofrecer un método para hacer mejor el porcentaje de CBR de los suelos en que presenten la napa freática alta, utilizando como agente estabilizante a la cal, se evaluó la estabilización de los suelos con 2 tipos de cal, en primer lugar Cal Tipo I (empleada comúnmente en construcción), con un PH igual a 12.8 y porcentaje de limpieza de 75% con la que se llevó a cabo una dosificación de cal de 2%, 3%, 4%, 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%; en segundo lugar se tiene Cal Tipo II (cal viva), con un PH igual a 13 y porcentaje de limpieza de 97% con la cual se procedió a añadir porcentajes de 5%, 6%, 7%, 8%, 9%, 10%, 15%, 20%, 25% y 30%, luego que se realizarán los ensayos de laboratorio se concluyó que la cantidad óptima de cal a usar para estabilizar los suelos con alta plasticidad y alto contenido orgánico es de 10 % del peso seco ya que al utilizar esta dosificación se obtiene que logra incrementar la resistencia del suelo de 5 a 7 veces, lo cual hace que la subrasante sea excelente de acuerdo con la categorización normada por el Manual de Suelos Geología y Pavimentos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones del Perú.

Como bases teóricas relacionada a las variables dependientes e independientes tenemos lo siguiente:



**Cal.** - Como lo indica Sinaluisa (2013) Lo denomina como el resultado obtenido de la realización de calcinado u quemado de la piedra caliza por debajo de la temperatura en la cual se logra descomponer el óxido de calcio. En aquella situación se llama cal viva (óxido de calcio) y si llegase a apagarse al adicionarle una alta saturación de agua, se le logra denominar como cal apagada (hidróxido de calcio), tal (p18). Asimismo, en el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos” (2013) nos sugiere que, al combinar el material proveniente de la subrasante conjuntamente con el aditivo estabilizante cal, se obtiene como producto una respuesta rauda de floculación e trueque iónico, continuamente de una reacción de respuesta muy pausada de tipo puzolánico, con el nacimiento de mezclas químicas modernas y nuevas. Los componentes químicos tales como sílice y alúmina de los gránulos que posee el suelo se logran combinar con el aditivo estabilizante cal cuando se logran combinar con la finalidad de conformar silicatos y aluminatos cálcicos que no poseen solubilidad. (p.116). Según Robles (2020) el aditivo que es empleado en el mejoramiento de la subrasante, tiene por denominación óxido cálcico (cal anhidra o cal viva) o hidróxido cálcico (comúnmente llamada cal hidratada o cal apagada) y debe de satisfacer con los parámetros que han sido sustentados en la Norma AASHTO M-216, ASTM C-997 o NTP 334.125:2002 Cal viva y cal hidratada para Estabilización de Suelos. (p.28).

**Propiedades de la cal viva.** - Para asegurar que la cal que se utilizará en la estabilización de la subrasante se deben de analizar los siguientes parámetros, tal como lo indica la Norma ASTM C977-03.

Se tiene la **Tabla N°01** en donde se muestran las propiedades de la Cal según la Norma ASTM C977-03

Propiedades de la cal		
Contenido de dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Como máximo 5% en masa	Permite evaluar la cantidad de otros componentes en la cal
Finura de molido	No debe haber más del 3% retenido en la malla N°30 (590 µm) y no más	La finura puede intervenir en las propiedades reactivas de la cal.

	del 25% retenido en la malla N°200 (75 µm)	
Otros	Cantidad de óxidos de calcio y de magnesio (menor al 90%) Humedad natural (2% como máximo)	Influyen en las características químicas de la cal.

**Tabla 1:** Propiedades de la cal.

### **Propiedades físicas de la cal**

**Densidad.** - Esta propiedad es originada por la alta temperatura de fabricación en la cual se obtiene la cal, mientras mayor sea la temperatura, más grande va a ser la densidad de la cal.

**Dureza.** - Es una propiedad adquirida de la piedra original, depende mucho del temple de calcinación usada.

**Porosidad.** - Afecta la composición química y depende mucho de la piedra de origen. Gracias a esta propiedad es que se combina de manera uniforme con la subrasante.

**Plasticidad:** Es la capacidad que posee un bloque para adaptar su forma cuando esté bajo presión.

### **Características de la cal viva**

Una de las primordiales propiedades de la cal viva es que contiene una gran cantidad de alcalinidad (pH 12) como agente regulador de pH en actividades mineras y en la fabricación de insumos industriales, se usa para normalizar, purificar y aclarar agua, y se usa además para la estabilización de suelos.

### **Ventajas y desventajas de los métodos de adición de estabilizante de cal viva**

Como se indica en el Manual de estabilización de suelo tratado con cal (LIME) nos señala las siguientes ventajas y desventajas:

#### **Ventajas**

La utilización de cal viva es una alternativa mucho más económica ya que su composición de alguna manera resulta ser más concentrada de cal que la cal hidratada, ya que contiene de 20% a 24% de óxido de calcio. Se puede establecer que alrededor de 3% de cal viva es similar al 4% de cal hidratada. (p.11)

La aplicación de la estabilización con cal a la subrasante, ayuda de alguna forma a evitar que se generen gastos adicionales de movimiento de tierras, dando uso al material que se encuentra in situ.

Se puede reducir la cantidad de materiales de préstamo, esto hace que se ahorre tiempo y dinero en la ejecución de proyectos aplicados bajo estos criterios de estabilización.

### **Desventajas**

Una de las principales desventajas es que la cal necesita ser saturado con agua un 32%, debido a esta causal es probable que exista descuentos debido a que un porcentaje de la cantidad de agua se perderá por acción de evaporación.

Se deberá de guardar precaución con la utilización de la cal viva para garantizar una correcta saturación con agua, secado y mezclado. (p.12).

La cal es un estabilizante que aporta un beneficio para el mejoramiento e incremento de las propiedades de la subrasante, haciendo prevalecer y cumplir con los estándares de calidad que pide el MTC, el material sobre el cual queremos estabilizar, debe de estar limpio, es decir no debe de contener materia orgánica o algún otro objeto que afecte la calidad de la subrasante, además de ello el material debe de cumplir los siguientes requisitos generales dispuesto por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de carreteras: Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) Sección 301B.

**Granulometría (Agregados).** – El análisis granulométrico de la muestra que se quiere normalizar puede coincidir con los suelos de características similares a A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6 y A-7. Asimismo, el volumen más alto no va poder ser grande de 5 cm (2") o 1/3 del ancho de la subrasante (espesor) estudiada.

**Plasticidad.** - La cantidad de la mezcla que pasa el tamiz de 425  $\mu\text{m}$  (N° 40) tendrá que poseer un Límite Líquido por debajo a 40% y un Índice de Plasticidad que se encuentre dentro del rango de 10 y 50%, ambos son calculados mediante el procedimiento que se encuentra normado tal como es indicado en el ensayo MTC E 110 y MTC E 111.

**Composición Química.** – La cantidad de sulfatos del suelo presentes, expresada como  $\text{SO}_4^-$  puede superar el 0.2% de su peso.

**Abrasión.** - Si la subrasante que se busca estabilizar van a constituir capas conformantes de la estructura del camino y el agregado se encuentra ubicado a una

altitud mayor a los 3000 metros sobre el nivel del mar, los materiales de tamaño grueso no tienen que enseñar descuentos en sulfato de magnesio que logren sobrepasar a un 18% y en material de tamaño fino que logre sobrepasar al 15%.

Estas propiedades se resumen en la **Tabla 2**, presentada a continuación.

TIPO DE ESTABILIZADOR RECOMENDADO	NORMAS TÉCNICAS	SUELO <sup>(1)</sup>	DOSIFICACIÓN <sup>(3)</sup>	CURADO (APERTURA AL TRÁNSITO) <sup>(5)</sup>	OBSERVACIONES
Cal	EG-CBT-2008 Sección 3078 AASHTO M216 ASTM C977	A-2-6, A-2-7, A-6 y A-7 10% ≤ IP ≤ 50% CMO <sup>(2)</sup> < 3.0% Sulfatos (SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) < 0.2% Abrasión < 50%	2 - 8%	Mínimo 72 horas	Para IP > 50%, se puede aplicar cal en dos etapas Diseño de mezcla de acuerdo a la Norma ASTM D 6276

**Tabla 2:** Propiedades del suelo a estabilizar con cal.

### Proceso de estabilización con Cal en campo.

**Escarificación.** - El rayado o escarificación del suelo es de esencial consideración para intentar conseguir una estabilización pareja y uniforme, ya que para ello la cuchilla de la motoniveladora debe de penetrar en toda la superficie que se desee estabilizar.

Posteriormente a ello, se debe de verificar constantemente que se eliminen las materias orgánicas presentes en el suelo tales como raíces, basura, botellas plásticas u otros residuos que de alguna forma pueda afectar la estabilidad del suelo. La escarificación del suelo se hará penetrando las cuchillas en la subrasante, de la misma forma que se visualiza en la **Figura 1**.



**Figura 1:** Escarificación de subrasante

**Humedecimiento del suelo.** - El humedecimiento cumple un papel primordial en la estabilización de la subrasante puesto que mientras esta permanezca saturada con agua, las partículas de cal quedaran adheridas al suelo y así se evitará que el polvo se propague por acción del viento, se puede utilizar una cisterna para realizar dicha

acción. Se observa en la **Figura 2** el humedecimiento de la subrasante, el agua debe de penetrar en toda la superficie de la subrasante.



**Figura 2:** Riego de subrasante

**Combinación y tendido de la cal.** - En esta fase se logran realizar los trabajos que consisten en mezclar Cal con la subrasante que se va a estabilizar, se debe de utilizar una motoniveladora. Se debe de batir el material con la cuchilla de la motoniveladora y luego cubrirlo, se debe de repetir todo el procedimiento hasta obtener una mezcla que sea homogénea, la cal debe de quedar completamente diluida sin presentar grumos. De la misma forma que se puede ver en la **Figura 3**.



**Figura 3:** Combinación y tendido de la cal

**Compactado y Acabado de la Superficie de la Capa.** – El proceso de preparación de la subrasante estabilizada, se hace utilizando maquinarias convencionales para conformar subrasante tales como motoniveladora para darle el espesor de la capa necesario, además de un rodillo vibratorio para poder realizar una correcta compactación y así llegar a cumplir los estándares de calidad al 95%. Se observa la **Figura 4**, donde se aprecia el proceso de compactado de la subrasante.



**Figura 4:** Compactado de la subrasante.

**Curado.** - La capa tratada debe de ser curada durante 3 a 7 días para que se ponga en estado rígido, la superficie de mantenerse húmeda y compactarse cuando se requiera.

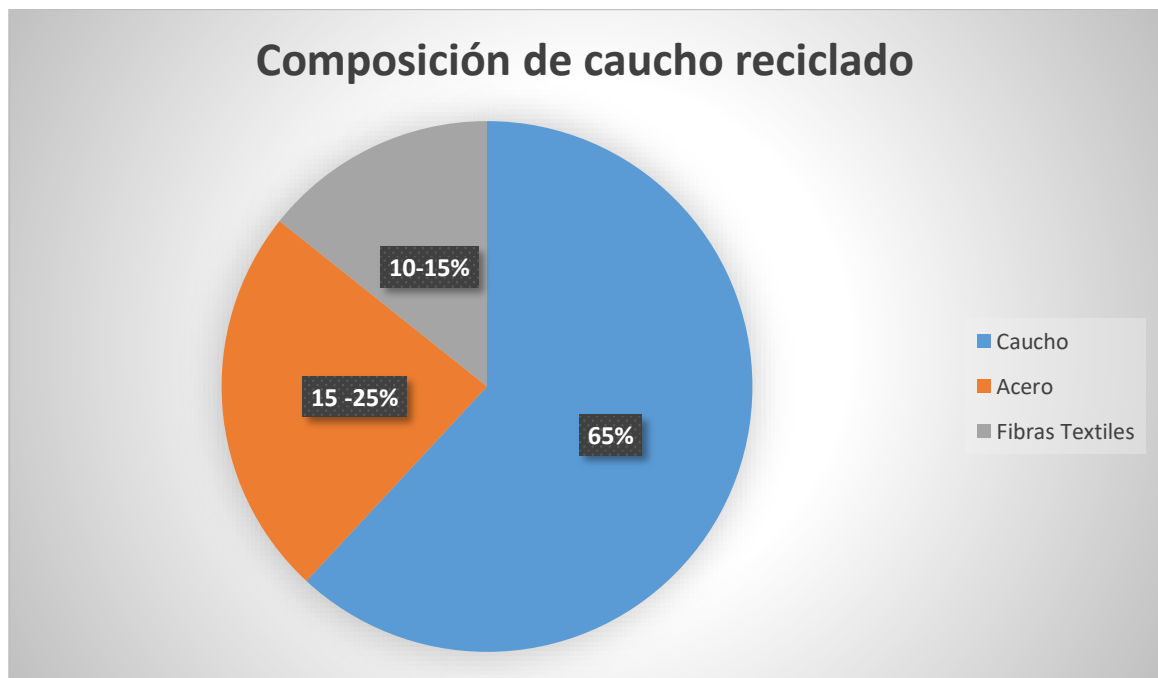
**Control de calidad.** - Una vez completados los procesos anteriores, se deben de evaluar los tramos estabilizados, en donde deben de arrojar un CBR bueno o excelente que cumpla con los criterios establecidos por el MTC para que la máxima densidad seca logre sobrepasar al 95%, determinados mediante la prueba del proctor modificado y CBR.

**Caucho.** - Según Ramírez, Orjuela y Angulo (2020), el caucho se conoce como una sustancia elástica, impermeable y resistente usada en la creación de neumáticos (p. 48).

**Caucho Reciclado.** - Tal como lo indica Ramírez, Orjuela y Angulo (2020), el desarrollo de la creación de caucho reciclado es un procedimiento netamente mecánico, por consiguiente, el material que es producto de los procesos de reciclaje resulta con una calidad elevada y por consiguiente a dichos procesos, el resultante sería un material libre de agentes externos contaminantes, aquello posibilita el aprovechamiento de estos agregados reciclados en ideas innovadoras y tecnológicas que brinden un uso sostenible y equilibrado. De los procedimientos de reciclaje de las llantas que se encuentran en desuso se determina un producto resultante que su composición está compuesta por:

- 15-25% de acero
- 65% de caucho
- 10-15% de fibras textiles

Se observa la **Figura 5**, en donde se grafica la composición del caucho reciclado



**Figura 5:** Composición de caucho reciclado

Es de suma importancia volver a darle un uso al caucho reciclado, para así evitar desperdiciar los neumáticos fuera de uso y darle un uso provechoso en la estabilización de las subrasantes calificadas como no aptas, al darle un segundo uso también se reducen los efectos ambientales que genera la quema o el desecho al medio ambiente de los neumáticos fuera de uso.

Según Rojas (2019) los granos de caucho reciclado, van a provenir de los neumáticos que ya no tienen utilidad en los vehículos, con el propósito de emplearlo como un componente para perfeccionar la subrasante, mediante la mezcla de estos con el suelo, el cual busca maximizar en la capacidad portante (CBR). (p. 10).

Luego de un proceso de reciclaje de los neumáticos en desuso, se adquiere el caucho granular reciclado tal como se logra visualizar en la **Figura 6** el cual posee un tamaño granular uniforme.



**Figura 6:** Caucho granular reciclado

La estabilización de suelo ayuda a que mejore una subrasante pobre; al realizar la estabilización se reduce el grosor del diseño de pavimento, las propiedades del caucho reciclado son ligeras y con alta resistencia al cizallamiento.

#### **Propiedades del caucho**

El caucho tiene diferentes propiedades las cuales son definidas según "Reciclado de neumáticos de Castillay León S.L. (2013) La ficha técnica de producto (FTP) define las siguientes propiedades físicas:

#### **Propiedades físicas**

1. Son de color negro
2. En gránulos su forma es más sólida
3. Tienen olor a caucho
4. Tiene densidad de 0.4 – 0.5 (gr/cm<sup>3</sup>)
5. Peso específico 1.15 - 1.27
6. Punto de combustión de 300 – 450 (°C)
7. Humedad menor a 0.75 (%)

#### **Propiedades químicas**

1. Sustancia cetónica comprendida oscila entre un rango de 5% a 22%
2. Cantidad de cenizas en el producto oscila entre un rango de 7% a 11%
3. Cantidad de polímeros NR/SR oscila entre un rango de 70/30%-60/40%
4. Cantidad de humo negro oscila entre un rango de 26% a 38%
5. Porcentaje de caucho natural oscila entre un rango de 10% a 35%
6. Porcentaje de hidrocarburo de caucho oscila entre un rango de 57% a 58%



7. Azufre oscila entre un rango de 1% a 7%
8. PH (25°C) oscila en un rango de 8.12- 8.20
9. No es soluble en el agua, parcialmente es soluble en acetona.

## **Ventajas y desventajas de la utilización del caucho reciclado**

### **Ventajas**

El caucho es un material que posee un alto beneficio costo, debido a que se puede encontrar en el medio ambiente, al darle un segundo uso a los neumáticos que se encuentran fuera de uso. El caucho reciclado logra mejorar la calidad de algunos suelos a nivel de subrasante, dependiendo del tipo de la muestra, asimismo ayuda a mantener una sostenibilidad ambiental debido a que se reduciría un poco el índice de contaminación por quema de neumáticos o por desechado, esto hace que se tenga un alto beneficio en la población en donde se empleará esta técnica.

Se reduce la tasa de contaminación del medio ambiente, al reducir la cantidad de neumáticos fuera de uso.

### **Desventajas**

La fabricación del caucho genera una alta cantidad de contaminación, debido a que en el proceso de fabricación se generan contaminantes como el monóxido de carbono y componentes derivados del azufre.

Se generan una alta cantidad de gases tóxicos cuando son quemados, el humo generado es nocivo para los seres humanos, animales y plantas, se generan enfermedades respiratorias y se incrementa el calentamiento global del planeta.

Se requiere de un proceso de triturado especial para obtener partículas granulares

### **Procedimiento de obtención del caucho reciclado**

Para obtener el caucho reciclado se debe de realizar una serie de procedimientos los cuales consisten en triturar los neumáticos fuera de uso en molinos con rodillos que contengan navajas que trituren el neumático reciclado, los textiles y los residuos metálicos que contienen, se aplicarán una serie de triturados hasta obtener partículas de 2.5 mm de diámetro.

Para evitar que el caucho reciclado contenga residuos metálicos de los neumáticos fuera de uso, se utilizan imanes para captarlos a todos, esto se debe a que también se tiene que dar aprovechamiento al metal contenido.

En la **Figura 7**, se observa el proceso de obtención del caucho granular reciclado, para utilizarlo en la estabilización de subrasante.



**Figura 7:** Procedimiento de reciclado de caucho

**Subrasante.** - Conforme al Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotécnica y Pavimentos” (2013) La subrasante es definida como los cimientos directos de la composición de las partes de la carpeta de rodadura es la capa que se forma entre el suelo natural y las capas que componen las vías de circulación (pavimento flexible, rígido y trochas carrozables). La subrasante de estudio carga toda la composición de las vías y debe de ser conformada por material selecto, limpio y de granulometría uniforme, dicha composición deberá de ser compactado por partes hasta conformar una estructura sólida que pueda soportar la acción del pasar de los vehículos que transiten sobre ella, el estado en el cual se encuentre la subrasante definirá los parámetros de diseño para la composición de la carpeta de rodadura. Para la capa de la subrasante, deberá de lograr ser compactada a un 95% de la densidad máxima seca hallada mediante los estudios de laboratorio realizados (MTC EM 115) (p. 23).

#### **Propiedades de la subrasante**

Las propiedades de la subrasante se dividen en:

**Propiedades físicas de la subrasante.** - Son aquellas características que posee la plataforma del camino y que son cuantificables usualmente miden las características que posee un suelo, define el estado de un sistema físico, entre ellas tenemos:

**Granulometría.** - La granulometría es el análisis que se le hace a la subrasante para lograr saber el tamaño de los granos que contiene el suelo, determina la cantidad que existe en cada tamaño en una escala granulométrica.

Para saber la granulometría de un suelo hay que hacer el ensayo granulométrico por tamizado, el cual está normado por medio de las pruebas normadas por el MTC E 107 del Manual de Ensayo de Materiales.

El ensayo da a conocer un modo de conocer los tanto por ciento de suelo que pasan por los diferentes tamaños de tamices y que quedan retenidos en el tamiz #200 según lo indica el MTC E 107 (2016).

Para hacer un acertado tamizado se presentan los subsiguientes tamices (ver **tabla 3**).

<b>TAMICES</b>	<b>ABERTURA (mm)</b>
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

**Tabla 3:** Tamaño de tamices de malla cuadrada

Fuente: M. Braja Das

En la **figura 8**, se observa el juego de tamices que se utiliza para realizar la granulometría de la subrasante.

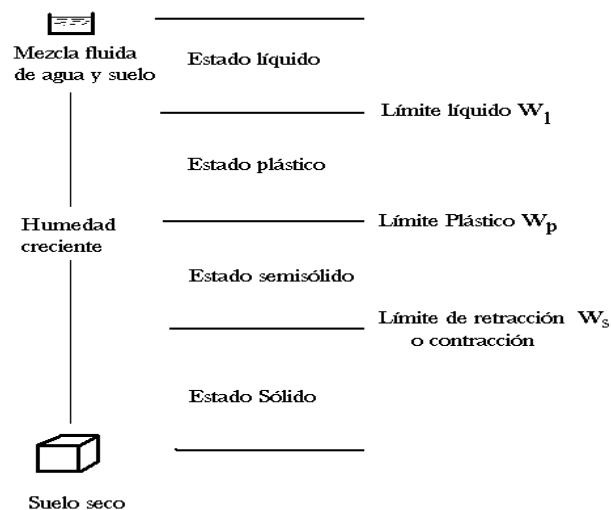


**Figura 8:** Juego de tamices utilizado en granulometría

**Límites de atterberg.** - Se usa con la finalidad de observar el accionar de los agregados de naturaleza fina según el contenido de humedad que tenga.

En una subrasante que posea una granulometría fina pueden existir 04 estados de consistencia según la cantidad de agua que posea.

Una subrasante se halla en situación sólida cuando no cuente con contenido de humedad y cuando se le va adicionando agua va pasando a un estado semisólido, plástico y por último en un estado líquido. El contenido de humedad en cada transición de los estados se les denomina límites de atterberg (ver figura 9).



**Figura 9:** Límites de atterberg

**Límite Líquido.** - Esta normado mediante el ensayo MTC E 110 del Manual de Ensayo de Materiales (2016), es la cantidad o porcentaje de agua que posee la

muestra, expresado en razones porcentuales, para lo que la subrasante se encuentra ubicado en el límite de los estados líquido y plástico.

El presente ensayo se efectúa con la asistencia de la cuchara de casa grande, en donde se extrae aproximadamente 100 gr de suelo que logró pasar por la malla #40, asimismo este material se pone en la copa y se realizará un trazado de una pequeña abertura en el centro y al instante de encender la cuchara casa grande va a proporcionar golpes al estar en contacto con su base en una altura de 1 cm debido a ello esta provoca que las dos mitades se asocien en una proporción de golpes mayor a 25, si se presentase la situación de que la unión no se realice, se deberá de utilizar una mayor cantidad de agua, Robles (2020) (p.50).

Para realizar el presente ensayo se ha utilizado la copa de Casagrande, ésta se visualiza en la **figura 10**.



**Figura 10:** Copa de Casagrande utilizada para la determinación de los límites de Casagrande.

**Límite Plástico.** - Está normado mediante el ensayo MTC E 111 del Manual de Ensayo de Materiales (2016), es el contenido de agua más bajo con la cual se tiene la probabilidad de formar barritas de la muestra de unos 3,2 mm (1/8") de grosor utilizando la superficie de nuestras manos con un cuerpo que sea plano, suave y terso evitando que la barrita se desmorone.

Las barritas formadas no deben de desmoronarse, deben de ser realizadas de la forma en la cual se indica en la figura 11.



**Figura 11:** Barritas formadas para determinar la plasticidad

**Índice de Plasticidad.** - Se calcula restando el límite líquido y el límite plástico.

$$IP = LL - LP$$

Dónde:

acción de los fenómenos naturales que sufre la naturaleza.

El suelo es importante porque el estado de los suelos va cambiando con el pasar de los años, además de ello conforma las vías por donde IP: Índice de Plasticidad

LL: Límite Líquido

LP: Límite Plástico

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, el MTC, clasifica los suelos según la plasticidad obtenida, se explica en la **tabla 4**.

Índice de Plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	suelos muy arcillosos
IP ≤ 20 IP > 7	Media	suelos arcillosos
IP < 7	Baja	suelos poco arcillosos plasticidad
IP = 0	No Plástico (NP)	suelos exentos de arcilla

**Tabla 4:** Clasificación de suelos según índice de plasticidad

Fuente: MTC en el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (MC-05-14).

**El suelo.** - Es la parte de arriba de la capa terrestre que se encuentra compuesta por diferentes componentes, partículas orgánicas e inorgánicas que sufren cambios por transitos, es por ello que debe de tener cierto grado de calidad, cada suelo contiene propiedades distintas, las cuales son clasificadas usando ensayos de mecánica de suelos, normados correctamente por el MTC (2016).

**Clasificación de los suelos**

La caracterización de los suelos puede darse mediante el uso de 02 sistemas de clasificación, tenemos el sistema SUCS y el sistema AASHTO.

**Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).** - Propuesto por Casagrande en el año 1942 y está normado por la ASTM D-2487 y por la NTP 339.134-1999, en donde se propone la clasificación de suelos en 02 grandes grupos.

1. Muestras de granulometría gruesa que son de índole de tipo grava y arenosa con un porcentaje menor del 50% que pasa por el tamiz N°200. Se utilizan signos de grupo identificados con G o SG el cual quiere lleva por significado grava o suelo gravoso, además de S que lleva por significado arena o suelo arenoso.
2. Muestras de granulometría fina con 50% o porcentajes mayores que logren pasar por el tamiz N°200. Se utilizan simbologías de grupo identificadas con la letra M que quiere decir un suelo de limo inorgánico, C para denominar a las arcillas inorgánicas, O para arcillas orgánicas y Pt para turbas, lodos y suelos con alto contenido de material orgánico.

Otros símbolos empleados para la caracterización de las subrasantes, se detallan en la tabla 5.

SÍMBOLO	DENOMINACIÓN
W	Bien graduado
P	Mal graduado
L	Baja plasticidad (LL <50)
H	Alta plasticidad (LL >50)

**Tabla 5:** Otros símbolos utilizados para la caracterización de suelos

**Fuente:** Braja M.Das (2013)

Los símbolos de grupos usados para la Clasificación de suelos arenosos, se detallan en la **tabla 6**.

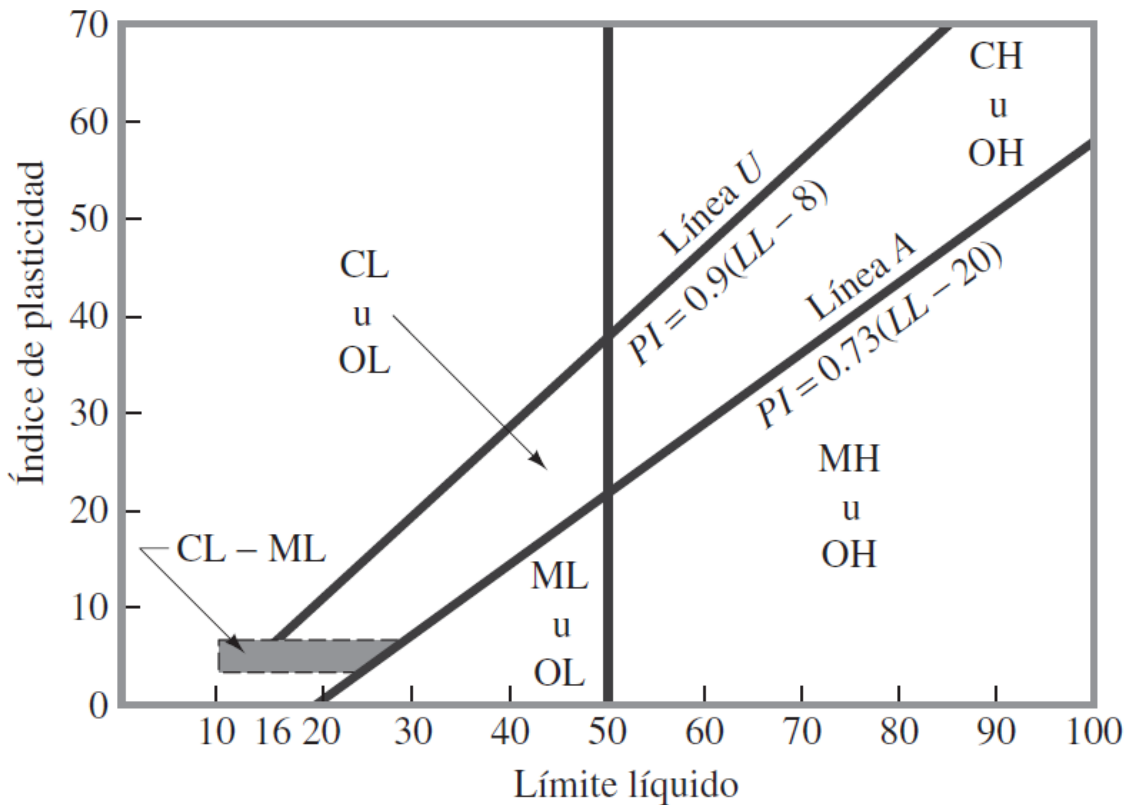
Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolo de Grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz #200.	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz #4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3$	GW
		Menos de 5% de finos	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3$	GP
		Gravas con finos	IP < 4 o gráficos por debajo de la línea "A" (Figura 7)	GM
		Más de 12% de finos	IP > 7 y gráficos por encima de la línea "A" (Figura 7)	GC
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz #4	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3$	SW
		Menos de 5% de finos	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3$	SP
		Arenas con finos	IP < 4 o gráficos por debajo de la línea "A" (Figura 7)	SM
		Más de 12% de finos	IP > 7 y gráficos por encima de la línea "A" (Figura 7)	SC
Suelos de grano fino 50% o más que pasa a través del tamiz #200	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	IP > 7 y gráficos en o por encima de la línea "A" (Figura 7)	CL
			IP < 4 o gráficos por debajo de la línea "A" (Figura 7)	ML
		Orgánico	(Ver figura 7); zona OL	OL
	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Inorgánico	Gráficos IP en o por encima de línea "A" (Figura 7)	CH
			Gráfico IP por debajo de línea "A" (Figura 7)	MH
		Orgánico	(Ver figura 7); zona OH	OH
Suelos altamente orgánicos	Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico			Pt
Gravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC				
Arenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC				
— — — — —				
Si $4 \leq IP \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la Figura 7, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM				
Si $4 \leq IP \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la Figura 7, se usa doble símbolo CL-ML				

**Tabla 6:** Criterio para la asignación de símbolos de grupo.

**Fuente:** Braja M.Das (2013)

Para realizar la caracterización de las muestras del suelo, se utiliza la “Carta de plasticidad del SUCS”, en donde se grafican los resultados obtenidos de las pruebas aplicadas de límite líquido y del índice de plasticidad en un cuadro cartesiano de doble entrada (ver **figura 12**).





**Figura 12:** Gráfica de plasticidad.

### Requisitos para clasificación con sistema SUCS

Se debe de conocer lo siguiente:

1. El tanto por ciento de Grava, viene a ser aquella cantidad que logra pasar el tamiz de 76.2 mm y a la vez es conservada en el tamiz #4.
2. El tanto por ciento de Arena, es la cantidad que logra pasar el tamiz #4 y es retenida en el tamiz #200.
3. El tanto por ciento de limo y arcilla, es la cantidad que logra pasar el tamiz #200.
4. El coeficiente de uniformidad (CU) y el coeficiente de gradación (Cc).
5. El límite líquido y el Índice de Plasticidad del porcentaje de la muestra tomada que logra atravesar la malla #40.

**Sistema de clasificación AASHTO.** – Fue propuesta exclusivamente con la finalidad de la construcción de caminos y la construcción de carreteras. En el sistema AASHTO, se dividen a los suelos en 7 grupos, desde el A-1 hasta el grupo A-7 (**ver tabla 7 y tabla 8**).

Clasificación General	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por la malla #200)						
Grupo de clasificación	A-1		A-3	A-2			
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)							
N° 10	50 máx.						
N°40	30 máx.	50 máx.	51 min				
N° 200	15 máx.	25 máx.	10 máx.	35 máx.	36 máx.	37 máx.	38 máx.
Características de la fracción de paso malla N°40							
Límite líquido				40 máx.	41 máx.	40 máx.	41 min.
Índice de plasticidad	6 máx.		NP	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Fragmentos de roca, grava y arena		Arena fina	Limo o grava arcillosa y arena			
Clasificación general de la subrasante	Excelente a bueno						

**Tabla 7:** Criterio para la clasificación de suelos (35% o menor del total de la muestra que pasa la malla #200).

**Fuente:** Braja M.Das (2013)

Clasificación general	Materiales granulares (35% o menos del total de la muestra pasada por la malla #200)			
Grupo de clasificación	A-4	A-5	A-6	A-7, A-7-5, A-7-6
Análisis de tamiz (porcentaje de paso)				
N° 10				
N°40				
N° 200	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Características de la fracción de paso malla N°40				
Límite líquido	40 máx.	41 min.	40 máx.	41 min
Índice de plasticidad	10 máx.	10 máx.	11 min.	11 min.
Tipos comunes de materiales significativos constituyentes	Suelos limosos		Suelos arcillosos	
Clasificación general de la subrasante	Regular a malo			
	A-7-5, IP ≤LL-30			
	A-7-6, IP >LL-30			

**Tabla 8:** Criterio para la clasificación de suelos (más de 35% del total de la muestra que pasa la malla #200).

**Fuente:** Braja M.Das (2013)

### Criterios para la clasificación de los suelos

#### Tamaño de grano

Grava: Cantidad que atraviesa el tamiz de 75 mm y que queda atrapada dentro del tamiz #10.

Arena: Cantidad que atraviesa el tamiz #10 y que queda atrapada dentro del tamiz #200.

Limo y arcilla: Cantidad que atraviesa el tamiz #200.

### Plasticidad

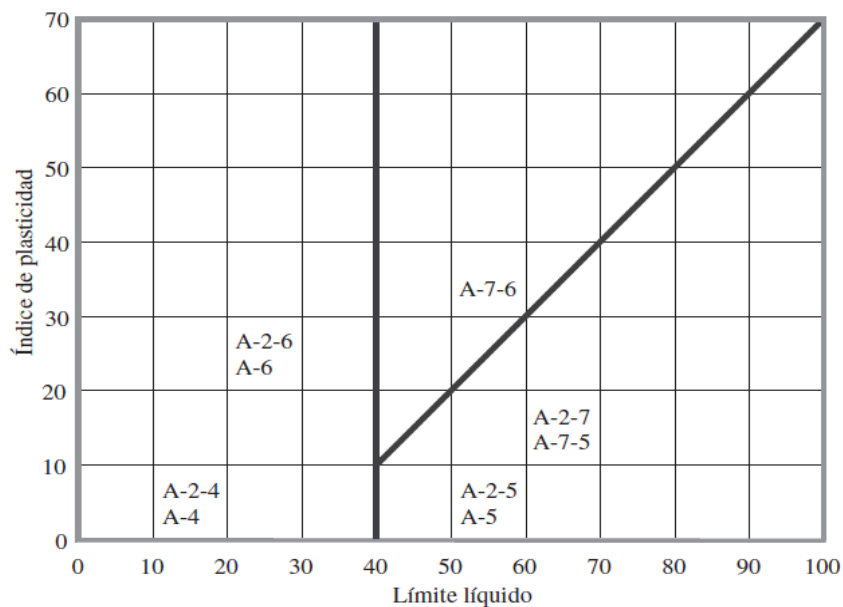
Limoso:  $IP \leq 10$ .

Arcilloso:  $IP \geq 11$ .

Si al realizar el tamizado se encuentra material de tamaño más grande a 75 mm, se excluyen de la muestra, pero se debe de registrar la cantidad de dicho material.

Para realizar la clasificación del suelo se debe de utilizar los datos establecidos en la tabla 7 y tabla 8, en donde se va probando los datos de izquierda a derecha en donde quepan con los parámetros establecidos.

En la figura 13 se presenta un gráfico que comprende el límite líquido y el índice de plasticidad de los suelos pertenecientes a los suelos de material arcilloso.



**Figura 13:** Rango del límite líquido y del índice de plasticidad para suelos en los grupos A-2, A-4, A-5, A-6 y A-7.

**Índice de Grupo.** - Para evaluar la calidad de un suelo como agregado para conformar la subrasante, se evalúa además el índice de grupo, éste se identifica colocándolo entre paréntesis, luego de los grupos, para su cálculo se debe de determinar utilizando la siguiente fórmula:

$$IG = (F-35) [0.2+0.005(LL-40)] + 0.01(F-15) (IP-10)$$

Dónde:

F: Porcentaje que pasa por el tamiz #200

LL: Límite líquido

IP: Índice de plasticidad

Para determinar el Índice de Grupo según el libro Fundamentos de Ingeniería Geotécnica por su autor Braja M. Das (2014) se deben de seguir las siguientes reglas:

1. Si luego de efectuar la operación otorga un resultado que sea menor a 0 (cero) para el IG, hay que considerar como 0 (cero).
2. El Índice de grupo obtenido debe de ser redondeado al valor entero más cercano, es decir si  $IG = 2.3$ , debe de ser redondeado a 2 y si el  $IG = 2.5$ , debe de ser redondeado a 3.
3. No existe algún límite superior para el IG.
4. El IG de los suelos que forman parte de los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 tendrá un valor constante de 0.
5. Al determinar el IG para muestras de tipo A-2-6, A-2-7, utilice el índice de grupo parcial.

$$IG = 0.01 (F-15)(IP-10)$$

Según el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2013), nos presenta un esquema, en donde según el Índice de Grupo obtenido se puede definir un tipo de subrasante (ver tabla N°9)

ÍNDICE DE GRUPO	SUBRASANTE
IG >9	Muy Pobre
IG comprendido de 4 a 9	Pobre
IG comprendido de 2 a 4	Regular
IG comprendido de 1 a 2	Bueno
IG comprendido de 0 a 1	Muy bueno

**Tabla 9:** Clasificación de subrasante de acuerdo al Índice de Grupo

De la misma forma el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” (2013), nos presenta una correlación entre la clasificación de suelos según el sistema SUCS y AASHTO, la cual es mostrada en la Tabla 10.

Clasificación de suelos AASHTO (AASHTO M-145)	Clasificación de suelos SUCS (ASTM-D-2487)
A-1-a	GW, GP, GM, SW, SP, SM
A-1-b	GM, GP, SM, SP
A-2	GM, GC, SM, SC
A-3	SP
A-4	CL, ML
A-5	ML, MH, CH
A-6	CL, CH
A-7	OH, MH, CH

**Tabla 10:** Correlación de Tipos de suelo AASHTO – SUCS

**Fuente:** US Army Corps of Engineers

**Propiedades mecánicas de la subrasante.** – Son aquellas que logran hacer referencia a aquellas que describen el accionar de la subrasante al aplicarles fuerzas, haciendo simulación de las cargas a la que es sometida la sub rasante.

**Óptimo Contenido de Humedad de la subrasante.** - Está normado mediante el ensayo MTC E 115 del Manual de Ensayo de Materiales (2016), en esta prueba de laboratorio comprende los métodos de compactación utilizados al evaluar la muestra, para saber la coherencia entre el porcentaje de agua presente y el porcentaje de peso unitario seco de los suelos (gráfico de compactación).

Éste es una prueba que se utiliza mucho en la Ingeniería, las subrasantes, bases y sub bases son compactadas a un estado compactado para conseguir resultados satisfactorios de resistencia al corte, compresión o permeabilidad.

El ensayo de proctor modificado determinan el porcentaje de compactación y el porcentaje de cantidad de agua presente en la mezcla que se requiera para que así se logre conseguir que la subrasante tenga un CBR adecuado para la transitabilidad.

En la figura 14 se muestran los principales equipos utilizados para realizar el ensayo de compactación de suelos



**Figura 14:** Equipo utilizado para la realización del ensayo de Proctor modificado

**Resistencia de la subrasante.** - Se entiende a la capacidad que tiene de soportar fuerzas de corte, dichas fuerzas son representadas por las fuerzas externas que transfieren los vehículos hacia la muestra obtenida de la subrasante.

La resistencia de la subrasante, es evaluada por medio de la prueba técnica de CBR (California Bearing Ratio), el cual se encuentra normado mediante las pruebas normadas por el MTC E 132 del Manual de Ensayo de Materiales (2016) y por la ASTM D 1883, este método es comúnmente utilizado por los contratistas ejecutores de obras para poder determinar si un suelo tiene la suficiente capacidad portante para soportar el tránsito vehicular sin provocar asentamientos.

**Categorías evaluadas de la subrasante.** - El CBR de la subrasante en estado natural, se deberá de evaluar utilizando los siguientes parámetros normados por el MTC en el Manual de Carreteras "Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos (2013). Tal como se muestra en la Tabla 11.

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

**Tabla 11:** Categorías de subrasante

Se debe de evaluar el estado actual de la subrasante, si se obtiene una subrasante menor al 6%, se debe de buscar el método más conveniente para estabilizarlo, mejorarlo o reforzarlo, dichos procesos de mejoramiento deben de hacer que el porcentaje de subrasante aumente de tal forma que pueda obtener un CBR regular, buena, muy buena o excelente. El equipo necesario para realizar el presente ensayo es el que se representa a continuación (ver figura 15).



**Figura 15:** Equipo para ensayo CBR.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

##### **Tipo de investigación:**

Para empezar durante el pasar de los años ha habido muchos investigadores que han podido definir varios tipos de investigación, en donde cada uno de ellos posee una posición diferente a la de los demás, sin embargo, han podido identificarse dos tipos de investigación; básica y aplicada.

Podemos identificar que el tipo de investigación que se empleará en el desarrollo es aplicada o tecnológica.

Como lo indica Ñaupas (2013) esta clase de investigación está orientada a hacer mejor, perfeccionar u mejorar el desempeño de los sistemas, los métodos, normas, reglas tecnológicas recientes a la luz de los avances e innovaciones de la comunidad científica (p. 69-70).

La presente investigación está orientada a dar solución a la problemática en el AA.HH. San Martin de Porras utilizando cal y caucho reciclado.

##### **Diseño de investigación:**

Según Santa Paella y Feliberto Martins (2010), se denomina al diseño experimental a aquella acción en donde el investigador manipula la experimentación con una variable, en fase de prueba no verificada, bajo condiciones rigurosamente dominadas, se tiene por producto final detallar de qué modo y porque causa se produce o se va a producir un fenómeno (p. 86). Según lo que se explica la investigación que se realizará es experimental porque para alcanzar los resultados previstos se variará y se modificará constantemente la cantidad de caucho reciclado y cal para estabilizar las vías en el AA.HH. San Martin de Porras.

##### **Nivel de investigación:**

Según Hernández (2014) “Está enfocado a dar respuesta por las causales de los acontecimientos que sucedan en nuestro entorno, así sea natural o provocado”.

La investigación que se está realizando encaja en un nivel explicativo, porque se van a plantear hipótesis con nuestras variables dependientes e independientes, y dar respuesta a las interrogantes planteadas con anterioridad sobre el área de estudio seleccionada.



### **Enfoque de investigación**

Al elegir el método que nos llevará a probar la validez de nuestras hipótesis, podemos definir que nuestra investigación tendrá un enfoque cuantitativo. Según lo indica Galeano (2004) la intención del enfoque cuantitativo es tener precisión de cálculos o indicadores que cuenten con la finalidad de generalizar los productos obtenidos a la población seleccionada, se trabaja con datos cuantificables (p. 24).

Durante todo el proceso de la obtención de los resultados a nuestra investigación se le da un enfoque cuantitativo debido a que en el transcurso del desarrollo del tema se irán cuantificando el producto determinado luego de haberlos efectuados a la subrasante del AA.HH. Programa TEPRO Alto San Martín de Porras.

### **3.2 Variables y operacionalización:**

Según Herrera (2016), define variable como aquello que varía o que está sujeto a algún cambio. Hablamos de algo que se destaca por ser desequilibrado, inconstante y mudable. Para realizar nuestra investigación identificamos 03 variables, 2 variables independientes (cal y caucho reciclado) y 01 variable dependiente (Estabilización de subrasante (Propiedades físicas y mecánicas)). Las variables independientes son aquellas que no dependen de otra y que varía según los porcentajes de adición que se utilizará.

La variable dependiente será la estabilización de subrasante (propiedades físicas y mecánicas) puesto que la estabilización depende de la cantidad que se utilizará de las variables independientes.

### **3.3 Población, muestra y muestreo**

**La población:** Se debe de tomar en cuenta que no solamente se refiere a un grupo de personas, sino también incluye objetos, animales, árboles, etc. La similitud no determina una población ya que esta puede contener elementos de distintas características. Según Hernández, Fernández y Baptista (2014), la población viene a ser el conjunto de todas las situaciones que se relacionan con ciertas informaciones (p. 174).

Para Arias (2012), se define como un grupo finito o infinito de componentes con cualidades recurrentes para las que van a ser extensas los resultados del proceso de investigación realizado (p. 83).

La investigación que se está realizando está tomando 1 población la cual está definida por la subrasante del Sector TEPRO Alto San Martin.

**La muestra:** La muestra es una parte de la población que será sometida a los ensayos para determinar la validez de las hipótesis que se han planteado en el desarrollo de nuestra investigación, la muestra posee las características de la población y los resultados serán asemejados y tomados para toda la población. Para Tamayo (2006) una muestra es el grupo de cálculos que se elaboran para estudiar la organización de las cualidades que en su totalidad representa a una población mayor, la cual parte desde el proceso de realizar la observación del comportamiento de la parte de la muestra total determinada (p.176).

Para evaluar las características de la población se vio por conveniente tomar como muestra 04 calicatas del AA.HH. San Martin de Porras, en donde se analizarán las hipótesis que se han planteado en la investigación.

**El muestreo:** El muestreo es la parte que se toma de la población en donde se realizarán los estudios, los resultados obtenidos serán generalizados para toda la población estudiada. Según Arias (2006), el muestreo probabilístico es aquel en donde se conoce la posibilidad de cada elemento para integrar la muestra. Paralelamente, define el muestreo no probabilístico como un procedimiento donde no se sabe la posibilidad que contengan los elementos pertenecientes de la población para incluirla en la muestra tomada (p. 83).

Para la investigación que desarrollaremos el muestreo es no probabilístico, porque el muestreo que se ha tomado ha sido elegido por los investigadores como el más óptimo para poder hacer las exploraciones (calicatas), esto es elegido de acuerdo a un criterio técnico que determinará la veracidad de las hipótesis que se han planteado para validar si beneficia o desfavorece la aplicación de las variables.

### **3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Los instrumentos de recaudación de datos según Arias (2006) son aquellas formas distintas de obtener la información, el mismo autor nos indica que los

instrumentos son recursos materiales que se emplean para reunir y guardar los resultados obtenidos (p. 206).

Para el caso de la investigación que se está realizando tendremos que utilizar la **técnica de la observación**, el cual según Méndez (2007) la define como aquella donde a través de los órganos representantes de nuestros sentidos tales como ojos, oído, piel, nariz, etc., el investigador captura la validez que lo circunda para después organizar, clasificar y presentar la información obtenida.

Para esta investigación también se aplicará la **técnica del experimento**, el cual es de suma importancia puesto que junto a la técnica de la observación sirven para lograr poner a prueba las hipótesis que se han planteado.

Se tendrá que observar los resultados que se obtendrán al realizar las pruebas respectivas para poder ser comparadas y analizadas con los antecedentes para poder validar las hipótesis que se han logrado plantear.

Se debe de observar en todo momento los ensayos de laboratorio, para garantizar que sean ejecutados de forma correcta y se anoten los cambios.

Los investigadores van experimentando con las variables independientes y se deben de anotar los cambios que vaya sufriendo en las variables dependientes, de esta forma se pueden poner a prueba las hipótesis que han sido planteadas para la investigación.

Los utensilios usados para la reunión de información para desarrollar nuestra investigación son los diversos ensayos, los cuales son granulometría, límites de atterberg, proctor modificado, CBR.

Se aplicarán la observación y el experimento al ir adicionando los porcentajes de cal y caucho para estabilizar la subrasante y ver la reacción que tenga al aplicarlo en el suelo natural.

**La validez**, según Hernández, Fernández y Baptista (2006), define a la validez al nivel en el instrumento que verdaderamente mide la variable que se quiere medir.

Los resultados que se conseguirán de la investigación serán validados y verificados por un laboratorio certificado en normas de calidad, especializado en ensayos de laboratorio para la validación de la índole del producto obtenido.

**La confiabilidad**, según Ander Egg (2002), la confiabilidad es referida a la precisión con que una herramienta logra medir lo que se desea medir (p.44). Es decir, a cuánto equivale el margen de error que posee la variable de estudio.

La confiabilidad de los instrumentos utilizados para la obtención de los resultados de los ensayos de calidad realizados en el laboratorio de mecánica de suelos, esta será verificada con anticipación con el encargado de laboratorio para comprobar que se encuentren en el estado más óptimo y así se pueda evitar la obtención de resultados erróneos.

El responsable del laboratorio deberá de tener los certificados de calibración de las normas técnicas correspondientes para así evitar la recolección errónea de datos.

### **3.5 Procedimiento**

El procedimiento en la tesis Estabilización de la subrasante en suelos arenosos con adición de caucho y cal, AA.HH. San Martín de Porras, Ica 2021, en donde se planteó el siguiente problema general ¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en la estabilización de la sub rasante del AAHH. San Martín de Porras?, además se plantearon los objetivos e hipótesis. Para conseguir el producto esperado de la investigación hay que llevar a cabo un diagnóstico del suelo inalterado, para así conocer su estado actual, se deben de hacer exploraciones (calicatas).

Se realizarán los ensayos a las propiedades físicas, de esa forma calcular el contenido de humedad que posea la subrasante, hacer pasar la muestra por los tamices para así obtener la clasificación del suelo, posteriormente se deben de determinar los límites de Atterberg, se le asignará una clasificación SUCS y AASHTO.

Se va a realizar la compactación de las muestras recogidas de las calicatas de la subrasante; con la utilización de la prueba de proctor modificado, de éste se obtendrá la Máxima Densidad Seca y el Óptimo Contenido de Agua de los especímenes recolectados.

Se va a realizar la prueba de compactación CBR para conocer la resistencia del suelo natural, asimismo luego se realizarán las pruebas de Proctor Modificado y CBR para la muestra con adición de 8 y 10% de cal y caucho reciclado.

Al culminar los estudios realizados, se reunirán los datos obtenidos en las fichas de recolección de datos, para luego ser procesados mediante hojas de cálculo virtuales.

De lo obtenido con anterioridad se procederá a comparar entre cuál de los aditivos utilizados ha tenido mejor comportamiento en cuanto a las hipótesis planteadas y se procederán a interpretar para compararlos con otros productos de investigación.

### **3.6 Método de análisis de datos**

Se explican o interpretan los resultados que se han sido obtenidos por las tácticas de reunión de información, mediante la utilización de instrumentos.

Los datos obtenidos serán llevados a una plantilla de Excel utilizada por el laboratorio de mecánica de suelos, en donde se procesan automáticamente generando gráficos y estableciendo resultados.

Al finalizar la obtención de los datos necesarios, estos serán verificados por el ingeniero encargado de la operación de los equipos del laboratorio de geología y mecánica de suelos.

### **3.7 Aspectos éticos**

En el actual ítem se evalúa la veracidad de los investigadores al realizar la tesis con responsabilidad y dedicación.

En la presente investigación se requirió de mucha dedicación, puesto que por circunstancias económicas no se contaba con el presupuesto para contratar a un personal para que pudiese excavar las calicatas, ante ello se tomó la decisión de realizarlas nosotros mismos, todo ello fue motivado por nuestro deseo de superación y crecimiento, para la elaboración de la presente se requirió de mucha paciencia, dedicación y responsabilidad por parte de sus autores para poder investigar todo lo concerniente a la estabilización de subrasante que hayan sido obtenidas por investigadores nacionales e internacionales.

#### IV. RESULTADOS

##### Nombre del proyecto:

Estabilización de la subrasante en suelos arenosos con adición de cal y caucho, AA.HH. San Martín de Porras, Ica 2021.

##### Ubicación de la Zona de estudio

La recolección y evaluación de muestras fue realizada en la provincia de Ica, ubicada específicamente en el Sector TEPRO Alto San Martín.

El objetivo de nuestra investigación es encontrar de qué forma influye la incorporación de cal y el caucho en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras adicionando porcentajes de 8% y 10%, para así lograr la estabilidad de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras.

El área de influencia de la investigación es:

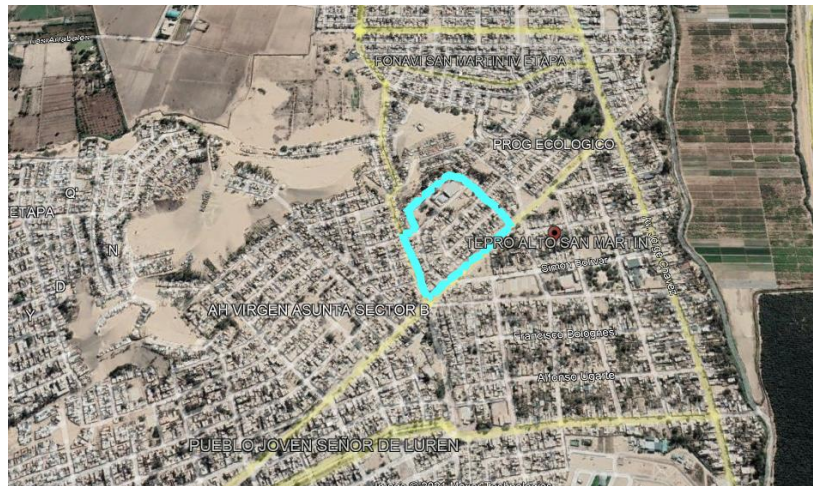
Región	: Ica.
Departamento	: Ica.
Provincia	: Ica.
Distrito	: Ica.

La ubicación del proyecto de investigación se detalla en la figura 16.



**Figura 16:** Mapa de Provincia de Ica.

Asimismo, se presenta una imagen satelital de la ubicación de la zona de la investigación. Ver figura 17.



**Figura 17:** Ubicación del AA.HH. San Martín de Porras

### **Accesibilidad al sector de Estudio:**

Para acceder al sector del proyecto hay que tomar la carretera panamericana sur, hasta llegar a la intersección con la Av. Industrial, se debe de continuar por la Av. Industrial hasta llegar al cruce con la Calle C-4, se debe de doblar hacia la izquierda hasta llegar a la Av. Juan José de Salas, en donde se encuentra la zona en la cual se desarrollará la investigación.

### **Estado de la zona del proyecto:**

El sector que se está estudiando tiene las mismas características a lo largo de su superficie, actualmente la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras presenta granulometría fina en la superficie, además de que a su alrededor no existen pistas ni veredas, por lo que la condición de transitabilidad es baja ya que algunos vehículos se quedan atorados en la arena.

Mayormente en el AA.HH. San Martín de Porras la población se dedica a actividades de transporte (colectivo), cargas, construcción, negocio ambulatorio, etc. El deficiente estado de conservación afecta directamente a los pobladores puesto que el transitar por las vías arenosas hace que los vehículos sufran descomposturas.

Debido a que las condiciones de transitabilidad son bajas, el camión recolector de basura se le hace complicado pasar por todas las calles, esto hace que en las esquinas se formen cúmulos de basura, esto hace que se descomponga y genere focos de enfermedades.

Debido a que el AA.HH. se encuentra en los colindantes del distrito de Ica con el distrito de Subtanjalla no ha sido considerado para la aplicación de proyectos de inversión de pavimentación o mejoramiento de subrasante.



Podemos observar el estado de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras en la **figura 18 y figura 19**.



**Figura 18:** Subrasante del AA.HH. San Martin de Porras.



**Figura 19:** Subrasante arenosa del AA.HH. San Martin de Porras.

## **Trabajo de Campo**

### **Localización de las exploraciones**

Para nuestra investigación se hicieron 04 exploraciones incluidas en todo el ámbito del AA.HH. San Martin de Porras el cual será evaluado con la presente tesis, a cada calicata se le asignaron los siguientes nombres para identificarlas, C-01, C-02, C-03, C-04.



Cada calicata se realizó a cada 500m, tal cual lo define el “Manual de carreteras y pavimentos del MTC (2014)”, la ubicación se establece de la siguiente forma.

Se realizaron los ensayos de laboratorio con la C-01 y C-02 adicionando caucho y con la C-03 y C-04 se realizarán los ensayos con cal, puesto que al realizar las exploraciones se encontró el mismo material en cada uno de ellos.

### **Granulometría de la subrasante**

Luego de haber extraído las muestras de las calicatas realizadas, se procedió a realizar el ensayo MTC E-107, mediante este ensayo se determinan las características físicas de los granos que componen los estratos de las muestras de suelo C-01, C-02, C-03, C-04, clasificándolo de acuerdo a su tamaño; para ello se utilizaron diversos tamaños de mallas.

### **Análisis Granulométrico de la Calicata N°01**

Se realizó exitosamente el tamizado y evaluación granulométrica de la muestra obtenida en la Calicata N°01, en donde el material que se utilizó es en su mayor parte agregado fino (arena).

### **Procedimiento del ensayo**

Para el presente ensayo se realizó con una tamizadora mecánica, en donde se pesó 1 kg de la muestra y se puso en marcha por 10 minutos, posteriormente se realizó el pesaje de las partículas retenidas y se calcularon los porcentajes.

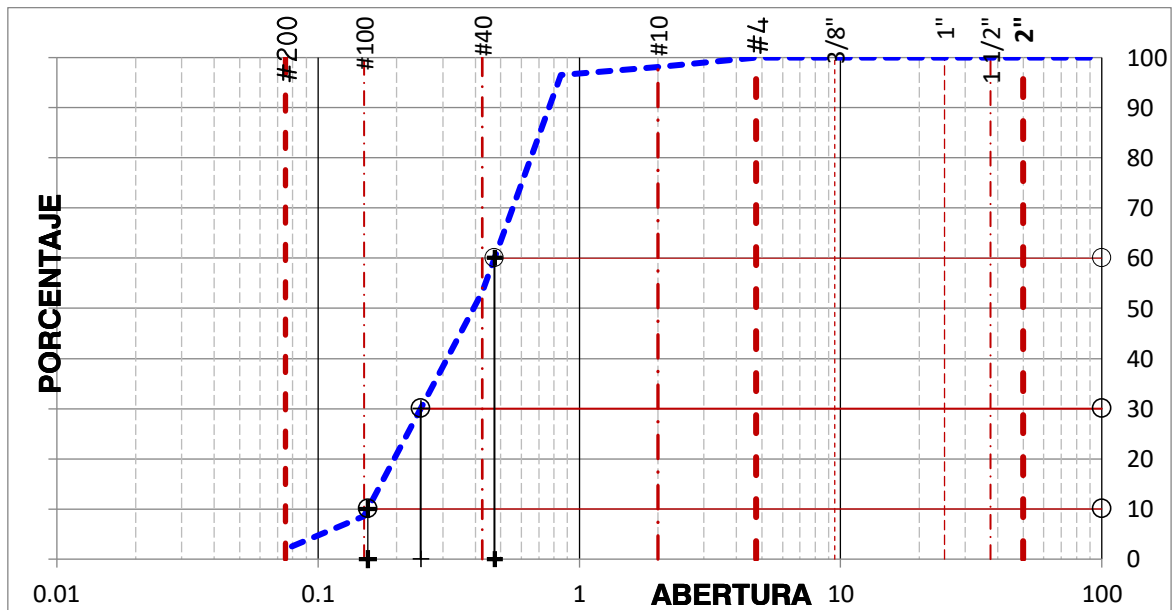
Los datos obtenidos, fueron procesados por el laboratorio de mecánica de suelos, en donde se anotaron en formatos Excel los resultados del análisis granulométrico; ver Tabla 12.

N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE	ACUMULADO (%)
	DENOMINACIÓN		PESO (g)	%	BASE EG 2013	
	ASTM	(mm)			% QUE PASA	GRADACIÓN B
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0	
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0	
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0	
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0	

9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0		
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0		
11	#10	2.000	15.8	1.6	98.4		
12	#20	0.850	12.8	1.3	97.1		
13	#40	0.425	420.6	42.0	55.1		
14	#100	0.150	471.0	47.1	8.0		
15	#200	0.075	68.0	6.8	1.2		
16	Fondo	0.075	12.2	1.2			

**Tabla 12:** Análisis Granulométrico de la Calicata C-01.

De la granulometría anterior, se puede definir que el tipo de subrasante de acuerdo con la caracterización AASHTO (ASTM D-3282, MÉTODO AASHTO M145) sería un A-3 puesto que cumple con la cantidad de agregado que logra atravesar la malla #40 y malla #200. De los resultados se obtuvo la siguiente curva granulométrica (ver figura 20).



**Figura 20:** Curva granulométrica C-01

Analizando el producto hallado, se afirma que la cantidad que logra atravesar por el tamiz #200, no es mayor al 50%, para lo tanto se deduce que la muestra pertenece a muestras de granulometría gruesa con presencia de grava y arena (G, SG, S), además de que se cumple con lo indicado en la Tabla N°06, donde se norman los requisitos mínimos para la denominación por el sistema de clasificación SUCS, se obtuvieron los siguientes resultados para definirlos (ver tabla 13):

COEFICIENTES CALICATA C-01	
Uniformidad ( $C_c$ )	2.939
Curvatura ( $C_u$ )	0.824

**Tabla 13:** Coeficientes obtenidos de la Calicata C-1.

Dichos coeficientes cumplen con lo indicado en la normativa ASTM D-2487 y por la NTP 339.134-1999, por lo tanto, la clasificación SUCS, sería una subrasante con suelo de tipo SP (Arena mal graduada).

De las clasificaciones de suelos echa se puede deducir la siguiente tabla (ver tabla 14).

CLASIFICACIÓN CALICATA C-01	
SUCS	AASHTO
SP	A-3

**Tabla 14:** Clasificación de C-01 según SUCS y AASHTO

Asimismo, se pudo obtener también la cantidad de humedad natural del suelo inalterado de la calicata C-01, pesando en un molde una cantidad de 94.8 g. de suelo húmedo, posteriormente se llevó al horno dicho molde, y se obtuvo 92.3 g. de suelo seco, restando el peso húmedo con el peso seco se obtuvo 2.5 g de contenido de agua lo cual equivale al 2.7 % de la muestra total, tal cual se detalla en la Tabla 15

CONTENIDO DE HUMEDAD CALICATA C-01	
Peso de suelo húmedo	94.8 g
Peso de suelo seco	92.3 g
Peso de agua	2.5 g
Humedad	2.7%

**Tabla 15:** Contenido de Humedad Calicata C-01.

De los resultados obtenidos de la granulometría de la calicata C-01, obtenemos el siguiente resumen (ver tabla 16).

Calicata	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Contenido de Humedad
C-01	SP	A-3 (0)	2.7 %

**Tabla 16:** Resultados de granulometría de Calicata C-01

## Análisis Granulométrico de la Calicata N°02

Se realizó exitosamente el tamizado y evaluación granulométrica de la muestra obtenida en la Calicata N°02, en donde el material que se utilizó es en su mayor parte agregado fino (arena).

### Procedimiento del ensayo

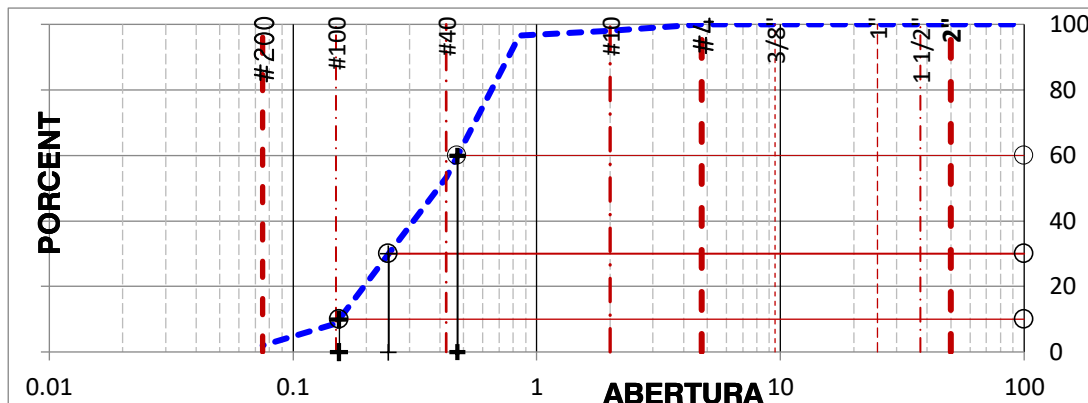
Para el presente ensayo se utilizaron tamices accionados manualmente, para de alguna forma comparar los resultados con lo obtenido con la tamizadora mecánica, debido a que ambas calicatas poseen características similares, para ello se pesó un total de 1 kg de la muestra de la C-02, en donde se realizaron movimientos circulares de los tamices, asimismo se debe de mantener una fuerza constante y continua para que nuestro ensayo, constantemente se debe de dar un golpe para facilitar el paso de las partículas, el producto obtenido es detallado en la siguiente tabla (ver tabla 17).

N	TAMIZ		RETENIDO		PASANT E	ACUMULADO (%)
	DENOMINACIÓN		PESO (g)	%	BASE EG 2013	
	ASTM	(mm)			% QUE PASA	GRADACIÓN B
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0	
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0	
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0	
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0	
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0	
11	#10	2.000	19.2	1.9	98.1	
12	#20	0.850	16.1	1.6	96.5	
13	#40	0.425	431.7	43.2	53.3	
14	#100	0.150	447.0	44.7	8.6	
15	#200	0.075	65.8	6.6	2.0	
16	Fondo	0.075	19.7	2.0		
17						
18						
19						
20						

**Tabla 17:** Análisis Granulométrico de la Calicata C- 02

De la granulometría anterior, se puede definir que el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación AASHTO (ASTM D-3282, MÉTODO AASHTO M145) sería un A-3

puesto que cumple con la cantidad de agregado que logra atravesar la malla #40 y malla #200. De los resultados se obtuvo la siguiente curva granulométrica (ver figura 21).



**Figura 21:** Curva granulométrica calicata C-02

Analizando el producto hallado, se afirma que la cantidad que logra atravesar el tamiz #200, no es mayor al 50%, para lo cual se tiene que la muestra de la Calicata C-02 pertenece a suelos de granulometría gruesa con presencia de grava y arena (G, SG, S), además de que se cumple con lo indicado en la Tabla N°06, donde se norman los requisitos mínimos para la denominación por el sistema de clasificación SUCS, se obtuvieron los siguientes resultados para definirlos (ver tabla 18):

COEFICIENTES CALICATA C-02	
Uniformidad ( $C_c$ )	3.054
Curvatura ( $C_u$ )	0.832

**Tabla 18:** Coeficientes obtenidos de la Calicata C-02.

Dichos coeficientes cumplen con lo indicado en la normativa ASTM D-2487 y por la NTP 339.134-1999, por lo tanto, la clasificación SUCS, sería una subrasante con suelo de tipo SP (Arena mal graduada).

De las clasificaciones de suelos echa se puede deducir la siguiente tabla (ver tabla 19).

CLASIFICACIÓN CALICATA C-02	
SUCS	AASHTO
SP	A-3

**Tabla 19:** Clasificación de C-02 según SUCS y AASHTO

Asimismo, se pudo obtener también cantidad de humedad natural del suelo inalterado de la calicata C-02, pesando en un molde una cantidad de 159.8 g. de suelo húmedo, posteriormente se llevó al horno dicho molde, y se obtuvo 154.6 g. de suelo seco, restando el peso húmedo con el peso seco se obtuvo 5.2 g de contenido de agua lo cual equivale al 3.4 % de la muestra total, tal cual se detalla en la Tabla 20.

CONTENIDO DE HUMEDAD CALICATA C-02	
Peso de suelo húmedo	159.8 g
Peso de suelo seco	154.6 g
Peso de agua	5.2 g
Humedad	3.4%

**Tabla 20:** Contenido de Humedad Calicata C-02.

De los resultados obtenidos de la granulometría de la calicata C-02, obtenemos el siguiente resumen (ver tabla 21).

Calicata	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Contenido de Humedad
C-02	SP	A-3 (0)	3.4 %

**Tabla 21:** Resultados de granulometría de Calicata C-02

### **Análisis Granulométrico de la Calicata N°03**

Para el presente ensayo se realizó con una tamizadora mecánica, en donde se pesó 1 kg de la muestra y se puso en marcha por 10 minutos, posteriormente se realizó el pesaje de las partículas retenidas y se calcularon los porcentajes.

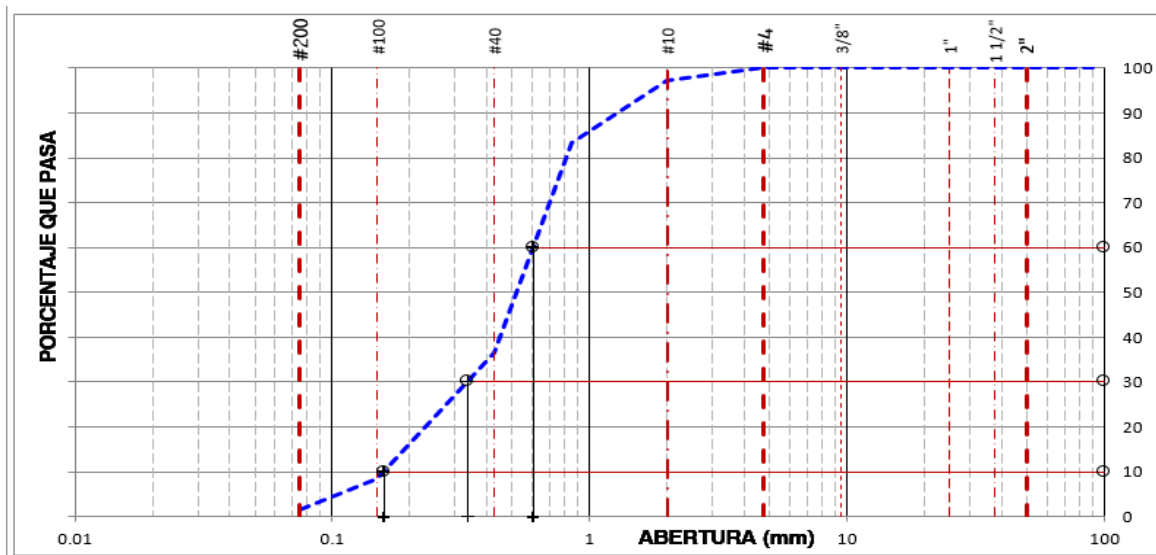
Los datos obtenidos, fueron procesados por el laboratorio de mecánica de suelos, en donde se anotaron en formatos Excel los resultados del análisis granulométrico; ver Tabla 22.

N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE	ACUMULADO
	ASTM	(mm)	PESO (g)	%	E	(%)
<b>BASE EG 2013</b>						
					<b>% QUE PASA</b>	<b>GRADACIÓN B</b>
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	

5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0		
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0		
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0		
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0		
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0		
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0		
11	#10	2.000	29.2	2.9	97.1		
12	#20	0.850	136.8	13.7	83.4		
13	#40	0.425	470.1	47.0	36.4		
14	#100	0.150	279.2	27.9	8.5		
15	#200	0.075	68.7	6.9	1.6		
16	Fondo	0.075	16.2	1.6			
17							
18							
19							
20							

**Tabla 22:** Análisis Granulométrico de la Calicata C-03

De la granulometría anterior, se puede definir que el tipo de suelo según la clasificación AASHTO (ASTM D-3282, MÉTODO AASHTO M145) sería un A-1-b puesto que cumple con la cantidad de agregado que logra atravesar la malla #40 y malla #200. De los resultados se obtuvo la siguiente curva granulométrica (ver figura 22).



**Figura 22:** Curva granulométrica C-03

Analizando el producto hallado, se afirma que la cantidad que logra atravesar el tamiz num.200, no es mayor al 50%, para lo cual se tiene que la muestra de la Calicata C-02 pertenece a suelos de granulometría gruesa con presencia de grava y arena (G, SG, S), además de que se cumple con lo indicado en la Tabla N°06, donde se norman

los requisitos mínimos para la denominación por el sistema de clasificación SUCS, se obtuvieron los siguientes resultados para definirlos (ver tabla 23):

COEFICIENTES CALICATA C-03	
Uniformidad ( $C_c$ )	3.794
Curvatura ( $C_u$ )	1.173

**Tabla 23:** Coeficientes obtenidos de la Calicata C-3.

Dichos coeficientes cumplen con lo indicado en la normativa ASTM D-2487 y por la NTP 339.134-1999, por lo tanto, la clasificación SUCS, sería una subrasante con suelo de tipo SP (Arena mal graduada).

De las clasificaciones de suelos echa se puede deducir la siguiente tabla (ver tabla 24).

CLASIFICACIÓN CALICATA C-03	
SUCS	AASHTO
SP	A-1-b

**Tabla 24:** Clasificación de C-03 según SUCS y AASHTO

Asimismo, se pudo obtener también la cantidad de humedad natural del suelo inalterado calicata C-03, pesando en un molde una cantidad de 125.7 g. de suelo húmedo, posteriormente se llevó al horno dicho molde, y se obtuvo 121.2 g. de suelo seco, restando el peso húmedo con el peso seco se obtuvo 4.5 g de contenido de agua lo cual equivale al 3.7 % de la muestra total, tal cual se detalla en la Tabla 25.

CONTENIDO DE HUMEDAD CALICATA C-03	
Peso de suelo húmedo	125.7 g
Peso de suelo seco	121.2 g
Peso de agua	4.5 g
Humedad	3.7%

**Tabla 25:** Contenido de Humedad Calicata C-03.

De los resultados que se consiguieron de la granulometría de la calicata C-03, obtenemos el siguiente resumen (ver tabla 26).



Calicata	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Contenido de Humedad
C-03	SP	A-1-b	3.4 %

**Tabla 26:** Resultados de granulometría de Calicata C-03

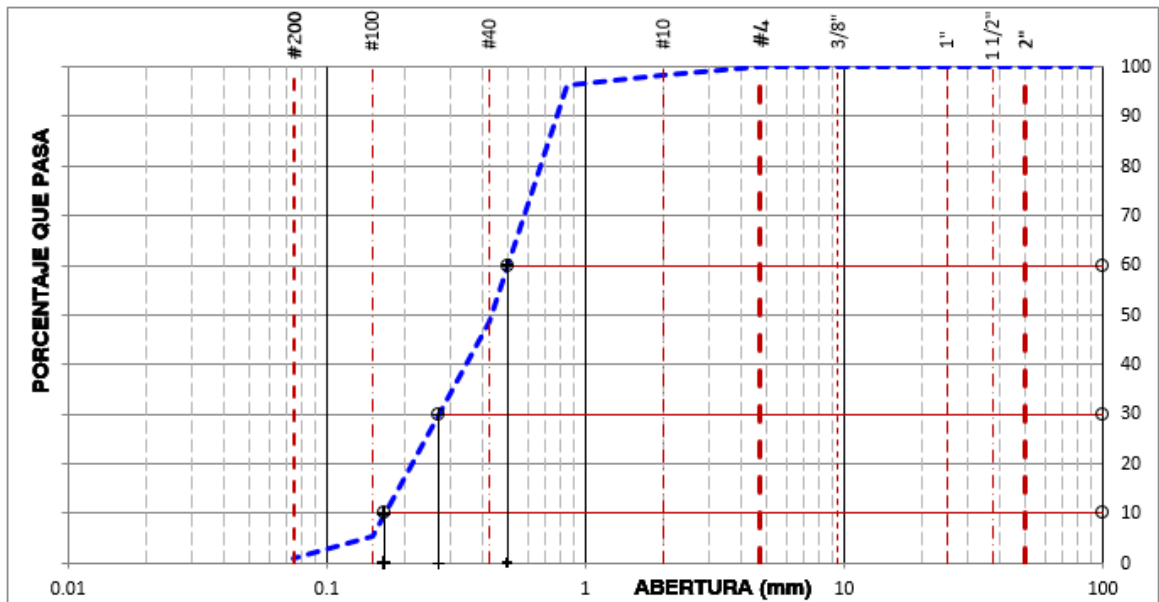
### Análisis Granulométrico de la Calicata N°04

Los datos obtenidos, fueron procesados por el laboratorio de mecánica de suelos, en donde se anotaron en formatos Excel los resultados del análisis granulométrico; ver Tabla 27.

N	TAMIZ		RETENIDO		PASANT E	ACUMULADO (%)
	DENOMINACIÓN		PESO (g)	%	BASE EG 2013	
	ASTM	(mm)			% QUE PASA	GRADACIÓN B
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0	
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0	
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0	
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0	
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0	
11	#10	2.000	17.3	1.7	98.3	
12	#20	0.850	19.0	1.9	96.4	
13	#40	0.425	476.5	47.6	48.7	
14	#100	0.150	432.0	43.2	5.5	
15	#200	0.075	44.7	4.5	1.1	
16	Fondo	0.075	10.6	1.1		
17						
18						
19						
20						

**Tabla 27:** Análisis Granulométrico de la C-04

De la granulometría anterior, se puede determinar que el tipo de suelo de acuerdo con la clasificación AASHTO (ASTM D-3282, MÉTODO AASHTO M145) sería un A-1-b puesto que cumple con la cantidad de agregado que logra atravesar por la malla #40 y malla #200. De los resultados se obtuvo la siguiente curva granulométrica (ver figura 23).



**Figura 23:** Curva granulométrica C-04

Dichos coeficientes cumplen con lo indicado en la normativa ASTM D-2487 y por la NTP 339.134-1999, por lo tanto, la clasificación SUCS, sería una subrasante con suelo de tipo SP (Arena mal graduada).

De las clasificaciones de suelos echa se puede deducir la siguiente tabla (ver tabla 28).

CLASIFICACIÓN CALICATA C-04	
SUCS	AASHTO
SP	A-1-b

**Tabla 28:** Clasificación de C-04 según SUCS y AASHTO

Asimismo, se pudo obtener también la cantidad de humedad natural del suelo inalterado de la calicata C-04, pesando en un molde una cantidad de 216.5 g. de suelo húmedo, posteriormente se llevó al horno dicho molde, y se obtuvo 211.6 g. de suelo seco, restando el peso húmedo con el peso seco se obtuvo 4.9 g de contenido de agua lo cual equivale al 2.3 % de la muestra total, tal cual se detalla en la Tabla 29.

CONTENIDO DE HUMEDAD CALICATA C-04	
Peso de suelo húmedo	216.5 g
Peso de suelo seco	211.6 g

Peso de agua	4.9 g
Humedad	2.3%

**Tabla 29:** Contenido de Humedad Calicata C-04.

De los resultados obtenidos de la granulometría de la calicata C-04, obtenemos el siguiente resumen (ver tabla 30).

Calicata	Clasificación SUCS	Clasificación AASHTO	Contenido de Humedad
C-04	SP	A-1-b	2.3 %

**Tabla 30:** Resultados de granulometría de Calicata C-04.

### **Límites de consistencia de las Calicatas C-01, C-02, C-03, C-04.**

#### **Límite Líquido**

Luego de analizar la base teórica y los ensayos realizados en laboratorio, podemos determinar que, según la clasificación del suelo obtenida, el límite líquido obtenido fue de 0 %, esto es debido a que la subrasante es NO PLÁSTICA y debido a esas características no puede pasar del estado líquido al estado plástico o viceversa, al ser una subrasante NO PLÁSTICA.

#### **Límite Plástico**

De acuerdo a la Tabla 7, se pudo determinar en el laboratorio que el límite de plasticidad es determinado como NP, es decir es un suelo No Plástico, es decir tiene una plasticidad muy baja, esto se pudo comprobar al realizar el ensayo de plasticidad normado por el ensayo MTC E 111.

En el laboratorio se fueron formando barritas de unos 3.2 mm con nuestras manos sobre una superficie que sea lisa, al realizarlo no se pudo formar dicha barrita puesto que debido a la presencia de material fino (arena) el agregado se desmorona constantemente, esto quiere decir que es un suelo NO PLÁSTICO.

#### **Índice de Plasticidad**

De la teoría descrita anteriormente se tiene que el índice de Grupo de los suelos que contienen a los grupos A-1-a, A-1-b, A-2-4, A-2-5 y A-3 siempre es 0.

Luego de revisar los resultados obtenidos podemos resumir los resultados obtenidos en la tabla N° 31.

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	0.00
LÍMITE PLÁSTICO (%)	NP
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP

**Tabla N°31** Resultados de límites de consistencia.

Estos resultados son válidos para todas las muestras obtenidas puesto que los tipos de suelos de las calicatas elaboradas se correlacionan entre si y que todas contienen alta cantidad de material fino.

### **Ensayo de Compactación (Proctor Modificado)**

Se realizó la prueba de Proctor Modificado, en donde se tuvo que utilizar el método "C", utilizando dicho método se tuvo como referencia se logró calcular el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca, donde también se halló la curva de compactación, se deben de analizar en primer lugar las muestras al estado natural, posteriormente también se evaluarán los resultados con la adición de 8% y 10% de cal y caucho respectivamente.

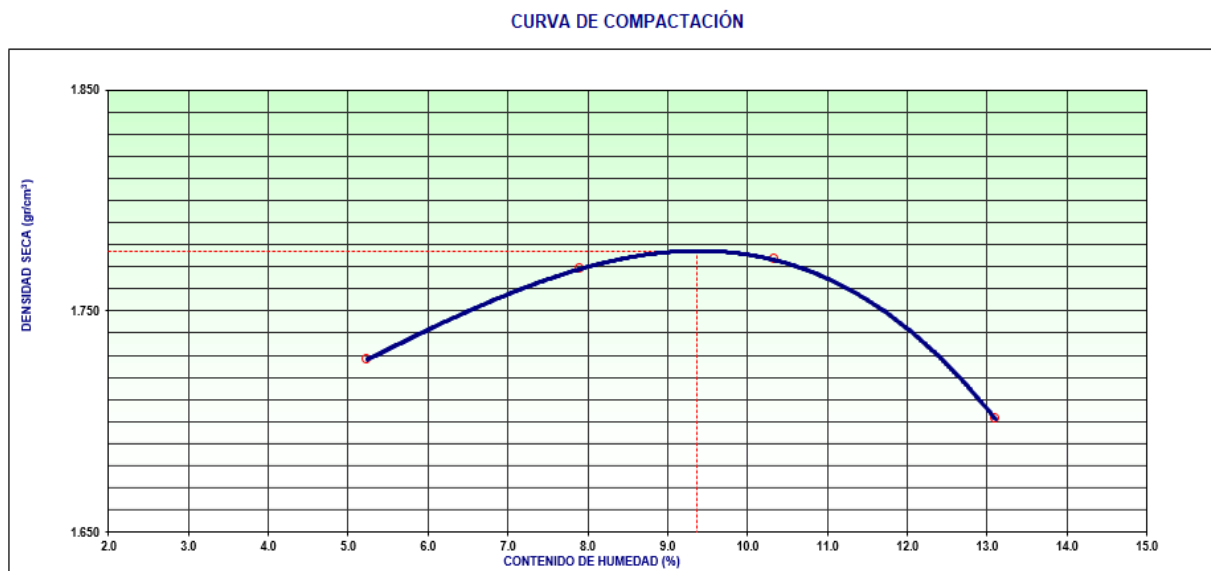
### **Ensayo de compactación C-01, C-02 (ESTADO NATURAL)**

Se tomará como muestra material proveniente de las calicatas C-01 y C-02 (02 muestras significativas de cada calicata) y se procedió a realizar el ensayo de Proctor modificado, por el método "C", como se muestra a continuación en la siguiente imagen (ver figura 24).



**Figura 24:** Ensayo de Compactación C-01, C-02 (ESTADO NATURAL) (Proctor Modificado)

Del cual se obtuvo la siguiente curva de compactación (ver figura 25).



**Figura 25:** Curva de compactación C-01, C-02 (SUELO NATURAL)

De la curva de compactación hallada por el método de Proctor modificado se consiguen los próximos resultados (ver tabla 32).

RESULTADOS C-01, C-02 (SUELO NATURAL)			
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.78	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9.4

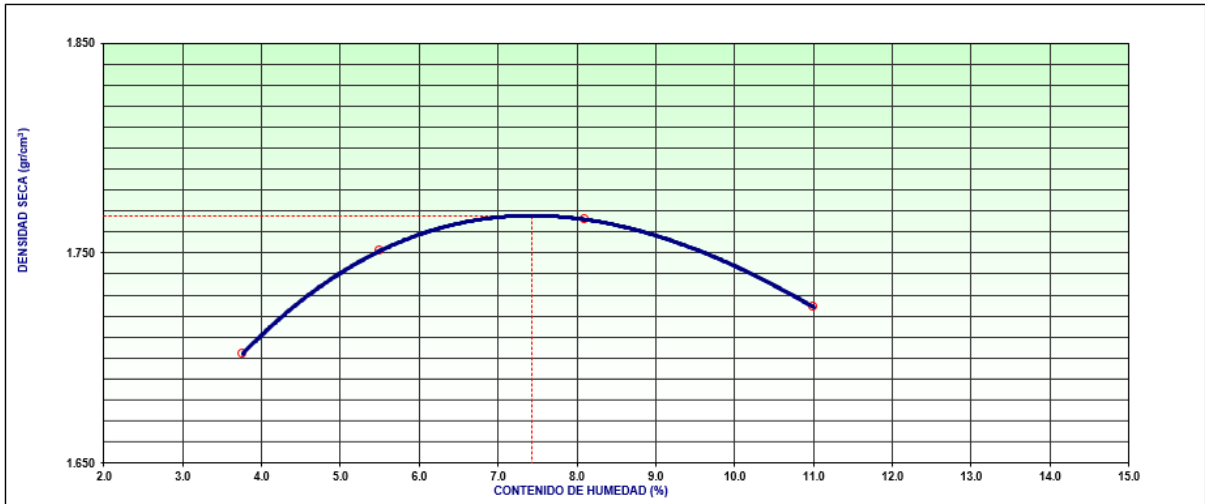
**Tabla 32:** Resultados obtenidos en ensayo de proctor modificado C-01, C-02 (SUELO NATURAL)

En la figura 25 y en la tabla 32 se observan el producto de la prueba de Proctor modificado en estado inalterado, en donde se dio por resultado que el óptimo contenido de humedad para el espécimen tomado es de 9.4% en comparación con su compatibilidad a la máxima densidad seca que es de 1.780 gr/cm<sup>3</sup>.

### **Ensayo de compactación C-03, C-04 (ESTADO NATURAL)**

Se tomará como muestra material proveniente de las calicatas C-03 y C-04 (02 muestras significativas de cada calicata) a lo cual se obtuvo la siguiente curva de compactación (ver figura 26).

CURVA DE COMPACTACIÓN



**Figura 26:** Curva de compactación C-03, C-04 (SUELO NATURAL)

De la curva de compactación hallada por el método de proctor modificado se pueden resumir el producto obtenido en la siguiente tabla (ver tabla 33).

RESULTADOS C-03, C-04 (SUELO NATURAL)			
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.77	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	7.4

**Tabla 33:** Resultados obtenidos en ensayo de proctor modificado C-03, C-04 (SUELO NATURAL)

En la figura 26 y en la tabla 33 se observan el producto del ensayo de proctor modificado en estado natural, en donde se dio por resultado que el óptimo contenido de humedad para la muestra tomada es de 7.4 % en comparación con su relación a la máxima densidad seca que es de 1.770 gr/cm<sup>3</sup>.

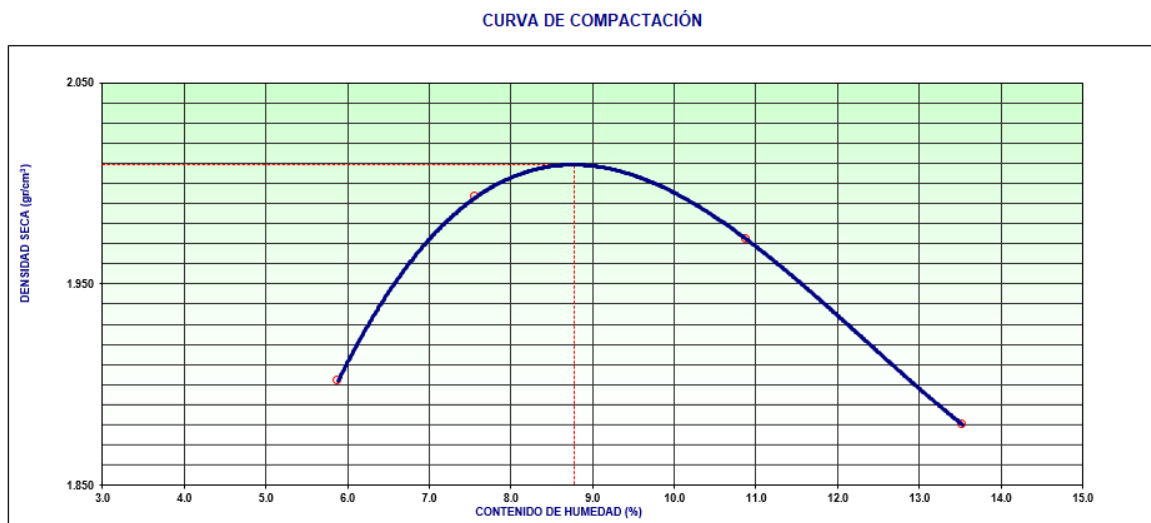
**Ensayo de compactación C-03, C-04 (ESTADO NATURAL+8% de CAL)**

Se tomará como muestra material proveniente de las calicatas C-03 y C-04 (02 muestras significativas de cada calicata) y se le adicionará el 8% de su peso en cal para estabilizarlo, como se muestra a continuación en la siguiente imagen (ver figura 27).



**Figura 27:** Procedimiento de mezclado C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% de CAL).

Del cual se obtuvo la siguiente curva de compactación (ver figura 28).



**Figura 28:** Curva de compactación C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% de CAL)

De la curva de compactación hallada por el método de proctor modificado se pueden resumir los resultados en la siguiente tabla (ver tabla 34).

RESULTADOS C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% CAL)			
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.01	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.8

**Tabla 34:** Resultados obtenidos en ensayo de proctor modificado C-03, C-04 (SUELO NATURAL+8% DE CAL)

En la figura 27 y en la tabla 34 se observan el producto de la prueba de proctor modificado en estado inalterado adicionando 8% de cal, en donde se halló que el óptimo contenido de humedad para el espécimen tomado es de 8.8% en comparación con su relación a la máxima densidad seca que es de 2.01 gr/cm<sup>3</sup>.

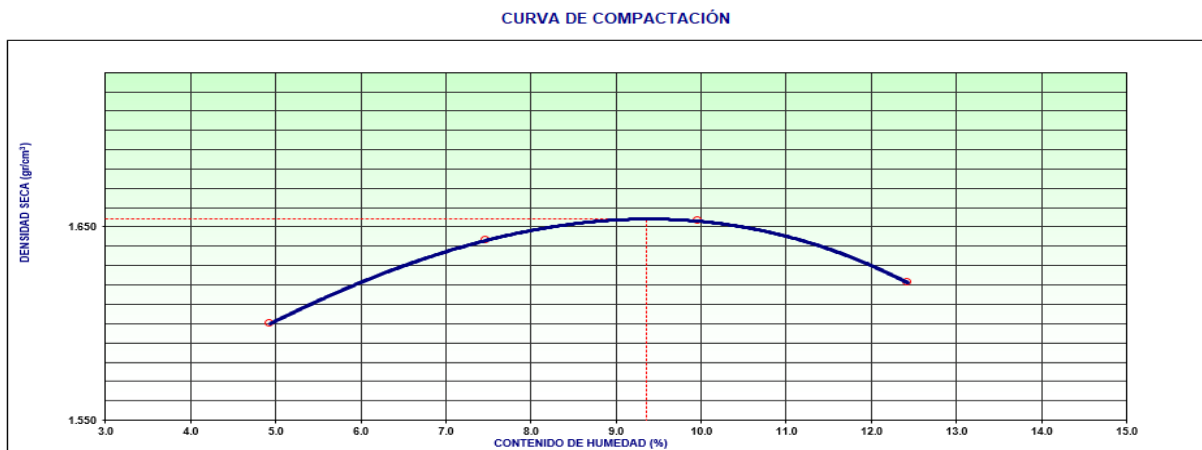
### Ensayo de compactación C-01, C-02 (ESTADO NATURAL+8% de CAUCHO)

Se tomará como muestra material proveniente de las calicatas C-01 y C-02 (02 muestras significativas de cada calicata) y se le adicionará el 8% de su peso en caucho para estabilizarlo, como se muestra a continuación en la siguiente imagen (ver figura 29).



**Figura 29:** Procedimiento de mezclado C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% de CAL).

Del cual se obtuvo la siguiente curva de compactación (ver figura 30).



**Figura 30:** Curva de compactación C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% de CAUCHO)



De la curva de compactación hallada por el método de proctor modificado se consiguen los próximos resultados (ver tabla 35).

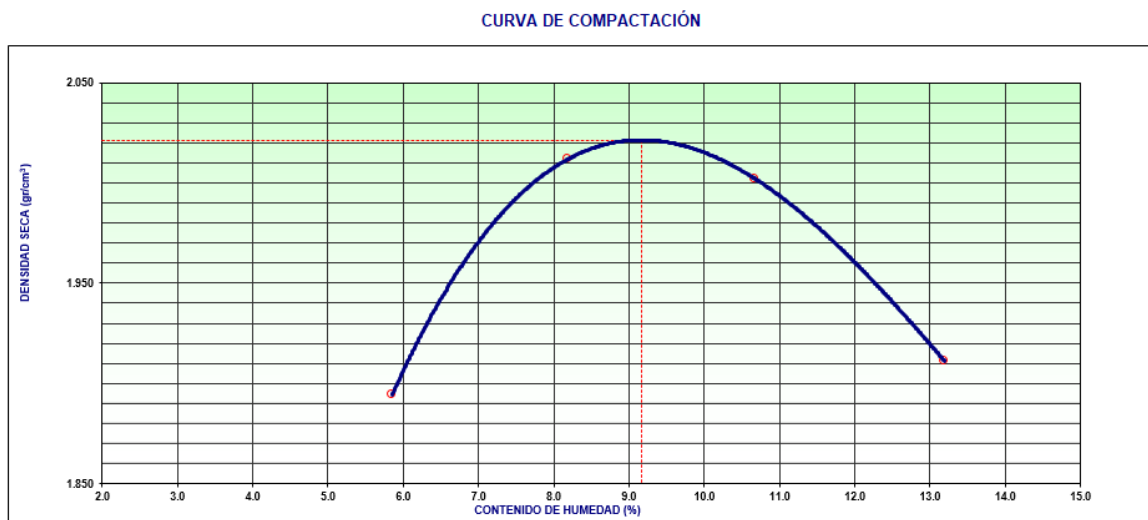
RESULTADOS C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% CAUCHO)			
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.65	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9.4

**Tabla 35:** Resultados obtenidos en ensayo de Proctor modificado C-01, C-02 (SUELO NATURAL+8% DE CAUCHO)

En la figura 30 y en la tabla 35 se observa el producto de la prueba de proctor modificado en estado inalterado adicionando 8% de caucho, en donde se halló que el óptimo contenido de humedad para el espécimen tomado es de 9.4% en comparación con su compatibilidad a la máxima densidad seca que es de 1.65 gr/cm<sup>3</sup>.

### Ensayo de compactación C-03, C-04 (ESTADO NATURAL+10% de CAL)

Se tomará como muestra material proveniente de las calicatas C-03 y C-04 (02 muestras significativas de cada calicata) y se le adicionará el 10% de su peso en cal para estabilizarlo, a lo cual se obtuvo la siguiente curva de compactación (ver figura 31).



**Figura 31:** Curva de compactación C-03, C-04 (SUELO NATURAL+10% de CAL)

De la curva de compactación hallada por el método de Proctor modificado se consiguen los próximos resultados (ver tabla 36).

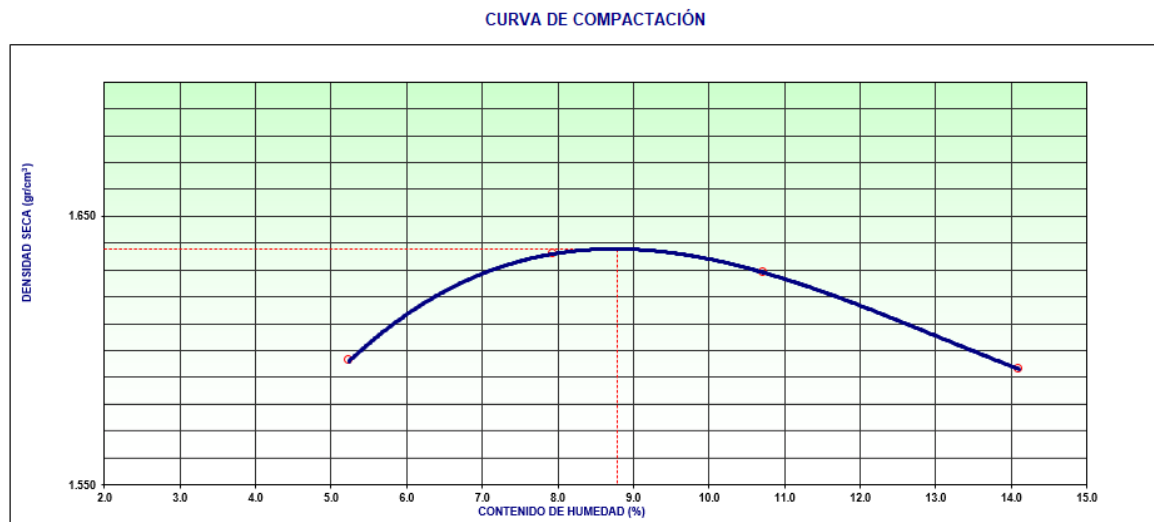
RESULTADOS C-03, C-04 (SUELO NATURAL+10% CAL)			
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.02	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	9.2

**Tabla 36:** Resultados obtenidos en ensayo de proctor modificado C-03, C-04 (SUELO NATURAL+10% DE CAL)

En la figura 31 y en la tabla 36 se observa el producto de la prueba de proctor modificado en estado inalterado adicionando 10% de cal, en donde se halló que el óptimo contenido de humedad para el espécimen tomado es de 9.2 % en comparación con su compatibilidad a la máxima densidad seca que es de 2.02 gr/cm<sup>3</sup>.

### Ensayo de compactación C-01, C-02 (ESTADO NATURAL+10% de CAUCHO)

Se tomará como muestra material proveniente de las calicatas C-01 y C-02 (02 muestras significativas de cada calicata) y se le adicionará el 10% de su peso en caucho para estabilizarlo, a lo cual se obtuvo la siguiente curva de compactación (ver figura 32).



**Figura 32:** Curva de compactación C-01, C-02 (SUELO NATURAL+10% de CAUCHO)

De la curva de compactación hallada por el método de proctor modificado se consiguen los próximos resultados (ver tabla 37).

RESULTADOS C-01, C-02 (SUELO NATURAL+10% CAUCHO)			
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.64	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	8.8

**Tabla 37:** Resultados obtenidos en ensayo de proctor modificado C-01, C-02 (SUELO NATURAL+10% DE CAUCHO)

En la figura 32 y en la tabla 37 se observa el producto de la prueba de proctor modificado en estado inalterado adicionando 10% de caucho, en donde se halló que el óptimo contenido de humedad para el espécimen tomado es de 8.8 % en comparación con su compatibilidad a la máxima densidad seca que es de 1.64 gr/cm<sup>3</sup>.

Sintetizando la información obtenida de los ensayos de compactación (Proctor modificado) realizados a las diversas muestras se tiene la siguiente tabla (ver tabla 38).

MUESTRA	ESTADO DE SUBRASANTE	Máxima Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	Óptimo Contenido de Humedad
C-03, C-04	Estado natural	1.77	7.40
C-03, C-04	E.N.+ 8% Cal	2.01	8.80
C-03, C-04	E.N.+10% Cal	2.02	9.20
C-01, C-02	Estado natural	1.78	9.40
C-01, C-02	E.N. + 8% Caucho	1.65	9.40
C-01, C-02	E.N. + 10% Caucho	1.64	8.80

**Tabla 38:** Comparación de resultados obtenidos de ensayo de proctor modificado.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 38 se aprecia los resultados de la evaluación de Proctor Modificado ensayado a las calicatas C-01, C-02 en estado inalterado; de donde se deduce que el óptimo contenido de humedad para dicho espécimen es de 9.40% en concordancia a su densidad máxima seca que vendría a ser 1.78 gr/cm<sup>3</sup>, por otro lado, las calicatas C-03, C-04 en estado natural, se dedujo que el óptimo contenido de humedad para

dichas especies es de 7.40% en relación a su densidad máxima seca que es de 1.77 gr/cm<sup>3</sup>, del mismo modo se tiene el resultado de la combinación de las calicatas C-01, C-02 y C-03, C-04 más la adición del 8% de caucho y cal su óptimo contenido de humedad es 9.40% y 8.80%, en concordancia a su densidad máxima seca que es de 1.65 gr/cm<sup>3</sup> y 2.01 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente, a la vez se observa el resultado del mezclado de las calicatas C-01, C-02 y C-03, C-04 más el aumento del 10% de caucho y cal su óptimo contenido de humedad es 8.80% y 9.20%, en concordancia a su densidad máxima seca que es de 1.64 gr/cm<sup>3</sup> y 2.02 gr/cm<sup>3</sup> respectivamente.

### **Ensayo de Resistencia al Corte (California Baring Ratio CBR)**

De las pruebas que se han realizado a los especímenes adquiridos de las calicatas, el ensayo de CBR es uno de los más importantes puesto que este determina sustancialmente si la subrasante aumenta o disminuye su resistencia, se hicieron el análisis de la muestra al estado natural y con adición de 8% y 10% de cal y caucho, y así determinar la resistencia de la subrasante se elaboraron 03 especímenes de cada una de las muestras tomadas, en donde cada una de ellas fue sometida a diferente cantidad de energía (número de golpes), las cuales fueron de 27.7 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), 12.2 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes) y 6.1 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes).

De la calicata C-01 Y C-02 se tomaron 03 muestras, de 56, 25 y 12 golpes respectivamente y se procedió a realizar el ensayo de laboratorio respectivo para determinar la capacidad portante y la resistencia que ofrecerá la mezcla de la muestra con la proporción de cal elegida, como se muestra a continuación en la siguiente imagen (ver figura 33).



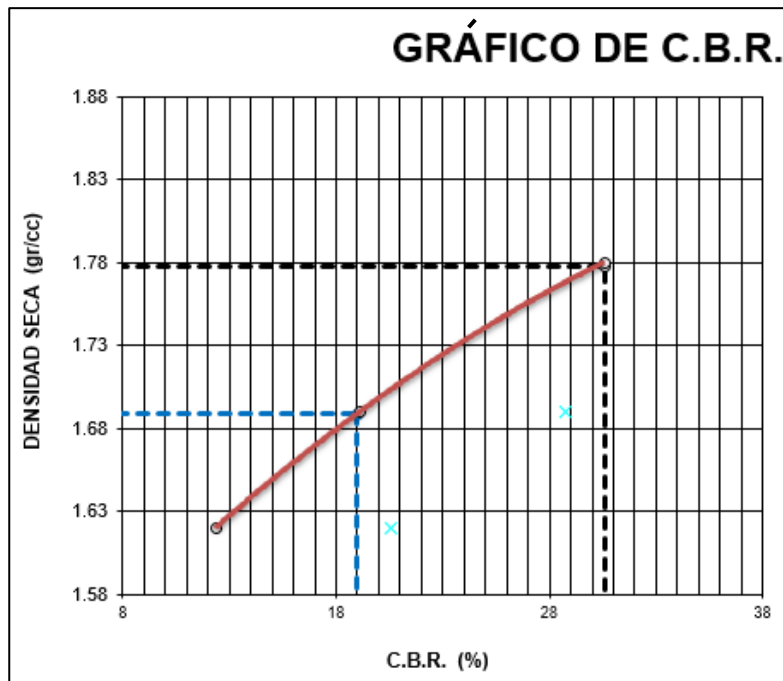
**Figura 33:** Realización de ensayo de CBR.

Del cual el resultado se observa en la tabla 39.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)							
( ASTM D-1883 )							
Molde N°			1		3		2
Capa N°			5		5		5
Golpes por capa N°			56		25		12
Condición de la muestra			SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR
Peso molde + suelo húmedo	gr.		12650		12263		12320
Peso del molde	gr.		8410		8260		8450
Peso del suelo húmedo	gr.		4240		4003		3870
Volúmen del molde	cc.		2189		2189		2189
Densidad Húmeda	gr./cc		1.94		1.83		1.77
Humedad	%		9.10		8.40		9.50
Densidad seca	gr./cc		1.780		1.69		1.62
Tarro N°			1		2		5
Tarro suelo húmedo	gr.		169.5		189.9		148
Tarro suelo seco	gr.		158.3		178.1		138.5
Agua	gr.		11.2		11.8		9.5
Peso del Tarro	gr.		35.2		38.3		38.5
Peso del suelo seco	gr.		123.1		139.8		100
Humedad	%		9.1		8.4		9.5
Promedio de la humedad	%						

**Tabla 39:** Compactación de especímenes del C-1, C-2 a 56, 25 y 12 golpes.

Del mismo modo en la C-01 y C-02 se procedió a realizar la prueba de CBR a la subrasante en estado inalterado, en donde se representa mediante el siguiente gráfico (ver figura 34).



**Figura 34:** Gráfico de CBR (Suelo natural C-01, C-02)

En la figura 34 se observa que, con respecto a los ejes del gráfico, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es de 1.78 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es de 30.56%; para el CBR al 95% la máxima densidad seca es de 1.69 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es de 19%.

De la Tabla 40 también se obtuvo que el CBR al 100% dio como resultado 30.56% y que al 95% dio como resultado 19.00 %, ambos analizados con una penetración de 0.1” para ambas afirmaciones, por lo que la muestra del C-1, C-2 al estado natural es considerada como una subrasante buena, tal como ha sido evaluado en el manual de carreteras – MTC, que nos establece que un CBR mayor o igual a 10% y menor que 20% es considerado como bueno. Los resultados se observan en la Tabla 40.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-1, C-2	Suelo natural	0.1”	30.56%	19.00%

**Tabla 40:** Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-1, C-2

Posteriormente a la muestra se le adicionó 8% de caucho reciclado, para saber la capacidad portante de la subrasante se elaboraron 03 especímenes de cada una de las muestras tomadas, en donde cada una de ellas fue sometida a diferente cantidad

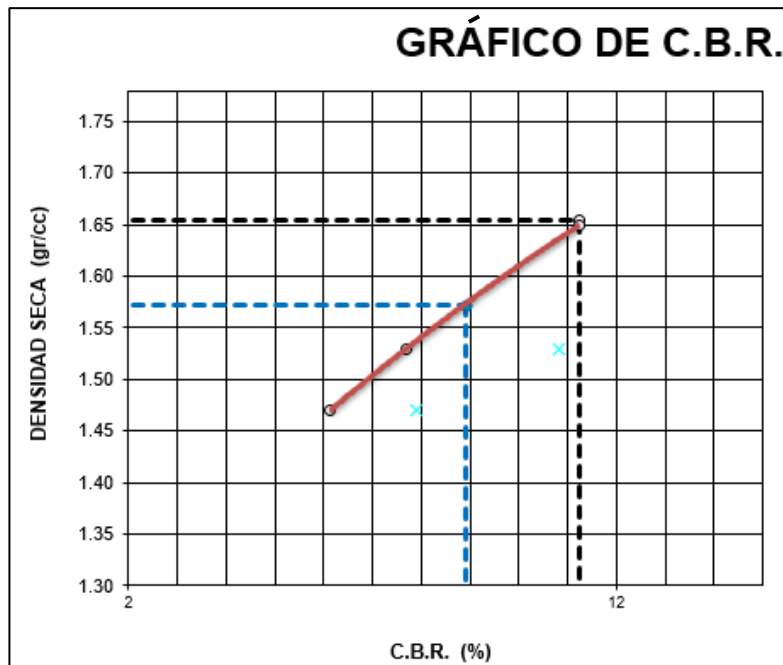
de energía (número de golpes), las cuales fueron de 27.7 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), 12.2 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes) y 6.1 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes).

De la calicata C-01 Y C-02 se adicionó 8% de caucho y se tomaron 03 muestras, de 56, 25 y 12 golpes respectivamente, de las cuales su resultado se observa en la tabla 41.

<b>VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)</b>							
<b>( ASTM D-1883 )</b>							
Molde N°		1		3		2	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12300		11900		11950	
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450	
Peso del suelo húmedo	gr.	3890		3640		3500	
Volúmen del molde	cc.	2189		2189		2189	
Densidad Húmeda	gr./cc	1.78		1.66		1.6	
Humedad	%	8.10		8.50		8.60	
Densidad seca	gr./cc	1.650		1.53		1.47	
Tarro N°		1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	119.9		127.4		139	
Tarro suelo seco	gr.	113.7		120.4		131	
Agua	gr.	6.2		7		8	
Peso del Tarro	gr.	37.4		38.3		38.5	
Peso del suelo seco	gr.	76.3		82.1		92.5	
Humedad	%	8.1		8.5		8.6	
Promedio de la humedad	%						

**Tabla 41:** Compactación de especímenes del C-01, C-02 adicionando 8% de caucho a 56, 25 y 12 golpes.

De lo calculado anteriormente se puede determinar la figura 35, en donde se observa el gráfico de CBR al adicionar a la muestra 8% de caucho.



**Figura 35:** Gráfico de CBR (Suelo natural C-01, C-02 + 8% de caucho)

En la figura 35 se observa que, con respecto a los ejes del gráfico, del CBR al 100% la máxima densidad seca es 1.654 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 11.25 %; del CBR al 95% la máxima densidad seca es 1.57 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 8.9%.

De la figura 35 también se obtuvo que el CBR al 100% dio como resultado 11.25% y que al 95% dio como resultado 8.9 %, ambos analizados con una penetración de 0.1" para los dos casos, por lo cual la muestra del C-01, C-02 al adicionar 8% de caucho es considerada como una subrasante regular, tal como está establecido en el manual de carreteras – MTC, que nos indica que un CBR mayor o igual a 6% y menor que 10% es considerado como regular. Los resultados se observan en la Tabla 42.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-01, C-02	Suelo natural+ 8% de caucho	0.1"	11.25%	8.90%

**Tabla 42:** Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-1, C-2 + 8% de caucho.

Posteriormente a la muestra se le adicionó 10% de caucho reciclado, para saber la capacidad portante del subrasante se elaboraron 03 especímenes de cada una de las muestras tomadas, en donde cada una de ellas fue sometida a diferente cantidad



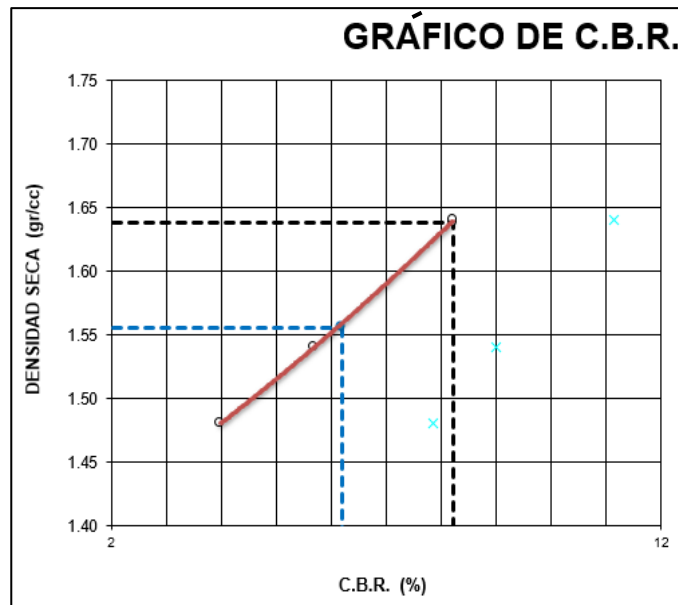
de energía (número de golpes), las cuales fueron de 27.7 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), 12.2 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes) y 6.1 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes).

De la calicata C-01 Y C-02 se adicionó 10% de caucho y se tomaron 03 muestras, de 56, 25 y 12 golpes respectivamente, de las cuales su resultado se observa en la tabla 43.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)							
( ASTM D-1883 )							
Molde N°		1		2		3	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12298		11920		11960	
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450	
Peso del suelo húmedo	gr.	3888		3660		3510	
Volúmen del molde	cc.	2189		2189		2189	
Densidad Húmeda	gr./cc	1.78		1.67		1.6	
Humedad	%	8.40		8.60		8.20	
Densidad seca	gr./cc	1.640		1.54		1.48	
Tarro N°		1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	154		161		147.7	
Tarro suelo seco	gr.	145		151.3		139.4	
Agua	gr.	9		9.7		8.3	
Peso del Tarro	gr.	37.4		38.3		38.5	
Peso del suelo seco	gr.	107.6		113		100.9	
Humedad	%	8.4		8.6		8.2	
Promedio de la humedad	%						

**Tabla 43:** Compactación de especímenes del C-01, C-02 adicionando 10% de caucho a 56, 25 y 12 golpes.

De lo calculado anteriormente se puede determinar la figura 36, en donde se observa el gráfico de CBR al adicionar a la muestra 10% de caucho.



**Figura 36:** Gráfico de CBR (Suelo natural C1, C2+ 10% de caucho)

En la figura 36 se observa que, con respecto a los ejes del gráfico, para el CBR de 100% la máxima densidad seca es 1.638 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es de 8.22 %; para el CBR de 95% la máxima densidad seca es 1.56 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 6.2%.

De la figura 36 también se obtuvo que el CBR al 100% dio como resultado 8.22% y que al 95% dio como resultado 6.2 %, ambos analizados con una penetración de 0.1" para los dos casos, por lo cual la muestra del C-1, C-2 al adicionar 10% de caucho es considerada como una subrasante regular, tal como lo establece en el manual de carreteras – MTC, que nos señala que un CBR mayor o igual a 6% y menor que 10% es considerado como regular. Los resultados se observan en la Tabla 44.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-01, C-02	Suelo natural+ 10% de caucho	0.1"	8.22%	6.20%

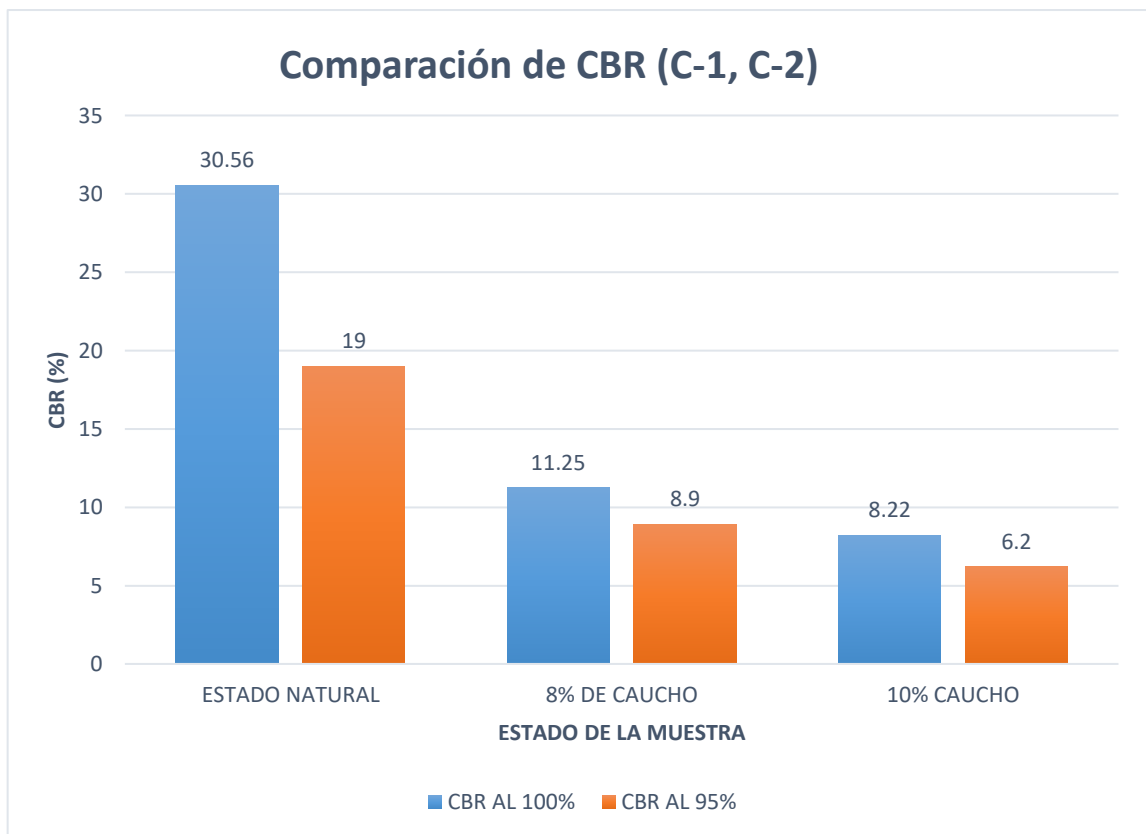
**Tabla 44:** Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-1, C-2 + 8% de caucho.

Luego de haber realizado los ensayos de CBR a la muestra C-1 y C-2, se pueden resumir los resultados obtenidos en la tabla 45.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-1, C-2	Suelo natural	0.1"	30.56%	19.00%
	Suelo natural+ 8% de caucho		11.25%	8.90%
	Suelo natural+ 10% de caucho		8.22%	6.20%

**Tabla 45:** Resumen de resultados obtenidos de la C-1, C-2 al ir adicionando caucho.

De la misma forma estos resultados se pueden explicar en el siguiente gráfico (ver figura 37).



**Figura 37:** Gráfico de barras de la comparación de CBR al ir adicionando caucho

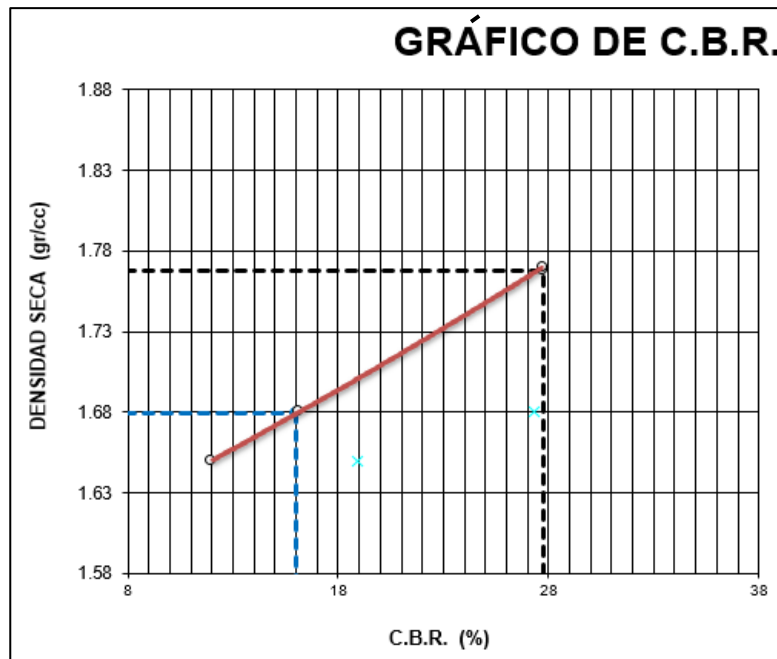
Posteriormente de la misma forma se hizo el análisis del de las muestras tomadas de las calicatas C-3 y C-4 al estado natural y adicionando 8% y 10% de cal, para saber la capacidad portante de la subrasante se elaboraron 03 especímenes de todas las muestras tomadas, en donde cada una de ellas fue sometida a diferente cantidad de energía (número de golpes), las cuales fueron de 27.7 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), 12.2 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes) y 6.1 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes).

De la calicata C-03 Y C-04 se tomaron 03 muestras, de 56, 25 y 12 golpes respectivamente, de las cuales su resultado se observa en la tabla 46.

<b>VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)</b>							
<b>( ASTM D-1883 )</b>							
Molde N°		1		3		2	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12590		12200		12320	
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450	
Peso del suelo húmedo	gr.	4180		3940		3870	
Volúmen del molde	cc.	2189		2189		2189	
Densidad Húmeda	gr./cc	1.91		1.8		1.77	
Humedad	%	7.90		7.40		7.30	
Densidad seca	gr./cc	1.770		1.68		1.65	
Tarro N°		1		2		5	
Tarro suelo húmedo	gr.	113.4		122.1		122.3	
Tarro suelo seco	gr.	107.7		116.3		116.6	
Agua	gr.	5.7		5.8		5.7	
Peso del Tarro	gr.	35.2		38.3		38.5	
Peso del suelo seco	gr.	72.5		78		78.1	
Humedad	%	7.9		7.4		7.3	
Promedio de la humedad	%						

**Tabla 46:** Compactación de especímenes del C-03, C-04 a 56, 25 y 12 golpes

Del mismo modo en la C-03 y C-04 se procedió a realizar el ensayo de CBR a la subrasante en estado natural, en donde se representa mediante el siguiente gráfico (ver figura 38).



**Figura 38:** Gráfico de CBR (Suelo natural C-03, C-04)

En la figura 38 se observa que, con respecto a los ejes del gráfico, para el CBR de 100% la máxima densidad seca es 1.768 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 27.75 %; para el CBR de 95% la máxima densidad seca es 1.68 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 16%.

De la figura 38 también se obtuvo que el CBR al 100% dio como resultado 27.75% y que al 95% dio como resultado 16 %, ambos analizados con una penetración de 0.1” para los dos casos, por lo cual la muestra de las C-3, C-4 al estado natural es considerada como una subrasante buena, tal como está normado en el manual de carreteras – MTC, que nos sugiera que un CBR mayor o igual a 10% y menor que 20% es considerado como bueno. Los resultados se observan en la Tabla 47.

<b>Muestra</b>	<b>Estado de la muestra</b>	<b>Penetración</b>	<b>CBR al 100%</b>	<b>CBR al 95%</b>
C-3, C-4	Suelo natural	0.1”	27.75%	16.00%

**Tabla 47:** Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-3, C-4

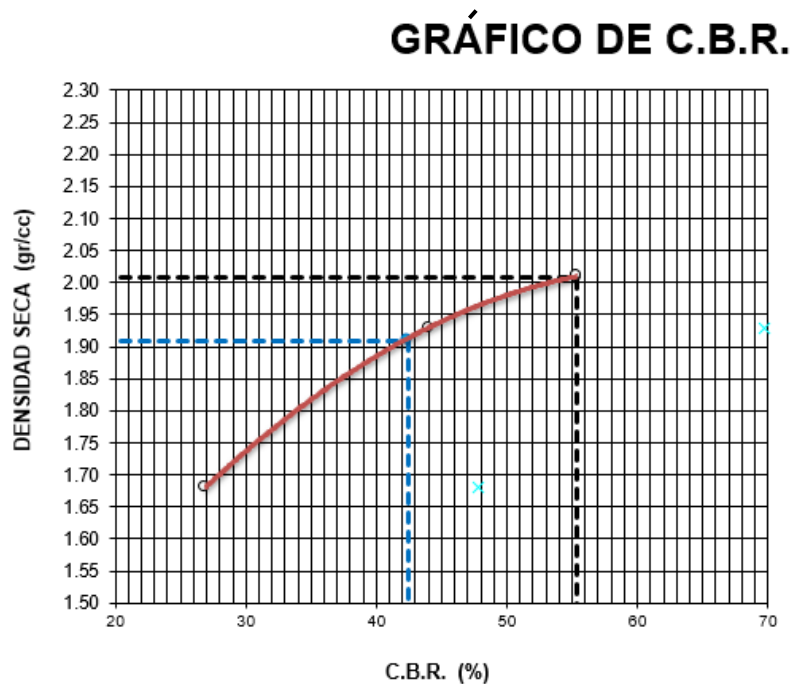
Posteriormente a la muestra se le adicionó 8% de cal, para saber la capacidad portante de la subrasante se elaboraron 03 especímenes de todas las muestras tomadas, en donde cada una de ellas fue sometida a diferente cantidad de energía (número de golpes), las cuales fueron de 27.7 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), 12.2 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes) y 6.1 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes).

De la calicata C-03 Y C-04 se adicionó 8% de cal y se tomaron 03 muestras, de 56, 25 y 12 golpes respectivamente, de las cuales su resultado se observa en la tabla 48.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)						
( ASTM D-1883 )						
Molde N°		1		3		2
Capa N°		5		5		5
Golpes por capa N°		56		25		12
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR
Peso molde + suelo húmedo	gr.	13200		12870		12460
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450
Peso del suelo húmedo	gr.	4790		4610		4010
Volúmen del molde	cc.	2189		2189		2189
Densidad Húmeda	gr./cc	2.19		2.11		1.83
Humedad	%	8.80		9.50		8.90
Densidad seca	gr./cc	2.010		1.93		1.68
Tarro N°		1		2		5
Tarro suelo húmedo	gr.	113		106.5		100
Tarro suelo seco	gr.	106.9		100.6		94.9
Agua	gr.	6.1		5.9		5.1
Peso del Tarro	gr.	37.4		38.3		37.8
Peso del suelo seco	gr.	69.5		62.3		57.1
Humedad	%	8.8		9.5		8.9
Promedio de la humedad	%					

**Tabla 48:** Compactación de especímenes del C-03, C-04 adicionando 8% de cal a 56, 25 y 12 golpes.

De lo calculado anteriormente se puede determinar la figura 39, en donde se observa el gráfico de CBR al adicionar a la muestra 8% de cal.



**Figura 39:** Gráfico de CBR (Suelo natural C-03, C-04+ 8% de cal)

En la figura 39 se aprecia que, con respecto a los ejes del gráfico, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es 2.009 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 55.41 %; para el CBR al 95% la máxima densidad seca es 1.91 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 42.50%.

De la figura 39 también se obtuvo que el CBR al 100% dio como resultado 55.41% y que al 95% dio como resultado 42.50 %, ambos analizados con una penetración de 0.1” para los dos casos, por lo cual la muestra del C-03, C-04 al adicionar 8% de cal es considerada como una subrasante excelente, tal como está establecido en el manual de carreteras – MTC, que nos establece que un CBR mayor o igual a 30% es considerado como excelente. Los resultados se observan en la Tabla 49.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-03, C-04	Suelo natural+ 8% de cal	0.1”	55.41%	42.50%

**Tabla 49:** Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-3, C-4 + 8% de cal.

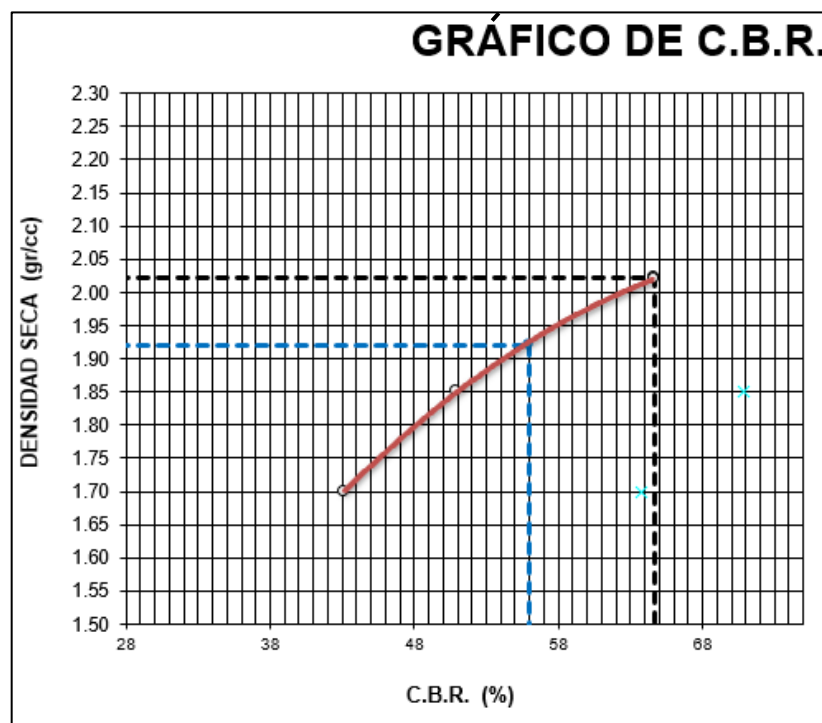
Posteriormente a la muestra se le adicionó 10% de cal, para saber la capacidad portante de la subrasante se elaboraron 03 especímenes de todas las muestras tomadas, en donde cada una de ellas fue sometida a diferente cantidad de energía (número de golpes), las cuales fueron de 27.7 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (56 golpes), 12.2 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (25 golpes) y 6.1 kg\*cm/cm<sup>3</sup> (12 golpes).

De la calicata C-03 Y C-04 se adicionó 10% de cal y se tomaron 03 muestras, de 56, 25 y 12 golpes respectivamente, de las cuales su resultado se observa en la tabla 50.

VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.)							
( ASTM D-1883 )							
Molde N°		1		2		3	
Capa N°		5		5		5	
Golpes por capa N°		56		25		12	
Condición de la muestra		SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	13200		12690		12500	
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450	
Peso del suelo húmedo	gr.	4790		4430		4050	
Volúmen del molde	cc.	2189		2189		2189	
Densidad Húmeda	gr./cc	2.19		2.02		1.85	
Humedad	%	8.50		9.10		8.80	
Densidad seca	gr./cc	2.020		1.85		1.70	
Tarro N°		4		5		6	
Tarro suelo húmedo	gr.	129.9		133.9		121.5	
Tarro suelo seco	gr.	122.7		125.9		114.7	
Agua	gr.	7.2		8		6.8	
Peso del Tarro	gr.	38.3		37.9		37.1	
Peso del suelo seco	gr.	84.4		88		77.6	
Humedad	%	8.5		9.1		8.8	
Promedio de la humedad	%						

**Tabla 50:** Compactación de especímenes del C-03, C-04 adicionando 10% de cal a 56, 25 y 12 golpes.

De lo calculado anteriormente se puede determinar la figura 40, en donde se observa el gráfico de CBR al adicionar a la muestra 10% de cal.



**Figura 40:** Gráfico de CBR (Suelo natural C-03, C-04+ 10% de cal).



En la figura 40 se observa que, con respecto a los ejes del gráfico, para el CBR al 100% la máxima densidad seca es 2.021 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 64.66 %; para el CBR al 95% la máxima densidad seca es 1.92 gr/cm<sup>3</sup> y el CBR obtenido es 56 %.

De la figura 40 también se obtuvo que el CBR al 100% dio como resultado 64.66% y que al 95% dio como resultado 56 %, ambos analizados con una penetración de 0.1” para los dos casos, por lo cual la muestra del C-03, C-04 al adicionar 10% de cal es considerada como una subrasante excelente, tal como está establecido en el manual de carreteras – MTC, que nos establece que un CBR mayor o igual a 30% es considerado como excelente. Los resultados se observan en la Tabla 51.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-03, C-04	Suelo natural+ 10% de cal	0.1”	64.66%	56%

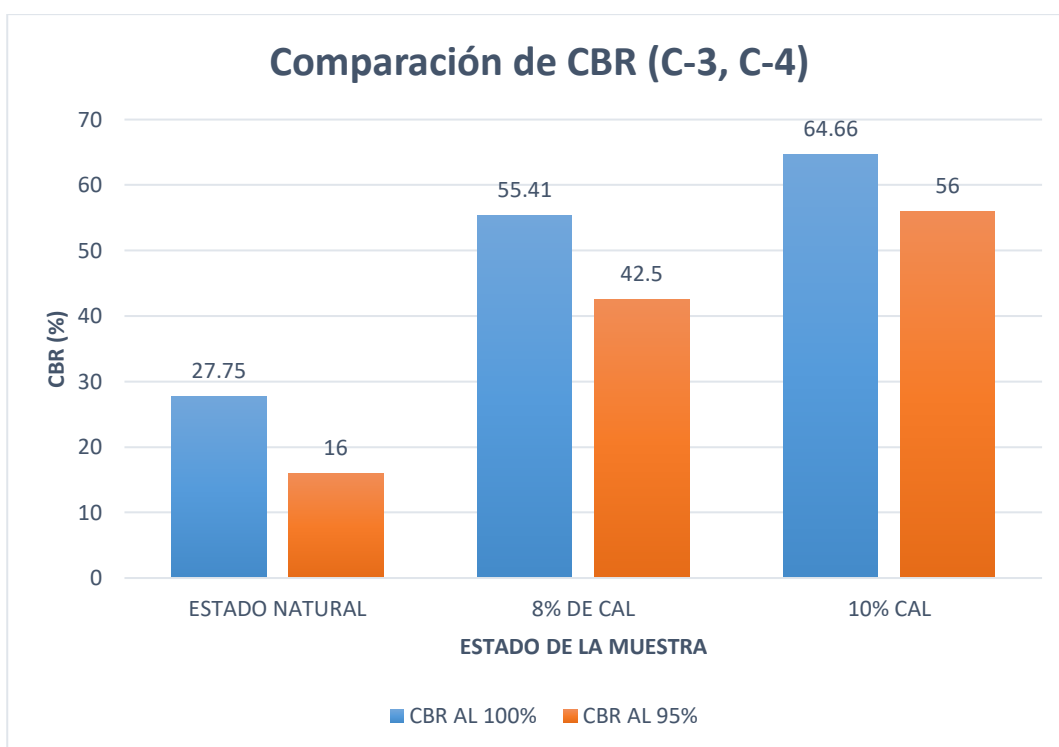
**Tabla 51:** Parámetros del CBR del suelo natural muestra C-03, C-04 + 10% de cal.

Luego de haber realizado los ensayos de CBR a la muestra C-3 y C-4, se pueden resumir los resultados obtenidos en la tabla 52.

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%
C-03, C-04	Suelo natural	0.1”	27.75%	16.00%
	Suelo natural+ 8% de cal		55.41%	42.50%
	Suelo natural+ 10% de cal		64.66%	56.00%

**Tabla 52:** Resumen de resultados obtenidos de la C-03, C-04 al ir adicionando cal.

De la misma forma estos resultados se pueden explicar en el siguiente gráfico (ver figura 41).



**Figura 41:** Gráfico de barras de la comparación de CBR al ir adicionando caucho. De la misma forma se puede deducir la siguiente tabla, en donde se comparan los ensayos de CBR realizados con caucho y cal respectivamente (ver tabla 53).

Muestra	Estado de la muestra	Penetración	CBR al 100%	CBR al 95%	Condición de Subrasante
C-1, C-2	Suelo natural	0.1"	30.56%	19.00%	Buena
	Suelo natural+ 8% de caucho		11.25%	8.90%	Regular
	Suelo natural+ 10% de caucho		8.22%	6.20%	Regular
C-3, C-4	Suelo natural	0.1"	27.75%	16.00%	Buena
	Suelo natural+ 8% de cal		55.41%	42.50%	Excelente
	Suelo natural+ 10% de cal		64.66%	56.00%	Excelente

**Tabla 53:** Comparación de resultados de ensayos de CBR adicionando caucho y cal.

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla 50, se puede deducir de los ensayos de CBR realizados los valores guardan conexión a la medida de penetración con el porcentaje de CBR, se puede observar que al adicionar caucho el comportamiento del CBR es desfavorable, puesto que el CBR de la muestra C-01, C-02 al suelo inalterado con una penetración de 0.1" al 100 % dio como resultado 30.56% y al 95% dio como resultado 19.00 %. Al ir adicionando 8% de caucho al suelo inalterado, el ensayo de CBR con una penetración de 0.1" arrojó como resultado al 100 % un valor de 11.25% y al 95% un valor de 8.90 %, por último, se adicionó 10% de caucho al suelo inalterado, el ensayo de CBR con una penetración de 0.1" arrojó como resultado al 100% un valor de 8.22% y al 95% un valor de 6.20%.

En cambio, al realizar el ensayo adicionando cal los resultados fueron positivos puesto que el CBR de la muestra C-03, C-04 al suelo inalterado con una penetración de 0.1" al 100 % dio como resultado 27.75 % y al 95% dio como resultado 16.00 %. Al ir adicionando 8% de cal al suelo inalterado, el ensayo de CBR con una penetración de 0.1" arrojó como resultado al 100 % un valor de 55.41 % y al 95% un valor de 42.50 %, por último, se adicionó 10% de cal al suelo inalterado, el ensayo de CBR con una penetración de 0.1" arrojó como resultado al 100% un valor de 64.66 % y al 95% un valor de 56.00 %.

### **Contrastación de hipótesis**

Con el producto obtenido que se consiguieron en el laboratorio de suelos A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L. y mostrados mediante sus formatos, se valida la hipótesis que la adición de cal y caucho, influye en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras, los resultados más favorables de la estabilización fueron los obtenidos de la adición con cal, puesto que con ella se obtiene una subrasante de calidad excelente, con ambos porcentajes se obtienen resultados satisfactorios, sin embargo se tomará el 8% de cal, el cual arroja un CBR de 42.5% puesto que es la propuesta más económica.

Con los gráficos y tablas obtenidos de la investigación elaborada en campo y laboratorio, con respecto al suelo arenoso (A-3, A-2-b, SP) de las muestras tomadas, se comprueba que la adición de caucho a la subrasante influye negativamente a la resistencia al corte de la subrasante; sin embargo, al ir adicionando cal se

comprueba que influye de manera positiva a la subrasante de las vías del AA.HH. San Martín de Porras.

El aumento e incorporación de cal y caucho no influyen en los límites de consistencia de la subrasante, puesto que por el tipo de suelo que se determinaron en las calicatas, son suelos no plásticos debido a la alta cantidad de granos finos (arena), influye de manera neutra en la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras.

A través del ensayo de Proctor modificado se obtuvieron resultados, el cual se plasmaron en figuras y tablas, de ellas se corrobora la hipótesis que la incorporación de cal influye de una forma positiva en el perfeccionamiento de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, sin embargo, también se obtuvo que la incorporación de caucho influye de forma negativa en el perfeccionamiento de la subrasante.

El porcentaje más óptimo para poder tener una efectiva estabilización en el perfeccionamiento de la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de la subrasante de tipo arenosa (A-3, A-2-b, SP) de las muestras tomadas es de 2.01 gr/cm<sup>3</sup> y 8.80 % respectivamente, resultados de la adición del 8% de cal.

A través de la prueba de CBR se arrojaron resultados realizados a las muestras tomadas del suelo C-01, C-02, C-03 y C-04 al momento de evaluar las figuras y tablas obtenidas de las investigaciones realizadas en el laboratorio, se asegura la conjetura que la incorporación de cal influye de forma eficaz en la estabilización y mejoramiento de la capacidad de suelos arenosos para que sea utilizado como subrasante del AA.HH. San Martín de Porras, el porcentaje de conjunción más óptimo para el perfeccionamiento efectivo de la resistencia de suelos arenosos es 8% de cal.

## V. DISCUSIÓN

**O.G.** Determinar cómo influye la aplicación de cal y el caucho en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras.

En la investigación de Cabana (2017) en su tesis que lleva por título: “Mejoramiento de la Relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub – Rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria – Wilcahuain, Huaraz, 2017”, el autor busca establecer cuál es el porcentaje ideal para la estabilización de la subrasante al adicionar 2%, 4% y 8% de cal, dando como conclusión que en suelos no aptos para transitabilidad es factible la utilización de cal como estabilizante al obtener resultados positivos, por tanto se validan los resultados obtenidos en la investigación.

Huamán y Murguerza (2019) en su tesis que lleva por título “Influencia del caucho granulado en suelos cohesivos relacionado a la propiedad de la resistencia a la penetración (CBR)”, en esta tesis se tuvo como propósito saber si el caucho granulado influye en los suelos con alta capacidad de cohesividad, para ello se utilizaron 5%, 10% y 15% de caucho, se logró llegar a la conclusión que la cantidad óptima de caucho granulado es el 10% donde afecta favorablemente a las propiedades relacionadas a la penetración.

Haciendo un análisis de los resultados que se consiguieron en la investigación de Huamán y Murguerza, se deduce que en suelos de grava arcillosa el CBR obtenido disminuye al ir adicionando los porcentajes de caucho, sin embargo, en suelos de arcilla de baja plasticidad el CBR va aumentando.

Dados estos antecedentes se tiene que en nuestra investigación coincide con Cabana (2017) puesto que al ir adicionando cal en porcentajes similares se obtuvieron resultados positivos y favorables para la estabilización de la subrasante. De la misma forma nuestra investigación coincide también con Huamán y Murguerza (2019) debido a que en los resultados obtenidos se tiene que en suelos de grava arcillosa disminuye el CBR al ir adicionando porcentajes de cal, lo cual coincide con nuestros resultados obtenidos.

Asimismo también se tiene a Robles (2020) en su tesis que lleva por título: “Aplicación de la cal y el caucho para la mejora de la sub rasante en la Av. Canta Callao (2020)” se tuvo como objetivo determinar en qué magnitud mejora la subrasante al aplicarse cal y caucho, en esta investigación se analizaron porcentajes de 3%, 5% y 7%, en donde de los resultados se obtuvieron que los resultados fueron positivos para la aplicación de ambos estabilizantes, lo cual coincide con nuestros resultados en la aplicación de cal, sin embargo difieren con la aplicación de caucho puesto que el CBR disminuye en lugar de aumentar tal como lo indica Robles (2020).

En tal sentido haciendo una comparación de resultados, se aprecia que, para la adición de cal, esta en casi todas sus aplicaciones a diversos tipos de subrasante esta arroja resultados positivos, lo cual es un indicador de que la cal es un efectivo aditivo estabilizante. A diferencia de la cal, el caucho manifiesta un comportamiento distinto puesto que en sus diversas aplicaciones se obtuvieron resultados favorables y desfavorables, lo cual depende mucho del tipo de suelo que se quiere estabilizar, lo cual hace que se defina que la cal comparada vs el caucho obtiene un mayor accionar de la subrasante.

**O.1.** Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras.

De la investigación que realizó Robles (2020) en su tesis que lleva por título “Aplicación de la Cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao-2020”.

Se comprueba por medio de los ensayos de granulometría y tamizaje la caracterización de su muestra, se determinaron los tipos de suelos según el sistema SUCS y sistema AASHTO SC-SM (arena arcillosa - arena limosa) y A-4 respectivamente, se determinaron mediante los ensayos de laboratorio un LL= 23%, LP=13%, IP=10%, esto determina que es un suelo de baja plasticidad. Se fueron adicionando porcentajes de cal y caucho respectivamente a la muestra de estado natural con porcentajes de 4% y 6%. Al adicionar 4% de cal se obtuvo un LL= 23%, LP=13%, IP=10%, esto determina que es un suelo de media plasticidad. Al adicionar 6% de cal se obtuvo un LL= 16%, LP= 10%,

IP=6%, esto determina que es un suelo de plasticidad baja. Al adicionar 4% de caucho se obtuvo un LL=22%, LP =12%, IP=10%, esto determina que es un suelo de plasticidad media. Al adicionar 6% de caucho se obtuvo un LL=21%, LP=12%, IP=19%, esto determina que es un suelo de plasticidad baja.

Esta investigación no coincide con lo que establece Robles puesto que en primer lugar el tipo de suelo determinado no es el mismo, en la investigación realizada se tiene que se encontraron en las calicatas C-1, C-2, C-3, C-4 material de tipo SP, A-1-b, A-3, estos tipos de suelos tienen la característica de ser no plásticos, por lo cual podemos indicar que su LP=0, además de que su IP=0, por ello también se determinó que el LL=0, al no poseer límite plástico.

Podemos afirmar al comparar nuestros resultados que no guardan relación, debido a que los resultados obtenidos poseen valores distintos, esto es debido a la diferencia que existe entre los tipos de suelos comparados, ya que en nuestra muestra el suelo carecía de arcillas, es por esa causal el valor de los resultados obtenidos.

Del estudio realizado por Hernández, Mejía y Zelaya (2016) en su tesis que lleva por título "Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la Universidad del Salvador", se realizó la estabilización del suelo con cal con la adición de 5% de cal, lo cual logró determinar que dicho porcentaje era el ideal, el índice de plasticidad disminuyó de 45% a 0%.

En nuestra tesis no guarda relación con lo determinado por Hernández, Mejía y Zelaya, ya que en nuestros resultados el Límite Líquido, Límite Plástico e Índice de Plasticidad nos arrojó un tanto por ciento de 0%, esto es debido a las características que presente la capa de la subrasante (tipo de suelo), lo cual determina un suelo NO PLÁSTICO.

Comparando nuestros resultados obtenidos, se tiene que no guardan relación entre sí porque en nuestra investigación los límites de consistencia se mantuvieron en 0%.

Como lo indica Martínez (2020) en su investigación denominada “Estabilización de la subrasante incorporando caucho y cal en la Av. Chimpu Oclo, Carabaylo, 2020”, se determinó que según el sistema SUCS y sistema AASHTO CL (arena arcillosa - arena limosa) y A-4 respectivamente, la muestra inicial del suelo natural arrojó un resultado de LL=21%, LP=14%, IP= 7%, se fueron adicionando porcentajes de 3%, 5% y 7% de caucho y cal, teniendo como resultados de que al adicionar 3% de caucho se obtuvo un LL= 20%, LP= 14%, IP=6%, adicionando porcentajes de 5% de caucho se obtuvo un LL= 19%, LP=15%, IP=4%, adicionando porcentajes de 7% de caucho se obtuvo un LL= 18%, LP= 15%, IP= 3%, esto se puede interpretar como que se va reduciendo el Límite Líquido, el límite plástico va aumentando y el índice de plasticidad también se va reduciendo. De la misma forma se fueron adicionando porcentajes de cal, dando como resultados de que al adicionar 3% de cal se obtuvo un LL=22%, LP=13%, IP=9%, al adicionar 5% de cal se obtuvo un LL=21%, LP=13%, IP=8%, al adicionar 7% de cal se obtuvo un LL=20%, LP=13%, IP=7%, todos los resultados arrojaron resultados de plasticidad baja, se observa que el Índice de plasticidad determinado se va reduciendo en una razón de 1%.

Los resultados que se consiguieron en esta investigación no coinciden con lo que indica Martínez, desde el principio los suelos analizados son distintos y que las características determinadas corresponden a suelos de material tipo SP, A-1-b, A-3, es por ello que esta clase de subrasante es de ESTADO NO PLÁSTICA.

**O.2.** Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras.

De la investigación que ha realizado Robles (2020) en su tesis que lleva por título “Aplicación de la Cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao-2020”. Se ha realizado la incorporación de caucho y cal en la subrasante clasificados según el sistema SUCS y sistema AASHTO SC-SM (arena arcillosa - arena limosa) y A-4 respectivamente, por medio de los ensayos de Proctor modificado se determinó que para la muestra obtenida se determinó al estado natural una MDS de 1.983 gr/cm<sup>3</sup> con un OCH de 12%, posteriormente luego de haberse aplicado 4% de cal la MDS disminuye a 1.909 gr/cm<sup>3</sup> con un OCH de



13%, tras aplicar 6% de cal la MDS aumenta hasta 1.990 gr/cm<sup>3</sup> con un OCH de 9.5%. De la misma forma se realizó la evaluación con el caucho, obteniendo que al adicionar 4% de caucho la MDS disminuye a 1.866 gr/cm<sup>3</sup> con un OCH de 13.76%, al adicionar 6% de caucho la MDS disminuye a 1.787 gr/cm<sup>3</sup> con un OCH de 13.8%.

Comparando los resultados de Proctor modificado, podemos afirmar no guardan relación con lo obtenido en nuestra investigación debido a que en nuestro caso se determinó un suelo de tipo SP (arena mal graduada) según la clasificación SUCS y A-1-b, A-3 según la clasificación AASHTO, se logró calcular que la MDS de la muestra en estado natural fue de 1.77 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 7.40%, para las muestras C-03 y C-04; luego para las C-01 y C-02 al estado natural fue de 1.78 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 9.40%. Al ir adicionando cal a un 8% se logró calcular que la MDS de la muestra C-03 y C-04 fue de 2.01 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 8.80%; luego a la misma muestra se le adicionó 10% de cal obteniendo una MDS de 2.02gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 9.20%. Posteriormente se evaluó la muestra de la C-01 y C-02, al adicionar 8% de caucho la MDS fue de 1.65 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 9.40%, al adicionar 10% de caucho la MDS fue de 1.64 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 8.80%. Dichos resultados no coinciden en el porcentaje de OCH en nuestro caso disminuye en el caso de la aplicación con caucho y aumenta en el caso de la aplicación con cal, lo cual es lo contrario que fue determinado por Robles.

De lo que se indica por Martínez (2020) en su tesis que lleva por título “Estabilización de la subrasante incorporando caucho y cal, en la Av. Chimpu Oclo, Carabaylo, 2020”. Se ha realizado el análisis de la muestra al estado natural, encontrándose que es un suelo de tipo CL según la clasificación SUCS y A-4(06) según la clasificación AASHTO. Al ir adicionando 3% de cal a la muestra natural se obtuvo una MDS de 1.983 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 12%, luego de adicionar 5% de cal a la muestra se obtuvo una MDS de 1.977 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 12.20%, luego de adicionar 7% de cal a la muestra se obtuvo una MDS de 1.970 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 12.40%. Posteriormente se fue adicionando 3% de caucho obteniendo una MDS de 2.009 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 11.15%, luego de adicionar 5% de caucho se obtuvo una MDS de 2.020% y un OCH de 10.45%,

luego de adicionar 7% de caucho se obtuvo una MDS de 2.026 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 9.20%.

Se afirma que, en comparación con lo determinado por Martínez, podemos decir que nuestra investigación no coincide en los resultados de la MDS, en primer lugar, debido a que poseen diferentes tipos de suelos, luego nuestros resultados son contrarios a lo determinado por Martínez, es decir en nuestro caso la MDS aumenta al aplicar cal y disminuye al aplicar caucho.

Tenemos además a Laica (2016) en su tesis que lleva por título “Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base”. Se logró determinar que la MDS es de 1.928 gr/cm<sup>3</sup> al estado natural y un OCH de 10.40%, al adicionar 3% de caucho se determinó una MDS de 1.910 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 10.05%, al adicionar 6% de caucho se determinó una MDS de 1.845 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 9.60%, por último al adicionar 9% de cal se obtuvo una MDS de 1.810 gr/cm<sup>3</sup> y un OCH de 9.40%, estos resultados coinciden con lo determinado en nuestra investigación puesto que de la misma forma disminuye la MDS y el OCH, por lo tanto podemos afirmar que coincidimos con lo determinado por Laica.

Comparando los antecedentes descritos podemos afirmar que en suelos de tipo SP (arena mal graduada) según la clasificación SUCS y A-1-b, A-3 según la clasificación AASHTO la adición de cal como estabilizante tiene un mejor comportamiento que la determinada por la adición de caucho.

**O.3.** Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en la resistencia de la sub rasante del AA.HH. San Martín de Porras.

De la investigación determinada por Robles (2020) en su tesis que lleva por título “Aplicación de la Cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao-2020”. Realizando la clasificación se obtuvo según el sistema SUCS y sistema AASHTO SC-SM (arena arcillosa - arena limosa) y A-4 respectivamente, se obtuvo un CBR al estado natural de 6% al 95% de compactación y 20.8% al 100% de compactación, posteriormente se adicionó 4% de caucho y se obtuvo un CBR de 11.55% al 95% de compactación y 14.5% al 100% de compactación,

se adicionó 6% de caucho y se obtuvo un CBR de 15% AL 95% de compactación y de 20.4% al 100% de compactación. Asimismo, se adicionaron los mismos porcentajes de cal; al adicionar 4% de cal se adquirió un CBR de 11.93% al 95% de compactación y 14.8% al 100% de compactación, al adicionar 6% de cal se adquirió un CBR de 25.3% al 95% y de 33.6% al 100% de compactación.

Comparando dichos resultados con los obtenidos en nuestra investigación se tiene que al estado natural en un suelo de tipo SP (arena mal graduada) según la clasificación SUCS y A-1-b, A-3 según la clasificación AASHTO, se logró calcular que el CBR al estado natural de la muestra C-03, C-04 fue de 16% al 95% (subrasante buena) y 27.75% al 100%; al adicionar 8% de cal dio como resultado un CBR de 42.50% al 95% (subrasante excelente) y 55.41% al 100%, al adicionar 10% de cal dio como resultado un CBR de 56.00% al 95% (subrasante excelente) y 64.66% al 100%. De la misma forma se determinó para la muestra C-01, C-02 el CBR al estado natural fue de 19% al 95% (subrasante buena) y 30.56% al 100%, al adicionar 8% de caucho se adquirió un CBR de 8.90% al 95% (subrasante regular) y 11.25% al 100%, al adicionar 10% de caucho se adquirió un CBR de 6.20% al 95% (subrasante regular) y 8.22% al 100%.

De la misma forma Martínez (2020) en su tesis que lleva por nombre "Estabilización de la subrasante incorporando caucho y cal, en la Av. Chimpu Ocllo, Carabayllo, 2020". Se hicieron los estudios de un suelo de tipo CL según la clasificación SUCS y A-4(06) según la clasificación AASHTO. Se evaluó el CBR de la muestra al estado natural obteniendo un CBR de 3.5% al 95% y de 7.10% al 100%, de la misma forma que los casos anteriores se fueron aplicando porcentajes de cal y caucho para poner a prueba la estabilización de la subrasante, lo cual arrojó como resultado al 3% de adición de caucho un CBR de 5.10% al 95% y 7.10% al 100%, luego se tuvo que aplicar 5% de caucho y se obtuvo un CBR de 7.40% al 95% y 10.60% al 100%, luego de aplicar 7% de caucho se obtuvo un CBR de 9.00% al 95% y de 12.10% al 100%. De la misma forma se evaluó también las condiciones al adicionar porcentajes de cal a la muestra, al aplicar 3% de cal dio como resultado un CBR de 4.80% al 95% y 8.70% al 100%, al aplicar 5% de cal dio como resultado un CBR de 6.92% al

95% y 9.90% al 100%, al aplicar 7% de cal dio como resultado un CBR de 8.00% al 95% y 11.50% al 100%.

Comparando dichos resultados con los obtenidos en nuestra investigación se puede afirmar que nuestros resultados no coinciden con lo indicado por Robles (2020) y Martínez (2020) puesto que, en nuestro caso al adicionar porcentajes de caucho, el CBR fue disminuyendo en lugar de aumentar tal como lo afirman Robles (2020) y Martínez (2020), esto es debido a que en ambas investigaciones se encontraron diferentes tipos de suelos en la subrasante. Pero comparando con los resultados obtenidos de la experimentación con cal los resultados sí coinciden puesto que en ambos casos logra incrementar satisfactoriamente la subrasante natural.

Al igual que los casos anteriores tenemos a Laica (2016) en su tesis titulada "Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base", en donde se estimó la adición de porcentajes de caucho en cantidades de 3%, 6% y 9%, se evaluó en primer lugar el CBR de la muestra al estado natural, obteniendo un CBR de 25% al 95%, posteriormente se añadió 3% de caucho, obteniendo un CBR de 18.40%, se añadió 6% de caucho obteniendo un CBR de 12.1%, por último se añadió 9% de caucho obteniendo un CBR de 10.2%.

Luego de observar estos resultados por parte de Laica (2016) se puede afirmar que guarda relación con nuestra investigación coincidiendo en que en ambos casos la subrasante sufrió un descenso en el porcentaje de la subrasante, afirmando que desfavorece a la resistencia de la subrasante.

## **VI. CONCLUSIONES**

### **C1 (O.G.)**

Se ha determinado luego de haber realizado los ensayos de laboratorio correspondiente que la adición de cal como agente perfeccionador de la subrasante logra influenciar de forma positiva en la resistencia al ir adicionando porcentajes de 8% y 10%, sin embargo, al adicionar el mismo porcentaje con caucho logra influenciar de forma negativa a la resistencia de la subrasante, de forma independiente los ensayos realizados con cal tuvieron mejor comportamiento que los realizados con caucho en la estabilización de suelos SP (arena mal graduada) y A-3 IG (0), A-1-b IG(0), según la clasificación SUCS y AASHTO, recogido de la subrasante del AA.HH. San Martín de Porras-Ica, por tanto se determina que la cal es un aditivo que funciona como un estabilizador eficiente y sobre todo de bajo costo que logra exitosamente aumentar las propiedades físicas y mecánicas del suelo arenoso para que logre ser utilizada como subrasante.

### **C2 (O.E 1)**

Por medio de los estudios realizados en laboratorio de las muestras extraídas de la C-1, C-2, C-3 y C-4, se pudo determinar que en el suelo analizado de la C-1 y C-2 poseen características similares ya que los coladores definen que el material que atraviesa por la malla N°200 es menor del 50%, la cual establece que la muestra de suelo de la calicata C-1 y C-2 es arena, su clasificación por medio del sistema SUCS es (SP) la cual lo define como un suelo de arena mal graduada, su clasificación por medio del sistema AASHTO es A-3 IG (0) suelo arenoso mal graduado, de la misma forma se hizo un análisis de las muestras obtenidas de la calicatas C-3 y C-4 poseen características similares y que la cantidad de material que pasa los tamices la definen en el sistema SUCS es (SP) arena mal graduada, su clasificación por medio del sistema AASHTO es A-1-b, en el Manual de carreteras se correlacionan los tipos de suelos y se determina que todas las muestras tienen características similares.

Debido a las características de la subrasante, se tiene también que para suelos de ese tipo el límite líquido es de 0.00% y el límite plástico es 0.00%, por lo tanto, el Índice de plasticidad es de 0.00%, esto es debido a que el suelo carece de plasticidad.

### **C3 (O.E 2)**

Al realizar los ensayos de proctor modificado, se determinó que para la muestra C-1, C-2, C-3 y C-4 el porcentaje ideal de adición de cal es el 8%, ya que con esa mezcla se lograron perfeccionar las propiedades físicas y mecánicas de la subrasante arenosa, se obtuvo que la máxima densidad seca es de 2.01 gr/cm<sup>3</sup> y que el óptimo contenido de humedad para lograrlo es de 8.80%, sin embargo al hacer los ensayos con la adición de caucho, los resultados obtenidos fueron desfavorables puesto que la densidad seca obtenida fue disminuyendo, asimismo como el óptimo contenido de humedad, se concluye que la añadidura de cal en contraste con el caucho, influye de manera positiva en el mejoramiento del óptimo contenido de humedad del suelo arenoso para uso como subrasante.

### **C4 (O.E 3)**

Según los ensayos de CBR efectuados a la muestra de suelo C-1, C-2, C-3 y C-4, el porcentaje óptimo al adicionar cal es de 8%, con esta conjunción se ha podido saber que el CBR aumenta de 16% al estado natural hasta un 42.50% al adicionar cal, con esta combinación se cumplió la meta de perfeccionar las propiedades físicas y mecánicas, es estado de la subrasante paso de un estado bueno a un estado excelente, a diferencia del caucho los resultados fueron desfavorables puesto que disminuyó desde un CBR de 19% hasta un CBR de 6.20% disminuyó de un estado bueno hasta una subrasante de estado regular, se concluye que la cal a diferencia del caucho arrojó resultados positivos y demuestra que afecta de forma positiva en la estabilización de la subrasante de suelos arenosos de característica (A-3, A-1-b) o (SP), los cuales fueron tomados de muestras recogidas de la subrasante del AA.H. San Martin de Porras-Ica.

## VII. RECOMENDACIONES

1. Es recomendable conocer con anticipación el estado actual de la subrasante antes de aplicarle algún estabilizador, puesto que cada subrasante posee propiedades físicas y mecánicas distintas.
2. Se recomienda aplicar los conocimientos obtenidos sobre la estabilización con Cal en subrasante que posean características similares a las estudiadas y aquellas que no cumplan con los requisitos exigidos por el MTC, ya que se quedó demostrado que con cal se consigue hacer mejor la transitabilidad y resistencia de la subrasante.
3. Se recomienda revisar los antecedentes desarrollados por los autores precedentes a la investigación de estabilización con cal y caucho, debido a que cada suelo evaluado se comporta de una forma distinta al adicionar los agentes estabilizantes escogidos, al elegir el porcentaje de estabilizante se debe tener en cuenta los resultados obtenidos en los antecedentes descritos.
4. Se recomienda que en suelos de tipo SP o A-1-b, A-3 no se aplique la estabilización con caucho puesto que, con la experimentación con porcentajes de caucho, la máxima densidad seca, el óptimo contenido de humedad y el CBR disminuyeron las propiedades físicas y mecánicas de las muestras obtenidas.
5. Se recomienda continuar experimentando otros usos del caucho proveniente de las llantas fuera de uso para así lograr beneficiar al medio ambiente al reducir, reciclar y reutilizar este material

## REFERENCIAS

- CABANA, Marco. Mejoramiento de la Relación de soporte (CBR) al adicionar el estabilizante químico cal a la sub – Rasante de la carretera no pavimentada de bajo tránsito Paria – Wilcahuain. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Huaraz: Universidad Cesar Vallejo 2017. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/13375>
- HUAMÁN, Ronaldo y MUGUERZA Kevin. Influencia del caucho granulado en suelos cohesivos relacionado a la propiedad de la resistencia a la penetración (CBR). Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/44767>
- ROBLES, John. Aplicación de la cal y el caucho para la mejora de la subrasante en la Av. Canta Callao. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Lima: Universidad Cesar Vallejo 2020. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/57923>
- LAICA, Juan. Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en las propiedades mecánicas de una sub base. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Ambato: Universidad Técnica de Ambato 2016. Disponible en: <http://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/24440>
- GAVILANES, Erick. Estabilización y mejoramiento de sub-rasante mediante cal y cemento para una obra vial en el sector de Santos Pamba Barrio Colinas del Sur. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Quito: Universidad Internacional del Ecuador 2015. Disponible en: <http://repositorio.uide.edu.ec/handle/37000/2191>
- ALTAMIRANO, Genaro y DIAZ, Axell. Estabilización de suelos cohesivos por medio de cal en las vías de la comunidad de San Isidro del



- Pegón. Monografía (Título profesional de ingeniería civil). Potosí-Rivas: Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua 2015. Disponible en: <http://repositorio.unan.edu.ni/id/eprint/6456>
- PELAEZ, Gabriel, VELASQUEZ, Sandra y GIRALDO, Diego. Aplicaciones del caucho reciclado: una revisión de la literatura. Artículo de investigación: Universidad Militar Nueva Granada. Bogotá-Colombia 2017. Disponible en: <https://doi.org/10.18359/rcin.2143>
- AMANULLAH, Khan y FARHAT, Hussain (2017). Sustainability of using Crumb Rubber and Quarry Dust for Stabilization of Expansive Soils in Road Subgrade: A Review. Artículo de investigación : International Journal of Civil Engineering and Technology 2017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.14855.04009>
- ODAR, Gabriela, CHAVEZ, Diego y SILVERA Manuel. Método de estabilización con cal en subrasantes para pavimentos rígidos diseñados por AASHTO 93 en proyectos viales con presencia de bofedales. Paper de investigación: Industry, Innovation, and Infrastructure for Sustainable Cities and Communities: Proceedings of the 17th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology 2019. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2019.1.1.60>
- SINALUISA, Marco. Estudio de Factibilidad para la Creación de una Planta de Producción de Cal Viva e Hidratada en la Parroquia San Juan. Tesis (Título profesional de Ingeniería industrial). Riobamba-Ecuador 2013. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/2456>
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Peru 2014. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/P\\_recientes/4515.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/4515.pdf)

- NATIONAL LIME ASSOCIATION THE VERSATILE,CHEMICA. Manual de estabilización de suelo tratado con cal. 2006. Disponible en: [https://www.lime.org/documents/publications/free\\_downloads/construct-manual-spanish2004.pdf](https://www.lime.org/documents/publications/free_downloads/construct-manual-spanish2004.pdf)
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013. Perú 2013. Disponible en: [http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH\\_PDF/MAN\\_10%20EG%202013.pdf](http://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_10%20EG%202013.pdf)
- MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES. Manual de ensayo de materiales. Peru 2016. Disponible en: [http://transparencia.mtc.gob.pe/idm\\_docs/normas\\_legales/1\\_0\\_3729.pdf](http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3729.pdf)
- RAMIREZ, Luz, ORJUELA, Andrés, ANGULO, Gina. Propuesta de adoquines hechos a base de caucho reciclado. Artículo de investigación: Revista Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo. 2020. Disponible en: <https://doi.org/10.25213/2216-1872.34>
- ROJAS, Robin. Mejoramiento de la subrasante incorporando caucho granular reciclado en la Avenida Bonavista, Carabayllo. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Lima. Universidad Cesar Vallejo 2019. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.12692/48824>
- RENECAL. Reciclado de Neumáticos de Castilla y León S.L. Ficha técnica de producto. Palencia-España 2013. Disponible en: [https://renecal.com/documents/Ficha%20tecnica%20de%20producto%20\(ftp\).pdf](https://renecal.com/documents/Ficha%20tecnica%20de%20producto%20(ftp).pdf)
- BRAJA M. Das. Fundamentos de la Ingenieria Geotecnica (cuarta edición) [en línea]. México. CENGAGE Learning 2014 [consultado 01 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos\\_de\\_ingenieria\\_geotecnica\\_braja\\_m\\_das\\_4ta\\_edicion](https://www.academia.edu/36776734/Fundamentos_de_ingenieria_geotecnica_braja_m_das_4ta_edicion)

ISBN: 978-607-519-373-1

PALELLA, Santa y MARTINS, Feliberto. Metodología de la investigación cualitativa [en línea]. Caracas-Venezuela. Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador 2010 [consultado 01 diciembre 2021]. Disponible en: <https://metodologiaecs.files.wordpress.com/2015/09/metodologia-de-la-investigacion-cualitativa-3ra-ed-2012-santa-parella-stracuzzi-feliberto-martins-pestana.pdf>

ISBN: 978-273-445-4

HERNANDEZ, Roberto, FERNANDEZ, Carlos y BAPTISTA María. Metodología de la Investigación (sexta edición) [en línea]. México D.F.:McGraw Hill 2014 [consultado 01 diciembre 2021]. Disponible en:

<http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>

ISBN: 978-1-4561-2396-0

GALEANO, Marín. Diseño de proyectos en la investigación cualitativa [en línea]. Medellín: Fondo Editorial EAFIT 2004 [consultado 01 diciembre 2021]. Disponible en:

<https://www.luzmarinaibarrauribe.com/app/download/11411990195/Dise%C3%B1o%20de%20proyectos%20de%20investigaci%C3%B3n%20cualitativa%20cap%202.pdf?t=1580850177>

ISBN: 978-958-8173-78-8

HERRERA, Lopez, CUESTA Abraham, ESCALANTE Juana. El concepto de variable: un análisis con estudiantes de bachillerato. Sociedad Mexicana de Investigación y Divulgación de la Educación Matemática A.C 2016. Mexico. Disponible en: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-58262016000300217&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1665-58262016000300217&script=sci_arttext)

ISSN 1665-5826

- ARIAS, Fidas. El proyecto de investigación (6ta edición). [en línea]. Venezuela. Editorial Episteme 2012 [consultado el 01 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/301894369\\_EL\\_PROYECTO\\_DE\\_INVESTIGACION\\_6a\\_EDICION](https://www.researchgate.net/publication/301894369_EL_PROYECTO_DE_INVESTIGACION_6a_EDICION)  
ISBN: 980-07-8529-9
- TAMAYO, Mario. El proyecto de investigación [en línea]. Colombia. Instituto Colombiano para el Fomento de la Educación Superior 2006 [consultado el 01 diciembre 2021]. Disponible en: [https://www.academia.edu/7012157/MARIO\\_TAMAYO\\_Y\\_TAMAYO](https://www.academia.edu/7012157/MARIO_TAMAYO_Y_TAMAYO)  
ISBN: 958-9279-16-3
- MENDEZ, Carlos. Diseño y desarrollo del proceso de investigación (en línea). Colombia. McGraw Hill Interamericana S.A 2007 (consultado el 01 diciembre 2021)  
ISBN:958-4102-03-6
- ANDER-EGG, Ezequiel. Metodología y práctica del desarrollo de la comunidad (en línea). Argentina. Grupo Editorial Lumen 2002 (consultado 01 diciembre 2021)  
ISBN: 978-950-724-830-6
- DÍAZ, Cesar y CASTRO, Liliana, 2017, Implementación del grano de caucho reciclado (GCR) proveniente de llantas usadas para mejorar las mezclas asfálticas y garantizar pavimentos sostenibles en Bogotá. Pregrado. Universidad Santo Tomás, Facultad de Ingeniería. Carrera de ingeniería. Disponible en <https://repository.usta.edu.co/bitstream/handle/11634/2633/Diazcesar2017.pdf>.
- GARCIA; Anabelen. Determinación de la resistencia de la subrasante incorporando cal estructural en el suelo limo arcilloso del sector 14 Mollepampa de Cajamarca. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Cajamarca: Universidad Privada del Norte,

2015. Disponible en:

<https://repositorio.upn.edu.pe/bitstream/handle/11537/7327/Garc%C3%ada%20Gonzales%20Anabel%3%a9n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

CUSQUISIBAN, Wilder. Mejoramiento de suelos arcillosos utilizando caucho granular de neumáticos para fines constructivos de pavimento. Tesis (Título profesional de ingeniería civil).

Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca,

2014. Disponible en:

<http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/685/T%2631.4%20C984%202014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

PATIÑO, Juan. Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado. Tesis (Título profesional de ingeniería civil).

Guayaquil: Universidad Católica de Santiago de Guayaquil,

2017. Disponible en:

<http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/3317/9159/1/T-UCSGPRE-ING-IC-219.pdf>.

PEZO, Velarde. Aplicación de cal en subrasante para el diseño de pavimento rígido en jirón la unión, Juan Guerra-San Martín. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Perú: Universidad Cesar Vallejo, 2016. Disponible en:

Disponible en:

<http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20500.12692/30605>

DIAZ, Katherine y Torres, Rosa. Incorporación de partículas de caucho de neumáticos para mejorar las propiedades mecánicas en suelos arcillosos. Tesis (Título profesional de ingeniería civil).

Jaén: Universidad Nacional de Jaén, 2019. Disponible en:

<http://repositorio.unj.edu.pe/handle/UNJ/126>

RAVICHANDRAN, P.T [et al], Effect of Addition of Waste Tyre Crumb Rubber on Weak Soil Stabilisation. Indian Journal of Science and Technology [en línea], Vol. 9. 9 de Febrero de 2016. [Fecha

de consulta: 01 de diciembre 2021]. Disponible en:  
[https://www.researchgate.net/publication/297651029\\_Effect\\_of\\_Addition\\_of\\_Waste\\_Tyre\\_Crumb\\_Rubber\\_on\\_Weak\\_Soil\\_Stabilisation](https://www.researchgate.net/publication/297651029_Effect_of_Addition_of_Waste_Tyre_Crumb_Rubber_on_Weak_Soil_Stabilisation)

MUKHERJEE, Dipanjan. Selection and application of lime stabilizer for soil subgrade stabilization. International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology [en línea]. Vol.1, N.º7. Septiembre 2014. [Fecha de consulta: 01 de diciembre del 2021]. Disponible en:  
[http://www.ijiset.com/v1s7/IJSET\\_V1\\_I7\\_12.pdf](http://www.ijiset.com/v1s7/IJSET_V1_I7_12.pdf)

ISSN: 2348 – 7968

RIAZ, Shoaib.; AADIL, Naseem. y WASEEM. Uzma. Stabilization of subgrade soils using cement and lime: a case study of Kala Shah Kaku, Lahore, Pakistan. Pakistan Journal of science [en línea]. Vol. 1. N.º1. marzo 2014. [Fecha de consulta: 01 de diciembre del 2021]. Disponible en:  
[https://www.academia.edu/29467374/STABILIZATION\\_OF\\_SUBGRADE\\_SOILS\\_USING\\_CEMENT\\_AND\\_LIME\\_A\\_CASE\\_STUDY\\_OF\\_KALA\\_SHAH\\_KAKU\\_LAHORE\\_PAKISTAN](https://www.academia.edu/29467374/STABILIZATION_OF_SUBGRADE_SOILS_USING_CEMENT_AND_LIME_A_CASE_STUDY_OF_KALA_SHAH_KAKU_LAHORE_PAKISTAN)

HAMBIRAO, Ghatge. y RAKARADDI, P. Soil stabilization using waste shredded rubber tyre chips. Journal of Mechanical and Civil Engineering [en línea]. Vol. 11. N.º1. Febrero 2014. [Fecha de consulta: 1 de diciembre del 2021]. Disponible en:  
<https://pdfs.semanticscholar.org/a389/8d0b77ad295204185dc0763cd1dbdb94b65.pdf>

ISSN: 2278-1684

MARATHE, Shirak.; SHANKAR, Bhavani. y KUMAR, Anil. Stabilization of Lithomargic Soil Using Cement and Randomly Distributed Waste Shredded Rubber Tyre Chips. International Journal of

Engineering Trends and Technology (IJETT) [en línea]. Vol. 23. N.º6. mayo 2015. [Fecha de consulta:01 de diciembre del 2021]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/profile/Shriram\\_Marathe/publication/279952758\\_Stabilization\\_of\\_Lithomargic\\_Soil\\_Using\\_Cement\\_and\\_Randomly\\_Distributed\\_Waste\\_Shredded\\_Rubber\\_Tyre\\_Chips/links/559f81f808ae30ce833ca5b0/Stabilization-of-Lithomargic-Soil-Using-Cement-and-Randomly-Distributed-Waste-Shredded-Rubber-Tyre-Chips.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Shriram_Marathe/publication/279952758_Stabilization_of_Lithomargic_Soil_Using_Cement_and_Randomly_Distributed_Waste_Shredded_Rubber_Tyre_Chips/links/559f81f808ae30ce833ca5b0/Stabilization-of-Lithomargic-Soil-Using-Cement-and-Randomly-Distributed-Waste-Shredded-Rubber-Tyre-Chips.pdf)

ISSN: 2231-5381

Ashima, J. y Sindhu, A. Comparative Study of Strength Characteristics of Subgrade Soil Reinforced with Galvanized Steel Mesh and Synthetic Rubber. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) [en línea]. Vol. 4. N.º11. noviembre 2015. [Fecha de consulta: 01 de diciembre del 2021]. Disponible en: <https://www.ijert.org/comparative-study-of-strengthcharacteristics-of-subgrade-soil-reinforced-with-galvanizedsteel-mesh-and-synthetic-rubber>

ISSN: 2278-0181

BAENA, Guillermina. Metodología de la investigación [en línea]. 6.ª. México: Editorial Patria, 2017. [Fecha de consulta: 1 de diciembre 2021]. Disponible en: [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)

AKBARIMEHR, Davood y AFLAKI, Esmael. An Experimental Study on the Effect of Tire Powder on the Geotechnical Properties of Clay Soils. Civil Engineering Journal [en línea], Vol. 4. 7 de abril de

2018. [Fecha de consulta: 24 de abril 2020]. Disponible en:  
<https://www.researchgate.net/publication/324314899> An Experimental Study on the Effect of Tire Powder on the Geotechnical Properties of Clay Soils

Patel, Ashwini. et al. Soil Stabilization Using Shredded Rubber and Design of Flexible Pavement. International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) [en línea]. Vol. 6. N.º4. abril 2019. [Fecha de consulta: 1 de diciembre del 2021]. Disponible en:

<https://www.irjet.net/archives/V6/i4/IRJET-V6I4927.pdf>

ISSN: 2395-0056

BURAK, Erhan. y VEFA, Muhammet. Comparison of Effects of Using Geosynthetics and Lime Stabilization to Increase Bearing Capacity of Unpaved Road Subgrade. Hindawi [en línea]. 25 agosto del 2016. [Fecha de consulta: 1 de diciembre de 2021]. Disponible en:

<https://www.hindawi.com/journals/amse/2016/7129356/>

PALLI, Edwin. Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román. Tesis (Título profesional de ingeniería civil). Puno: Universidad Nacional del Altiplano, 2015. Disponible en:

<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/2444>

KHALID, Norazlan. et al. The California Bearing Ratio (CBR) Value for Banting Soft Soil Subgrade Stabilization Using Lime-Pofa Mixtures. EJGE [en línea]. Vol. 19. 2014. [Fecha de consulta: 1 de diciembre del 2020]. Disponible en:

<http://www.ejge.com/2014/Ppr2014.013nar.pdf>



## ANEXOS

### ANEXO 1 – MATRIZ DE CONSISTENCIA

#### Estabilización de la subrasante en suelos arenosos con adición de cal y caucho, AA.HH. San Martin de Porras, Ica 2021.

MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
GENERAL	GENERAL	GENERAL	INDEPENDIENTE			
¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras?	Determinar cómo influye la aplicación de cal y el caucho en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras	La aplicación de cal y caucho influye en la estabilización de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras	CAL	DOSIFICACIÓN	suelo natural +8% de cal	Balanza
					suelo natural +10% de cal	Balanza
			CAUCHO	DOSIFICACIÓN	suelo natural +8% de caucho	Balanza
					suelo natural +10% de caucho	Balanza
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES			
ESPECÍFICO	ESPECÍFICO	ESPECÍFICO	DEPENDIENTE			
¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras?	Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras	La aplicación de cal y caucho influye en los límites de consistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras	ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE (PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS)	MECÁNICA DE SUELOS	GRANULOMETRÍA (CLASIFICACIÓN DE SUELOS)	Juego de tamices
				LÍMITES DE CONSISTENCIA	Índice de Plasticidad (%) Límite Líquido (%) Límite Plástico (%)	Copa Casagrande Balanza Horno Juegos de Tamices
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ); Humedad Óptima (%)	Pisón, Moldes para proctor modificado, Horno, Tamices, Herramientas de mezclas				
RESISTENCIA	Capacidad de Soporte del Suelo (%) CBR	Molde de metal cilíndrico Pesas, placa de metal, pistón de penetración, poza de agua, balanzas, tamices				
¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras?	Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras	La aplicación de cal y caucho influye en el óptimo contenido de humedad de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras?				
¿Cómo influye la aplicación de cal y caucho en la resistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras?	Determinar cómo influye la aplicación de cal y caucho en la resistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras	La aplicación de cal y caucho influye en la resistencia de la subrasante del AA.HH. San Martin de Porras				

## ANEXO 2 MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN		DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	METODOLOGÍA
INDEPENDIENTE	CAL	Se denomina cal a una sustancia de color blanco o gris, el cual se compone principalmente por óxido de calcio, y que debido a los componentes que posee tiene propiedades de estabilización según el Manual de Estabilización de suelo tratado con cal, cambia las características produciendo resistencia y estabilidad	La cal se añadirá a la muestra recogida a la subrasante de estudio adicionando una dosificación de 8% y 10%, al realizar esta mezcla se quiere verificar si la subrasante de estudios presenta mejoras.	DOSIFICACIÓN	Suelo natural +8% de cal	Razón	TIPO DE INVESTIGACIÓN: APLICADA O TECNOLÓGICA
				DOSIFICACIÓN	Suelo natural +10% de cal	Razón	NIVEL DE INVESTIGACIÓN: EXPLICATIVO
	CAUCHO RECICLADO	El caucho reciclado es el producto que se obtiene luego de someter a los componentes de caucho a un proceso de reciclaje, según Robles (2020) indica que su aplicación produce una mejora en la estabilidad de la subrasante	El caucho se añadirá a la muestra recogida a la subrasante de estudio adicionando una dosificación de 8% y 10%, al realizar esta mezcla se quiere verificar si la subrasante de estudios presenta mejoras.	DOSIFICACIÓN	Suelo natural +8% de caucho	Razón	ENFOQUE: CUANTITATIVO
				DOSIFICACIÓN	Suelo natural +10% de caucho	Razón	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN: EXPERIMENTAL
DEPENDIENTE	ESTABILIZACIÓN DE LA SUBRASANTE (PROPIEDADES FÍSICAS Y MECÁNICAS)	Son aquellas propiedades que guardan relación con las características que posee la muestra inalterada, es decir son las propiedades que definen el estado actual de la muestra recopilada.	Se evaluará el comportamiento físico del suelo añadiendo cal y caucho adicionando una dosificación de 8% y 10%, del peso total que se evaluará de los ensayos en laboratorio.	MECÁNICA DE SUELOS	GRANULOMETRÍA (CLASIFICACIÓN DE SUELOS)	Razón	POBLACIÓN: subrasante del sector TEPRO ALTO SAN MARTIN
				LÍMITES DE CONSISTENCIA	Índice de Plasticidad (%) Límite Líquido (%) Límite Plástico (%)	Razón	MUESTRA: 04 calicatas del AA.HH. San Martin de Porras
				ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	Densidad Máxima (gr/cm <sup>3</sup> ); Humedad Óptima (%)	Razón	MUESTREO: El muestreo es no probabilístico
				RESISTENCIA	Capacidad de Soporte del Suelo (%) CBR	Razón	INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN: Formatos en excel, instrumentos calibrados FICHAS DE RECOPIACIÓN: Informe (validez)

# ANEXO 3: RESULTADOS DE LABORATORIO



## A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



### ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107 / ASTM D 422/ AASHTO T 88

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

<b>1. DATOS DE LA MUESTRA</b>		<b>2. PERSONAL</b>	
FECHA	18 DE OCTUBRE DEL 2021	ING. RESP. :	A.F.G.P
MATERIAL	SUELO NATURAL	TEC. RESP. :	J.C.G.P
		MUESTRA:	C-1; E-1

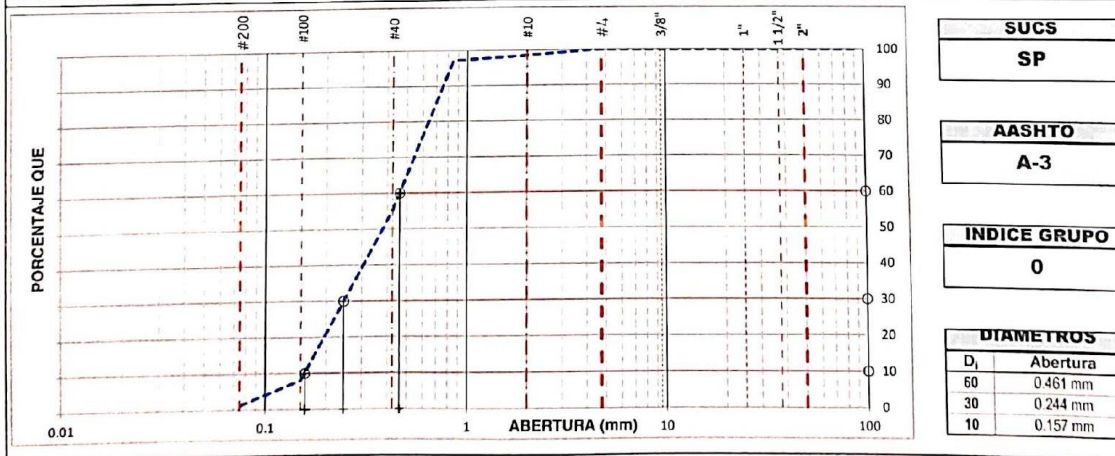
3. TAMIZADO					4. RESUMEN	
N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE ACUMULADO (%)	
	DENOMINACION	(mm)	PESO (g)	%	BASE EG 2013	GRADACION B
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0	
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0	
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0	
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0	
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0	
11	#10	2.000	15.8	1.6	96.4	
12	#20	0.850	12.8	1.3	97.1	
13	#40	0.425	420.6	42.0	55.1	
14	#100	0.150	471.0	47.1	8.0	
15	#200	0.075	68.0	6.8	1.2	
16	Fondo	0.075	12.2	1.2		
17						
18						
19						
20						

DESCRIPCION	VALOR
GENERALES	
Peso muestra seca	1,000 g
Peso muestra lavada y seca	988 g
Finos equiv. <#4:	100.0%
Grava usada	0.0%
Fino ensayado < #4	1,000 g
Frac. equiv. < #200:	1.2%
TIPO DE TAMIZADO	MANUAL
TAMANO MAXIMO	3/8"
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	2.939
Curvatura (Cc)	0.824
HUMEDAD NATURAL	
1. Peso suelo húmedo	54.8 g
2. Peso suelo seco	52.3 g
3. Peso de agua [1] - [2]	2.5 g
4. Humedad [3]*100/[2]	2.7 %
LIMITES DE ATTERBERG	
DESCRIPCION	
Limite Líquido (LL):	0.00
Limite Plástico (LP):	NP
Indice Plástico (IP):	NP

DESCRIPCION SUELO: ARENA POBREMENTE GRADADA

### 5. CURVA GRANULOMETRICA Y CLASIFICACION DE SUELOS



### 6. OBSERVACIONES

Arturo Fabian Godoy Pereyra



INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



**LIMITE LIQUIDO,  
LIMITE PLASTICO INDICE DE PLASTICIDAD  
MTC E110 Y E 111 / ASTM D 4318**

TESIS: "ESTABILIZACION DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICION DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTIN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

<b>1.- DATOS DE LA MUESTRA</b>		<b>2.- PERSONAL</b>	
FECHA:	18 DE OCTUBRE DEL 2021	MUESTRA:	C-1; E-1
MATERIAL:	SUELO NATURAL	ING. RESP.:	A.F.G.P
		TEC. RESP.:	J.C.G.P

**3.- LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS		
		C-01	C-05	C-08
Nº CAPSULA	ID	C-01	C-05	C-08
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00	0.00
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00	0.00
PESO DE AGUA	(g)	0.00	0.00	0.00
PESO DE LA TARA	(g)	35.80	33.50	30.80
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-35.80	-33.50	-30.80
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.00	0.00	0.00
NUMERO DE GOLPES		18	28	38

**4.- LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)**

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS		PROMEDIO
		T-02	T-03	
Nº TARRO	ID	T-02	T-03	
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00	-
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00	-
PESO DE LA TARA	(g)	30.80	30.50	-
PESO DEL AGUA	(g)	0.00	0.00	-
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-30.80	-30.50	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	NP	NP	NP


CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES

CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	10	25	100
38			
37			
36			
35			
34			
33			
32			
31			
30			
29			
28			
27			
26			
25			
24			
23			
22			
21			
20			
19			
18			
17			
16			
15			

NUMERO DE GOLPES

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO (%)	0.00
LIMITE PLASTICO (%)	NP
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP

**5.- OBSERVACIONES**

  
 Arturo Fabián Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO Nº 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
DATOS DE LA MUESTRA			
TESIS:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"		
UBICACION:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS		
SOLICITANTE:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT	HECHO POR : A.F.G.P	
	BACH. YATACO VILLA EDER JESUS		
MUESTRA	C - 1; E-1		
MATERIAL.	SUELO NATURAL	FECHA	18 DE OCTUBRE DEL 2021
ENSAYO N°	1		
Nro. DE TARA			
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	132.6		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	130.1		
PESO DE LA TARA gr.	37.8		
PESO DEL AGUA gr.	2.5		
PESO SUELO SECO gr.	92.3		
HUMEDAD %	2.71		
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %	2.7		

Observaciones:

  
Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnicos y del Concreto



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107 / ASTM D 422 / AASHTO T 88

TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021\*

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

<b>1. DATOS DE LA MUESTRA</b>		<b>2. PERSONAL</b>	
FECHA	18 DE OCTUBRE DEL 2021	ING. RESP.:	A.F.G.P
MATERIAL	SUELO NATURAL	TEC. RESP.:	J.C.G.P
		MUESTRA:	C-2, E-1

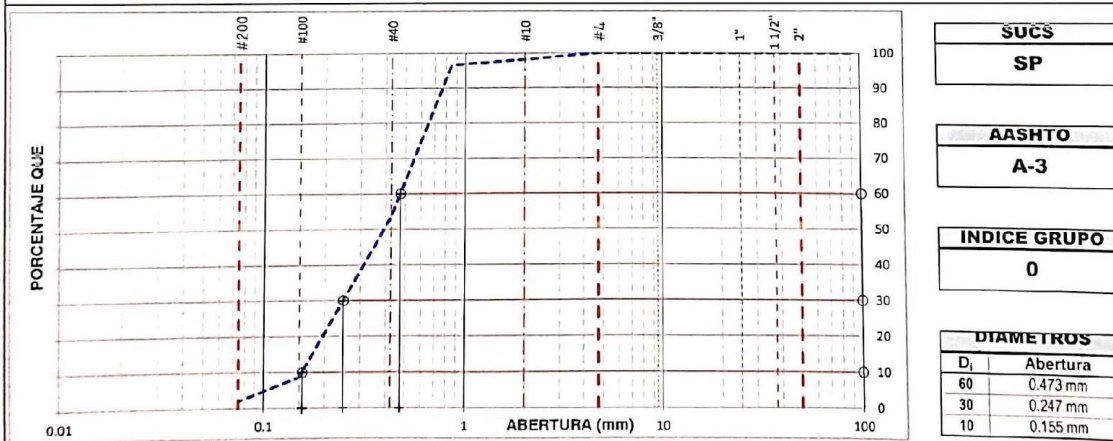
3. TAMIZADO					4. RESUMEN	
N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE ACUMULADO (%)	
	DENOMINACION	(mm)	PESO (g)	%	% QUE PASA	GRADACION B
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0	
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0	
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0	
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0	
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0	
11	#10	2.000	19.2	1.9	98.1	
12	#20	0.850	16.1	1.6	96.5	
13	#40	0.425	431.7	43.2	53.3	
14	#100	0.150	447.0	44.7	8.6	
15	#200	0.075	65.6	6.6	2.0	
16	Fondo	0.075	19.7	2.0		
17						
18						
19						
20						

DESCRIPCION		VALOR
<b>GENERALES</b>		
Peso muestra seca		1,000 g
Peso muestra lavada y seca		980 g
Finos equiv. <#4:	100.0%	1,000 g
Grava usada	0.0%	0 g
Fino ensayado <#4		1,000 g
Frac. equiv. <#200:	2.0%	20 g
<b>TIPO DE TAMIZADO</b>		<b>MANUAL</b>
<b>TAMANO MAXIMO</b>		3/8"
<b>COEFICIENTES</b>		
Uniformidad (Cu)		3.054
Curvatura (Cc)		0.632
<b>HUMEDAD NATURAL</b>		
1. Peso suelo húmedo		159.8 g
2. Peso suelo seco		154.5 g
3. Peso de agua [1] - [2]		5.2 g
4. Humedad [3]*100/[2]		3.4 %
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>		
<b>DESCRIPCION</b>		
Límite Líquido (LL):	0.00	
Límite Plástico (LP):	NP	
Índice Plástico (IP):	NP	

DESCRIPCION SUELO: ARENA POBREMENTE GRADADA

### 5. CURVA GRANULOMÉTRICA Y CLASIFICACION DE SUELOS



### 6. OBSERVACIONES

*(Firma)*  
 Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO INDICE DE PLASTICIDAD MTC E110 Y E 111 / ASTM D 4318						
TESS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CALCHOY CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"						
UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT BACH. YATACO VILLA EDER JESUS						
<b>1.- DATOS DE LA MUESTRA</b>				<b>2.- PERSONAL</b>		
FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021				ING. RESP.: A.F.G.P		
MATERIAL: SUELO NATURAL				MUESTRA: C-2; E-1		
				TEC. RESP.: J.C.G.P		
3.- LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS				
Nº CAPSULA	ID	C-01	C-05	C-09		
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00	0.00		
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00	0.00		
PESO DE AGUA	(g)	0.00	0.00	0.00		
PESO DE LA TARA	(g)	35.80	33.50	30.80		
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-35.80	-33.50	-30.80		
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.00	0.00	0.00		
NUMERO DE GOLPES		18	28	38		
4.- LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)						
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS			PROMEDIO	
Nº TARRO	ID	T-02	T-03			
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00			
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00			
PESO DE LA TARA	(g)	30.80	30.50			
PESO DEL AGUA	(g)	0.00	0.00			
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-30.80	-30.50			
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	NP	NP		NP	
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES 						
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA						
LIMITE LIQUIDO (%)		0.00				
LIMITE PLASTICO (%)		NP				
INDICE DE PLASTICIDAD (%)		NP				
5.- OBSERVACIONES						
 Arturo Fabian Godoy Pereyra INGENIERO CIVIL C.I.P. 66311						

PROLONGACION CUTERVO Nº 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

### DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216

#### DATOS DE LA MUESTRA

**PROYECTO:** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

**UBICACION:** AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS

**SOLICITANTE:** BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

**MUESTRA:** C-2; E-1

**MATERIAL:** SUELO NATURAL

**HECHO POR :** A.F.G.P

**FECHA:** 18 DE OCTUBRE DEL 2021

ENSAYO N°	1		
Nro. DE TARA			
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	167.9		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	166.1		
PESO DE LA TARA gr.	38.7		
PESO DEL AGUA gr.	1.8		
PESO SUELO SECO gr.	127.4		
HUMEDAD %	1.41		
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %		1.4	

Observaciones:

  
Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107 / ASTM D 422/ AASHTO T 88

**TESIS:** ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021\*

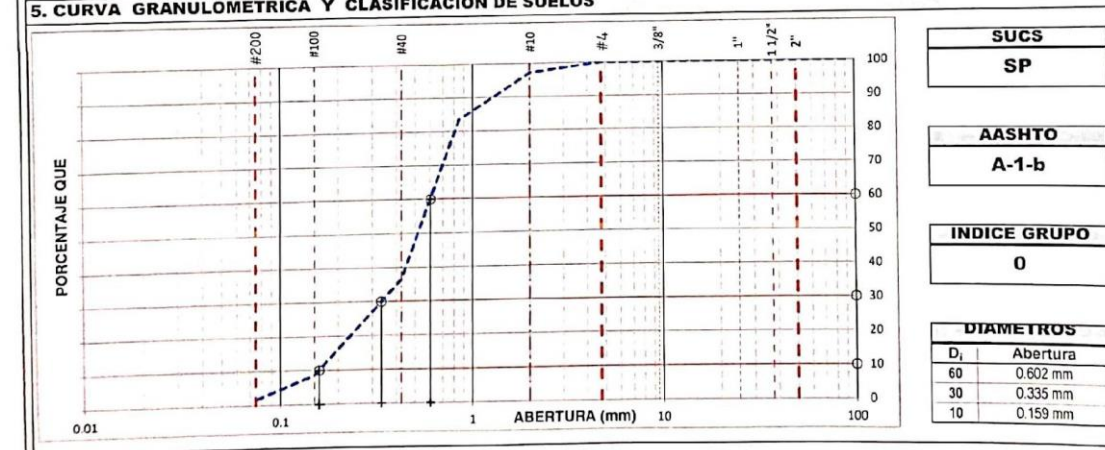
**UBICACION:** AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
**SOLICITANTE:** BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

<b>1. DATOS DE LA MUESTRA</b>	<b>2. PERSONAL</b>
FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021	ING. RESP.: A.F.G.P
MATERIAL: SUELO NATURAL	TEC. RESP.: J.C.G.P
MUESTRA: C-3;E-1	

N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE		ACUMULADO (%)	
	DENOMINACION		PESO (g)	%	BASE EG 2013		GRADACION B	
	ASTM	(mm)			% QUE PASA			
1	3 1/2"	90.000			100.0			
2	3"	75.000			100.0			
3	2 1/2"	63.000	0		100.0			
4	2"	50.000	0	0.0	100.0			
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0			
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0			
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0			
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0			
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0			
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0			
11	#10	2.000	29.2	2.9	97.1			
12	#20	0.850	136.8	13.7	83.4			
13	#40	0.425	470.1	47.0	36.4			
14	#100	0.150	279.2	27.9	8.5			
15	#200	0.075	68.7	6.9	1.6			
16	Fondo	0.075	16.2	1.6				
17								
18								
19								
20								

DESCRIPCION	VALOR
<b>GENERALES</b>	
Peso muestra seca	1,000 g
Peso muestra lavada y seca	984 g
Finos equiv. <#4:	100.0%
Grava usada	0.0%
Fino ensayado <#4	1,000 g
Frac. equiv. <#200:	1.6%
TIPO DE TAMIZADO	MANUAL
TAMANO MAXIMO	3/8"
<b>COEFICIENTES</b>	
Uniformidad (Cu)	3.794
Curvatura (Cc)	1.173
<b>HUMEDAD NATURAL</b>	
1. Peso suelo húmedo	125.7 g
2. Peso suelo seco	121.2 g
3. Peso de agua [1] - [2]	4.5 g
4. Humedad [3] * 100 / [2]	3.7 %
<b>LIMITES DE ATTERBERG</b>	
<b>DESCRIPCION</b>	
Limite Líquido (LL):	0.00
Limite Plástico (LP):	NP
Indice Plástico (PI):	NP

DESCRIPCION SUELO: ARENA POBREMENTE GRADADA



**6. OBSERVACIONES**

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 88311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
 238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



LIMITE LIQUIDO, LIMITE PLASTICO INDICE DE PLASTICIDAD MTC E110 Y E 111 / ASTM D 4318					
TESIS: "ESTABILIZACION DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICION DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTIN DE PORRAS, ICA 2021"					
UBICACION: AA. HH. SAN MARTIN DE PORRAS					
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT					
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS					
<b>1.- DATOS DE LA MUESTRA</b>					<b>2.- PERSONAL</b>
FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021		MUESTRA: C-3; E-1		ING. RESP.: A.F.G.P	
MATERIAL: SUELO NATURAL				TEC. RESP.: J.C.G.P	
3.- LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS			
Nº CAPSULA	ID	C-01	C-05	C-08	-
PESO TAPA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00	0.00	-
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00	0.00	-
PESO DE AGUA	(g)	0.00	0.00	0.00	-
PESO DE LA TARA	(g)	35.80	33.50	30.80	-
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-35.80	-33.50	-30.80	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.00	0.00	0.00	-
NUMERO DE GOLPES		18	28	38	-
4.- LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS			PROMEDIO
Nº TARRO	ID	T-02	T-03		-
PESO TAPA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00		-
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00		-
PESO DE LA TARA	(g)	30.80	30.50		-
PESO DEL AGUA	(g)	0.00	0.00		-
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-30.80	-30.50		-
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	NP	NP		NP
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES					
CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA					
LIMITE LIQUIDO (%)	0.00				
LIMITE PLASTICO (%)	NP				
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP				
<b>5.- OBSERVACIONES</b>					
 Arturo Fabian Godoy Pereyra INGENIERO CIVIL C.I.P. 66311					

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTI - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
<b>DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL</b> NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
<b>DATOS DE LA MUESTRA</b>			
TESIS:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"		
SOLICITANTE	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT BACH. YATACO VILLA EDER JESUS		
UBICACION:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS		
MUESTRA:	C - 3 ; E-1		HECHO POR : A.F.G.P
MATERIAL	SUELO NATURAL		FECHA 18 DE OCTUBRE DEL 2021
ENSAYO N°	1		
Nro. DE TARA			
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	163.5		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	159.0		
PESO DE LA TARA gr.	37.8		
PESO DEL AGUA gr.	4.5		
PESO SUELO SECO gr.	121.2		
HUMEDAD %	3.71		
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %			3.7

Observaciones:

  
Arturo Fabián Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CTEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107 / ASTM D 422 / AASHTO T 88

TESIS: \*ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021\*

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

### 1. DATOS DE LA MUESTRA

FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
MATERIAL: SUELO NATURAL

MUESTRA: C-4; E-1

### 2. PERSONAL

ING. RESP.: A.F.G.P  
TEC. RESP.: J.C.G.P

### 3. TAMIZADO

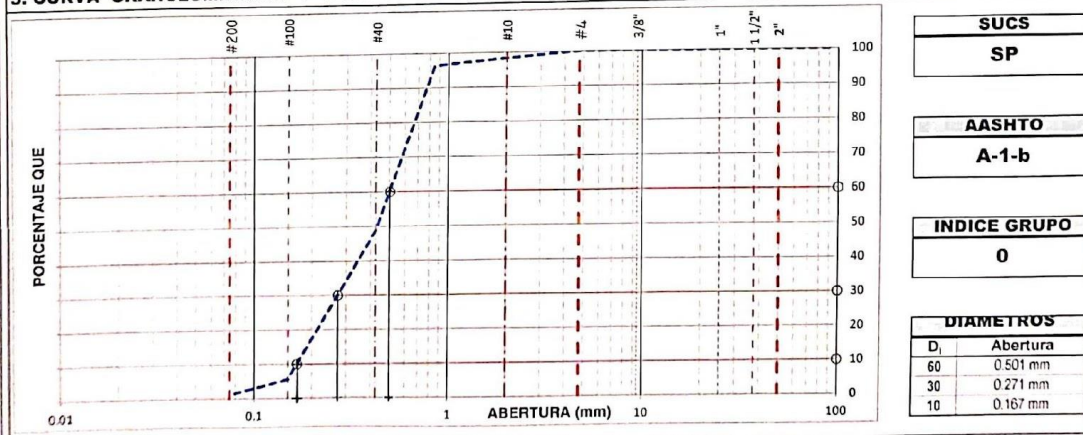
N	TAMIZ		RETENIDO		PASANTE ACUMULADO (%)	
	DENOMINACION	(mm)	PESO (g)	%	% QUE PASA	GRADACION B
1	3 1/2"	90.000			100.0	
2	3"	75.000			100.0	
3	2 1/2"	63.000	0		100.0	
4	2"	50.000	0	0.0	100.0	
5	1 1/2"	37.500	0.0	0.0	100.0	
6	1"	25.000	0.0	0.0	100.0	
7	3/4"	19.000	0.0	0.0	100.0	
8	1/2"	12.500	0.0	0.0	100.0	
9	3/8"	9.500	0.0	0.0	100.0	
10	#4	4.750	0.0	0.0	100.0	
11	#10	2.000	17.3	1.7	98.3	
12	#20	0.850	19.0	1.9	96.4	
13	#40	0.425	476.5	47.6	48.7	
14	#100	0.150	432.0	43.2	5.5	
15	#200	0.075	44.7	4.5	1.1	
16	Fondo	0.075	10.6	1.1		
17						
18						
19						
20						

### 4. RESUMEN

DESCRIPCION	VALOR
GENERALES	
Peso muestra seca	1,000 g
Peso muestra lavada y seca	989 g
Finos equiv. <#4	100.0%
Grava usada	0.0%
Fino ensayado < #4	1,000 g
Frac. equiv. < #200	1.1%
TIPO DE TAMIZADO	MANUAL
TAMANO MAXIMO	3/8"
COEFICIENTES	
Uniformidad (Cu)	2.996
Curvatura (Cc)	0.876
HUMEDAD NATURAL	
1. Peso suelo húmedo	216.5 g
2. Peso suelo seco	211.6 g
3. Feso de agua [1] - [2]	4.9 g
4. Humedad [3] * 100 / [2]	2.3 %
LIMITE DE ATTERBERG	
DESCRIPCION	
Limite Líquido (LL):	0.00
Limite Plástico (LP):	NP
Indice Plástico (IP):	NP

DESCRIPCION SUELO: ARENA POBREMENTE GRADADA

### 5. CURVA GRANULOMÉTRICA Y CLASIFICACION DE SUELOS



### 6. OBSERVACIONES

Arturo Fabián Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



**LIMITE LIQUIDO,  
LIMITE PLASTICO INDICE DE PLASTICIDAD  
MTC E110 Y E 111 / ASTM D 4318**

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT

1.- DATOS DE LA MUESTRA		2.- PERSONAL	
FECHA:	18 DE OCTUBRE DEL 2021	MUESTRA:	C-4; E-1
MATERIAL:	SUELO NATURAL	ING. RESP.:	A.F.G.P
		TEC. RESP.:	J.C.G.P

3.-LIMITE LIQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS			
N° CAPSULA	ID	C-01	C-05	C-08	-
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00	0.00	-
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00	0.00	-
PESO DE AGUA	(g)	0.00	0.00	0.00	-
PESO DE LA TARA	(g)	35.80	33.50	30.80	-
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-35.80	-33.50	-30.80	-
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	0.00	0.00	0.00	-
NUMERO DE GOLPES		18	28	38	-

4.-LIMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)					
DESCRIPCIÓN	UNIDAD	MUESTRAS			PROMEDIO
N° TARRO	ID	T-02	T-03		-
PESO TARA + SUELO HUMEDO	(g)	0.00	0.00		-
PESO TARA + SUELO SECO	(g)	0.00	0.00		-
PESO DE LA TARA	(g)	30.80	30.50		-
PESO DEL AGUA	(g)	0.00	0.00		-
PESO DEL SUELO SECO	(g)	-30.80	-30.50		-
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	NP	NP		NP

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES

NUMERO DE GOLPES

CONSTANTES FISICAS DE LA MUESTRA	
LIMITE LIQUIDO (%)	0.00
LIMITE PLASTICO (%)	NP
INDICE DE PLASTICIDAD (%)	NP

**5.- OBSERVACIONES**

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS			
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
DATOS DE LA MUESTRA			
TESIS:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"		
SOLICITANTE	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT BACH. YATACO VILLA EDER JESUS		
UBICACION:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS		
MUESTRA:	C-4; E-1	HECHO POR :	A.F.G.P
MATERIAL	SUELO NATURAL	FECHA	18 DE OCTUBRE DEL 2021
ENSAYO N°	1		
Nro. DE TARA			
PESO TARA + SUELO HUMEDO gr.	254.3		
PESO TARA + SUELO SECO gr.	249.4		
PESO DE LA TARA gr.	37.8		
PESO DEL AGUA gr.	4.9		
PESO SUELO SECO gr.	211.6		
HUMEDAD %	2.32		
HUMEDAD NATURAL PROMEDIO %	2.3		

Observaciones: \_\_\_\_\_

  
Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## PRÓCTOR MODIFICADO MTC E 116 - ASTM D 1557 - AASHTO T 180

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. HH. SAN MARTIN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

### 1.- DATOS DE LA MUESTRA

FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
MATERIAL: SUELO NATURAL

### 2.- PERSONAL

ING. RESP.: A.F.G.P.  
TEC. RESP.: J.C.G.P.

### 3.- COMPACTACIÓN

METODO DE COMPACTACIÓN : C  
NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 56  
NUMERO DE CAPAS : 5

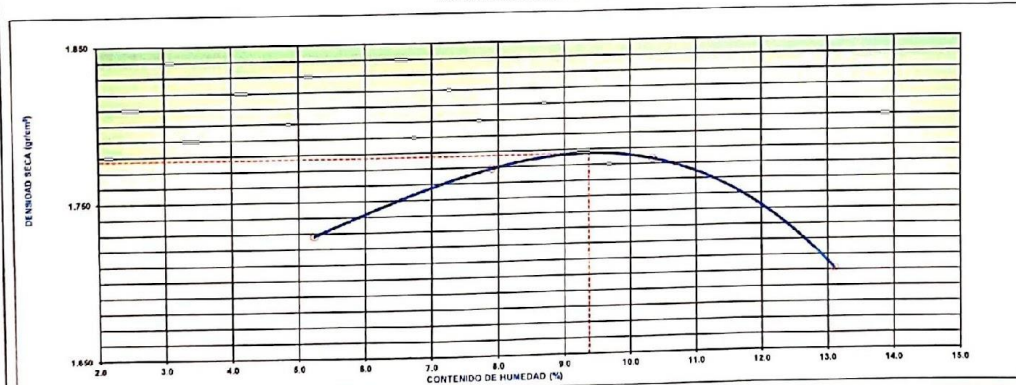
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	6700	6990	6990	6920
PESO DE MOLDE (gr)	2900	2900	2900	2900
PESO SUELO HUMEDO (gr)	3800	3990	4090	4020
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2090	2090	2090	2090
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.818	1.909	1.957	1.923
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.728	1.769	1.773	1.701

### 4.- CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	1	2	3	4
PESO (SUELO HUMEDO + TARA) (gr)	142.8	143.6	159.8	133.7
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	137.6	135.9	146.4	122.6
PESO DE LA TARA (gr)	38.3	38.5	38.2	37.9
PESO DE AGUA (gr)	5.2	7.7	11.4	11.1
PESO DE SUELO SECO (gr)	89.3	97.4	110.2	84.7
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.24	7.91	10.34	13.11

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>) 1.78      ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 9.4

CURVA DE COMPACTACIÓN



### 5.- OBSERVACIONES

*Arturo Fabian Godoy Pereyra*  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



**TESIS** : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"  
**SOLICITA** : BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
 BACH. YATACO VILLA EDER JESUS  
**UBICACIÓN** : AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
**FECHA** : 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
**MUESTRA** : C-1 Y C-2 **MATERIAL:** SUELO NATURAL

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°	1		3		2	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12650		12263		12320
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450
Peso del suelo húmedo	gr.	4240		4003		3870
Volúmen del molde	cc.	2189		2189		2189
Densidad Humeda	gr./cc	1.94		1.83		1.77
Humedad	%	9.10		8.40		9.50
Densidad seca	gr./cc	1.780		1.69		1.62
Tarro N°	1		2		5	
Tarro suelo húmedo	gr.	169.5		189.9		148
Tarro suelo seco	gr.	158.3		178.1		138.5
Aqua	gr.	11.2		11.8		9.5
Peso del Tarro	gr.	35.2		38.3		38.5
Peso del suelo seco	gr.	123.1		139.8		100
Humedad	%	9.1		8.4		9.5
Promedio de la humedad	%					

## ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

## PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo	mm	plg	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>
0.30	0.600	0.25	98	216	69	41	90	30	29	64	21
1.00	1.300	0.50	251	552	184	122	268	89	62	136	45
1.30	1.900	0.075	378	832	277	165	363	121	123	271	90
2.00	2.500	0.100	410	902	301	261	574	191	172	378	126
3.00	3.800	0.150	790	1738	579	400	880	293	322	708	236
4.00	5.000	0.200	987	2171	724	592	1302	434	421	926	309
5.00	6.000	0.250	1130	2486	829	742	1632	544	520	1144	381
6.00	7.500	0.300	1302	2864	955	965	2123	708	765	1683	561
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

  
 Arturo Fabián Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
 URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
 238490 CEL.: 956623710 - 956994521



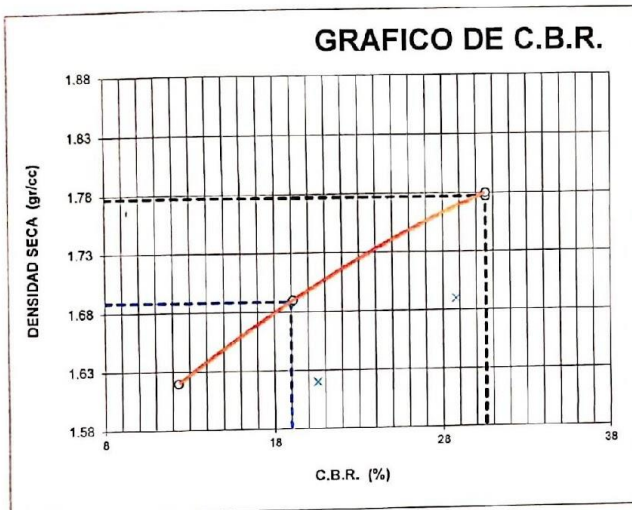


# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnicos y del Concreto

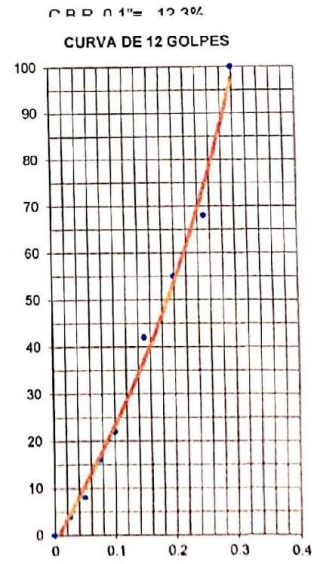
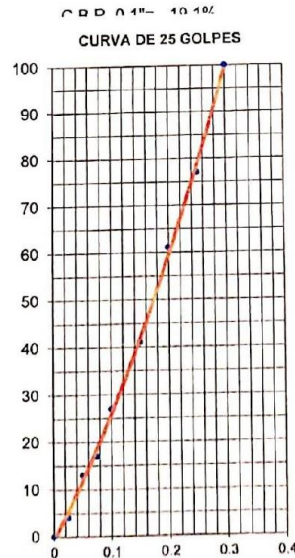
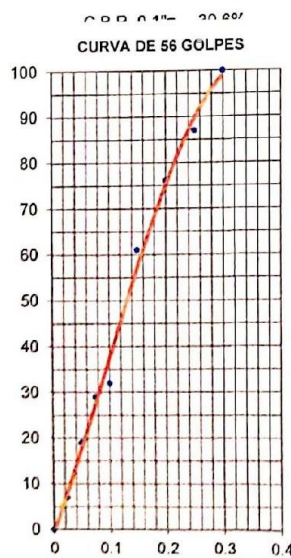


**TESIS** : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"  
**SOLICITA** : BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT **MUESTRA** C-1 Y C-2  
 BACH. YATACO VILLA EDER JESUS  
**UBICACIÓN** : AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS **MATERIAL** SUELO NATURAL  
**FECHA** : 18 DE OCTUBRE DEL 2021



**PARAMETROS DE C.B.R.**  
 C.B.R. 0.1" AL 100% = 30.56%  
 C.B.R. 0.1" AL 95% M.D.S. = 19.00%

**LEYENDA**  
 CURVA A 0.1"



PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
 URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

E-mail: afgp281@gmail.com  
 238490 CEL: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## PRÓCTOR MODIFICADO MTC E 116 - ASTM D 1557 - AASHTO T 180

TESIS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

### 1.- DATOS DE LA MUESTRA

FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021

MATERIAL: SUELO NATURAL 8% DE CAUCHO

MUESTRA: C-1 Y C-2

### 2.- PERSONAL

ING. RESP.: A.F.G.P.

TEC. RESP.: J.C.G.P.

### 3.- COMPACTACIÓN

METODO DE COMPACTACIÓN : C  
NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 56  
NUMERO DE CAPAS : 5

#### NUMERO DE ENSAYO

	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	6410	6590	6700	6710
PESO DE MOLDE (gr)	2900	2900	2900	2900
PESO SUELO HUMEDO (gr)	3510	3690	3800	3810
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2090	2090	2090	2090
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.679	1.765	1.818	1.823
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.600	1.643	1.653	1.621

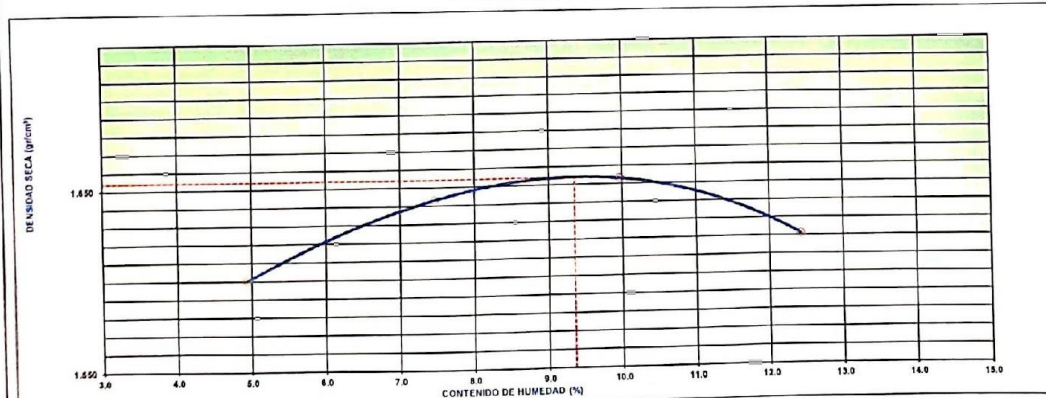
### 4.- CONTENIDO DE HUMEDAD

	6	7	8	2
RECIPIENTE N°	6	7	8	2
PESO (SUELO HUMEDO + TARA) (gr)	125.4	149.3	145.2	139.2
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	121.3	141.6	135.5	129.0
PESO DE LA TARA (gr)	38.3	38.5	38.2	37.9
PESO DE AGUA (gr)	4.1	7.7	9.7	11.2
PESO DE SUELO SECO (gr)	83.0	103.1	97.3	90.1
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	4.94	7.47	9.97	12.43

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>) 1.65

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 9.4

### CURVA DE COMPACTACIÓN



### 5.- OBSERVACIONES

  
Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



**TESIS :** "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"  
**SOLICITA :** BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
 BACH. YATACO VILLA EDER JESUS  
**UBICACIÓN :** AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
**FECHA :** 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
**MUESTRA :** C-1 Y C-2 **MATERIAL:** SUELO NATURAL 8% DE CAUCHO

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°	1		3		2	
	5		5		5	
Capa N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo gr.	12300		11900		11950	
Peso del molde gr.	8410		8260		8450	
Peso del suelo húmedo gr.	3890		3640		3500	
Volúmen del molde cc.	2189		2189		2189	
Densidad Humeda gr./cc	1.78		1.66		1.6	
Humedad %	8.10		8.50		8.60	
Densidad seca gr./cc	1.650		1.53		1.47	
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo gr.	119.9		127.4		139	
Tarro suelo seco gr.	113.7		120.4		131	
Agua gr.	6.2		7		8	
Peso del Tarro gr.	37.4		38.3		38.5	
Peso del suelo seco gr.	76.3		82.1		92.5	
Humedad %	8.1		8.5		8.6	
Promedio de la humedad %						

## ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

## PENETRACION

PENETRACION			Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	25	55	18	12	26	9	10	22	7
1.00	1.300	0.50	83	183	61	31	68	23	25	55	18
1.30	1.900	0.075	105	231	77	78	172	57	50	110	37
2.00	2.500	0.100	156	343	114	103	227	76	85	187	62
3.00	3.800	0.150	284	625	208	124	273	91	110	242	81
4.00	5.000	0.200	330	726	242	222	488	163	161	354	118
5.00	6.000	0.250	388	854	285	310	682	227	226	497	166
6.00	7.500	0.300	465	1023	341	389	856	285	299	658	219
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

  
 Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
 URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
 238490 CEL.: 956623710 - 956994521



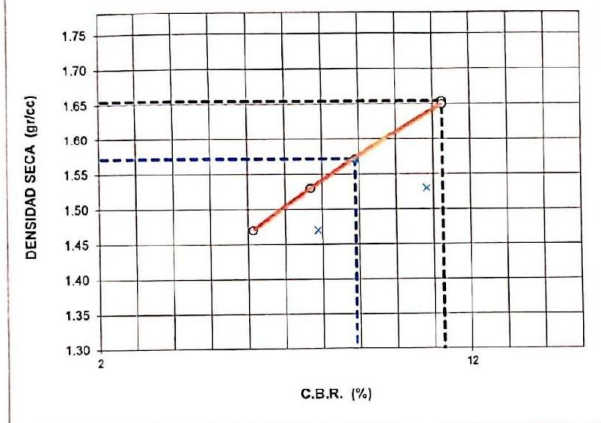
# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnicos y del Concreto



TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"	
SOLICITA	:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT	MUESTRA C-1 Y C-2
	:	BACH. YATACO VILLA EDER JESUS	
UBICACIÓN	:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS	MATERIAL SUELO NATURAL 8% DE CAUCHO
FECHA	:	18 DE OCTUBRE DEL 2021	

## GRAFICO DE C.B.R.



### PARAMETROS DE C.B.R.

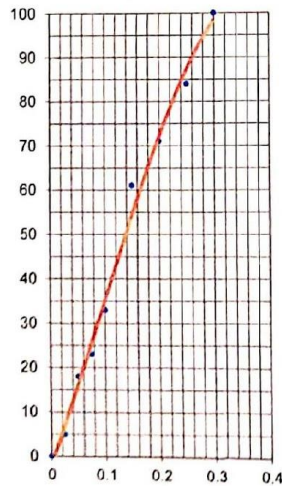
C.B.R. 0.1" AL 100% = 11.25%  
C.B.R. 0.1" AL 95% M.D.S. = 8.90%

### LEYENDA

— CURVA A 0.1"

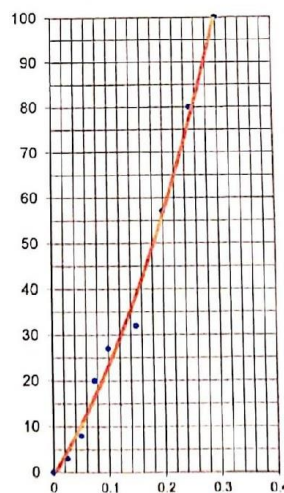
C.B.R. 0.1" = 11.3%

CURVA DE 66 GOLPES



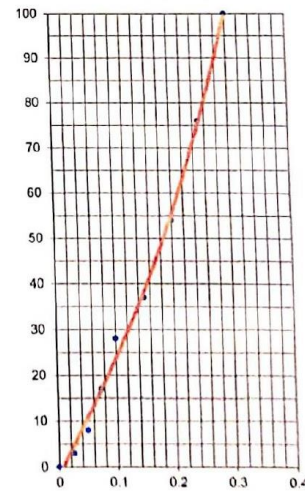
C.B.R. 0.1" = 7.7%

CURVA DE 25 GOLPES



C.B.R. 0.1" = 6.1%

CURVA DE 12 GOLPES



Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

E-mail: afgp281@gmail.com  
238490 CEL: 956623710 - 956994521

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## PRÓCTOR MODIFICADO MTC E 116 - ASTM D 1557 - AASHTO T 180

TESS: ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021\*

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS

SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

1.- DATOS DE LA MUESTRA		2.- PERSONAL	
FECHA:	18 DE OCTUBRE DEL 2021	ING. RESP.:	A.F.G.P.
MATERIAL:	SUELO NATURAL + 10% DE CAUCHO	MUESTRA:	C-1 Y C-2
		TEC. RESP.:	J.C.G.P.

**3.- COMPACTACIÓN**

METODO DE COMPACTACIÓN : C

NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 56

NUMERO DE CAPAS : 5

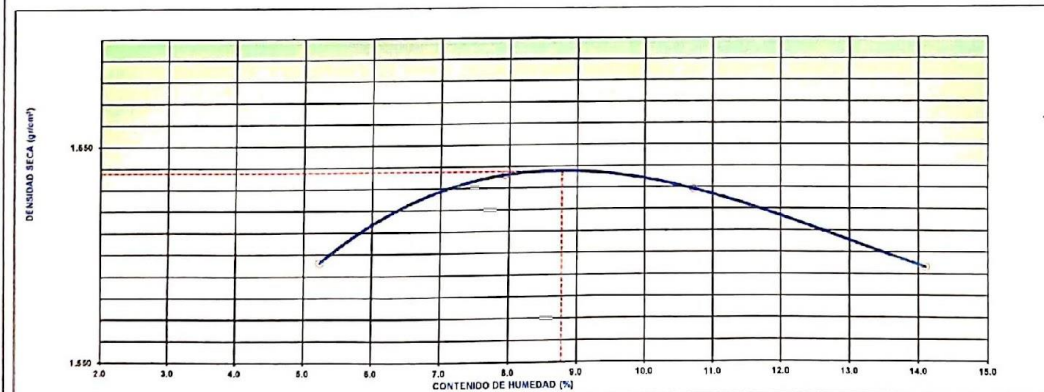
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	6410	6590	6670	6700
PESO DE MOLDE (gr)	2900	2900	2900	2900
PESO SUELO HUMEDO (gr)	3510	3690	3770	3800
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2090	2090	2090	2090
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.673	1.765	1.804	1.818
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.596	1.636	1.629	1.595

**4.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

RECIPIENTE N°	1	2	3	4
PESO (SUELO HUMEDO + TARA) (gr)	138.8	130.9	134.3	140.6
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	133.8	124.1	125.0	127.9
PESO DE LA TARA (gr)	39.3	35.5	39.3	37.9
PESO DE AGUA (gr)	5.0	6.8	9.3	12.7
PESO DE SUELO SECO (gr)	95.5	85.6	85.7	90.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.24	7.94	10.73	14.11

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>) 1.64      ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 8.8

CURVA DE COMPACTACIÓN



**5.- OBSERVACIONES**

*Arturo Fabian Godoy Pereyra*  
 Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
 URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
 ☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"
SOLICITA	:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT BACH. YATACO VILLA EDER JESUS
UBICACIÓN	:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS
FECHA	:	18 DE OCTUBRE DEL 2021
MUESTRA	:	C-1 Y C-2 MATERIAL: SUELO NATURAL + 10% DE CAUCHO

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	1		2		3	
	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Molde N°	1		2		3	
Capa N°	5		5		5	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR		SUMERG.		SIN SUMERGIR	
Peso molde + suelo húmedo	gr.	12298		11920		11960
Peso del molde	gr.	8410		8260		8450
Peso del suelo húmedo	gr.	3888		3660		3510
Volumen del molde	cc.	2189		2189		2189
Densidad Humeda	gr./cc	1.78		1.67		1.6
Humedad	%	8.40		8.60		8.20
Densidad seca	gr./cc	1.640		1.54		1.48
Tarro N°	1		2		3	
Tarro suelo húmedo	gr.	154		161		147.7
Tarro suelo seco	gr.	145		151.3		139.4
Agua	gr.	9		9.7		8.3
Peso del Tarro	gr.	37.4		38.3		38.5
Peso del suelo seco	gr.	107.6		113		100.9
Humedad	%	8.4		8.6		8.2
Promedio de la humedad	%					

## ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

## PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo	mm	plg	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>
0.30	0.600	0.25	18	40	13	15	33	11	10	22	7
1.00	1.300	0.50	30	66	22	26	57	19	24	53	18
1.30	1.900	0.075	50	110	37	44	97	32	38	84	28
2.00	2.500	0.100	113	249	83	78	172	57	55	121	40
3.00	3.800	0.150	150	330	110	124	273	91	110	242	81
4.00	5.000	0.200	226	497	166	185	407	136	160	352	117
5.00	6.000	0.250	274	603	201	230	506	169	199	438	146
6.00	7.500	0.300	350	770	257	323	711	237	247	543	181
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281-a@gmail.com  
☎ 238490 CEL: 956623710 - 956994521

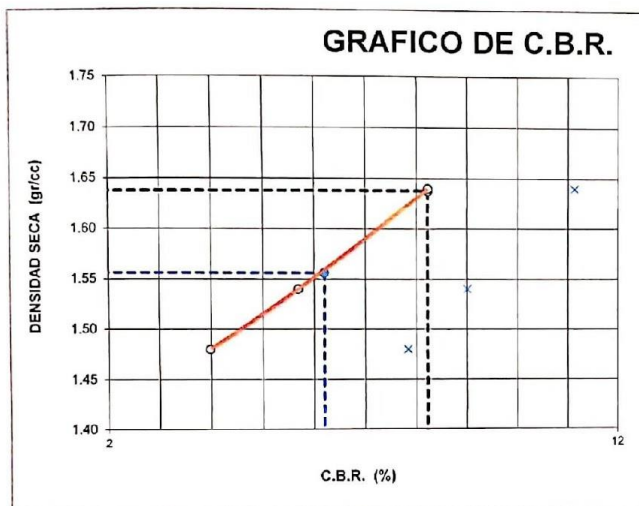


# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

## Estudios Geotécnico y del Concreto



TESIS	: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"	MUESTRA	C-1 Y C-2
SOLICITA	: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT		
	: BACH. YATACO VILLA EDER JESUS		
UBICACIÓN	: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS	MATERIAL	SUELO NATURAL + 10% DE CAUCHO
FECHA	: 18 DE OCTUBRE DEL 2021		

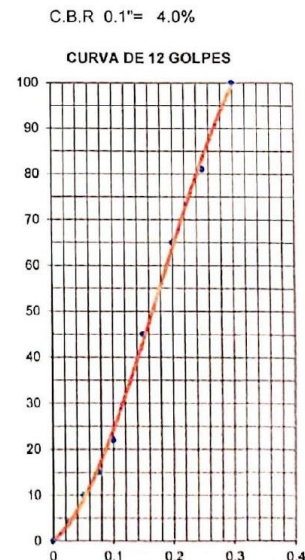
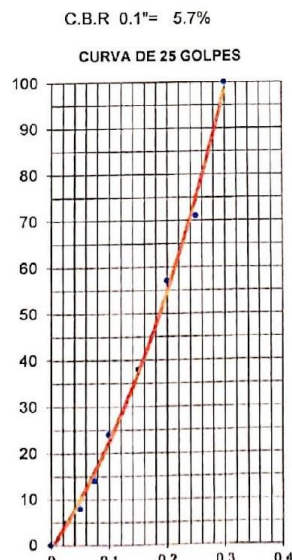
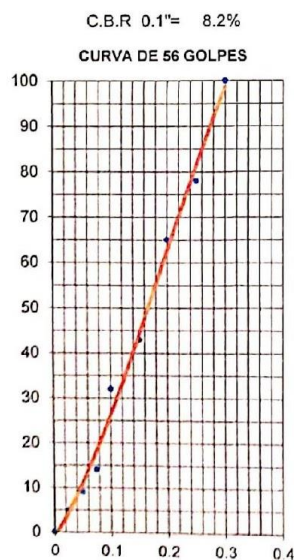


PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R.0.1" AL 100% = **8.22%**  
 C.B.R. 0.1" AL 95% M.D.S. = **6.20%**

LEYENDA

— CURVA A 0.1"



  
 Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
 URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
 238490 CEL: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

## Estudios Geotécnico y del Concreto



### PRÓCTOR MODIFICADO MTC E 116 - ASTM D 1557 - AASHTO T 180

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

#### 1.- DATOS DE LA MUESTRA

FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
MATERIAL: SUELO NATURAL

#### 2.- PERSONAL

ING. RESP.: A.F.G.P.  
TEC. RESP.: J.C.G.P.

MUESTRA: C-3 Y C-4

#### 3.- COMPACTACIÓN

METODO DE COMPACTACIÓN : C  
NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 56  
NUMERO DE CAPAS : 6

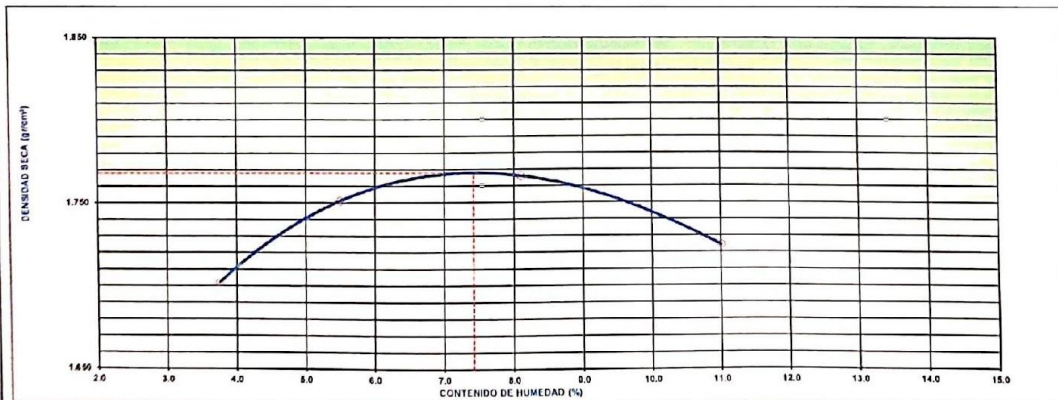
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	5590	5760	6950	6900
PESO DE MOLDE (gr)	2900	2900	2900	2900
PESO SUELO HUMEDO (gr)	3690	3860	3950	4000
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2090	2090	2090	2090
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.766	1.847	1.909	1.914
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.702	1.751	1.765	1.724

#### 4.- CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPiente N°	1	2	3	4
PESO (SUELO HUMEDO + TARA) (gr)	104.2	144.0	150.5	152.2
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	101.7	138.5	142.2	140.6
PESO DE LA TARA (gr)	2.5	5.5	8.4	11.3
PESO DE AGUA (gr)	2.5	5.5	8.4	11.3
PESO DE SUELO SECO (gr)	66.5	100.0	103.7	102.6
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	3.76	5.50	8.10	11.01

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>): 1.77      ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%): 7.4

CURVA DE COMPACTACIÓN



#### 5.- OBSERVACIONES

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



**TESIS** : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"  
**SOLICITA** : BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
 BACH. YATACO VILLA EDER JESUS  
**UBICACIÓN** : AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
**FECHA** : 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
**MUESTRA** : C-3 Y C-4 **MATERIAL:** SUELO NATURAL

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°	1		3		2	
	5		5		5	
Capa N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo	gr. 12590		12200		12320	
Peso del molde	gr. 8410		8250		8450	
Peso del suelo húmedo	gr. 4180		3940		3870	
Volumen del molde	cc. 2189		2189		2189	
Densidad Humeda	gr./cc 1.91		1.8		1.77	
Humedad	% 7.90		7.40		7.30	
Densidad seca	gr./cc 1.770		1.68		1.65	
Tarro N°	1		2		5	
Tarro suelo húmedo	gr. 113.4		122.1		122.3	
Tarro suelo seco	gr. 107.7		116.3		116.6	
Agua	gr. 5.7		5.8		5.7	
Peso del Tarro	gr. 35.2		38.3		38.5	
Peso del suelo seco	gr. 72.5		78		78.1	
Humedad	% 7.9		7.4		7.3	
Promedio de la humedad	%					

## ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

## PENETRACION

PENETRACION			Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>	Lectura Kg	Lectura Lb	Presiones Lb/plg <sup>2</sup>
Tiempo	mm	plg									
0.30	0.600	0.25	87	191	61	37	81	27	25	55	18
1.00	1.300	0.50	245	539	180	106	233	78	53	117	39
1.30	1.900	0.075	368	810	270	149	328	109	105	231	77
2.00	2.500	0.100	380	836	279	221	486	162	163	359	120
3.00	3.800	0.150	790	1738	579	400	880	293	316	695	232
4.00	5.000	0.200	893	1965	655	557	1225	408	390	858	286
5.00	6.000	0.250	1078	2372	791	656	1443	481	400	880	293
6.00	7.500	0.300	1220	2684	895	847	1863	621	605	1331	444
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

  
 Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
 URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
 238490 CEL.: 956623710 - 956994521

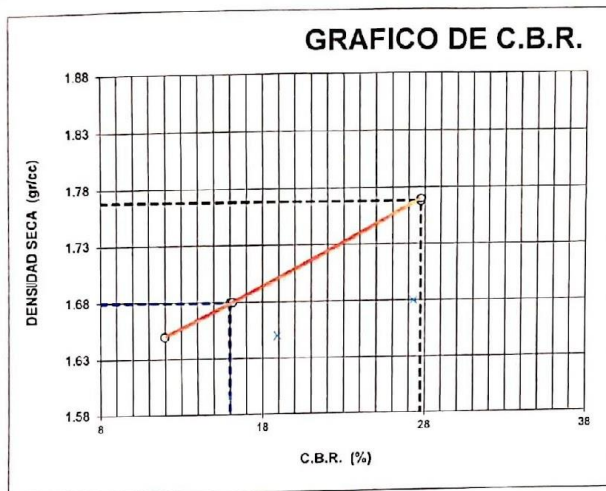


# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"	MUESTRA	C-3 Y C-4
SOLICITA	:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT		
	:	BACH. YATACO VILLA EDER JESUS		
UBICACIÓN	:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS	MATERIAL	SUELO NATURAL
FECHA	:	18 DE OCTUBRE DEL 2021		



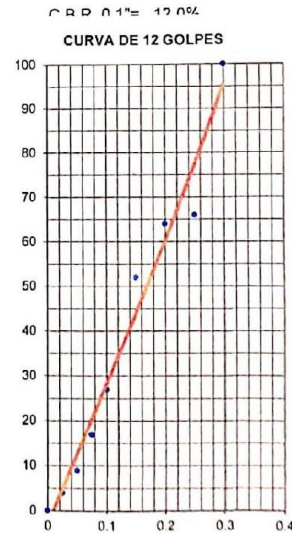
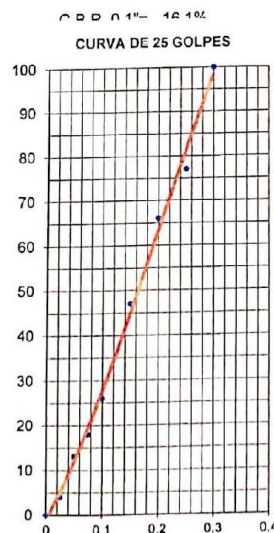
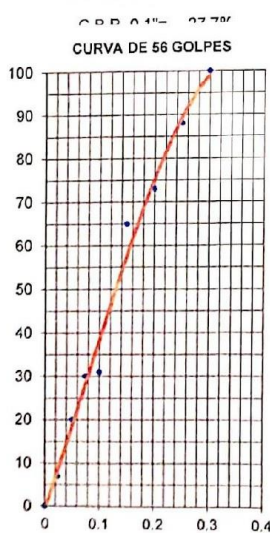
PARAMETROS DE C.B.R.

C.B.R. 0.1" AL 100% = 27.75%

C.B.R. 0.1" AL 95% M.D.S. = 16.00%

LEYENDA

— CURVA A 0.1"



PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
TEL: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



## PRÓCTOR MODIFICADO MTC E 116 - ASTM D 1557 - AASHTO T 180

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. I.H. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. I.H. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MINAYLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

### 1.- DATOS DE LA MUESTRA

FECHA: 18 DE OCTUBRE DEL 2021  
MATERIAL: SUELO NATURAL 8% DE CAL

MUESTRA: C-3YC-4

### 2.- PERSONAL

ING. RESP.: A.F.G.P.  
TEC. RESP.: J.C.G.P.

### 3.- COMPACTACIÓN

MÉTODO DE COMPACTACIÓN: C  
NUMERO DE GOLPES POR CAPA: 56  
NUMERO DE CAPAS: 6

NÚMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	7110	7380	7470	7360
PESO DE MOLDE (gr)	2900	2900	2900	2900
PESO SUELO HÚMEDO (gr)	4210	4480	4570	4460
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2090	2090	2090	2090
DENSIDAD HÚMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.014	2.144	2.187	2.134
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.902	1.993	1.972	1.880

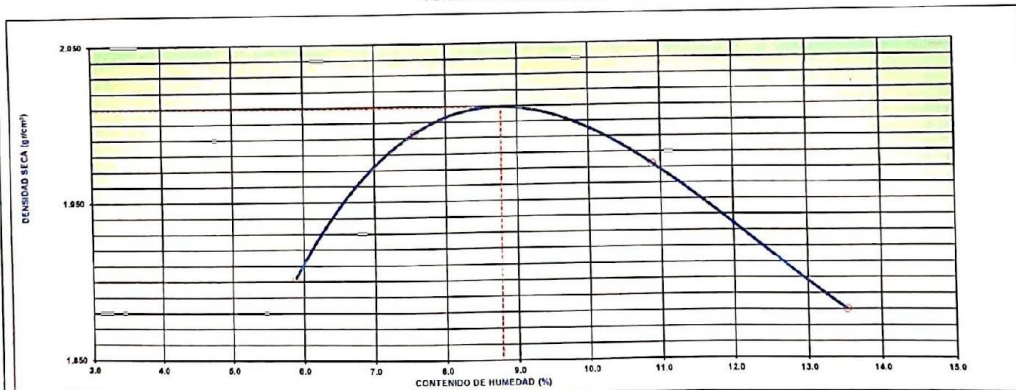
### 4.- CONTENIDO DE HUMEDAD

RECIPIENTE N°	6	7	8	2
PESO (SUELO HÚMEDO + TARA) (gr)	134.2	125.4	157.1	173.4
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	129.8	119.3	145.5	157.3
PESO DE LA TARA (gr)	37.1	38.7	39.0	38.3
PESO DE AGUA (gr)	5.4	6.1	11.6	15.1
PESO DE SUELO SECO (gr)	91.7	80.6	106.5	119.0
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.89	7.57	10.89	13.53

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>): 2.01

ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%): 8.8

CURVA DE COMPACTACIÓN



### 5.- OBSERVACIONES

#.REF1

Arlindo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"
SOLICITA	:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT BACH. YATACO VILLA EDER JESUS
UBICACIÓN	:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS
FECHA	:	18 DE OCTUBRE DEL 2021
MUESTRA	:	C-3 Y C-4
MATERIAL:		SUELO NATURAL 8% DE CAL

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

Molde N°	1		3		2	
	5		5		5	
Capa N°	56		25		12	
Golpes por capa N°	56		25		12	
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR	SUMERG.
Peso molde + suelo húmedo gr.	13200		12870		12460	
Peso del molde gr.	8410		8260		8450	
Peso del suelo húmedo gr.	4790		4610		4010	
Volúmen del molde cc.	2189		2189		2189	
Densidad Humeda gr./cc	2.19		2.11		1.83	
Humedad %	8.80		9.50		8.90	
Densidad seca gr./cc	2.010		1.93		1.68	
Tarro N°	1		2		5	
Tarro suelo húmedo gr.	113		105.5		100	
Tarro suelo seco gr.	106.9		100.6		94.9	
Agua gr.	6.1		5.9		5.1	
Peso del Tarro gr.	37.4		38.3		37.8	
Peso del suelo seco gr.	69.5		62.3		57.1	
Humedad %	8.8		9.5		8.9	
Promedio de la humedad %						

## ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

## PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo	mm	plg	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>
0.30	0.600	0.25	90	198	63	58	128	43	39	86	29
1.00	1.300	0.50	241	530	177	131	288	95	85	187	62
1.30	1.900	0.75	423	931	310	301	662	221	189	415	139
2.00	2.500	0.100	764	1681	560	597	1313	438	365	803	268
3.00	3.800	0.150	1294	2847	949	917	2017	672	621	1366	455
4.00	5.000	0.200	1694	3727	1242	1425	3135	1045	980	2156	719
5.00	6.000	0.250	2106	4633	1544	1637	3601	1200	1165	2563	854
6.00	7.500	0.300	2290	5038	1679	1876	4127	1376	1358	2988	996
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

Arturo Pablan Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: atgp281@gmail.com  
238490 CEL.: 956623710 - 956994521



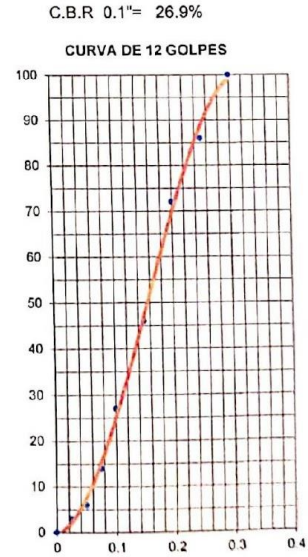
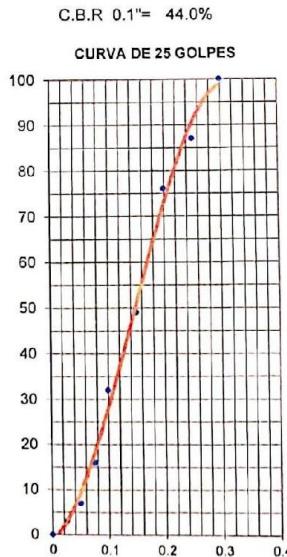
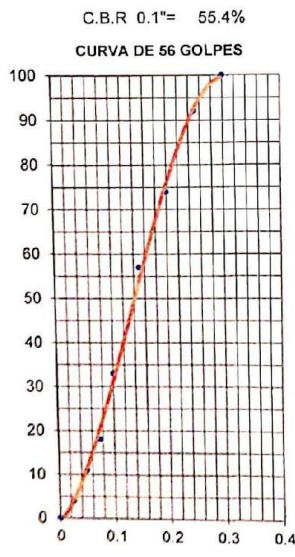
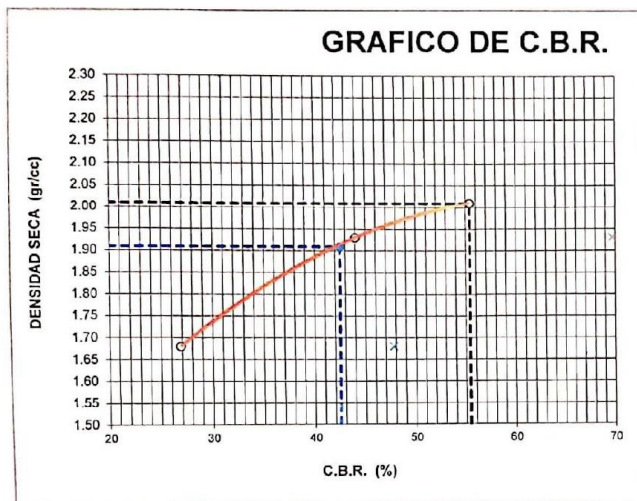


# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnicos y del Concreto



TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"	MUESTRA	C-3 Y C-4
SOLICITA	:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT	UBICACIÓN	BACH. YATACO VILLA EDER JESUS
FECHA	:	18 DE OCTUBRE DEL 2021	MATERIAL	SUELO NATURAL 8% DE CAL



PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

## Estudios Geotécnico y del Concreto



**PRÓCTOR MODIFICADO**  
MTC E 116 - ASTM D 1557 - AASHTO T 180

TESIS: "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

UBICACION: AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS  
SOLICITANTE: BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT  
BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

1.- DATOS DE LA MUESTRA		2.- PERSONAL	
FECHA	15 DE OCTUBRE DEL 2021	ING. RESP.:	A.F.G.P.
MATERIAL:	SUELO NATURAL + 10% DE CAL	TEC. RESP.:	J.C.G.P.
MUESTRA:	C-3 Y C-4		

**3.- COMPACTACIÓN**

METODO DE COMPACTACION : C  
 NUMERO DE GOLPES POR CAPA : 56  
 NUMERO DE CAPAS : 5

NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4
PESO (SUELO + MOLDE) (gr)	7090	7450	7530	7420
PESO DE MOLDE (gr)	2900	2900	2900	2900
PESO SUELO HUMEDO (gr)	4190	4550	4630	4520
VOLUMEN DEL MOLDE (cm <sup>3</sup> )	2090	2090	2090	2090
DENSIDAD HUMEDA (gr/cm <sup>3</sup> )	2.005	2.177	2.215	2.163
DENSIDAD SECA (gr/cm <sup>3</sup> )	1.894	2.012	2.002	1.911

**4.- CONTENIDO DE HUMEDAD**

RECIPIENTE N°	1	2	3	4
PESO (SUELO HUMEDO + TARA) (gr)	130.0	156.0	155.4	165.7
PESO (SUELO SECO + TARA) (gr)	130.6	147.1	144.1	140.8
PESO DE LA TARA (gr)	39.3	38.0	38.3	37.9
PESO DE AGUA (gr)	8.4	8.9	11.3	14.9
PESO DE SUELO SECO (gr)	92.3	108.6	105.8	112.9
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	5.85	8.20	10.68	13.20

MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm<sup>3</sup>) : 2.02      ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%) : 8.2

CURVA DE COMPACTACIÓN

**5.- OBSERVACIONES**

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
 INGENIERO CIVIL  
 C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: [afgp281@gmail.com](mailto:afgp281@gmail.com)  
☎ 238490 CEL.: 956623710 - 956994521





# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



TESIS	:	"ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"
SOLICITA	:	BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT BACH. YATACO VILLA EDER JESUS
UBICACIÓN	:	AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS
FECHA	:	18 DE OCTUBRE DEL 2021
MUESTRA	:	C-3 Y C-4 MATERIAL: SUELO NATURAL + 10% DE CAL

## VALOR RELATIVO DE SOPORTE (C.B.R.) (ASTM D-1883)

	1	2	3
Molde N°	5	5	5
Capa N°	56	25	12
Condición de la muestra	SIN SUMERGIR	SUMERG.	SIN SUMERGIR
Peso molde + suelo húmedo gr.	13200	12690	12500
Peso del molde gr.	8410	8260	8450
Peso del suelo húmedo gr.	4790	4430	4050
Volumen del molde cc.	2189	2189	2189
Densidad Humeda gr./cc	2.19	2.02	1.85
Humedad %	8.50	9.10	8.80
Densidad seca gr./cc	2.020	1.85	1.70
Tarro N°	4	5	6
Tarro suelo húmedo gr.	129.9	133.9	121.5
Tarro suelo seco gr.	122.7	125.9	114.7
Agua gr.	7.2	8	6.8
Peso del Tarro gr.	38.3	37.9	37.1
Peso del suelo seco gr.	84.4	88	77.6
Humedad %	8.5	9.1	8.8
Promedio de la humedad %			

## ENSAYO EXPANSION

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION		DIAL	EXPANSION	
				m.m.	%		m.m.	%		m.m.	%

## PENETRACION

PENETRACION			Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones	Lectura	Lectura	Presiones
Tiempo	mm	plg	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>	Kg	Lb	Lb/plg <sup>2</sup>
0.30	0.600	0.25	99	218	69	68	150	50	44	97	32
1.00	1.300	0.50	315	693	231	54	119	40	146	321	107
1.30	1.900	0.075	623	1371	457	458	1008	336	326	717	239
2.00	2.500	0.100	877	1929	643	698	1536	512	586	1289	430
3.00	3.800	0.150	1480	3256	1085	1198	2636	879	1025	2255	752
4.00	5.000	0.200	1726	3797	1266	1458	3208	1069	1298	2856	952
5.00	6.000	0.250	1984	4365	1455	1674	3683	1228	1425	3135	1045
6.00	7.500	0.300	2151	4732	1577	1987	4371	1457	1590	3498	1166
8.00	10.000	0.400									
10.00	12.500	0.500									

Arturo Fabian Godoy Pereyra  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
238490 CEL.: 956623710 - 956994521



# A & J INGENIERÍA Y GEOTECNIA S.R.L

Estudios Geotécnico y del Concreto



TESIS : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS CON LA ADICIÓN DE CAUCHO Y CAL, AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS, ICA 2021"

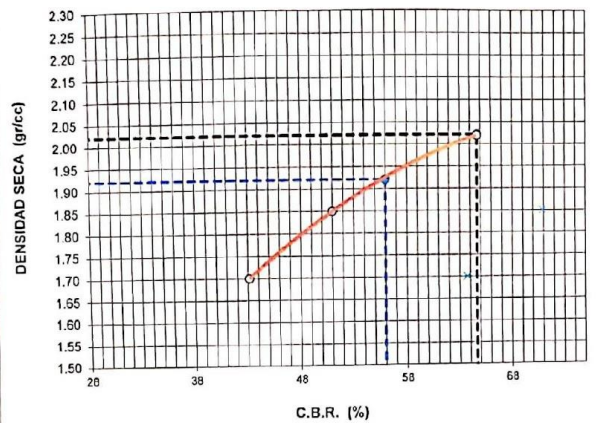
SOLICITA : BACH. MUNAYLLA BAUTISTA MARGOT MUESTRA C-3 Y C-4

UBICACIÓN : BACH. YATACO VILLA EDER JESUS

FECHA : AA. HH. SAN MARTÍN DE PORRAS MATERIAL SUELO NATURAL + 10% DE CAL

FECHA : 18 DE OCTUBRE DEL 2021

## GRAFICO DE C.B.R.



### PARAMETROS DE C.B.R.

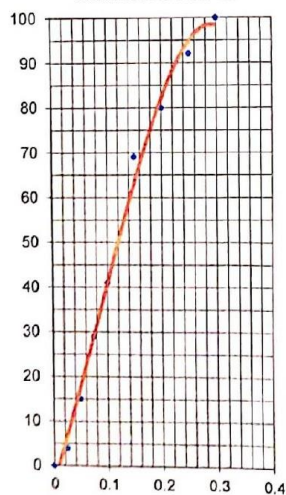
C.B.R. 0.1" AL 100% = 64.66%

C.B.R. 0.1" AL 95% M.D.S. = 56.00%

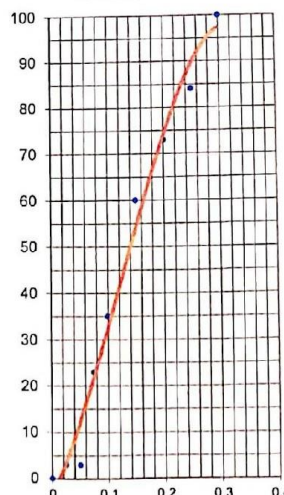
### LEYENDA

— CURVA A 0.1"

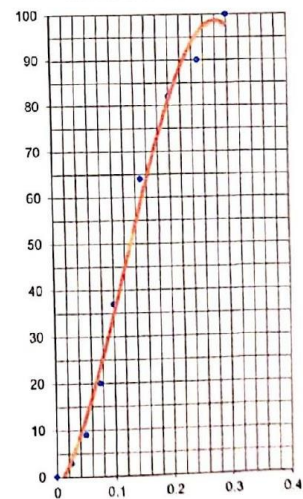
C.B.R. 0.1" = 64.7%  
CURVA DE 56 GOLPES



C.B.R. 0.1" = 51.0%  
CURVA DE 25 GOLPES



C.B.R. 0.1" = 43.1%  
CURVA DE 12 GOLPES



Arturo Fabian Godoy Peruya  
INGENIERO CIVIL  
C.I.P. 66311

PROLONGACION CUTERVO N° 524 - MANZANILLA  
URB. JOSE DE LA TORRE UGARTE - ICA

E-mail: afgp281@gmail.com  
238490 CEL: 956623710 - 956994521