



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el
pavimento articulado Arequipa - 2021”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Civil

AUTORES:

Estefanero Pérez, Leonardo Damián (ORCID: 0000-0002-9884-162X)

Arque Cari, Magdiel Fernando (ORCID: 0000-0001-5468-1604)

ASESOR:

Mg. Requis Carbajal, Luis Villar (ORCID: 0000-0002-3816-7047)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

De: Arque cari Magdiel

Dedicado a mis padres Livia y Jorge, por su apoyo incondicional como guías en toda mi vida. A Dévora, Armando y Ariana por estar siempre apoyándome y confiando en mí, gracias linda y familia en general, por su motivación de perseverar en mis sueños y objetivos, los amo a todos.

De: Estefanero Pérez Leonardo

Va dedicado a mi madre y esposa, por siempre creer en mí, y a la familia que me dio Dios y que me dio la vida porque fueron los motivadores y brindaron su apoyo incondicional para alcanzar mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

Agradecidos en primer lugar con Dios, ya que nos brinda salud en estos momentos tan difíciles y poder alcanzar las metas trazadas en nuestras vidas. A nuestras familias por haber sido un apoyo incondicional a lo largo de esta carrera profesional. Asimismo, a todo el personal de la escuela de ingeniería civil, al Ing. Alejandro por el apoyo profesional de su laboratorio con toda la experiencia brindada y conocimientos, para realizar todo el proceso de campo e investigativo de la tesis. Finalmente deseo expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Mg. Requis Carbajal Luis Villar por apoyarnos con sus conocimientos durante el proceso de investigación con quien su enseñanza y entendimiento nos guio el desarrollo de este trabajo.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	v
ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	5
2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES	5
2.2 ANTECEDENTES NACIONALES	8
2.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA	12
III. METODOLOGÍA.....	25
3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	25
3.2 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN.....	26
3.3 POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO	27
3.4 TECNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS	28
3.5 PROCEDIMIENTO	33
3.6 METODO DE ANÁLISIS DE DATOS	52
3.7 ASPECTOS ÉTICOS	52
IV. RESULTADOS	53
V. DISCUSIÓN	64
VI. CONCLUSIÓN.....	65
VII. RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS BIBLIOGRAFÍAS.....	67

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ubicación de proyecto	3
Tabla 2. Características de Cal hidratada	18
Tabla 3. Clasificación de las Cales.....	18
Tabla 4. Granulometría por pasantes	21
Tabla 5. Cuadro de calculo de Alfa de Cronbach.	30
Tabla 6: Confiabilidad alfa de Cronbach:	31
Tabla 7. Cuadro de coordenadas del pavimento articulado (Inicio y Fin).....	33
Tabla 8. Cuadro de coordenadas de canteras de extracción del material.....	34
Tabla 9. Tabla de ensayo de Granulometría	53
Tabla 10. Tabla de ensayo de Limite Liquido	54
Tabla 11. Tabla de ensayo contenido de humedad.....	54
Tabla 12. Tabla de ensayo Proctor Modificado	55
Tabla 13. Tabla de ensayo contenido de humedad.....	55
Tabla 14. Tabla de grafica de Ensayo Proctor Modificado	56
Tabla 15. Datos de la muestra natural	56
Tabla 16. Datos de densidad Húmeda y Seca	57
Tabla 17. Resultados de Resistencia CBR	57
Tabla 18. Grafica de Resistencia	57
Tabla 19. Datos de la Muestra con 3% de CAL.....	58
Tabla 20. Densidad Húmeda y Seca.....	58
Tabla 21. Resultados de Resistencia CBR con 3% de CAL.....	58
Tabla 22. Grafica de Resistencia CBR con 3% de CAL	59
Tabla 23. Datos de la Muestra con 6% de CAL.....	59
Tabla 24. Densidad Húmeda y Seca.....	60
Tabla 25. Resultados de Resistencia CBR con 6% de CAL.....	60
Tabla 26. Grafica de Resistencia CBR con 6% de CAL	61
Tabla 27. Datos de la Muestra con 9% de CAL.....	61
Tabla 28. Densidad Húmeda y Seca.....	62
Tabla 29. Resultados de Resistencia CBR con 9% de CAL.....	62
Tabla 30. Grafica Resistencia CBR con 9% de CAL	63

ÍNDICE DE GRÁFICOS Y FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del Distrito de Characato en Arequipa	3
Figura 2. Composición de un pavimento articulado.....	14
Figura 3. Asentamiento de la Av. Gráficos – Distrito de Alto Selva Alegre.....	15
Figura 4. Asentamiento de la Av. Harley– Distrito Paucarpata.....	16
Figura 5. Cal hidratada Topex	17
Figura 6. Mezclado de cal con material base	20
Figura 7. Ensayo de Casagrande para determinar el Límite Líquido	22
Figura 8. Ensayo de plasticidad	23
Figura 9. Esquema del equipo CBR	24
Figura 10. Cuestionario de validez del instrumento.....	32
Figura 11. Vía proyectada con Pavimento Articulado - Calle Moquegua	34
Figura 12. Ubicación de Cantera de Agregados.....	35
Figura 13. Acopiamiento de Muestras en Cantera	35
Figura 14. Recolección de 50 kg por cada muestra en sacos	36
Figura 15. Inicio de ensayos con el Cuarteo de la Muestra.....	37
Figura 16. Tamizado de muestra para ensayo de Granulometría	37
Figura 17. Tamices de Agregado Grueso listos para pesar	38
Figura 18. Alistando muestra saturada, para Limite Liquido	39
Figura 19. Golpeando en Cazuela de Casagrande	39
Figura 20. Preparando y pesando muestras	40
Figura 21. Agregando porcentajes de Agua en cada muestra	41
Figura 22. Pesando muestras después del apisonado en Proctor Modificado.....	41
Figura 23. Preparación de moldes para CBR (limpieza y Codificación).....	42
Figura 24. Apisonado de CBR 26 Golpes	43
Figura 25. Enrasado de moldes, antes de quitar disco espaciador, voltearlos y extraer pesos en cada muestra	43
Figura 26. Saturación de CBR natural, sin agente estabilizante	44
Figura 27. Prueba de Penetración en prensa (velocidad 1.27 mm/s).....	44
Figura 28. Cal Hidratada (Cal de Obra Topex) utilizada para mejora de resistencia	46
Figura 29. Pesando Cal para adicionar 3% (180g).....	46

Figura 30. Pesando Cal para adicionar 9% (540g).....	47
Figura 31. Adición y mezclado de Cal al 3%	47
Figura 32. Adición y mezclado de Cal al 6%	48
Figura 33. Adición y mezclado de Cal al 9%	48
Figura 34. Preparación y limpieza de moldes para CBR incorporando Cal Hidratada	49
Figura 35. Quitando disco espaciador, colocando papel filtro y volteando molde para peso correspondiente	49
Figura 36. Moldes listos y muestras compactadas al 3%, 6% y 9%, para sumergir en poza por 4 días.....	50
Figura 37. Se retiran moldes de la poza y se dejan escurrir (15-20 min)	50
Figura 38. Procedemos con la prueba de penetración en prensa CBR al 3% de Cal	51
Figura 39. Procedemos con la prueba de penetración en prensa CBR al 6% y 9% de Cal	51
Figura 40. Panel fotográfico general de Investigación.....	74
Figura 41. Certificado de Calibración TC – 17146 - 2020	91
Figura 42. Certificado de Calibración TC – 17134 - 2020	94
Figura 43. Certificado de Calibración TC – 17132 - 2020	97
Figura 44. Certificado de Calibración TC – 17134 - 2020	99
Figura 45. Validación de instrumento experto 1	100
Figura 46. Validación de instrumento experto 2	101
Figura 47. Validación de instrumento experto 3	102
Figura 48. Determinacion de analisis granulometrico de los suelos.....	103
Figura 49. Determinacion de contenido de humedad de los suelos.....	104
Figura 50. Determinacion de Proctor Modificado de los suelos.	105
Figura 51. Determinacion de CBR al suelo natural.	107
Figura 52. Determinacion de CBR con 3% de Cal adicionado.....	109
Figura 53. Determinacion de CBR con 6% de Cal adicionado.....	111
Figura 54. Determinacion de CBR con 9% de Cal adicionado.....	113

RESUMEN

Nuestro presente trabajo de investigación, tiene como título “Mejoramiento de la resistencia de base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021”. Tenemos como objetivo principal demostrar que la Cal aporta en el aumento de la resistencia y otras propiedades físicas más. Este agregado químico según los antecedentes encontrados a nivel nacional e internacional nos dice que es beneficioso positivamente por que mejora las propiedades del material (suelo), siempre que se cumpla con la norma y especificaciones requeridas. Según estudios y generalmente si un suelo arcilloso es de un índice de plasticidad (IP) igual a 10 que es lo mínimo, tendríamos una opción económica y sencilla al utilizar cal para mejorar sus propiedades. Por la investigación realizada, decidimos tomar los siguientes porcentajes de Cal; 0%, 3%, 6% y 9%, y así determinar el porcentaje optimo, para nuestro suelo (base granular).

Con los resultados de CBR, se pudo obtener una dosificación cal - suelo, obteniendo la mejor comodidad económica y sencillez de estabilización que se puede aplicar en sub rasantes, bases o sub bases de los pavimentos articulados. Como consecuencia de mejorar la resistencia positivamente de la base granular, se podría minimizar las fallas del pavimento articulado. En este estudio se aplicaron ensayos de laboratorio que fueron CBR (California Bearing Ratio), granulometría, Proctor modificado y límites de consistencia; al obtener los resultados se analizaron y compararon, dándonos datos muy importantes los cuales nos dan lugar a una correcta dosificación y de esta forma obtener un suelo mejorado u estabilizado.

Para resumir nuestra investigación; primera etapa, se realizó 05 tomas de muestras de 25 kg cada una. En la segunda etapa se trasladaron las muestras a laboratorio, se realizó el Proctor modificado y se prepararon las demás muestras para sus ensayos. Como tercera parte se continuo en el laboratorio realizando el CBR con y sin él estabilizante Cal. Como final en la cuarta etapa se procesan los datos obtenidos de los ensayos, comparando las pruebas iniciales y finales, el cual nos dieron las conclusiones y recomendaciones para el tipo de suelo.

Palabras clave: Resistencia, Base Granular, Cal

ABSTRACT

Our present research work is entitled "Improvement of the resistance of granular base with lime, in the articulated pavement Characato, Arequipa, 2021". Our main objective is to demonstrate that lime contributes to the increase of resistance and other physical properties. This chemical aggregate according to the antecedents found at national and international level tells us that it is positively beneficial because it improves the properties of the material (soil), as long as it complies with the required standard and specifications. According to studies and generally if a clay soil has a plasticity index (PI) equal to 10, which is the minimum, we would have an economical and simple option to use lime to improve its properties. From the research carried out, we decided to take the following percentages of lime: 0%, 3%, 6% and 9%, and thus determine the optimum percentage for our soil (granular base).

With the results of CBR, it was possible to obtain a lime-soil dosage, obtaining the best economic convenience and simplicity of stabilization that can be applied in sub-slopes, bases or sub-bases of articulated pavements. As a consequence of positively improving the resistance of the granular base, the failure of the articulated pavement could be minimized. In this study laboratory tests were applied which were CBR (California Bearing Ratio), granulometry, modified Proctor and consistency limits; when the results were obtained they were analyzed and compared, giving us very important data which give us a correct dosage and in this way to obtain an improved or stabilized soil.

To summarize our research; first stage, 05 samples of 25 kg each were taken. In the second stage, the samples were taken to the laboratory, the modified Proctor was performed and the rest of the samples were prepared for testing. As a third part, the CBR was carried out in the laboratory with and without the Cal stabilizer. Finally, in the fourth stage, the data obtained from the tests were processed, comparing the initial and final tests, which gave us the conclusions and recommendations for the type of soil.

Keywords: Strength, Granular Base, Lime

I. INTRODUCCION

En este estudio de investigación se establece como fin demostrar la mejora de la resistencia de base granular apoyándonos y utilizando la estabilización química, usaremos la Cal Hidratada para las futuras o posteriores construcciones de vías que garanticen un adecuado nivel de servicio óptimo. Tendremos que realizar ensayos en el laboratorio tomando muestras de ciertos puntos de la base granular de una vía en el distrito de Characato, Arequipa 2021.

Entre los principales problemas que presenta los pavimentos articulados es la inconsistencia y hundimiento de los suelos, un método para poder corregir este problema es a través de la estabilización de suelos valiéndonos de productos químicos, entre una de ellas contamos con la cal hidratada como estabilizante.

Llegando a estabilizar la base granular adicionando la cal hidratada lograremos disminuir el índice de plasticidad y su expansividad, de esta forma también, se aumentará su durabilidad y su dureza. Cabe decir que este tipo de estabilización se usa primordialmente en suelos arcillosos, que contiene mayor contenido de fino y plasticidad media o alta, es por ello que varía la curva de compactación y se minimiza la densidad seca máxima, incrementando el porcentaje de humedad óptima en la compactación.

Según estudios en Arequipa data de los últimos años se han construido calles, avenidas y vías utilizando los adoquines de concreto el cual conforme pasan los años se han visto afectados por su deterioro, generando un malestar para la población en general (conductores, pasajeros y peatones que circulan).

En los pavimentos hechos en nuestra ciudad presentan diferentes tipos de fallas y deformaciones, algunos lugares se han destruido y en otros ocurren deformaciones como por ejemplo la avenida Harley del distrito de Paucarpata, o la calle san isidro del distrito de Tiabaya o vía Carmen alto del distrito de Cayma donde los pavimentos están desnivelados por diferentes situaciones como lluvias presentadas en la ciudad, el cual afectan a los ciudadanos de nuestra ciudad con o sin vehículos el cual traen pérdidas en nuestro capital. Se da a conocer que no todas las fallas son de ellas misma severidad habiendo tramos que se pueden aun

seguir utilizando pero que igual generan retraso en los usuarios que circulan en estas vías. En la ciudad de Arequipa están creciendo las construcciones con pavimento articulado el cual necesitan un buen mantenimiento y que como se explica y visualiza existen muchos asentamientos de la base, sub base o subrasante.

Teniendo en cuenta que en el distrito de Characato tiene una población de 17800 habitantes y para su población tiene vías de acceso pavimentadas y no pavimentadas el cual los pobladores tienen una dificultad en su nivel de transitividad en llegar a sus diferentes destinos, en algunos casos todavía recurren a caminos de herradura y trochas carrozables. La población tiene que usar tochas carrozables o caminos herradura por su dificultoso ingreso por los cambios del ambiente el cual la vía perdió su capacidad de tránsito, es molesto y inseguro para los pobladores ya que lo utilizan para transporte de servicios de salud, educación, comercio dentro o fuera del límite del distrito.

De acuerdo a la adquisición de adoquines de concreto en la ciudad se ve compuesto por tres sectores: el Público, privado y el de la autoconstrucción. Según los autores el estudio de mercado en la ciudad de Arequipa donde se hicieron encuestas y entrevistas, a diecisiete municipalidades haciendo las entrevistas a los gerentes de cada municipalidad respondiendo el 100% de ellos que ya han utilizado adoquines de concreto en sus infraestructuras viales y dentro de estos el 72% ya tiene y cuenta con proyectos futuros para poder invertir en adoquinado de concreto (Chambi Hilaje, Molero Lovón y Paucara Vilca 2017, p. 19)

Según lo visualizado hay adoquinado por varios lugares (calles, avenidas, urbanizaciones y hasta en el centro histórico) de la ciudad de Arequipa, muchos vías fueron malogradas por lluvias (ejemplo 2012 – 2013), se llegó a adoquinar a estos años 130.000.00 m² con adoquines de 20x10x8cm obteniendo un amplio crecimiento de este sistema por estos años (Asociación Española de Carreteras (AEC) 2014, p. 30)

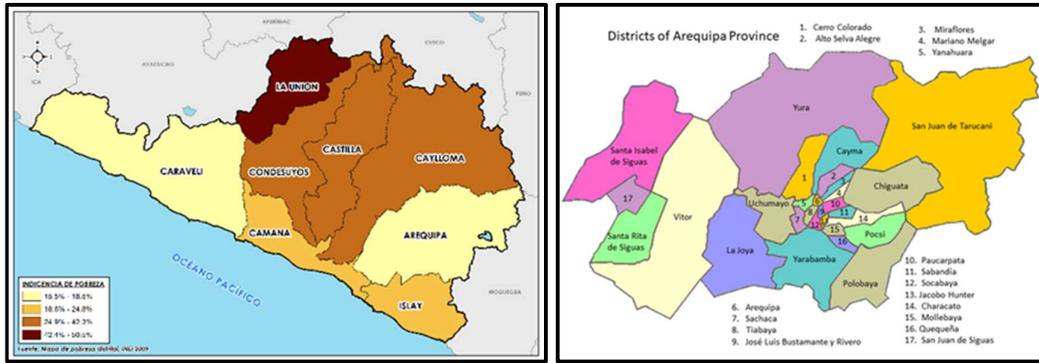


Figura 1. Mapa de localización del Distrito de Characato en Arequipa
Fuente: muniyarabamba.gob.pe

Tabla 1. Ubicación de proyecto

Ubicación Geográfica	Altitud m.s.n.m.	Coordenadas	
UTM - N	2500	8177300-N	8176300-N
UTM - E	2500	235800-E	236300-E

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

Se toma en cuenta lo mencionado y se plantea el problema siguiente ¿Cómo la cal mejorara la resistencia de la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa ,2021?

JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN:

El presente trabajo de investigación tendrá como objetivo mejorar la resistencia de la base granular con adición de cal hidratada en el pavimento articulado Characato, provincia de Arequipa, esta investigación nos permitirá obtener resultados confiables para trabajar con decisiones apropiadas en mejorar la resistencia de la base granular de manera óptima, utilizando la cal hidratada en diferentes porcentajes y desarrollándose como estabilizador el cual mejore sus propiedades.

OBJETIVOS:

Se plantea como objetivo general mejorar la resistencia en la base granular del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021. De esta forma se desglosa el objetivo general en objetivos específicos como:

O.E.1. Analizar el aporte de la cal en las propiedades físicas en la base granular en el pavimento articulado.

O.E.2. Identificar en nuestro suelo (base granular) la densidad máxima, humedad optima e índice de resistencia del pavimento articulado.

O.E.3. Definir el porcentaje óptimo de cal que debe usarse para mejorar la resistencia en la base granular del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.

HIPÓTESIS:

Como hipótesis general, con la aplicación de la cal se mejora la resistencia de la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021 y dando a conocer las hipótesis específica de la siguiente manera:

La cal contribuye favorablemente en las propiedades físicas en la base granular del pavimento articulado, Un correcto procedimiento de los ensayos determinará la densidad máxima, humedad optima e índice de resistencia del pavimento articulado Y Adicionando el porcentaje optimo cal se mejorará la resistencia de la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.

LIMITACIONES EL ESTUDIO.

En la presente investigación las limitaciones son mínimas, por razones de que se tiene el apoyo de información y registros (informes de investigación, manuales de diseño en carretera, guías técnicas de laboratorio)

ESPACIAL.

Obteniendo el acceso al área de estudio y canteras en el pavimento articulado, distrito de Characato, provincia de Arequipa y región de Arequipa.

TEMPORAL.

La presente investigación tiene como fecha de inicio en el mes de mayo y como fecha final en el mes de agosto del año 2021 culminando con resultados, discusiones y recomendaciones.

II. MARCO TEÓRICO

ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 ANTECEDENTES INTERNACIONALES

(Parra, 2018), con su estudio de tesis denominado: “Estabilización de un suelo con cal y ceniza volante, Bogotá”. Se determinó este trabajo de investigación evaluándolo en laboratorio, donde la resistencia mecánica en función de cargas monotónicas a tracción y a compresión en diversos cuerpos de pruebas de Caolín, adicionando el material estabilizante cal y ceniza volante en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%, poniendo como primer lugar al ensayo Proctor estándar y al suelo de estudio (caolín); de manera previa hubo una selección de caracteres de los materiales, colocando como objetivo primordial obtener el mejoramiento del suelo comparando los materiales adicionados, en lo cual se determinó concluir que la cal da una mejor resistencia en comparación al caolín en referencias de esfuerzos y deformaciones máximas, por otra parte la ceniza no tuvo un aporte significativo en el mejoramiento al suelo, se pudo determinar que la cal tuvo un desempeño positivo en el comportamiento a tracción. Por consiguiente, si se tiene que requerir una estabilización de un suelo con un método rápido, los resultados de los datos obtenidos dan a la cal como un material que mejora positivamente a los suelos.

(Pérez, Pérez y Garnica, 2019), con su estudio de tesis: “Evaluación del óxido de calcio (estabilizante) como estabilizador de suelos”. El objetivo de esta investigación es evaluar el “óxido de calcio” (estabilizante) como actuante en estabilizar el suelo. En el presente estudio se informan los resultados obtenidos de propiedades índice y mecánicas en cada uno de los suelos estabilizados (dos suelos) con óxido de calcio, uno se clasificará como material limo de alta compresibilidad y otro se clasificará como material arena bien graduada).

En el estudio se obtienen resultados de propiedades índice y mecánicas determinadas en suelo adicionando y no adicionando con óxido de calcio. De la obtención de resultados, se podrá llegar a la conclusión que el óxido de calcio mejora positivamente las propiedades mecánicas del suelo natural; adicionando otra conclusión, si es que el suelo o material natural absorbe agua, en este caso

las propiedades mencionadas no se disminuyen como puede suceder con las del suelo natural.

(Fernandez y Velasquez, 2020), con sus estudios de investigación en tesis: “Análisis de la resistencia de una base granular reemplazando su material fino por ceniza de cascarilla de arroz, Girardot, Cundinamarca, Colombia”. Mencionando este país de estudio el cual la infraestructura vial tiene un efecto directo en la economía y progreso del país, donde como primer medio de comunicación es el terrestre y son los más requeridos para transportan alimentos de todo tipo, insumos, productos generales, víveres, etc. Por lo mencionado se llega a la conclusión que la construcción de pavimentos, mantenimientos de las mismos requeridos y el estado de ellos son de mucha consideración. Se tiene referencias que las personas colombianas tienen una preferencia en realizar viajes de forma terrestre cuando necesitan movilizarse en sus vacaciones. En un aproximado del 46% de las personas que realizan algún viaje tienden a utilizar su vehículo particular y por otro lado el 40 % de personas realizarían sus viajes en bus o línea (intermunicipal o interdepartamental), en una encuesta realizada sobre el Gasto en Turismo de forma interna presentada por el DANE del año 2014-2015. Como conclusión se determina que las vías terrestres son de suma importancia para realizar turismo. En muchos años transcurridos, se visualiza que el país se habría quedado atrasado en lo respecto a infraestructura vial, pero se empezando a realizar cambios. De esta manera el encargado en el ministerio de Transporte, el señor German Cardona, determino homenajear al país porque cada vez mejora sus vías positivamente, también hay acumulación de más kilómetros de carreteras o vías de doble calzada, cada vez estabilizándose en materia de infraestructura vial. “La base es un material granular grueso, encontrándose dentro de la estructura de pavimentos, exactamente entre la capa pequeña de rodadura y la subbase granular”, “Se encuentra compuesta por una porción de triturado, arena (material) y una mínima parte de materiales finos”.

(Sanchez, 2014), con su estudio de tesis denominada: “Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector calcical del cantón Tosagua provincia de Manabí, Quito, Ecuador “. En el estudio realizado toma como parte central de la

investigación el comportamiento de las propiedades mecánicas y propiedades físicas del suelo en estudio en el sector Calcical del cantón Tosagua, donde el material toma una caracterización de tipo CH (S.U.C.S) material arcilloso de alta plasticidad, con alto potencial expansivo. Dicha investigación se centra en adicionar un agente externo para estabilizar el suelo, tomando como agentes a la cal viva y al cemento portland puzolánico; y en consecuencia analizar dichos comportamientos expansivos del suelo. Para poder avanzar con nuestro estudio se realizaron ensayos en laboratorio y determinar las propiedades índices del suelo, donde progresivamente se determinará su presión de hinchamiento y el porcentaje de expansión que este material presenta, si se encontrara en estado natural como también con la adición de estabilizantes en porcentajes de 3, 5 y 7%.

(Gómez, Guillín y Gallardo, 2016), Con el artículo de ingeniería denomina con el título: "Variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles estabilizados con material cementante, Colombia". Según en ciertos materiales que conforman el suelo de la subrasante se dan con deformidad alta y mínima resistencia el cual va asociado con su alta plasticidad. Como autores presentan una alternativa para mejorar el tipo de suelo estabilizándolo con material cementante. Se colocaron a preparación los suelos adicionando material cementante que en este caso serian la cal y el cemento, dosificando en pesos de 2% a 6% de cal y 2% a 16% de cemento. Luego se preparan especímenes que se dieron con tiempos reglamentados de curado de 7, 14 y 28 días. Se suman pruebas de ensayo plasticidad, corte directo, comprensión encofinada y CBR para encontrar la resistencia, luego se comparan estas mismas pruebas con las del terreno natural. En relación a los resultados obtenidos del terreno natural comparándolos con los materiales mezclados cal y cemento se obtuvieron una reducción del índice de plasticidad entre 20% y 24%, un incremento notable en el índice de capacidad de soporte CBR entre 500 y 1300%, mayor ángulo de fricción que llego hasta un 160%, también incrementando la resistencia a la compresión encofinada llegando hasta un 1400%. Teniendo los resultados observados en el experimento donde se adiciona cal y cemento en los suelos analizados resulta un método positivo para estabilizar suelos arcillosos, dicho material reduce o minimiza su plasticidad y mejore sus propiedades para ser empleados como un buen material, también se

conoció que en general las propiedades mencionadas y deformables tienen una mejoría, cabe decir que el tiempo de curado para la cal es muy influyente para conocer los resultados.

Según (Pérez y Torres, 2015), con su estudio de tesis para especialidad en Geotecnia Ambiental denominado: “Estudio de la cal y el cloruro de sodio como agentes estabilizadores de suelos arcillosos en propiedades como la resistencia y expansividad”. En su estudio realizado tomaron como objetivo analizar el químico estabilizante llamado cal y el otro estabilizante cloruro de sodio trabajando como intermediarios externos que estabilicen los suelos que tienden a ser arcillosos el cual analizan sus propiedades expansivas y la resistencia del material, donde es aplicado con un detallado estudio bibliográfico, según los efectos mecánicos y físicos del suelo o material tendrían una mejora detallada al adicionar el material estabilizador mencionado en él título.

2.2 ANTECEDENTES NACIONALES

(Angulo y Zavaleta, 2020), con sus estudios de tesis denominada: “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación navarro cauper, distrito san juan – Maynas – Iquitos”. En el presente estudio se propone tener como principal investigación encontrar cómo se comporta a nivel de características físicas y mecánicas en suelos tratados o estabilizados con la agente cal con hidratación y el agente cal viva, dichos material son pertenecientes a la prolongación navarro cauper. Este método usado es deductivo debido a los fenómenos en los suelos el cual todo está debidamente reglamentado bajo las normas vigentes del Perú, se le denominara al enfoque cuantitativo debido al uso de graficas que se dan en barra según de las variables de manera dependiente como la plasticidad, la máxima densidad seca, CBR y expansión, con la cantidad de cal en porcentaje, según a nivel descriptivo debido a correlaciones de diagramas entre variables. Según nuestro estudio se aplicaron muestras de 2,4,6(%) en material cal (hidratada y viva), expuesto en dos suelos, dando la calicata 01 de mayor plasticidades y expansión alta y mientras la calicata 02 de menores plasticidades y mínima expansión, según

los resultados se demuestra que la cal en situación viva tiende a que la resistencia sea mayor, hay control de efectos expansivos, pero con una ligereza en densidad y plasticidad. En otro aspecto la cal en situación hidratada no aumentaría máximas resistencias y sostienen en igualdad promedio la densidad, plasticidad y expansión. Se puede concluir que los suelos sobre todo arcillosos, expansivos y de una alta plasticidad se podría adicionar con cal viva y de esta forma poder realizar el estabilizado del material(suelo).

(Tacca, 2021), con su estudio de tesis denominado: “Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac”. En los resultados se apreciaron que adicionando cal en 4%, 8% y 12% se obtendrá una mejoría en el soporte de capacidad del material suelo y esto trae por ende la mejora en la estabilidad del material suelo perteneciente a la subrasante, desglosando el suelo adicionado con 12 por ciento del agente cal dio el CBR como resultado (95%0.1”) de 28.5%, después el suelo tratado y adicionado con 8 por ciento de cal con 24.95% de CBR dio como resultado (95% 0.1”), y de la misma forma el material suelo mezclado con 4 por ciento de cal dio un CBR con (95% 0.1”) de 19.2% estos datos son de mayor consideración al CBR (95% 0.1”) en el caso del material natural de 9.4% se pudo obtener un p-valor de cero el cual es mínimo comparando a 0.05 es por ello que se puede llegar a la definir en grado de confiabilidad a un 95% según estadísticas analizando los promedios obtenidos del CBR a (95% 0.1”) entre el material natural y el material adicionado con incremento de los porcentajes mencionados se llegaría a decir que si hay una diferencia muy significativa con el CBR (95% 0.1”) con el material tratado y mezclado con el 12% de cal es por eso que se da a conocer que en el caso de este suelo mezclado y adicionado con el agente cal influirá positivamente en el ensayo CBR (95% 0.1”). Se concluirá con este estudio que si mezclas y adicionas porcentajes de cal en (4, 8 y 12) por ciento se tiene una mejoría en la capacidad soportante del material suelo y esto conlleva al mejoramiento de la estabilización del suelo de la subrasante, concluyendo con un 8% de proporción optima de cal.

(Cabana, 2017), con su investigación denominada: “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”. Teniendo como objetivo principal: Se intenta con esta investigación verificar el mejoramiento de propiedades mecánicas del suelo de la subrasante con mínima capacidad de soporte mediante estabilización química de suelos adicionando cal hidratada, con esto aporta en construcción de carreteras para un adecuado servicio. En la investigación se realizaron 3 especímenes para conocer las muestras que serán funcionalmente contempladas por las normas técnicas peruanas. El estudio de la subrasante se hizo en tres tramos de la carretera estudiada, tomando el primer tramo se conoció que es un suelo de estrato arena arcillosa con mínima grava y plasticidad baja, en el segundo y tercer tramo fue un material arcilloso inorgánico en su estrato con baja grava y arenoso, los suelos en su CBR tienen mínima capacidad anteriores de 10% con lo cual se proponen un par de soluciones alternadas dadas en el MTC para mejorar cambiando el suelo natural adecuándolo con un mejor material, tomando la primera opción del MTC.

Teniendo en cuenta seleccionar el estabilizador se analiza de acuerdo a las características físicas de cada muestra donde presentan material arcilloso y concluyendo que el mejor producto químico adaptable sería la cal hidratada utilizándola como estabilizador suelo-cal. En la determinación de la cantidad óptima de la cal se hicieron tratamientos en el Proctor modificado y CBR, basándonos en el método de EADES Y GRIMM, de la norma con número CE.020 hablando de la estabilidad suelos y taludes. Como final se llegó a la comprobación que la cal de carácter hidratado mezclada en el suelo presenta un mejoramiento en el CBR, en la muestra 1 la resistencia aumento hasta 12% con 8% de cal respecto al suelo seco y la muestra 03 incremento sus resistencias a 28% con 4% de cal, teniendo como conclusión final que la vía PARIA-WILCAHUAIAN se da en suelo utilizándolo como sub rasante o sub base potenciada para el uso en pavimentos.

(Arenas y Rosas, 2019), con su estudio de tesis denominado: “Mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante incorporando cal hidratada, vía de acceso, distrito Santa Ana de Tusi, Pasco”. Teniendo como objetivo principal: Obtener los resultados diversos que se conseguirán aplicando la cal hidratada a la

subrasante donde se requiere demostrar las mejoras en sus características en suelos limosos arcillosos siempre cuenten con los requerimientos. En lo general por definición si un suelo arcilloso tiene un índice de plasticidad de 10 que es lo mínimo, se tendría que utilizar cal hidratada y generar sus mejoras en las propiedades. Entonces de acuerdo a los resultados llegar a una o cierta dosificación cal- suelo con método barato y fácil de estabilizar usado en subrasantes, bases o subbases del asfaltado. En tal estudio se realizan en el terreno para obtener muestras y realizar ensayos de suelos donde analizaran diversas modificaciones positivas que la cal hidratada genera en los suelos arcillosos teniendo en cuenta que cada uno tiene sus propiedades propias adquiridas con el cambio. Entre los ensayos que se realizaron en el laboratorio mencionando son, CBR como resistencia, granulometría por tamizado, Proctor modificado y LL y LP, luego como final se comparan dando una data muy importante encontrando la dosificación correcta y también obtener un suelo óptimo. Son presentadas y se discuten los resultados importantes dados en el estudio experimental el cual se trabajó en cuatro etapas. En una primera etapa se hicieron 3 calicatas de 1.50 m de profundidad. En segunda etapa se trabajó en el terreno físico y ensayos de laboratorio el cual lo obtenido está en calicatas y como proceso final como cuarta etapa son procesados la información encontrada y se hizo comparaciones entre lo final e inicial de lo estudiado que son las muestras.

(López y Ortiz, 2018), con su estudio de tesis denominado: “Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay”. Tiene como enfoque principal: Para definir el porcentaje más certero e ideal de cal optimo se determina las propiedades físicas del suelo, la resistencia al esfuerzo cortante, contenido de humedad, compactación y plasticidad hallado de dicho material juntado con la agente cal, teniendo de un 0% a 8% separados por cada 2% de cada proporción de muestra obtenida. Siguiendo a esto se determina el soporte que sería (CBR). Este estudio se determinará los factores técnicos donde habrá subrasantes arcillosas adicionadas con cal y serviría también para base o también la sub base en el pavimento del lugar mencionado en el título. Teniendo en cuenta manuales como por ejemplo de geología, geo técnicas, pavimentos generales y carreteras para realizar el ASTM C-25 utilizado en el laboratorio ensayado con cal. Estos

indican que el CBR cuando está variando entre el 6% y 10% es recomendable mejor que el suelo se cambie o que se mejore, debido a que no cumple y son denominados suelos no adecuados. Sabiendo que estamos bien haciendo nuestros estudios en el lugar mencionado. El resultado de la calicata 01 clasificado en arena limo-arcilla y la calicata 02 es arena con limo, el cual los dos valores son bajos, arrojando el primero con una resistencia de 8.75% y un 16.75% de expansión. Observando que no cumplen con las normas antes mencionadas se tomó la decisión de aplicar el método de Eades y Grim (ASTM 6276) el cual obtiene la cal necesaria para generar una estabilización en el material (suelo), este consiste en medir el pH de las porciones de suelo-cal hallando la cantidad de cal con mayor efectividad en la estabilización. En el ensayo referido al pH según la muestra #1 dice que el suelo necesita cal al 3%, mientras que la muestra #2 necesita 5% del agente cal para llegar a nuestro objetivo. Aplicando el método siguiente en el laboratorio para extraer las características físicas del suelo elaborando la cal como agente externo en suelo seco separando en 0%, 2%, 4%, 6% y 8%. Con esto se realizó compactación y saturación para poder determinar el CBR en las muestras mencionadas. De ello se obtiene resultados en la primera muestra al añadirle 8% del agente externo cal se halló un 145% de CBR y en la siguiente muestra #2 se añade 8% de agente externo cal se obtuvo un 69% de BCR estando por encima del manual del MTC. Entonces al comparar el suelo finalmente en es% de cal es satisfactorio para poder lograr la estabilización natural se minimizó el rango de su plasticidad y su expansión. Y en la cal añadida al 8% se da mejor manera para estabilizar el suelo estudiado, cumpliendo así las especificaciones establecidas en el MTC.

2.3 TEORÍAS RELACIONADAS AL TEMA

Pavimento:

En teoría estos están compuestos en forma descendente según a la profundidad que sea cada uno de acuerdo a la capa su resistencia. Es por ello que se distribuye en carpeta donde se coloca la rueda y pueda estar compuesta de asfalto o material hormigón, la otra parte sería la base granular o sub base el cual las dos como conjunto están apoyados encima de la subrasante y se podría dar en ciertos

diseños o casos de la acción laboral que falte una de estas capas y tiene una doble funcionalidad las capas mencionadas que serían:

- Separar por distribución las cargas en las partes superiores para que lleguen minimizadas a las capas que se encuentran inferiormente.
- Cada capa tiene que soportar y realizar su trabajo por ella misma, no debería ocurrir deformaciones sí que se realizan cargas sobre ellas.

Pavimentos Flexibles:

Es uno de los pavimentos con superficie asfáltica en estas modalidades (concreto asfáltico mezcla caliente, concreto asfáltico mezcla frío, mortero asfáltico, micro pavimento, etc.), este pavimento este hecho por una o más capas de mezclas asfálticas que tienen que apoyarse encima o sobre una base y sub base granular. Compuesto por una mezcla de agregado grueso o fino (piedra machacada, grava y arena) con material bituminoso obtenido del asfalto o petróleo, y de los productos de la hulla (RNE - CE.010 Pavimentos Urbanos 2010)

Pavimento Rígido:

“Está compuesto por una losa de concreto encima de una base granular o en algunos casos sobre la subrasante el cual transfiere los esfuerzos mínimamente, se caracteriza por ser auto resistente con concreto debidamente controlado” (Departamento nacional de Planeacion, 2017, p. 5)

Pavimento Articulado:

Es un tipo de pavimentación compuesto por adoquines de hormigón o concreto el cual trabaja con afirmados para todo tipo de superficies de tránsito y es sujeto a muchas diversas cargas solicitadas, de esta forma ofrecen varias posibilidades de aplicación en diversos diseño de superficies, alargando su vida útil y minimizando su mantenimiento, este pavimento articulado se forma por una carpeta de adoquines puestos y asentados sobre la arena y una base granular (Instituto Provincial de Vivienda y Urbanismo, 2006, p. 38)

- Subrasante y Subrasante mejorada
- Subbase y Base
- Capa de rodadura, que incluye:
 - a. Cama de arena de asiento
 - b. Adoquines de concreto
 - c. Sello de arena

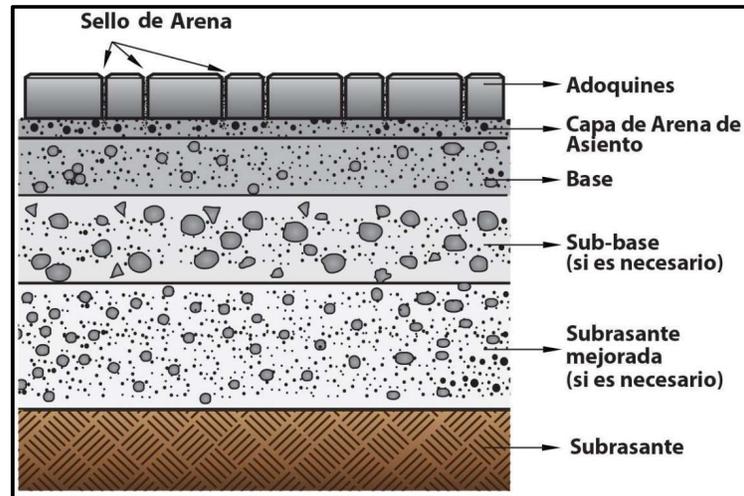


Figura 2. Composición de un pavimento articulado

Fuente: ICG (Instituto de la Construcción y Gerencia, 2010) Reglamento Nacional De Edificaciones: Norma CE. 010 pavimentos Urbanos

Procedimiento constructivo de un pavimento articulado:

De acuerdo con las especificaciones técnicas se detalla el proceso constructivo de un modelo de un pavimento articulado siendo el más común y general que se aplica en nuestro entorno. Como primer paso se prepara la subrasante excavando 5 centímetros hacia debajo de la cota indicada para extraer los agregados con diámetros mayores a 3” y como paso siguiente se bate y compacta el terreno natural en su superficie para colocar la base granular de una igual manera que se hace en lo pavimentos flexibles, sobre o encima del material granular se distribuirá una capa arenosa el cual esta reglamentada su ensayo granulométrico con (NTP 400.037, 2014) el cual tampoco debe tener material orgánico, plásticos y algunas sustancias que perjudiquen la labor. En el caso de los espesores se da entre 3 a 5 cm y no

tiene que estar con agua o líquidos previo al montaje del articulado, estos bloques deben ser transportados al lugar de trabajo ordenadamente y cuidándolos de alguna alteración en la calidad, las juntas entre los bloques no serán máximos a la medida de 3 mm entre cada uno de ellos teniendo un colocándolo uniformemente, como “espina de pescado” evitando el deslizamiento de los bloques, se realizar un primer compactado del articulado, se deja una franja de 1 m en el medio de los bordes y las zonas o áreas a compactar. Luego a este procedimiento se aplica la capa arenosa de medida 3 mm en su espesor y la función es el sellado de las juntas todo debe estar sin humedad (seco) para que facilite y llegue al máximo su penetración. Cabe en la importancia mencionar que el pavimento articulado en sus bordes debería estar perimétrico con sardineles que cumplen función el confinamiento o un limitante generando el correcto y mayor funcionamiento en la primera capa de rodadura, teniendo en cuenta que los sardineles son armados con concreto simple (Gómez, 2018, p. 12)

Fallas en el pavimento articulado:

Los pavimentos articulados al estar en servicio y por muchos factores como el tipo de suelo, pesos de vehículos, calidad de adoquines, drenajes, etc., pueden perder su carácter de servicio respecto al tránsito. Según el autor indica que las fallas mas comunes son por la base granular o en caso no sea la adecuada , ocurren hundimientos o desniveles y cada falla que ocurra sobre el pavimento articulado se trata de una manera diferente respecto a la severidad el cual esta graduado en niveles: bajo, medio y alto como referente al tipo de daño (Malone, 2019, p. 27)



Figura 3. Asentamiento de la Av. Gráficos – Distrito de Alto Selva Alegre
Fuente: Elaboración propia.



Figura 4. Asentamiento de la Av. Harley– Distrito Paucarpata
Fuente: Elaboración propia.

Sub rasante:

“La subrasante es el término de la superficie en movimiento de tierras sea corte o relleno en una carretera, en donde siguiente a este se coloca el afirmado o pavimento” según (Banco Interamericano de Desarrollo, 2015, p. 12), la subrasante en el pavimento es el asiento directo y cumple como el prisma en carretera que se habilita entre el terreno natural trabajado y la estructura del pavimento generadas.

Base:

“Se colocada entre la sub rasante y la capa don choca la rodadura de un pavimento, es de mayor espesor y de mayor capacidad estructural. Se compone de dos o más capas de materiales seleccionados según su tipo de extracción” (Montejo, 2002, p. 7)

“En las bases granulares compuestas por capas de suelo, mezclas de suelo, suelos con materiales triturados, o productos totales de trituración en cierto porcentaje para obtenerse un CBR = 80%” (Ministerio de Oabras Públicas y Comunicaciones 2015, p. 23)

Capa de arena:

“Capa con mínimo espesor compuesta por arena gruesa y limpia el cual está encima de la base, la función es servir como colchón de los adoquines y como filtro de humedad que ingresar por las juntas entre los adoquines” (Montejo, 2002, p. 7)

Sub base:

“Se define como una capa de espesor regular y que se coloca encima de base compuesta por material arena gruesa limpia, su función también es de comodín de adoquines y filtro del agua que puede penetrar entre las juntas” (Montejo, 2002, p. 369)

Cal Hidratada:

Como definición de la cal se obtiene de las CaCO_3 debidamente calcinadas en carbonato de calcio el cual también puede contener Mg CO_3 que es carbonato de magnesio y algunas pequeñas cantidades de impurezas (magnesia, arcillas, hierro, azufre y materias orgánicas). “El óxido de calcio es resultante de la cocción de los carbonatos y se denomina cal viva, en el caso de la hidratada es con adicción de agua, llamándose así cal hidratada apagada” (Centro Herrera, 2018, p. 1)



Figura 5. Cal hidratada Topex
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 2. Características de Cal hidratada

Aspecto	Polvo
Color	Blanco Humo a grisáceo
%Ca (OH) ₂	3 – 5 %
Olor	Inodoro

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. Clasificación de las Cales

S/ COMPOSICIÓN QUIMICA	Cales cálcicas	cant. MgO < 7%
	Cales magnésicas	cant. MgO > 7%
S/ TIPO DE FRAGUADO	Aéreas (fraguado solamente al aire)	iv =0 a 0,1
	Hidráulicas (tienen la propiedad de fraguar bajo el agua)	iv =0,16 a 0,50
S/ HIDRATACIÓN	Cales vivas	En piedra
		En polvo
	Cales hidratadas o apagadas	En polvo
		En pasta

Fuente: Elaboración propia.

Cal aérea: “Es un material aglomerante constituido de oxido o hidróxido de calcio el cual puede endurecerse, luego de estar con agua, solo en el aire por la acción de anhídrido carbónico” (Rodríguez, 2002, p. 1)

Cal viva: “Material calcinado por oxido de calcio (CaO), apagándose con adicción de agua”

Cal hidratada o apagada: “Se obtiene luego de añadir agua a la cal viva para hidratar sus óxidos y se compone de hidróxido de calcio Ca(OH)” (Rodríguez, 2002, p. 2)

Cal hidráulica: “Material aglomerante, pulverulento e hidratado dándose de calcinación de calizas que contienen sílice y alúmina, el cual forman oxido de calcio libre dejando una cantidad de calcio deshidratados con polvo que tienen propiedades hidráulicas” (Rodríguez, 2002, p. 2)

Estabilización con mezcla suelo-cal:

Usando la cal como agente externo para el mejoramiento en material (suelo) su plasticidad aumentaría y también sus resistencias, todo esto depende a la cantidad de cal necesitada, generalmente el porcentaje de cal varía entre 2 a 8% en peso. La plasticidad del suelo debe estar por encima de 10 para que la cal reaccione positivamente con su accionar puzolánico para juntar las partículas del suelo. En caso del suelo y cemento rápidamente adquiere resistencia porque el cemento solo necesita hidratarse y en el caso de suelo y cal químicamente los iones y los minerales arcillosos adquieren en modo lento sus resistencias, la ventaja se podría dar por el periodo de curado que se podría dar más tarde en cambio suelo cemento tendría que ser de forma inmediata. Analizando se da a conocer que las arenas no reaccionan favorablemente con la cal y no se pueden estabilizar con ella. Con la cal no solo es para disminuir la plasticidad sino para adquirir resistencia. Mucho depende de que función desempeñe el diseño para emplear la cal:

- Reestablecer la plasticidad o humedad.
- Adquirir la resistencia necesitada (Palli, 2015, p. 53)

Bases: La cal si estabiliza los suelos que no cumplan con las características que serán con función para base (grava con arcilla, gravas sucias o bases contaminadas que son las comunes) que están contenidas al menos el 50% de material grueso retenido en la malla o tamiz 4. Las bases son requeridas para caminos nuevos o reconstrucción de caminos deteriorados y normalmente se requiere de 2 a 4% de cal respecto al peso suelo seco (Nacional Lime Association, 2004, p. 7)

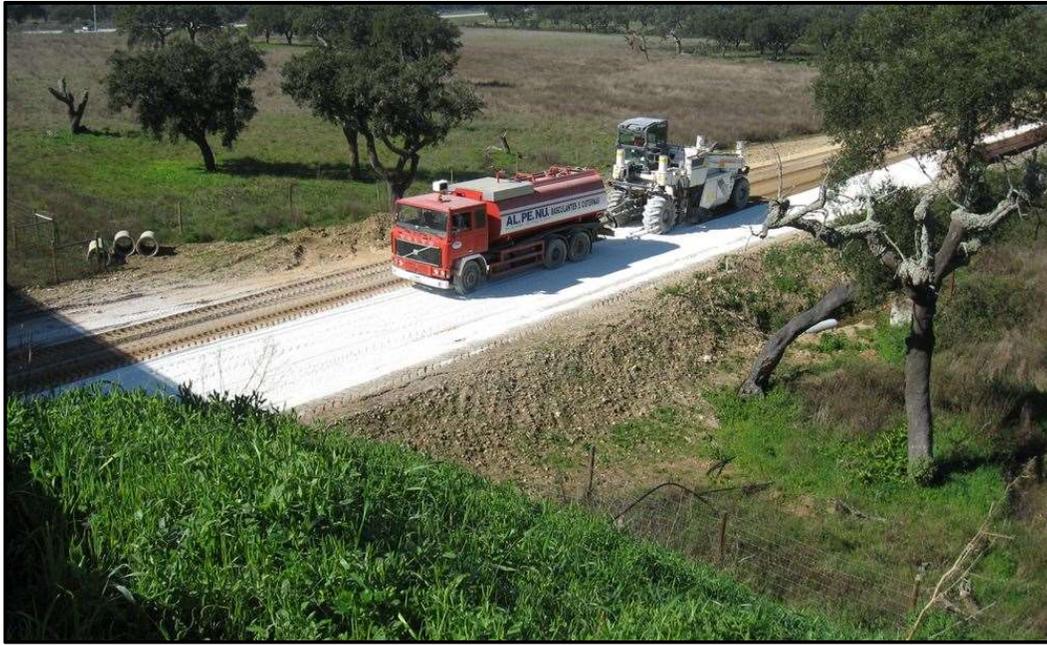


Figura 6. Mezclado de cal con material base
Fuente: (<https://cutt.ly/5Q7L89N>)

Análisis previos del suelo:

Al estabilizar un suelo adicionando cal como lo más recomendable se identifican los ensayos siguientes: ensayos de identificación de suelos (Límites Atterberg, granulometría, expansión, humedad natural, materia orgánica entre otros) con ello se identifica y clasifica el suelo en dos factores fundamentales que serían la compactación (Proctor normal o modificado) y el otro factor denominado capacidad portante (C.B.R. y/o resistencia a compresión simple). De acuerdo a los resultados de los ensayos se podrá valorar el suelo conforme al tratamiento con cal y cabe mencionar que la cal será de más beneficio para un suelo cuanto mayor sea sus finos y su plasticidad. Entonces se puede llegar a la conclusión que un material (suelo) con valor de índice igual o mayor a 10 tienden a maximizar la mejoría de sus propiedades gracias al cal añadida (Palli, 2015, p. 63)

Resistencia:

En los suelos de algunos tipos se puede decir que la resistencia a nivel general se disminuye cuando hay más humedad, pero en el caso de los suelos arcillosos al secarse pueden aumentar su resistencia pudiendo hasta ser su caso más alto en

resistencia en cuanto aumenta su temperatura de forma elevadas. (López Sumarriva y Ortiz Pinares 2018)

Cuando el suelo sufre la penetración con un instrumento de sondeo afecta o tiende a medir la resistencia, este se puede decir con el índice integrado con el grado de compactación del suelo, contenido de humedad, textura y el tipo de arcilla. A esto se le puede llamar un índice de resistencia del suelo, a todo esto, se le determina con la implicancia respecto a la estructura del suelo y la consistencia del mismo. (Rucks, 2004, p. 41)

Análisis granulométrico:

“Este consiste en tomar una muestra de suelo y poder extraer variados granos por su peso y su tamaño definiéndolos de acuerdo a las mallas empleadas por su abertura correspondiente” (Llanos y Reyes, 2017, p. 52)

Tabla 4. *Granulometría por pasantes*

MALLA	ABERTURA (mm)	MALLA	ABERTURA (mm)
3"	75	#4	4.750
2 ½"	63	#8	2.360
2"	50	#10	2.0
1 ½"	37.5	#30	0.6
1"	25	#40	0.425
¾"	19	#50	0.3
1/2"	12.5	#100	0.15
3/8"	9.5	#200	0.074

Fuente: Elaboración propia.

Proctor modificado:

Se asemeja al ensayo Proctor normal usando modificaciones en ciertos parámetros. Se emplea un molde más grande (2.320 cm³) y una maza también mayor de 4.535 Kg. En el caso de la altura es de 4.57 cm entonces se aplicaría más energía en la compactación, para el caso de la probeta en vez de hacer una

compactación de tres capas se compactarían cinco capas, dándole a cada una de estas capas 60 golpes distribuyéndolo encima de todo el material y se necesitan al menos cuatro muestras para hacerlas en diferentes humedades. Todo ello conlleva a obtener muchos valores pares de densidad-humedad y tener la curva de compactación (López, 2020, p. 5)

Limite líquido (LL):

Es cuando la humedad del material (suelo) pasa de estado líquido a ser plástico y se halla por el ensayo de la cuchara de Casagrande consistiendo en hacer descender una copa de metal encima de la parte superficial de encima y dura con características en margen específico (Araujo Navarro 2014, p. 10)



Figura 7. Ensayo de Casagrande para determinar el Límite Líquido
Fuente: (<https://cutt.ly/9Q7T3A2>, p. 11)

Limite plástico (LP):

Es cuando la humedad del material (suelo) pasa de ser plástico y hay una conversión a semiplástico el cual los dos contenidos de humedad si se maximizan, se minimizará el CBR porque al estar en estado líquido o plástico no actúa en resistencia (Araujo, 2014, p. 11)



Figura 8. Ensayo de plasticidad
Fuente: (<https://cutt.ly/9Q7T3A2>, p. 11)

CBR:

Se define al CBR como un ensayo que se da a condiciones encontradas en el suelo respecto a la humedad y densidad donde se puede dar la resistencia del suelo respecto al esfuerzo cortante. Cuando se expone el porcentaje en relación a la carga unitaria que se necesita para una piedra triturada obtenerla luego de penetrar con un pistón en dicha muestra, entonces se logra definir al CBR como un ensayo compuesto por tablas de resistencias y penetraciones estándar, dicho ensayo se da en suelos naturales o también cuando se haya realizado un tipo de mejoramiento como por ejemplo en su capacidad de carga, su resistencia mecánica en la subrasante es utilizada en base a las capas el cual componen algún tipo de pavimento (Rodríguez, 2018, p. 21)

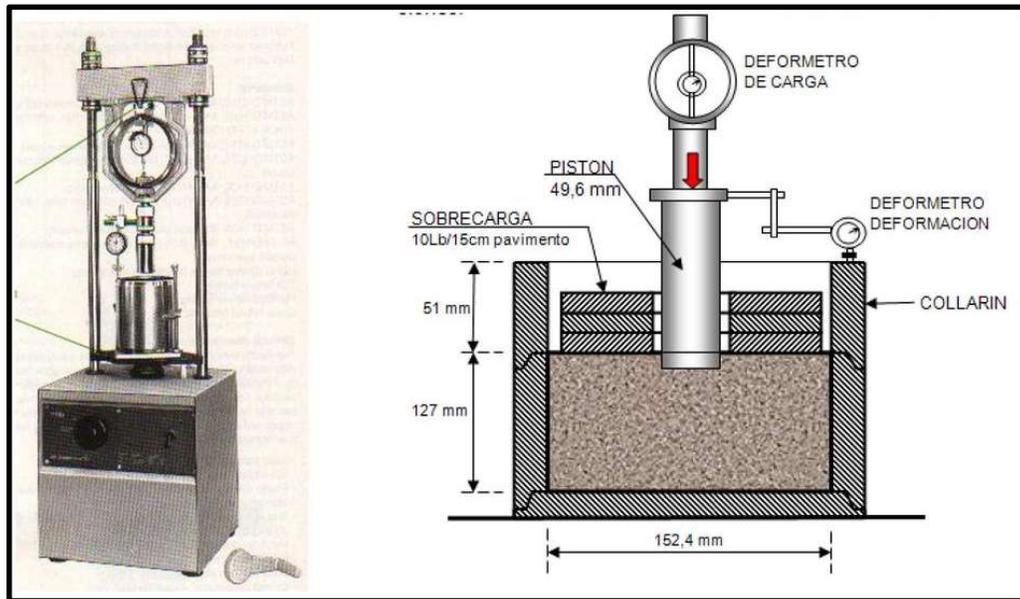


Figura 9. Esquema del equipo CBR
 Fuente: (<https://cutt.ly/bQ7ZYIB>, p. 6)

Objetivo del método de CBR:

El objetivo de realizar un ensayo el cual determina un valor índice de resistencia y es denominado valor de relación soporte, donde estamos hablando del CBR (California Bea ring ratio). Dicho índice es utilizado para poder determinar la capacidad de soporte en los suelos de subrasante y en las capas de base granular, sub base siguiente y afirmado (Llerena, 2015, p. 39)

Este método es muy importante por sus parámetros de acuerdo al suelo y se necesitaría para diseñar muchos pavimentos es utilizado también para poder hallar la reacción en el material suelo por menos de los usos respecto a la correlación. El CBR dependería la densidad seca máxima (MDD), contenido de humedad óptimo (OMC), límite líquido (LL), límite plástico (PL), índice de plasticidad (PI), tipo de suelo, permeabilidad del suelo (Kumar, 2014, p. 559)

III. METODOLOGÍA

3.1 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Tipo de investigación:

Nuestra investigación fue de tipo Aplicativo, ya que según (Lozada, 2016). Nos aplicamos en la investigación aplicada que fomenta la producción de conocimiento con aplicación directa a los inconvenientes de la producción o nuestra sociedad. Esta tiene como base elementalmente en los descubrimientos en tecnología de la investigación básica, haciéndose cargo del proceso de unión entre la teoría y el producto.

La actual investigación utiliza ensayos de laboratorio (CBR, Proctor), que demostraran si nuestra hipótesis es cierta o no, pero en ambos casos brinda conocimiento, ya que interactúa la teoría con la práctica sobre nuestra realidad puntual en el distrito de Characato y provincia de Arequipa, es importante aplicar este tipo de proyectos, que aportan resultados, conclusiones con un respaldo ingenieril como lo es nuestra Tesis de tipo Aplicativo, así como los detalles relacionados al cuidado de la propiedad intelectual de este proceso.

Nivel de investigación:

Nuestra investigación fue de nivel Descriptivo, ya que según (Monjarás, Bazán, Pacheco, Rivera y Zamarripa, 2019) “Se efectúa cuando se describen los componentes principales del objeto de estudio. Se describen frecuencias y promedios, y se estiman parámetros con intervalos de confianza”.

Nuestro proyecto es de nivel descriptivo, ya que como dice anteriormente la cita, describiremos porcentajes, parámetros, resistencias, cantidades, todo ello en rangos o intervalos que indica la norma o reglamento peruano.

Diseño de investigación:

Nuestro diseño de estudio o investigación fue Experimental, ya que según (Gerardo y Od, 2012). “Se considera al modo experimental en investigación al proceso que es someter a un solo individuo u objeto o también un grupo de objetos o también

individuos, a condiciones variables, diferentes estímulos o tratamientos (V.I), para observar el producto de los efectos o reacciones vistas (V.D).

Para comprobar que la Cal mejora la resistencia en nuestro suelo (base granular), tuvimos que tomar un grupo de muestras que fueron sometidos a ensayos de laboratorio, y observando lo que pasaba en cada proceso, con cada variación de adición de la Cal Hidratada.

3.2 VARIABLES Y OPERACIONALIZACIÓN

Variables

Variable Independiente

Nuestra variable independiente es la Cal y según la norma técnica peruana (CE.020 2012) “La Cal Hidratada, utilizado como agente externo químico para generar estabilización en los suelos, generalmente tiende a maximizar o mantener estable sus propiedades físicas al igual que la estabilización del terreno, dicho agente tiene que ser capaz de unirse al material de manera íntima al igual que homogéneamente y tener un curado de acuerdo a las normas o especificaciones estipuladas técnicamente”.

Variable Dependiente

Nuestra variable dependiente fue Mejorar la Resistencia en base granular y según (Guerrero y Soria, 2019). La estabilización de un suelo comprende los procesos físicos, químicos o físico-químicos que posibilitan el control dimensional que produce el agua, al saturar el suelo arcilloso (Fernández, 1992:129). Los procedimientos mencionados de mejora o estabilización, necesitan para ser eficaces, además de la compactación y el control granulométrico, componentes históricamente utilizados, agregados de materiales orgánicos e inorgánicos por ejemplo la paja, los mucílago, el estiércol, grasas animales, aceites vegetales y el escogido por nosotros la CAL.

3.3 POBLACION, MUESTRA Y MUESTREO

Población.

Según (López, 2004) se define población, como el conjunto de personas u objetos investigados y se quiere entender algo de ellos. "La población o universo puede estar compuesto por infraestructura, animales, registros médicos, los nacimientos (fechas), las muestras de laboratorio, los accidentes viales, entre otros" (PINEDA et al 1994:108).

En nuestro campo, la población para el mejoramiento de base granular fueron muestras de suelos, diseños estructurales, calidad de materiales, videos de fallas, documentales, pavimentos, tuberías y el más resaltante la infraestructura (pavimento).

Muestra.

Según (López, 2004) conceptualiza a la Muestra como conjunto sub alterno o parte del conjunto total o población en el cual se tendrá que realizar el estudio o investigación. Para todo ello hay procesos consecutivos para hallar el número de componentes de la proporción de muestra tales como pueden ser formulas, la lógica y otros. En la población se puede definir que la muestra es una porción representativa de él.

- Criterios de inclusión:
 - Muestra de base granular
 - CBR de la muestra sin adición de químico
 - Cal
- Criterios de exclusión:
 - Alterar prueba CBR
 - Muestra que no es de la zona de estudio

Muestreo.

Según (López, 2004) se define Muestreo como la utilización de métodos para encontrar componentes dentro de la muestra general de la población. "Se podría definir que consiste en reglas, criterios y procesos consecutivos donde hay elección

de elementos en una población general y estos dan a conocer lo que podría suceder en la población de forma general” (MATA et al, 1997:19)

Según (MTC E-101 2016). “El muestreo e investigación de suelos y rocas con base en procedimientos normales, mediante los cuales deben determinarse las condiciones de los suelos y rocas”.

Según (MTC E-101 2016). El objetivo y alcance es definir los procesos consecutivos apropiados de muestreo de suelos y rocas, que posibilitarán la respectiva correlación de datos con el suelo sus propiedades o características, como por ejemplo la plasticidad, permeabilidad, peso unitario, compresibilidad, resistencia y gradación; y si hablamos de la roca sería la resistencia, estratigrafía, estructura de ella misma y morfología.

3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS Recolección de datos

Según (Behar, 2008). Nos dice que la investigación carece de razón si es que no hay las técnicas de recolección de datos. Ellas nos guían a la comprobación de la problemática en el estudio. De acuerdo a la tipología de la investigación se precisará las técnicas y cada uno de ellas determinara sus herramientas, instrumentos o áreas que serán requeridas.

En toma de datos en forma general la elaboración del investigador tomando como soporte la observación. A pesar que utilicen distintas metodologías en su adquisición de datos este es parametrado en técnicas de observación y sea positivo o negativo la investigación dependerá de cual utilizo.

Nuestra investigación utiliza la observación, toma de apuntes e imágenes, que se procesaron más adelante, y poder dar verificación a la problemática encontrada.

Instrumentos de recolección de datos

Según (Behar, 2008) nos indica que en el tema recolector de datos se pueden utilizar muchas técnicas e instrumentos el cual datan información para poder trabajar, algunos ejemplos pueden ser por entrevistas, o las encuestas individuales

o grupales, las preguntas de cuestionario, una observación , diagramas de flujo y datos.

Nuestras herramientas, serán los ensayos de laboratorio como; C.B.R. (California Bearing Ratio: Ensayo de Relación de Soporte de California) normado por la MTC E 132, ASTM D 1883 y la AASHTO T 193; el Proctor Modificado que nos brindara datos necesarios de Humedad y Densidad, para realizar el ensayo anteriormente mencionado, normado por la MTC E 115, ASTM D 1557, AASHTO T 180.

Validez

Según (et al., 2014) la validez conocida con el nombre también de exactitud, verifica la medición entre la realidad y una anomalía o también clasifica los procedimientos o instrumentos para lo que fue planteado o estipulado para que se mida, o clasifique que realmente estamos analizando lo que necesitamos y no otra cosa (Manterola, Zavando, Alarcón y Muñoz, 2008).

Los ensayos, son estandarizados por reglamentos, normas nacionales e internacionales como la MTC, ASTM y AASHTO y certificados de calibración de los equipos utilizados, estos muestran datos válidos y exactos para el propósito de nuestra investigación, de mejorar, estabilizar la resistencia de una base granular con cal, para pavimento articulado.

Además de estas normas se realizó un conjunto de preguntas de acuerdo a la escala de Likert de ocho preguntas donde se obtuvo el respaldo de tres ingenieros civiles debidamente autorizados y colegiados, alcanzando una mayor y correcta confiabilidad, el cual se muestra en el anexo 07.

Confiabilidad

Según (et al., 2014) la confiabilidad, definida como precisión en otros ámbitos, según no tiene que ver errores en la medición. Entonces, al realizar varias veces la medición en el mismo proceso las condiciones deberían ser próximas en resultados. Este concepto se relaciona en más importancia con la seguridad del instrumento consigo mismo, en forma independiente del actor que es el que aplica (observador) y del instante en el momento que es ejecutado (tiempo).

Tenemos un número significativo de muestras sometidas a ensayos de mecánica de suelos, eso vuelve confiable nuestra investigación y mencionar que los equipos de laboratorio están debidamente calibrados.

Adicionando una seguridad mayor en la confiabilidad de los instrumentos se utilizo y valido con el método de Alfa de Cronbach siendo esta una fórmula del tipo matemática que viabiliza el instrumento por medio de la contestación de cada ítem donde se empleo mas de dos valores, debido a que es la escala de Likert y el método Alfa de Cronbach, la cual se denota consistencia desde la covariación de los ítems de los cuestionarios en forma que si hay mayor covariación, mayor puntuación alfa (Rodríguez y Reguant, 2020)

Tabla 5. Cuadro de calculo de Alfa de Cronbach.

ENCUESTADO (EXPERTOS)	VALORES DE ELEMENTOS DE ACUERDO A LA ESCALA DE LIKERT								SUMA
	VALIDEZ DEL INSTRUMENTO								
	P-1	P-2	P-3	P-4	P-5	P-6	P-7	P-8	
1	5	4	4	4	4	5	4	5	35
2	4	4	4	3	4	4	3	4	30
3	4	5	4	4	5	5	5	4	36
Varianza	0.22	0.22	0.00	0.22	0.22	0.22	0.67	0.22	
Sumatoria de varianzas	2.00								
Varianza de la suma de los ítems	10.33								

Fuente: Elaboración propia.

Fórmula para hallar el alfa de Cronbach:

$$\alpha = \frac{K}{K + 1} \left[1 - \frac{\sum S_t^2}{S^2} \right]$$

Dónde:

α	Coefficiente del alfa de Cronbach para la confiabilidad del cuestionario.
K	Cantidad de ítems que se aplicó en el instrumento.
$\sum S_t^2$	Sumatoria de todas las varianzas en los respectivos ítems.
S_t^2	Varianza total aplicado al instrumento.

Remplazamos los valores en la fórmula para hallar el valor de alfa de Cronbach:

α	0.72
K	8
$\sum S_t^2$	2.0
S_t^2	10.33

Con el valor que se obtuvo en el alfa de Cronbach se comparó los resultados con la tabla 06 donde se alcanzó una confiabilidad del 72% para este proyecto de investigación, lo cual represento una confiabilidad excelente.

Tabla 6: Confiabilidad alfa de Cronbach:

RANGO	CONFIABILIDAD
0.53 a menos	Confiabilidad nula
0.54 a 0.59	Confiabilidad baja
0.60 a 0.65	Confiabilidad
0.66 a 0.71	Muy confiable
0.72 a 0.99	Confiabilidad excelente
1	Confiabilidad perfecta

En la figura 10 siguiente, se muestra el conjunto preguntas de validez que utilizamos en nuestro proyecto de tesis.

CUESTIONARIO DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

TITULO DE TESIS	:	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
Apellidos y Nombres de los Investigadores	:	Estefanero Pérez, Leonardo Damián Arque Cari, Magdiel Fernando

Apellidos y Nombres del experto	:	
Profesión	:	CIP:

Estimado Experto: La presente encuesta corresponde a un estudio de investigación sobre el Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado. La encuesta no es anónima, por lo que le solicitamos su sinceridad en sus respuestas.

Instrucción:

Valores marcando con una "X" según el indicador mostrado debajo, para poder evaluar a los instrumentos utilizados en el proyecto de investigación "Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado" según la escala del 1 al 5, donde 1 es (totalmente en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (indeciso), 4 (de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo).

N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	¿En su experiencia profesional cree usted que es importante realizar fichas de recolección de datos para la validación de algún instrumento?					
2	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de análisis granulométrico por tamizado debe realizarse según las normas ASTM D – 422 y/o MTC E 107 para obtener excelentes resultados?					
3	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la adición de cal a la base granular de un pavimento debe realizarse según las normas AASHTO T 220-66 2004 y/o MTC E 1108 para obtener excelentes resultados?					
4	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite líquido debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 110 para obtener excelentes resultados?					
5	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite plástico debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 111 para obtener excelentes resultados?					
6	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de Proctor Modificado debe realizarse según las normas ASTM D – 1557 – MTC E 115 para obtener excelentes resultados?					
7	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que los ensayos para determinar el CBR de suelos en laboratorio debe realizarse según las normas ASTM D 1883 – MTC E 132 para obtener excelentes resultados?					
8	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el planteamiento de comparación de adición de cal en diferentes porcentajes será ideal para encontrar la resistencia óptima en la base granular del pavimento?					

Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Indeciso	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5

SELLO Y FIRMA DEL ESPECIALISTA

Figura 10. Cuestionario de validez del instrumento.
Fuente: Elaboración Propia.

3.5 PROCEDIMIENTO

a) TRABAJO PREVIOS

Descripción de la zona de interés

En el distrito de Characato, se encuentra nuestra zona de estudio, ya que proponemos la construcción de pavimento articulado, en una vía que sirve de enlace a otros distritos y provincias parcialmente.

Se observa actualmente pavimento flexible existente muy deteriorado, y se propone pavimento articulado, ya que se ha observado que tiene mayores ventajas, duración, resistencia, se puede retirar y volver a colocar. La desventaja mayor observada son los asentamientos, provocados por carga pesada, lluvias, mal compactado, baja resistencia de base granular, etc.

El objeto de estudio es mejorar la resistencia en base granular y brindar el aporte para futuras construcciones de vías y cumplan su tiempo de vida con seguridad y calidad.

Ubicación y Reconocimiento de la Zona:

Ubicación Política:

- ❖ Región: Arequipa
- ❖ Provincia: Arequipa
- ❖ Distrito: Characato
- ❖ Localidad: Calle Moquegua

Ubicación Geográfica (vía de pavimento articulado):

Tabla 7. Cuadro de coordenadas del pavimento articulado (Inicio y Fin)

CUADRO DE COORDENADAS WGS 84 - S19			
	ESTE	NORTE	COTA
INICIO	235090.00	8177328.00	2476.00
FIN	236634.00	8175968.00	2490.00

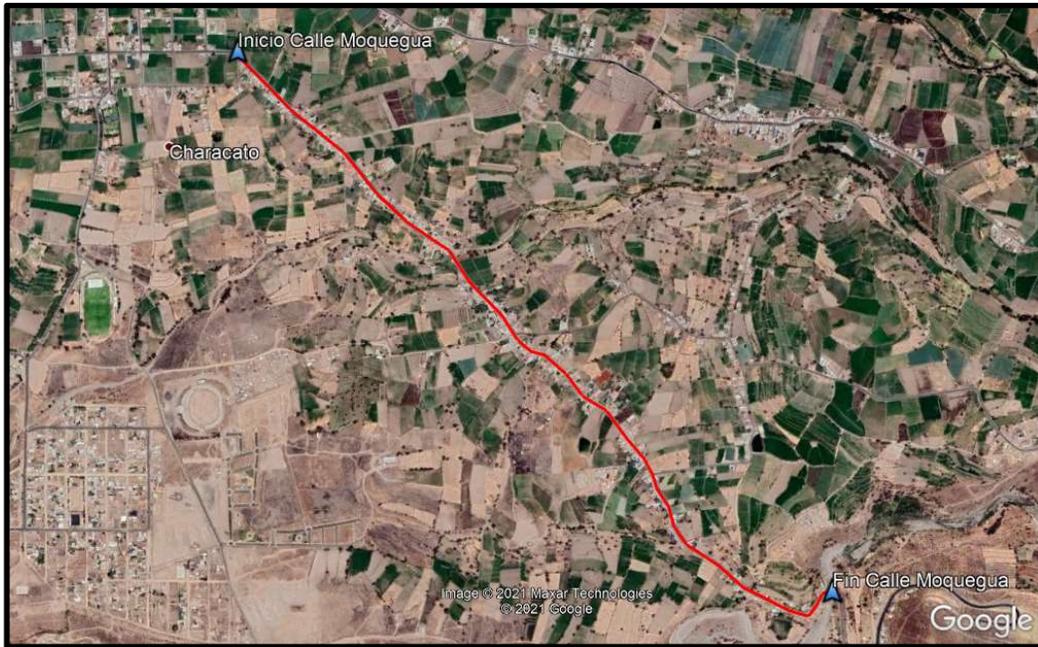


Figura 11. Vía proyectada con Pavimento Articulado - Calle Moquegua
Fuente: Google Heart

b) TRABAJOS EN CAMPO

Muestreo de Suelo (Base Granular) MTC E132-2016

El proceso de extracción de muestras, consistió en recoger base granular, de la cantera ubicada cerca de la zona, ya que de esta se utilizan los agregados para las diferentes obras de la zona.

Se recogió muestras de 50 Kg, como indica la norma de ensayo de materiales, y se colocaron en sacos, y se procedieron a trasladar hacia el laboratorio de mecánica de suelos.

A continuación, observamos la cantera, las herramientas, materiales utilizados y nosotros realizando el carguío, transporte y descarga de muestras.

Ubicación Geográfica (Cantera de Agregados):

Tabla 8. Cuadro de coordenadas de canteras de extracción del material

CUADRO DE COORDENADAS WGS 84 - S19			
	ESTE	NORTE	COTA
CANTERA	234192.00	8175037.00	2430.00



Figura 12. Ubicación de Cantera de Agregados
Fuente: Elaboración propia.



Figura 13. Acopiamiento de Muestras en Cantera
Fuente: Elaboración propia.



Figura 14. Recolección de 50 kg por cada muestra en sacos
Fuente: Elaboración propia.

c) TRABAJO EN LABORATORIO

Análisis De Las Propiedades Del Suelo:

Para conocer las características y propiedades de nuestro suelo base granular hicimos los siguientes ensayos como; granulometría, límite líquido, límite plástico, compactación (Proctor) y CBR (California Bearing Ratio).

Granulometría:

Aquí procedimos a tomar una parte de nuestra muestra, pesarla y tamizarla para poder conocer los porcentajes retenidos en cada malla y determinar la gradación de nuestra base o si no llegamos a cumplir lo que nos indica la norma EG-2013 y la ASTM D1241.



Figura 15. Inicio de ensayos con el Cuarteo de la Muestra
Fuente: Elaboración propia.



Figura 16. Tamizado de muestra para ensayo de Granulometría
Fuente: Elaboración propia.



Figura 17. Tamices de Agregado Grueso listos para pesar
Fuente: Elaboración propia.

Limite líquido y limite plástico:

Para nuestra clasificación SUCS es necesario hacer el ensayo de límites de consistencia. Es así que realizamos pruebas preliminares al tacto, reconociendo si nuestro suelo tenía presencia de arcillas, tratando de formar esferas y palitos cilíndricos de 3 mm de diámetro, que no se pudieron ya que la muestra se fracturaba.

Aplicamos el ensayo en la cazuela de Casagrande, para determinar el limite líquido, a los 25 golpes, pero antes de estos la muestra se fisuraba



Figura 18. Alistando muestra saturada, para Limite Liquido
Fuente: Elaboración propia.



Figura 19. Golpeando en Cazuela de Casagrande
Fuente: Elaboración propia.

Densidad y humedad (Proctor modificado):

En esta etapa hicimos el ensayo Proctor Modificado, buscando el contenido de humedad óptimo (contenido de agua) y la máxima densidad seca (peso unitario seco) para ello se usaron varias muestras y en cada una diferentes porcentajes de agua, y así obtener la curva de compactación establecida por la norma (MTC E 115, 2016).



Figura 20. Preparando y pesando muestras
Fuente: Elaboración propia.



Figura 21. Agregando porcentajes de Agua en cada muestra
Fuente: Elaboración propia.

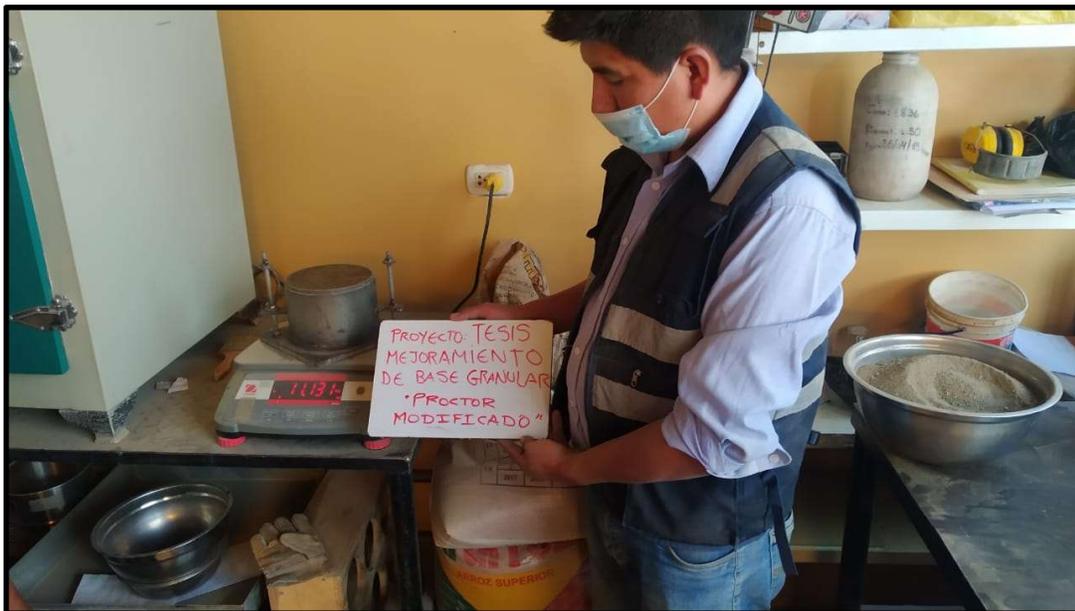


Figura 22. Pesando muestras después del apisonado en Proctor Modificado
Fuente: Elaboración propia.

Resistencia del Suelo (CBR):

Se realizó el ensayo de CBR (California Bearing Ratio) con el objetivo de obtener la capacidad de soporte de nuestra muestra al natural (Base Granular), se procedió ah:

- ❖ Pesar la muestra, 3 unidades
- ❖ Agregar el contenido de humedad optimo
- ❖ Voltear uniformemente la muestra con el agua agregada
- ❖ Preparar los moldes, limpios y con desmoldante
- ❖ Se procede a golpear con el pisón de compactación 12, 26, 56 golpes
- ❖ Se enrasa el espécimen y quita espaciador
- ❖ Se voltea la muestra, se coloca papel en la base y cara superior
- ❖ Se coloca la sobrecarga con el vástago y se deja saturando por 4 días
- ❖ Se retira la muestra de la poza, se retira la sobrecarga y dejamos escurrir
- ❖ Empezamos con la prueba de penetración, con una velocidad de 1.27 mm/min



Figura 23. Preparación de moldes para CBR (limpieza y Codificación)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 24. Apisonado de CBR 26 Golpes
Fuente: Elaboración propia.



Figura 25. Enrasado de moldes, antes de quitar disco espaciador, voltearlos y extraer pesos en cada muestra
Fuente: Elaboración propia.

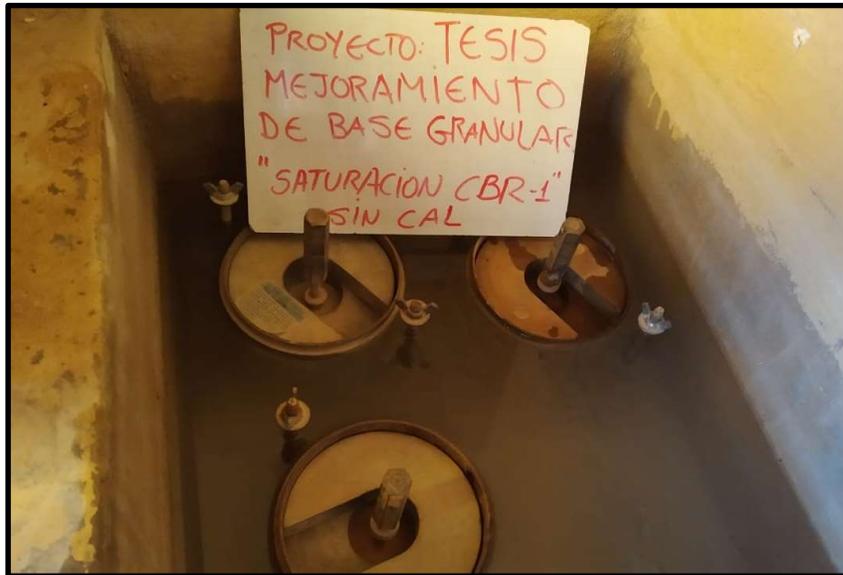


Figura 26. Saturación de CBR natural, sin agente estabilizante
Fuente: Elaboración propia.



Figura 27. Prueba de Penetración en prensa (velocidad 1.27 mm/s)
Fuente: Elaboración propia.

La Cal como Estabilizador:

Se uso Cal Hidratada, para nuestro proyecto de investigación, mejoramiento de la resistencia en base granular, de un pavimento articulado.

La Cal Hidratada tiene beneficios al mezclarse con el suelo, nos brinda mayor resistencia, mejor manejo de la velocidad de filtración, reduce la plasticidad de arcillas.

En nuestra investigación nos enfocaremos en la resistencia del suelo, los cambios que se produjeron a partir de adicionar porcentajes de Cal Hidratada como; 3%, 6% y 9% del peso en cada muestra, estas fueron sometidas al ensayo de CBR (California Bearing Ratio), con los resultados obtenidos se pudo comparar los porcentajes de resistencia y cuantificar el incremento de esta y así poder concluir si la hipótesis planteada fue correcta.

Entonces se procedió a calcular los porcentajes en peso por cada muestra de 6 Kg, que es lo que holgadamente se necesita para el ensayo y el peso para hallar la humedad en el momento.

❖ Para Adicionar 3%

- Peso Total = 6000 g
- 3% del Peso T. = 6000×0.03
- 3% del Peso T. = 180 g (Cal Hidratada)
- Dosificación: **5820 g (Suelo) + 180 g (Cal Hidratada) = 6000 g (muestra)**

❖ Para Adicionar 6%

- Peso Total = 6000 g
- 3% del Peso T. = 6000×0.06
- 3% del Peso T. = 360 g (Cal Hidratada)
- Dosificación: **5640 g (Suelo) + 360 g (Cal Hidratada) = 6000 g (muestra)**

❖ Para Adicionar 9%

- Peso Total = 6000 g
- 3% del Peso T. = $6000 \cdot 0.09$
- 3% del Peso T. = 540 g (Cal Hidratada)
- Dosificación: **5460 g (Suelo) + 540 g (Cal Hidratada) = 6000 g (muestra)**



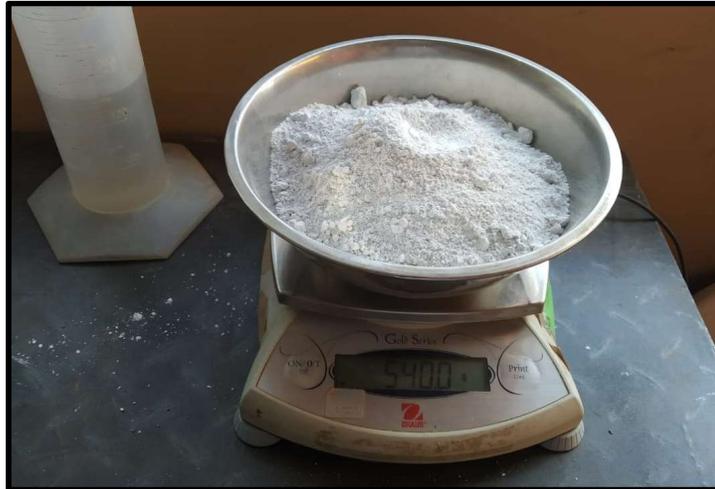
Figura 28. Cal Hidratada (Cal de Obra Topex) utilizada para mejora de resistencia

Fuente: Elaboración propia.



Figura 29. Pesando Cal para adicionar 3% (180g)

Fuente: Elaboración propia.



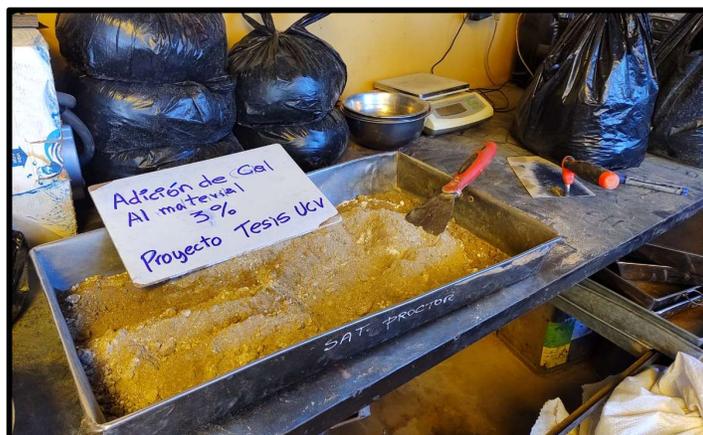
*Figura 30. Pesando Cal para adicionar 9% (540g)
Fuente: Elaboración propia.*

Resistencia del Suelo con Adición de Cal (CBR):

Al igual que con el suelo natural, se prepararon 3 muestras (12, 26 y 56 golpes) de cada porcentaje adicionado de Cal Hidratada (3%, 6% y 9%).

Para el mezclado de Suelo y Cal, se tuvo bastante cuidado, para que este uniformemente distribuido en toda la muestra, se utilizaron bandejas espaciosas y bastantes repeticiones de volteado y mezclado.

Previamente se halló el contenido de humedad óptimo, para adicionar el agua necesaria.



*Figura 31. Adición y mezclado de Cal al 3%
Fuente: Elaboración propia.*



Figura 32. Adición y mezclado de Cal al 6%
Fuente: Elaboración propia.



Figura 33. Adición y mezclado de Cal al 9%
Fuente: Elaboración propia.



Figura 34. Preparación y limpieza de moldes para CBR incorporando Cal Hidratada
Fuente: Elaboración propia.



Figura 35. Quitando disco espaciador, colocando papel filtro y volteando molde para peso correspondiente
Fuente: Elaboración propia.



Figura 36. Moldes listos y muestras compactadas al 3%, 6% y 9%, para sumergir en poza por 4 días
Fuente: Elaboración propia.



Figura 37. Se retiran moldes de la poza y se dejan escurrir (15-20 min)
Fuente: Elaboración propia.



Figura 38. Procedemos con la prueba de penetración en prensa CBR al 3% de Cal
Fuente: Elaboración propia.



Figura 39. Procedemos con la prueba de penetración en prensa CBR al 6% y 9% de Cal
Fuente: Elaboración propia.

3.6 METODO DE ANALISIS DE DATOS

En nuestro proyecto de investigación, determinado que la data adjuntada es obtenida de acuerdo a los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio dedicado a mecánica de suelos, se emplearon averiguaciones del investigador para poder presentarlo por medio de tablas, cuadros, paneles, gráficos entre otros.

3.7 ASPECTOS ÉTICOS

La investigación realizada, cumple los requerimientos éticos que solicita la casa de estudio Universidad Cesar Vallejo, consideramos lo siguiente:

- En relación a la creación de las fuentes o caracteres de información usadas, se han citado según las normas ISO 690 (Organización Internacional de Normalización), que proporciona los lineamientos básicos para la adecuada referencia bibliográfica de la Universidad Cesar Vallejo, en nuestra tesis.
- Las referencias usadas, tales como de libros relacionados a geotecnia, tesis, artículos, así como información metodológica para la elaboración de nuestra tesis de investigación fueron obtenidas de páginas oficiales como Google académico, Scielo, Alicia, Renati, entre otros.
- El cumplimiento de toda consideración notable del código referido a la ética de la investigación de la Casa Universitaria Cesar Vallejo.
- Brindando legitimidad y transparencia en el porcentaje de coincidencia del proyecto de investigación fue introducido en el programa Turnitin que fue gestionado por la Universidad Cesar Vallejo.

IV. RESULTADOS

Con los ensayos de laboratorio terminados, ahora desarrollaremos el análisis de estos, así poder explicar y cuantificar los cambios positivos de nuestra hipótesis.

GRANULOMETRÍA

Resultados de Tamizado para Granulometría según norma MTC E 204, la graduación es tal cual se encontró en cantera, a continuación, la tabla #07.

Tabla 9. Tabla de ensayo de Granulometría

MALLA ASTM	ABERTURA (mm)	Peso Retenido (g)	% Retend.	% Pas. Acum.	ESPECIFICACIONES EG-2013	
>3"						
3"	75.00					
2 1/2"	63.00					
2"	50.00				100	100
1 1/2"	37.50			100.00		
1"	25.00	153.0	1.48	98.52	75	95
3/4"	19.00	297.0	2.86	95.66		
1/2"	12.50	486.0	4.69	90.97		
3/8"	9.50	272.0	2.62	88.35	40	75
N° 4	4.75	855.0	8.24	80.11	30	60
N° 8	2.36	37.5	4.29	75.81		
N° 10	2.00	12.3	1.41	74.40	20	45
N° 16	1.19	42.6	4.88	69.53		
N° 30	0.60	79.4	9.09	60.44		
N° 40	0.425	56.4	6.46	53.98	15	30
N° 50	0.300	55.0	6.30	47.68		
N° 80	0.180	88.8	10.17	37.52		
N° 100	0.150	29.9	3.42	34.09		
N° 200	0.075	88.7	10.15	23.94	5	15
		209.1	23.94			

Fuente: Elaboración propia.

Clasificación SUCS:

Mediante la clasificación SUCS, se pudo clasificar la muestra tamizada, el tamizado nos dirá cuanto de material grueso (grava) posee nuestra base, pero los pasantes de la malla numero 4 deben ser sometidos al ensayo de límites, para determinar en cuál de los grupos estamos, limos o arcillas.

Nuestro ensayo de **Limite Liquido**, nos indica NP (no tiene plasticidad), entonces según la MTC E 204, la clasificación SUCS para suelos finos nos dice SM (Arena Limosa), nuestro suelo no presenta arcillas.

- Porcentajes de Grava, Arenas y Finos

Tabla 10. *Tabla de ensayo de Limite Liquido*

% DE SUELOS	
GRAVA	19.9%
ARENA	56.2%
FINOS	23.9%
CLASIFICACIÓN SUCS	
SM (Arena Limosa)	

Fuente: Elaboración propia.

Humedad de la muestra:

Es necesario cuantificar el contenido de humedad de nuestra muestra, ya que esta deberá ser considerada para el contenido de humedad óptimo, a continuación, la tabla #09.

Tabla 11. *Tabla de ensayo contenido de humedad*

CONTENIDO DE HUMEDAD	
DESCRIPCIÓN	Gramos
PESO SUELO HÚMEDO + CÁPSULA (g)	10590
PESO SUELO SECO + CÁPSULA (g)	10370
PESO DEL AGUA (g)	220
PESO DE LA CÁPSULA (g)	0

PESO NETO DEL SUELO SECO (g)	10370
PORCENTAJE DE HUMEDAD %	2.1

Fuente: Elaboración propia.

Proctor modificado:

Nuestro resultado para obtener el contenido de humedad óptimo se obtuvo por medio del ensayo Proctor Modificado normado por el manual de ensayo de materiales MTC E 115 y como parte de los criterios de aceptación de la EG 2013

Se obtuvo:

- Densidad Seca Máxima: 2.059 g/cm³
- Humedad Óptima: 8.6 %

Tabla 12. *Tabla de ensayo Proctor Modificado*

ENSAYO	N°	1	2	3	4
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	10756	10950	11094	11131
Peso del Suelo Húmedo	g/cm ³	4351	4545	4689	4726
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.064	2.156	2.225	2.242

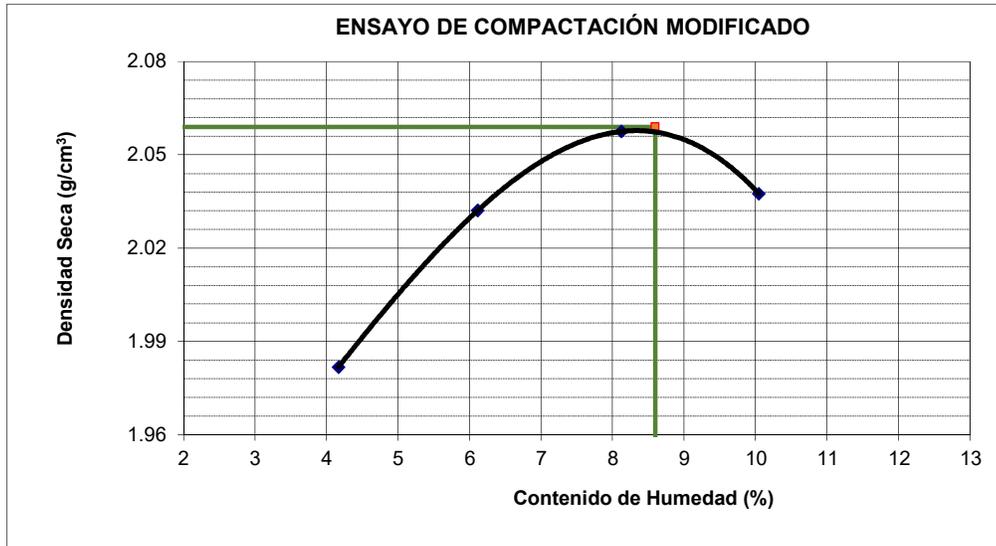
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 13. *Tabla de ensayo contenido de humedad*

HUMEDAD	N°	1	2	3	4
Peso de Cápsula	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo	g	787.5	786.1	645.4	698.8
Peso del Suelo Seco + Cápsula	g	756.0	740.8	596.9	635.0
Peso del Suelo Húmedo	g	787.5	786.1	645.4	698.8
Peso del Suelo Seco	g	756.0	740.8	596.9	635.0
Peso del Agua	g	31.5	45.3	48.5	63.8
Humedad	%	4.17	6.12	8.13	10.05
Contenido de Humedad	%	4.17	6.12	8.13	10.05
Densidad Seca	g/cm³	1.982	2.032	2.058	2.038

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 14. Tabla de grafica de Ensayo Proctor Modificado



Fuente: Elaboración propia.

Valor de relación de soporte - CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO):

Se utilizó el ensayo CBR (California Bearing Ratio), que nos permite cuantificar el índice de resistencia para pavimentos, obteniendo resultados positivos al adicionar la Cal Hidratada, en nuestro suelo SM (Arena Limoso), con porcentajes del 3%, 6% y 9% adicionados del agente estabilizador.

CBR Muestra Natural:

Tabla 15. Datos de la muestra natural

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Und			
Peso del Molde	g	7698	7860	7760
Volumen del Molde	g	2103	2109	2106
P. Húmedo + Molde	g	11977	12246	12454
Peso Suelo Húmedo	g	4279	4386	4694
Peso Suelo Seco	g	3958	4056	4341
Peso Agua	g	321	330	353
Humedad	%	8.1	8.1	8.1

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Datos de densidad Húmeda y Seca

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.035	2.080	2.229
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.882	1.923	2.061

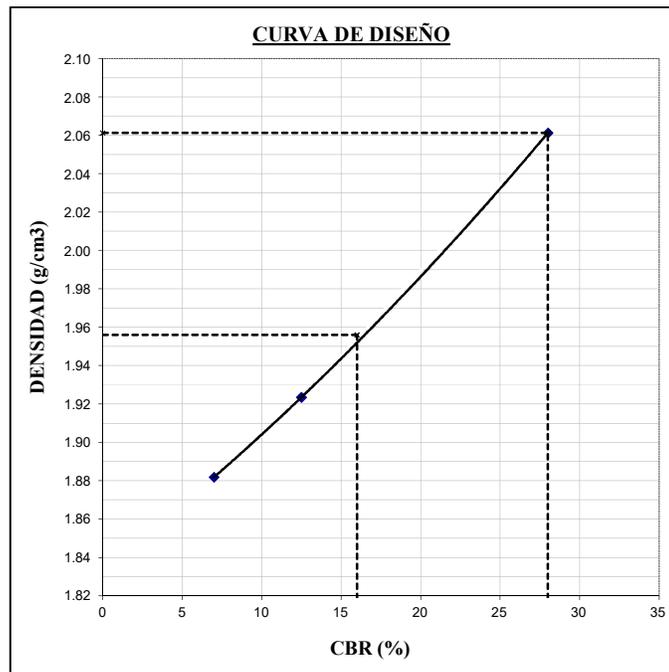
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Resultados de Resistencia CBR

Penetración		N° Golpes 12				N° Golpes 26				N° Golpes 56						
		Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)
		mm.	pulg.	Dial	lobs.		lb /plg ²	Dial	lbs.	lb. /plg ²		Dial	lbs.	lb. /plg ²		
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0				
0.635	0.025	16.8	37.04	12.3		20.8	46	15.3		16	34.17	11.4				
1.270	0.050	40.9	90.17	30.1		62.3	137	45.8		42	93.04	31				
1.905	0.075	64.9	143.1	47.7		110	242	80.6		105	231	77				
2.540	0.100	88.7	195.5	65.2	7	155	341	114	12.5	192	422.4	141	28			
3.810	0.150	134.3	296.1	98.7		235	519	173		396	872.1	291				
5.080	0.200	171.3	377.7	126		297	654	218		593	1306	435				
6.350	0.250	199.7	440.3	147		343	757	252		755	1663	554				
7.620	0.300	223.4	492.5	164		379	836	279		875	1929	643				

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 18. Grafica de Resistencia



Fuente: Elaboración propia.

CBR Muestra Adicionando 3% de Cal Hidratada:

Tabla 19. Datos de la Muestra con 3% de CAL

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Und			
Peso del Molde	g	8641	8616	8706
Volumen del Molde	g	2106	2120	2115
P. Húmedo+Molde	g	12921	13089	13411
Peso Suelo Húmedo	g	4280	4473	4705
Peso Suelo Seco	g	3941	4119	4332
Peso Agua	g	339	354	373
Humedad	%	8.6	8.6	8.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 20. Densidad Húmeda y Seca

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.032	2.110	2.225
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.871	1.943	2.049

Fuente: Elaboración propia.

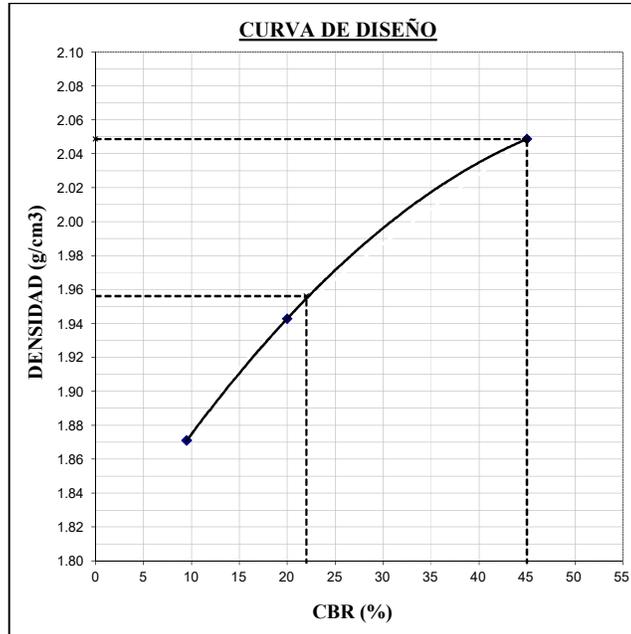
Tabla 21. Resultados de Resistencia CBR con 3% de CAL

Penetración		N° Golpes 12				N° Golpes 26				N° Golpes 56						
		Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)
		mm.	pulg.	Dial	lbs.		lb. /plg ²	Dial	lbs.	lb. /plg ²		Dial	lbs.	lb. /plg ²		
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0				
0.635	0.025	32.3	71.21	23.7		72.3	159	53.1		111	245.4	81.8				
1.270	0.050	67.2	148.2	49.4		147	325	108		260	572.5	191				
1.905	0.075	101.2	223.1	74.4		213	470	157		423	933	311				
2.540	0.100	132.7	292.6	97.5	9.5	275	607	202	20.0	571	1260	420	45			
3.810	0.150	180.6	398.2	133		385	850	283		833	1837	612				
5.080	0.200	215.5	475.1	158		469	1034	345		1014	2236	745				
6.350	0.250	242.7	535.1	178		535	1180	393		1140	2513	838				
7.620	0.300	268.3	591.5	197		591	1304	435		1228	2708	903				

Fuente: Elaboración propia.

Nuestro CBR con adición de Cal Hidratada al 3 % alcanzo un 45%, y empezamos a observar que se hace mayor la resistencia.

Tabla 22. *Grafica de Resistencia CBR con 3% de CAL*



Fuente: Elaboración propia.

CBR Muestra Adicionando 6% de Cal Hidratada:

Tabla 23. *Datos de la Muestra con 6% de CAL*

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Und			
Peso del Molde	g	8577	8566	8634
Volumen del Molde	g	2103	2109	2106
P. Húmedo+Molde	g	12789	13025	13435
Peso Suelo Húmedo	g	4212	4459	4801
Peso Suelo Seco	g	3878	4106	4422
Peso Agua	g	334	353	379
Humedad	%	8.6	8.6	8.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Densidad Húmeda y Seca

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.003	2.115	2.280
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.844	1.947	2.100

Fuente: Elaboración propia.

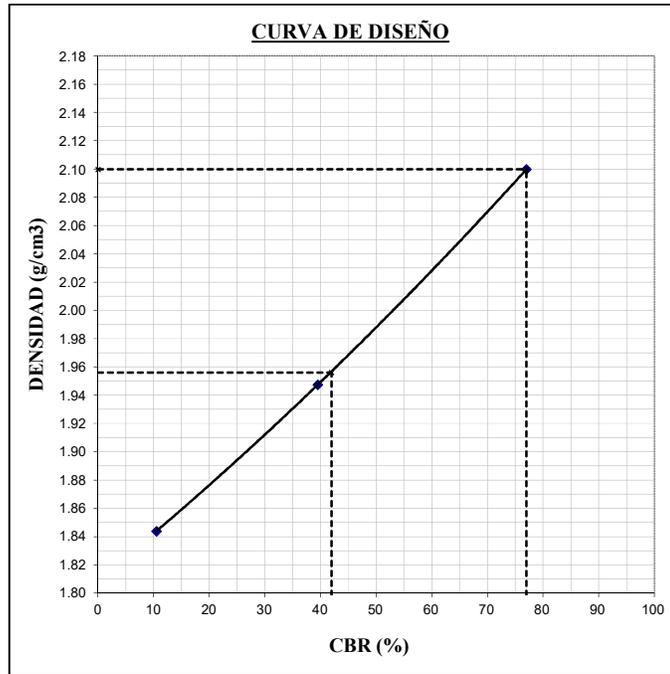
Tabla 25. Resultados de Resistencia CBR con 6% de CAL

Penetración		N° Golpes 12				N° Golpes 26				N° Golpes 56						
		Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)
		mm.	pulg.	Dial	lbs.		lb. /plg ²	Dial	lbs.	lb. /plg ²		Dial	lbs.	lb. /plg ²		
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0				
0.635	0.025	25.1	55.34	18.4		96.3	212	70.8		28	62.39	20.8				
1.270	0.050	63.7	140.4	46.8		245	541	180		142	312.2	104				
1.905	0.075	104.5	230.4	76.8		401	885	295		359	791.5	264				
2.540	0.100	138.6	305.6	102	10.5	523	1153	384	39.5	623	1373	458	77			
3.810	0.150	198.6	437.8	146		708	1562	521		1146	2527	842				
5.080	0.200	252.1	555.8	185		833	1835	612		1497	3300	1100				
6.350	0.250	288.5	636	212		936	2064	688		1770	3903	1301				
7.620	0.300	316.4	697.5	233		1028	2266	755		1991	4390	1463				

Fuente: Elaboración propia.

Nuestro CBR con adición de Cal Hidratada al 6 % alcanzo un 77%, siendo este nuestro máximo valor.

Tabla 26. Grafica de Resistencia CBR con 6% de CAL



Fuente: Elaboración propia.

CBR Muestra Adicionando 9% de Cal Hidratada:

Tabla 27. Datos de la Muestra con 9% de CAL

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Und			
Peso del Molde	g	7698	7860	7760
Volumen del Molde	g	2103	2107	2109
P. Húmedo+Molde	g	11852	12265	12405
Peso Suelo Húmedo	g	4154	4405	4645
Peso Suelo Seco	g	3825	4057	4276
Peso Agua	g	329	348	369
Humedad	%	8.6	8.6	8.6

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Densidad Húmeda y Seca

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	1.975	2.091	2.202
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.819	1.925	2.027

Fuente: Elaboración propia.

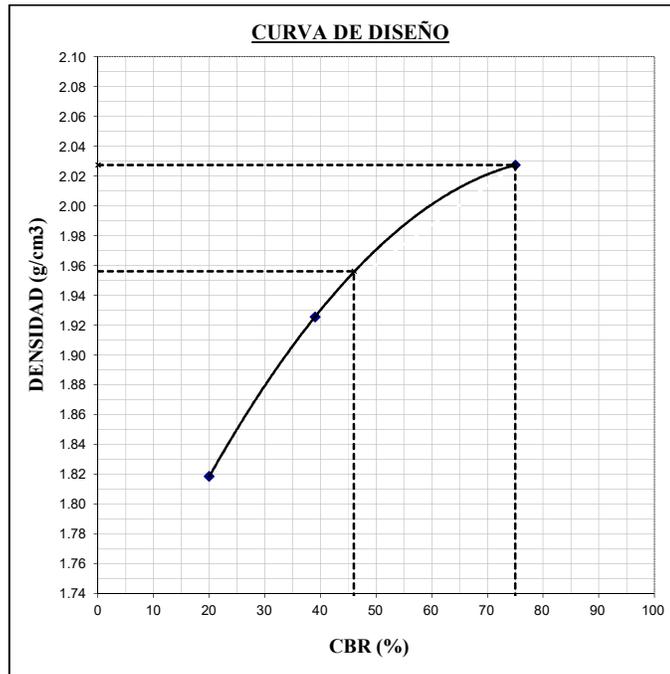
Tabla 29. Resultados de Resistencia CBR con 9% de CAL

Penetración		N° Golpes 12				N° Golpes 26				N° Golpes 56					
		Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección		CBR (%)	Lect.		Corrección	CBR (%)
		mm.	pulg.	Dial	lbs.		lb. /plg ²	Dial	lbs.	lb. /plg ²		Dial	lbs.		
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0			
0.635	0.025	80.2	176.8	58.9		159	351	117		100	219.4	73.1			
1.270	0.050	166.4	366.8	122		304	671	224		289	637.8	213			
1.905	0.075	226.7	499.8	167		423	933	311		548	1208	403			
2.540	0.100	267.3	589.3	196	20	524	1156	385	39.0	842	1857	619	75		
3.810	0.150	331.8	731.5	244		677	1492	497		1328	2928	976			
5.080	0.200	377.2	831.6	277		794	1750	583		1650	3637	1212			
6.350	0.250	413.3	911.2	304		882	1945	648		1890	4166	1389			
7.620	0.300	444.9	980.8	327		948	2090	697		2089	4605	1535			

Fuente: Elaboración propia.

Nuestro CBR con adición de Cal Hidratada al 9 % alcanzo un 75% y evidenciamos que empieza a bajar, esto quiere decir que ya no hay necesidad de aumentar porque no conseguiremos aumentar más la resistencia

Tabla 30. Grafica Resistencia CBR con 9% de CAL



Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIÓN

- Nuestra principal discusión es si el suelo puede ser mejorado y como, para ello se estudió muchos antecedentes, bibliografía y poder dar una opción, en este caso llamado “Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021”.
- El problema nace de observar la realidad de nuestras vías urbanas, locales en la ciudad de Arequipa, Distrito de Characato, donde actualmente se está utilizando bastante el pavimento articulado, y este tiene fallas a nivel de asentamientos, erosión, compactación, resistencia, es así que nace la problemática y se genera el intercambio de ideas para dar posibles soluciones y este tipo de pavimento pueda llegar a la durabilidad proyectada o diseñada, ya que este pavimento ha demostrado buenos resultados como capa de rodadura, mas no en la sub rasante, sub base y base, que es donde identificamos está el mayor problema.
- Parte de la discusión es poder conocer cuánto puede llegar a mejorar nuestra base granular, como cuantificaremos esa mejora, que ensayos se tiene como herramientas para analizar la resistencia y cuál es el idóneo. Para hacer posible todo ello también existió trabajos previos, que fueron parte de una planificación durante nuestra investigación, como el transporte, el laboratorio, los ensayos previos para conocer propiedades físicas de nuestra base, todo esto en correlación de nuestra Norma Técnica Peruana y normas internacionales como la ASTM y AASHTO

VI. CONCLUSIÓN

- Conclusión General, la Cal Hidratada si mejora la resistencia del suelo, en nuestro caso la base granular, extraída en la cantera de Characato para pavimento articulado, esto fue demostrado con ensayos de laboratorio, utilizando el CBR (Californian Bearing Ratio), ya que este ensayo es el normado para cuantificar la resistencia del suelo en pavimentos, nos arrojó resultados positivos, donde se verifica el CBR natural de 28 % y que llega a subir como máximo en 77 %, este incremento máximo de la resistencia de la base granular es en 275%.
- Se determinó también que el aporte de la Cal, mejora la resistencia en suelos arenosos - limosos y no solamente a las arcillas, ya que toda la bibliografía nos habla de las bondades en cuanto a suelos arcillosos. Nuestra muestra al tener un porcentaje alto de Limos, tuvo una buena reacción con la Cal hidratada, nuestro análisis define que el suelo con presencia de limos en Characato es un buen candidato a estabilizarse con Cal Hidratada.
- Por otro lado, el presupuesto para implementar una partida de mejora con Cal Hidratada es accesible, ya que el costo es bajo y más si es por cantidad, además la Cal Hidratada es un material comercial fácil de adquirir y su procedimiento constructivo es sencillo, ya que se puede usar la maquinaria convencional existente que poseen la mayoría de constructoras.
- Se cuantifica que el porcentaje ideal, para adicionar a nuestro suelo es 6%, ya que con este se alcanzó la máxima resistencia de 77% que es bastante, aunque no llegue al mínimo por norma que sería 80% para vías locales según norma CE 010 de Pavimentos Urbanos.
- A pesar que por poco no se llegó a la resistencia mínima de la norma EG 2013, cabe resaltar que el suelo no fue mejorado con grava, ya que se quiso explorar si era capaz de estabilizar un suelo mal gradado, lejos del rango de granulometría ASTM D 1241. La muestra que tomamos de la cantera en Characato necesitaba agregar grava.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda, que la granulometría de una base o sub base, para ser mejorada con CAL, no debe estar por mucho fuera del rango de granulometría que indica la norma EG-2013 y ASTM D1241
- También sugerimos que un suelo (base granular) mejorado con Cal optimiza y alarga el uso en los caminos vecinales y vías urbanas de pavimentos articulados, apoyando que sea más usado este agente estabilizador en las diferentes capas de la estructura de un pavimento articulado, para mayor resistencia de acuerdo a lo mencionado en las distintas normas vigentes tales como los manuales del Ministerio de Transportes y el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Recomendamos que sigan investigando en tesis, con suelos que contengan limos para corroborar que la CAL también tiene un aporte considerable en la resistencia, durabilidad y permeabilidad, existen muchas canteras en la ciudad de Arequipa y se puede identificar cuales poseen agregados propicios para ser mejorados con el agente en mención y profundizar más en conocer su comportamiento y propiedades.
- En resumen, la hipótesis planteada es verdadera, ya que la incorporación de cal hidratada, agregada en un porcentaje óptimo, con respecto al peso seco del suelo nos da mejoras regulares, mejorando así las propiedades mecánicas de la base granular para ser usado en la estructura de un pavimento articulado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGULO ROLDAN, M. y ZAVALETA PAPA, C., 2020. *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el mejoramiento de las propiedades físico – mecánicas como capa de rodadura en la prolongación navarro cauper, distrito san juan – maynas – iquitos, 2019* [en línea]. S.I.: Universidad científica del Perú. Disponible en: <https://cutt.ly/JWEJhqz>
- ARAUJO NAVARRO, W., 2014. *Ecuaciones de correlación del CBR con propiedades índice de suelos para la ciudad de Piura* [en línea]. S.I.: Universidad de Piura. Disponible en: <https://cutt.ly/9WEJkYT>
- ARENAS PRADO, G. y ROSAS CASA, L., 2019. *Mejoramiento de las propiedades mecánicas de la subrasante incorporando cal hidratada, vía de acceso, distrito Santa Ana de Tusi, Pasco-2019* [en línea]. S.I.: César Vallejo. Disponible en: <https://cutt.ly/cWEJINY>
- ASOCIACION ESPAÑOLA DE CARRETERAS (AEC), 2014. Construyendo Caminos. *Revista Especializada en Ingeniería de Pavimentos* [en línea], pp. 1-70. Disponible en: <https://cutt.ly/QWEJQAS>
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO, 2015. Pautas metodológicas para el desarrollo de alternativas de pavimentos en la formulación y evaluación social de proyectos de inversión pública de carreteras. . S.I.:
- CABANA VALVERDE, M., 2017. *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*. S.I.: César Vallejo.
- CE.020, N.M., 2012. *CE.020 ESTABILIZACIÓN DE SUELOS Y TALUDES*. 2012. S.I.: s.n. ISBN 0500240000629.
- CENTRO HERRERA, 2018. Cales. [en línea]. S.I.: Disponible en: <https://cutt.ly/rWEJR1d>

- CHAMBI HILAJE, R., MOLERO LOVÓN, S. y PAUCARA VILCA, P., 2017. *Plan de negocios para la implementación de una fábrica de adoquines de concreto en la ciudad de Arequipa* [en línea]. S.I.: Universidad Esan.
 Disponible en: <https://cutt.ly/uWEJU7s>
- DANIEL S. BEHAR RIVERO, 2008. *Introducción a la metodología de la investigación: parte I Y II*. A. Rubeira. Praia - Cabo Verde: s.n.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE PLANEACION, 2017. Construcción de pavimento rígido en vías urbanas de bajo tránsito 12. [en línea], pp. 1-36.
 Disponible en: <https://cutt.ly/YWEJO8e>
- FERNANDEZ BAUTISTA, E. y VELASQUEZ BURITICA, A., 2020. *ANÁLISIS DE LA RESISTENCIA DE UNA BASE GRANULAR REEMPLAZANDO SU MATERIAL FINO POR CENIZA DE CASCARILLA DE ARROZ* [en línea]. S.I.: Asesor técnico Ing. MARIA PAULA SALAZAR SUSUNAGA M Sc. Asesor metodológico PAOLO ANDRÉS JIMÉNEZ OLIVEROS Ph. D UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBIA SECCIONAL ALTO MAGDALENA.
 Disponible en: <https://cutt.ly/kWEJARf>
- GERARDO, F. y OD, A., 2012. *EL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN 6a EDICIÓN*. 6ta. Caracas - Venezuela: s.n. ISBN 9800785299.
- GÓMES PÉREZ, L., GUILLÍN ACOSTA, W. y GALLARDO AMAYA, R., 2016. Variación de las propiedades mecánicas de suelos arcillosos compresibles estabilizados con material cementante. [en línea], vol. 20, pp. 95-107.
 DOI <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.tecnura.2016.2.a07> Investlgación.
 Disponible en: <https://cutt.ly/qWEJJVZ>
- GÓMEZ ORÉ, P., 2018. *Análisis de ciclo de vida de los pavimentos urbanos en Arequipa aplicando la metodología ISO 14040* [en línea]. S.I.: Católica de Santa María.
 Disponible en: <https://cutt.ly/uWEJLDz>
- GUERRERO BACA Y FRANCISCO JAVIER SORIA LÓPEZ, 2019. ESTABILIZACIÓN DE SUELOS CON CAL Y PUZOLANAS. *publicacionescientificas.fadu.uba.ar*, vol. 6, no. Optimización del Material, pp. 283.
- INSTITUTO PROVINCIAL DE VIVIENDA Y URBANISMO, 2006. Características del pavimento articulado. *CONSEJO NACIONAL DE LA VIVIENDA* [en línea], vol.

20, pp. 38-42.

Disponible en: <https://cutt.ly/pWEJXoE>

JOSÉ LOZADA, 2016. Investigación Aplicada : Definición , Propiedad Intelectual e Industria. *Ciencia américa*, vol. 1, no. 3, pp. 34-39.

KUMAR TALUKDAR, D., 2014. A Study of Correlation Between California Bearing Ratio (CBR) Value With Other Properties of Soil. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering* [en línea], vol. 4, no. 1, pp. 559-562.

Disponible en: <https://cutt.ly/ZQ7AYVa>.

LLANOS SANCHEZ, A. y REYES PÉREZ, S., 2017. *Estudio comparativo de los ensayos California Bearing Ratio (CBR) de laboratorio y penetración dinámica de cono (PDC) en la localidad de Pícsi* [en línea]. S.I.: Universidad de Sipán. Disponible en: <https://cutt.ly/1Q7Pabr>.

LLERENA NÚÑEZ, H., 2015. *Mejoramiento de una base granular superficial con cloruro de magnesio hexahidratado*. S.I.: San Agustín.

LÓPEZ MALDONADO, G., 2020. Ensayos de compactación en carreteras : Proctor Normal y Modificado. [en línea]. Valencia, España, 2020. pp. 1-8.

Disponible en: <https://cutt.ly/ZQ3f8Cw>.

LÓPEZ SUMARRIVA, J. y ORTIZ PINARES, G., 2018. *Estabilización de suelos arcillosos con cal para el tratamiento de la subrasante en las calles de la urbanización San Luis de la ciudad de Abancay* [en línea]. S.I.: Universidad Tecnológica de los Andes.

Disponible en: <https://cutt.ly/DWEJN8v>

MALONE VÁSQUEZ, C., 2019. *Niveles de severidad de las fallas en el pavimento articulado de la av. Huáscar, av. Manco Cápac, av. Pachacútec y av. Wiracocha del complejo Qhapac ñan, Cajamarca 2016* [en línea]. S.I.: Privada del Norte.

Disponible en: <https://cutt.ly/BWEJ0GR>

MINISTERIO DE OABRAS PÚBLICAS Y COMUNICACIONES, 2015. LICITACIÓN PÚBLICA NACIONAL DE FIRMAS CONSTRUCTORAS PARA PAVIMENTACION DE ACCESO AL PUERTO DON JOAQUIN, CAPITAN MEZA - ITAPUA. [en línea]. Asunción-Paraguay:

Disponible_en: <https://cutt.ly/tWEKO7A>

- MONJARÁS A., BAZÁN A., PACHECO Z., RIVERA J., ZAMARRIPA J., C.C., 2019. Research designs | Diseños de investigación. *Dermatología Revista Mexicana*, vol. 15, no. 15, pp. 119-122.
- MONTEJO FONSECA, A., 2002. *PRESENTACIÓN* [en línea]. segunda ed. Bogota - Colombia: s.n. ISBN 9589603629.
Disponible en: <https://cutt.ly/uWEJ6sY>
- MTC E-101, 2016. *MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES 2016*. 2016. S.I.: s.n.
- NACIONAL LIME ASSOCIATION, 2004. Manual de estabilización de suelo tratado con cal. . Estados Unidos:
- PALLI APAZA, E., 2015. *Guía básica para estabilización de suelos con cal en caminos de baja intensidad vehicular en la provincia de San Román* [en línea]. S.I.: Universidad Nacional del Altiplano.
Disponible en: <https://cutt.ly/QWEKwtV>
- PARRA GOMEZ, M., 2018. *ESTABILIZACION DE UN SUELO CON CAL Y CENIZA VOLANTE* [en línea]. S.I.: Universidad la catolica de colombia.
Disponible en: <https://cutt.ly/fWEKeDW>
- PEDRO CHRISTIAN, A., JAVIER, M., RICARDO, V. y CARLOS, M., 2014. Validez y Confiabilidad en Investigación Odontológica. *International journal of odontostomatology*, vol. 8, no. 1, pp. 69-75. ISSN 0718-381X. DOI 10.4067/s0718-381x2014000100009.
- PEDRO LUIS LÓPEZ, 2004. Población Muestra Y Muestreo. *Punto Cero*, vol. 09, no. 08, pp. 69-74. ISSN 1815-0276.
- PÉREZ ARDILA, W.Y. y TORRES VALENZUELA, J., 2015. *Estudio de la cal y el cloruro de sodio como agentes estabilizadores de suelos arcillosos en propiedades como la resistencia y expansividad*. S.I.: s.n.
- PÉREZ GARCÍA, N., PÉREZ SALAZAR, A. y GARNICA ANGUAS, P., 2019. *Evaluación del óxido de calcio (estabilical) como estabilizador de suelos* [en línea]. S.I.: INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.
Disponible en: <https://cutt.ly/yWEKflj>
- RNE - CE.010 PAVIMENTOS URBANOS, 2010. Norma técnica- CE.010 pavimentos urbanos. [en línea]. Perú:
Disponible en: <https://cutt.ly/0WEKjmu>

- RODRÍGUEZ ECHEVERRÍA, M., 2002. Reglamento técnico de la cal para tratamiento de agua. [en línea]. San Jose:
Disponibile en: <https://cutt.ly/DWEKlyA>
- RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ, J. y REGUANT ÁLVAREZ, M., 2020. Calcular la fiabilidad de un cuestionario o escala mediante el SPSS: el coeficiente alfa de Cronbach. *REIRE Revista d'Innovació i Recerca en Educació* [en línea], vol. 13, pp. 1-13.
Disponibile en: <https://cutt.ly/kWlptKM>.
- RODRÍGUEZ VÁSQUEZ, R., 2018. Evaluación de la resistencia de suelos con Penetrómetro Dinámico de Cono (DCP) y Relación de Soporte California (CBR) in situ, Laredo-Trujillo 2018. [en línea].
Disponibile en: <https://cutt.ly/iWEKxwb>
- RUCKS, L., GARCÍA, F., KAPLÁN, A., PONCE DE LEÓN, J. y HILL, M., 2004. Propiedades Físicas del Suelo. [en línea]. Montevideo - Uruguay:
Disponibile en: <https://cutt.ly/8WEKclj>
- SANCHEZ ALBÁN, M., 2014. *Estabilización de suelos expansivos con cal y cemento en el sector calcical del cantón tosagua provincia de manabí* [en línea]. S.I.: Pontificia universidad católica del Ecuador.
Disponibile en: <https://cutt.ly/MWEKvN4>
- TACCA HUARACCA, J., 2021. *Estabilización de suelo arcilloso con adición de cal para el mejoramiento de la subrasante, Vía de evitamiento, Abancay – Apurímac, 2021* [en línea]. S.I.: César Vallejo.
Disponibile en: <https://cutt.ly/0WEKnQr>

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de consistencia

TÍTULO: “Mejoramiento en la resistencia de la base granular con cal en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021”

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL ¿Cómo la cal mejorara la resistencia de la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa ,2021?	OBJETIVO GENERAL Mejorar la resistencia en la base granular del pavimento articulado Characato, Arequipa ,2021.	HIPOTESIS GENERAL Con la aplicación de la cal se mejora la resistencia de la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.	VARIABLE DEPENDIENTE: Mejoramiento de la resistencia.	•Resistencia	• CBR	Método de investigación: método experimental Tipo de investigación: Investigación Aplicativo Enfoque de investigación: Cuantitativo Nivel de investigación: Descriptivo Diseño de investigación: Experimental Método general: Científico.
PROBLEMA ESPECIFICO N° 1 ¿Cuáles son las propiedades físicas de nuestro suelo natural (base granular) en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021?	OBJETIVO ESPECÍFICO N° 1 Analizar el aporte de la cal en las propiedades físicas en la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.	HIPOTESIS ESPECÍFICO N° 1 La cal contribuye favorablemente en las propiedades físicas en la base granular del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.		• Propiedades físicas	• Granulometría • Contenido de humedad • Limites (LL-LP)	
PROBLEMA ESPECIFICO N° 2 ¿Cuál es la densidad máxima, humedad optima e índice de resistencia de nuestro suelo natural (base granular) en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021?	OBJETIVO ESPECÍFICO N° 2 Identificar en nuestro suelo (base granular) la densidad máxima, humedad optima e índice de resistencia del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021	HIPOTESIS ESPECÍFICO N° 2 Un correcto procedimiento de los ensayos determinara la densidad máxima, humedad optima e índice de resistencia del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.		VARIABLE INDEPENDIENTE: Adición de porcentaje optimo de cal	• Propiedades físicas	
PROBLEMA ESPECIFICO N° 3 ¿Qué porcentaje óptimo de cal debe usarse para mejorar la resistencia en la base granular del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021?	OBJETIVO ESPECÍFICO N° 3 Definir el porcentaje óptimo de cal que debe usarse para mejorar la resistencia en la base granular del pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021	HIPOTESIS ESPECÍFICO N° 3 Adicionando el porcentaje optimo cal se mejorará la resistencia de la base granular en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021.	• Prop. física y mecánica		• Proctor modificado • CBR (cal)	Población: Pavimento articulado en el distrito de Characato. Muestra: Las muestras de suelo (base granular) Técnicas e instrumentos: Técnica Observación directa no participante. Instrumentos: Resultados de laboratorio.

**Anexo 02:
Panel Fotográfico**

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 01	
Descripción: Vía Characato en preparación de base para puesta de pavimento articulado	
	
Foto N° 02	
Descripción: Extracción de suelo base granular como muestra de prueba estudio	

Figura 40. Panel fotográfico general de Investigación.

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 03	
Descripción: Cantera para extracción de material base	
	
Foto N° 04	
Descripción: Excavación de base para estudio de muestra	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 05	
Descripción: Preparación mediante cuarteo del material	
	
Foto N° 06	
Descripción: Proporción de mezcla para hallar % de humedad optima	

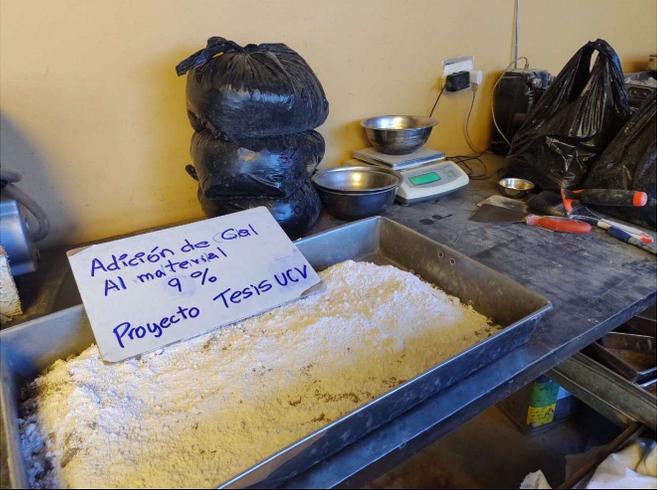
PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 07	
Descripción: Secado en el horno para hallar humedad optima	
	
Foto N° 08	
Descripción: Ensayo de laboratorio análisis de granulometría por tamizado	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
Foto N° 09	
Descripción: Vía characato en preparación de base para puesta de pavimento articulado	
Foto N° 10	
Descripción: Extracción de suelo base granular como muestra de prueba estudio	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 11	
Descripción: Peso de Proctor modificado	
	
Foto N° 12	
Descripción: Preparado de moldes para CBR sin cal	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 13	
Descripción: Ensayo de laboratorio en golpes para CBR sin cal	
Foto N° 14	
Descripción: Saturación de los CBR sin cal	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 15	
Descripción: Adición de cal en porcentajes diferentes de 3% - 6% - 9%	
	
Foto N° 16	
Descripción: Material base adicionado y mezclado al 3% con cal	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 17	
Descripción: Material base adicionado y mezclado con 6% de cal	
	
Foto N° 18	
Descripción: Material base adicionado y mezclado con 9% de cal	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 19	
Descripción: Ensayos CBR en los porcentajes establecidos	
	
Foto N° 20	
Descripción: Saturación de CBR (3%, 6% y 9%) de acuerdo a norma	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 21	
Descripción: Ensayo penetración del molde en maquina calibrada	
	
Foto N° 22	
Descripción: Ensayo penetración del molde CBR con 3% de cal	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 23	
Descripción: Extracción de saturación y pruebas ya colocadas por CBR	
	
Foto N° 24	
Descripción: Pesos de cada muestra CBR para análisis correspondiente	

PANEL FOTOGRÁFICO	
TESIS	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
AUTORES	Arque Cari, Magdiel Fernando Estefanero Pérez, Leonardo Damian
	
Foto N° 25	
Descripción: Ejemplo de pesos CBR con adición de cal al 9%	
	
Foto N° 26	
Descripción: Ensayo penetración del molde CBR con 3% - 6% - 9% de cal	

Certificado : TC - 17146 - 2020

Página : 2 de 5

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Dos Termómetros Digitales Incertidumbre 0,028 °C SAT S.A.C.	Termómetro Digital -200 °C a 1 372 °C	LT - 263 - 2020 LT - 264 - 2020 LT - 265 - 2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Temperatura de Trabajo	Posición del Controlador	Tiempo de Calentamiento	Tiempo de Estabilización	Porcentaje de carga	Tipo de Carga / Muestra
120 °C ± 5 °C	120	60 min	140 min	60 %	Recipiente metálico con muestra.

Tiempo (hh:mm)	Termómetro Homo (°C)	Temperaturas en las Posiciones de Medición (°C)										Tprom ⁽¹⁾ (°C)	Tmax - Tmin (°C)
		Nivel Superior					Nivel Inferior						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
00:00	120,0	122,2	120,7	123,7	117,6	118,3	117,2	118,6	117,0	120,6	122,9	119,9	6,7
00:02	120,0	122,1	120,5	123,9	117,5	118,5	117,2	118,8	117,0	120,2	122,7	119,9	6,9
00:04	120,0	122,1	120,5	123,7	117,7	118,4	117,3	118,7	117,1	120,3	122,7	119,8	6,6
00:06	120,0	122,1	120,3	123,6	117,7	118,3	117,4	118,6	117,2	120,5	122,9	119,8	6,4
00:08	120,0	121,9	120,2	124,1	117,5	118,1	117,1	118,4	116,9	120,3	122,8	119,7	7,3
00:10	120,0	121,9	120,1	123,3	117,3	118,1	116,7	118,4	116,5	120,0	122,4	119,5	6,8
00:12	120,0	121,6	120,0	123,1	117,0	117,9	116,5	118,2	116,3	119,6	122,0	119,2	6,8
00:14	120,0	121,5	119,9	122,6	116,9	118,0	116,3	118,3	116,1	119,6	121,9	119,1	6,5
00:16	120,0	122,0	120,0	123,0	117,2	117,6	116,8	117,9	116,6	119,9	122,1	119,3	6,4
00:18	120,0	121,8	120,5	122,7	117,2	118,1	116,8	118,4	116,6	119,7	121,9	119,4	6,1
00:20	120,0	122,1	120,7	122,7	117,4	118,3	117,1	118,6	116,9	120,2	122,9	119,7	6,1
00:22	120,0	122,3	121,0	123,0	117,2	118,3	117,1	118,6	116,9	120,6	122,7	119,8	6,1
00:24	120,0	122,5	120,9	122,7	117,7	118,5	117,0	118,8	116,8	120,4	123,1	119,8	6,3
00:26	120,0	122,2	120,2	122,8	117,6	118,2	117,0	118,5	116,8	120,1	122,4	119,6	6,0
00:28	120,0	121,4	119,9	122,2	117,1	118,1	116,4	118,4	116,2	119,7	122,1	119,1	6,0
00:30	120,0	121,9	120,0	122,4	117,0	118,1	116,5	118,4	116,3	119,6	121,7	119,2	6,1
00:32	120,0	121,9	120,5	123,0	117,4	118,3	117,0	118,6	116,8	120,1	122,2	119,6	6,3
00:34	120,0	122,4	120,5	122,4	117,7	118,2	116,8	118,5	116,6	120,5	122,9	119,6	6,4
00:36	120,0	121,9	120,2	123,2	117,4	118,6	116,9	118,9	116,7	120,0	122,3	119,6	6,6
00:38	120,0	121,9	120,3	122,8	117,4	118,5	116,5	118,8	116,3	120,1	122,5	119,5	6,5
00:40	120,0	122,0	120,5	122,9	117,4	118,7	116,7	119,0	116,5	120,3	122,5	119,7	6,4
00:42	120,0	122,0	120,6	123,2	117,6	118,7	116,8	119,0	116,6	120,2	122,4	119,7	6,5
00:44	120,0	121,7	120,1	122,6	117,3	118,5	116,6	118,8	116,4	119,8	121,9	119,4	6,3
00:46	120,0	122,1	120,4	122,3	117,3	118,4	116,6	118,7	116,4	119,8	122,2	119,4	5,9
00:48	120,0	122,4	120,8	122,2	117,5	118,5	116,9	118,8	116,7	120,4	122,7	119,7	6,0
00:50	120,0	122,2	121,2	122,7	117,8	118,9	117,1	119,2	116,9	120,5	122,9	120,0	6,0
00:52	120,0	122,8	121,0	122,5	117,8	118,8	117,2	119,1	117,0	120,7	122,8	120,0	5,8
00:54	120,0	122,6	120,8	122,6	117,9	119,2	117,0	119,5	116,8	120,7	123,1	120,0	6,3
00:56	120,0	122,7	121,2	123,4	118,0	119,2	117,3	119,5	117,1	120,8	123,3	120,3	6,2
00:58	120,0	122,9	121,3	123,1	118,2	119,5	117,5	119,8	117,3	121,0	123,0	120,3	5,8
01:00	120,0	122,9	121,4	122,8	118,2	119,4	117,5	119,7	117,3	120,9	123,3	120,3	6,0
T. PROM ⁽¹⁾	120,0	122,1	120,5	123,0	117,5	118,5	116,9	118,8	116,7	120,2	122,6		
T. MAX ⁽¹⁾	120,0	122,9	121,4	124,1	118,2	119,5	117,5	119,8	117,3	121,0	123,3		
T. MIN ⁽¹⁾	120,0	121,4	119,9	122,2	116,9	117,6	116,3	117,9	116,1	119,6	121,7		
DTT ⁽³⁾	0,0	1,5	1,5	2,0	1,3	1,9	1,2	1,9	1,2	1,4	1,6		



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

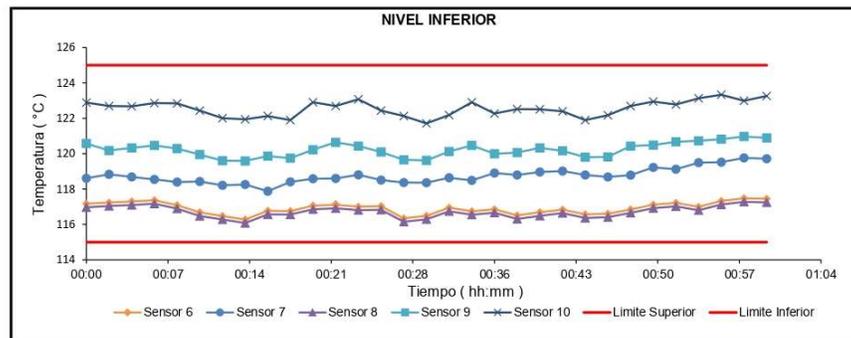
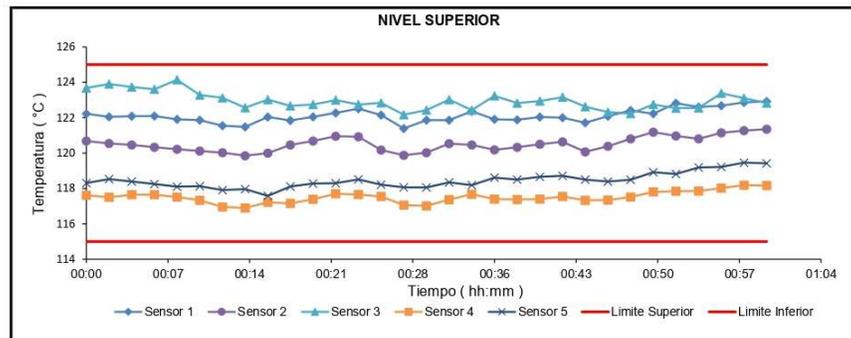
(01) 262 9536
(51) 988 901 065

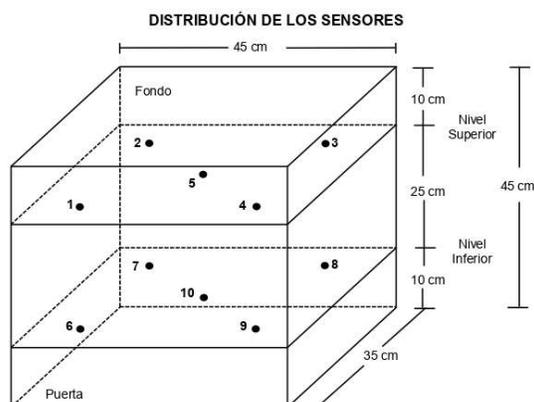
informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

RESULTADOS DE MEDICIÓN

Parámetro	Valor (°C)	Incertidumbre Expandida (°C)
Máxima Temperatura Medida	124,1	0,6
Mínima Temperatura Medida	116,1	0,3
Desviación Temperatura en el Tiempo	2,0	0,1
Desviación Temperatura en el Espacio	6,2	0,2
Estabilidad Medida (±)	0,98	0,04
Uniformidad Medida	7,3	0,4

GRAFICO DE TEMPERATURA DE LOS SENSORES





Los sensores 5 y 10 están ubicados en el centro de sus respectivos niveles.
 Los sensores del 1 al 5 están ubicados a 0 cm por encima de la parrilla superior.
 Los sensores del 6 al 10 están ubicados a 1,5 cm por debajo de la parrilla inferior.
 Los sensores del 1 al 4 y del 6 al 9 están ubicados a 6 cm de las paredes laterales y a 6 cm del frente y fondo del equipo.

FOTOGRAFÍA DEL MEDIO ISOTERMO



Certificado : TC - 17146 - 2020

Página : 5 de 5

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado.

[1] T. PROM: Promedio de las temperaturas en una posición de medición durante el tiempo de calibración.

[2] T prom: Promedio de las temperaturas en las doce posiciones de medición para un instante dado.

[3] Tmax: Temperatura máxima.

[4] Tmin: Temperatura mínima.

[5] DTT: Desviación de Temperatura en el Tiempo.

Para cada posición de medición su "**desviación de temperatura en el tiempo**" DTT está dada por la diferencia entre la máxima y la mínima temperatura registradas en dicha posición.

Incertidumbre expandida de las indicaciones del termómetro propio de Medio Isotermo: 0,1 °C

La Uniformidad es la máxima diferencia medida de temperatura entre las diferentes posiciones espaciales para un mismo instante de tiempo.

La Estabilidad es considerada igual a $\pm \frac{1}{2}$ máx. DTT.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura $k=2$ que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO



Jr. Condesa de Lemos Nº117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

Figura 41. Certificado de Calibración TC – 17146 - 2020
Fuente: (Test & Control, 2021)

Anexo 04:
Certificados de calibración del laboratorio LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016



CERTIFICADO DE CALIBRACION

TC - 17134 - 2020

PROFORMA : 5759A Fecha de emisión : 2020-12-22

SOLICITANTE : LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.

Dirección : CAL UCAYALI MZA. J1 LOTE. 8 LAS MALVINAS AREQUIPA - AREQUIPA - CAYMA

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : BALANZA

Tipo : ELECTRÓNICA

Marca : OHAUS

Modelo : SPJ6001

N° de Serie : B346002347

Capacidad Máxima : 6000 g

Resolución : 0,1 g

División de Verificación : 0,1 g

Clase de Exactitud : II

Capacidad Mínima : 10 g

Procedencia : CHINA

N° de Parte : No Indica

Identificación : No Indica

Ubicación : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
PAVIMENTO Y CONCRETO

Variación de ΔT Local : 3 °C

Fecha de Calibración : 2020-12-16

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

LUGAR DE CALIBRACIÓN

Instalaciones de LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN

La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-011 "Procedimiento para la Calibración de Balanzas de Funcionamiento No Automático Clase I y II". Cuarta Edición - Abril 2010. SNM - INDECOPI.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Pauca
Gerente Técnico
CFP: 0316

PGC-16-r08/ Diciembre 2019/Rev.04

Página : 1 de 3



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

Certificado de Calibración
TC - 17134 - 2020

TRAZABILIDAD

Trazabilidad	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de DM-INACAL	Juego de Pesas 1 mg a 1 kg Clase de Exactitud E2	LM-C-143-2020 Julio 2020
Patrones de Referencia de DM-INACAL	Juego de Pesas 1 kg a 5 kg Clase de Exactitud F1	LM-C-133-2020 Julio 2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCION VISUAL

Ajuste de Cero	Tiene	Escala	No Tiene
Oscilación Libre	Tiene	Cursor	No Tiene
Plataforma	Tiene	Nivelación	Tiene
Sistema de Traba	No Tiene		

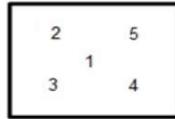
ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	24,9 °C	25,1 °C
Humedad Relativa	32 %	33 %

Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Medición N°	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)
1	3 000,00	3 000,0	0,05	0,00	1	6 000,00	6 000,0	0,06	-0,01
2		3 000,0	0,05	0,00	2		6 000,1	0,08	0,07
3		3 000,0	0,05	0,00	3		6 000,0	0,06	-0,01
4		2 999,9	0,04	-0,09	4		6 000,1	0,08	0,07
5		3 000,0	0,06	-0,01	5		6 000,1	0,08	0,07
6		3 000,1	0,09	0,06	6		6 000,0	0,05	0,00
7		3 000,0	0,05	0,00	7		6 000,0	0,05	0,00
8		2 999,9	0,03	-0,08	8		6 000,0	0,06	-0,01
9		3 000,0	0,06	-0,01	9		6 000,0	0,06	-0,01
10		3 000,0	0,06	-0,01	10		6 000,0	0,06	-0,01
Emáx - Emin (g)				0,15	Emáx - Emin (g)				0,08
error máximo permitido (±g)				0,10	error máximo permitido (±g)				0,20



Certificado de Calibración
TC - 17134 - 2020



ENSAYO DE EXCENTRICIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	24,9 °C	25,0 °C
Humedad Relativa	33 %	33 %

N°	Determinación de Error Eo				Determinación de Error Corregido Ec				e.m.p. (±g)	
	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	Eo (g)	Carga (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)		Ec (g)
1	1,00	1,0	0,07	-0,02	2 000,00	2 000,0	0,07	-0,02	0,00	0,10
2		1,0	0,07	-0,02		1 999,9	0,04	-0,09	-0,07	
3		1,0	0,07	-0,02		1 999,9	0,04	-0,09	-0,07	
4		1,0	0,07	-0,02		2 000,0	0,07	-0,02	0,00	
5		1,0	0,07	-0,02		2 000,0	0,06	-0,01	0,01	

ENSAYO DE PESAJE

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	25,2 °C	25,3 °C
Humedad Relativa	34 %	34 %

Carga (g)	Crecientes				Decrecientes				e.m.p. (±g)
	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	I (g)	ΔL (g)	E (g)	Ec (g)	
1,00	1,0	0,07	-0,02						
10,00	10,0	0,07	-0,02	0,00	10,0	0,07	-0,02	0,00	0,10
50,00	50,0	0,07	-0,02	0,00	50,0	0,06	-0,01	0,01	0,10
200,00	200,0	0,06	-0,01	0,01	200,0	0,06	-0,01	0,01	0,10
500,00	500,0	0,06	-0,01	0,01	499,9	0,04	-0,09	-0,07	0,10
1 000,00	1 000,0	0,06	-0,01	0,01	999,9	0,04	-0,09	-0,07	0,10
2 000,00	2 000,0	0,05	0,00	0,02	1 999,9	0,04	-0,09	-0,07	0,10
3 000,00	3 000,0	0,05	0,00	0,02	3 000,0	0,05	0,00	0,02	0,10
4 000,00	4 000,1	0,08	0,07	0,09	4 000,0	0,05	0,00	0,02	0,10
5 000,02	5 000,0	0,05	-0,02	0,00	5 000,0	0,05	-0,02	0,00	0,10
6 000,02	6 000,1	0,08	0,05	0,07	6 000,1	0,08	0,05	0,07	0,20

Donde:

I : Indicación de la balanza
R : Lectura de la balanza posterior a la calibración (g)
ΔL : Carga adicional
E : Error del instrumento
Eo : Error en cero
Ec : Error corregido

LECTURA CORREGIDA E INCERTIDUMBRE DE LA BALANZA

Lectura Corregida	:	$R_{\text{corregida}} = R - 9,74 \times 10^{-6} \times R$
Incertidumbre Expandida	:	$U_R = 2 \times \sqrt{4,17 \times 10^{-3} \text{ g}^2 + 1,94 \times 10^{-10} \times R^2}$

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de certificado. La indicación de la balanza fue de 5 994,1 g para una carga de valor nominal 6000 g.

INCERTIDUMBRE

La incertidumbre expandida que resulta de multiplicar la incertidumbre típica combinada por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO



Anexo 05:
Certificados de calibración del laboratorio LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.



LABORATORIO DE CALIBRACIÓN ACREDITADO POR
EL ORGANISMO PERUANO DE ACREDITACIÓN
INACAL - DA CON REGISTRO N° LC - 016



CERTIFICADO DE CALIBRACION

TC - 17132 - 2020

PROFORMA : 5759A Fecha de emisión : 2020-12-22

SOLICITANTE : LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.
Dirección : CAL.UCAYALI MZA. J1 LOTE. 8 LAS MALVINAS AREQUIPA - AREQUIPA - CAYMA

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN : **BALANZA**
Tipo : ELECTRÓNICA
Marca : OHAUS
Modelo : R21PE30ZH
N° de Serie : B83557860167
Capacidad Máxima : 30 kg
Resolución : 0,01 kg
División de Verificación : 0,01 kg
Clase de Exactitud : III
Capacidad Mínima : 0,2 kg
Procedencia : USA
Identificación : No Indica
Ubicación : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS,
PAVIMENTO Y CONCRETO
Variación de ΔT Local : 9 °C
Fecha de Calibración : 2020-12-16

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Instalaciones de LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados.

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
La calibración se realizó por comparación directa entre las indicaciones de lectura de la balanza y las cargas aplicadas mediante pesas patrones según procedimiento PC-001 "Procedimiento para la Calibración de Instrumentos de Pesaje de Funcionamiento No Automático Clase III y IIII". Primera Edición - Mayo 2019. DM - INACAL.

Los resultados son válidos solamente para el ítem sometido a calibración, no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316



Certificado de Calibración
TC - 17132 - 2020

TRAZABILIDAD

Trazabilidad	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 100 mg a 1 kg Clase de Exactitud M2	TC-5069-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 2 kg Clase de Exactitud M2	TC-5071-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 5 kg Clase de Exactitud M2	TC-5072-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 10 kg Clase de Exactitud M2	TC-5073-2020 Mayo 2020
Patrones de Referencia de TEST & CONTROL	Juego de Pesas 20 kg Clase de Exactitud M2	TC-5075-2020 Mayo 2020

RESULTADOS DE MEDICIÓN

INSPECCION VISUAL

Ajuste de Cero	Tiene	Escala	No Tiene
Oscilación Libre	Tiene	Cursor	No Tiene
Plataforma	Tiene	Nivelación	Tiene
Sistema de Traba	No Tiene		

ENSAYO DE REPETIBILIDAD

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	26,6 °C	26,9 °C
Humedad Relativa	38 %	37 %

Medición N°	Carga (kg)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)	Medición N°	Carga (kg)	I (kg)	ΔL (g)	E (g)
1	15	15,00	6	-1	1	30	30,00	6	-1
2		15,01	8	7	2		30,00	5	0
3		15,00	6	-1	3		30,00	5	0
4		15,00	6	-1	4		29,99	4	-9
5		14,99	4	-9	5		30,00	5	0
6		15,00	7	-2	6		30,00	5	0
7		15,00	5	0	7		30,01	8	7
8		14,99	3	-8	8		30,01	8	7
9		15,00	7	-2	9		30,00	5	0
10		15,00	8	-3	10		30,00	5	0
Emax - Emin (g)				16	Emax - Emin (g)				16
e.m.p. ± (g)				20	e.m.p. ± (g)				30



Anexo 06:
Certificados de calibración del laboratorio LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.



SISTEMA DE GESTIÓN DE LA CALIDAD
NTP ISO / IEC 17025:2017

CERTIFICADO DE CALIBRACIÓN
TC - 17133 - 2020

PROFORMA : 5759A Fecha de emisión: 2020 - 12 - 22 Página : 1 de 2

SOLICITANTE: LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.
Dirección : Cal.Ucayali Mza. J1 Lote. 8 Las Malvinas Arequipa-Arequipa-Cayma

INSTRUMENTO DE MEDICIÓN: PRESNA CBR - MARSHALL
Marca : FORNEY
Modelo : 7691F
N° de Serie : SN 3064
Intervalo de Indicación : NO INDICA
División de Escala : 0,1 kg
Procedencia : NO INDICA
Fecha de Calibración : 16/12/2020
Ubicación : LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS, PAVIMENTO Y CONCRETO

TEST & CONTROL S.A.C. es un Laboratorio de Calibración y Certificación de equipos de medición basado a la Norma Técnica Peruana ISO/IEC 17025.

TEST & CONTROL S.A.C. brinda los servicios de calibración de instrumentos de medición con los más altos estándares de calidad, garantizando la satisfacción de nuestros clientes.

LUGAR DE CALIBRACIÓN
Instalaciones de LAB CONSULT INGENIERIA E.I.R.L.

Este certificado de calibración documenta la trazabilidad a los patrones nacionales o internacionales, de acuerdo con el Sistema Internacional de Unidades (SI).

MÉTODO DE CALIBRACIÓN
La calibración se efectuó por comparación directa utilizando el PIC-023 " Procedimiento para la Calibración de Prensas, celdas y anillos de carga".

Con el fin de asegurar la calidad de sus mediciones se le recomienda al usuario recalibrar sus instrumentos a intervalos apropiados de acuerdo al uso.

CONDICIONES AMBIENTALES

Magnitud	Inicial	Final
Temperatura	27,0 °C	25,5 °C
Humedad Relativa	30,3 % HR	32,9 % HR

Los resultados en el presente documento no deben ser utilizados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.

TEST & CONTROL S.A.C. no se responsabiliza de los perjuicios que puedan ocurrir después de su calibración debido a la mala manipulación de este instrumento, ni de una incorrecta interpretación de los resultados de la calibración declarados en el presente documento.

El presente documento carece de valor sin firma y sello.

Lic. Nicolás Ramos Paucar
Gerente Técnico
CFP: 0316



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

Certificado : TC - 17133 - 2020
Página : 2 de 2

TRAZABILIDAD

Patrón de Referencia	Patrón de Trabajo	Certificado de Calibración
Balanza de Presión Clase de Exactitud 0,005 DM-INACAL	Manómetro de 0 bar a 700 bar Clase de Exactitud 0,05	LAT 093 146620P

RESULTADOS DE MEDICIÓN

RESULTADOS			
INDICACIÓN DEL EQUIPO BAJO CALIBRACIÓN (kgf)	VALOR CONVENCIONALMENTE VERDADERO (kgf)	CORRECCIÓN (%)	INCERTIDUMBRE (%)
883,9	882,1	-0,20	0,1
1043,6	1041,9	-0,16	0,1
1264,0	1262,3	-0,13	0,1
1529,3	1526,3	-0,20	0,1

Valor Convencionalmente Verdadero = Indicación del Equipo a calibrar + Corrección

OBSERVACIONES

Con fines de identificación de la calibración se colocó una etiqueta autoadhesiva con el número de Certificado.

DECLARACIÓN DE LA INCERTIDUMBRE EXPANDIDA U

La incertidumbre expandida se ha obtenido multiplicando la incertidumbre típica de medición por el factor de cobertura k=2 que, para una distribución normal, corresponde a una probabilidad de cobertura de aproximadamente el 95%.

FIN DEL DOCUMENTO



Jr. Condesa de Lemos N°117
San Miguel, Lima

(01) 262 9536
(51) 988 901 065

informes@testcontrol.com.pe
www.testcontrol.com.pe

Figura 44. Certificado de Calibración TC – 17134 - 2020
Fuente: (Test & Control, 2021)

Anexo 07: Cuestionarios de validez del instrumento

CUESTIONARIO DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

TITULO DE TESIS	:	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
Apellidos y Nombres de los Investigadores	:	Estefanero Pérez, Leonardo Damián Arque Cari, Magdiel Fernando

Apellidos y Nombres del experto	:	COLLA SUPO ISMAEL		
Profesión	:	ING. CIVIL	CIP:	71173

Estimado Experto: La presente encuesta corresponde a un estudio de investigación sobre el Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado. La encuesta no es anónima, por lo que le solicitamos su sinceridad en sus respuestas.

Instrucción:

Valores marcando con una "X" según el indicador mostrado debajo, para poder evaluar a los instrumentos utilizados en el proyecto de investigación "Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado" según la escala del 1 al 5, donde 1 es (totalmente en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (indeciso), 4 (de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo).

N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	¿En su experiencia profesional cree usted que es importante realizar fichas de recolección de datos para la validación de algún instrumento?					X
2	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de análisis granulométrico por tamizado debe realizarse según las normas ASTM D – 422 y/o MTC E 107 para obtener excelentes resultados?				X	
3	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la adición de cal a la base granular de un pavimento debe realizarse según las normas AASHTO T 220-66 2004 y/o MTC E 1108 para obtener excelentes resultados?				X	
4	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite líquido debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 110 para obtener excelentes resultados?				X	
5	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite plástico debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 111 para obtener excelentes resultados?				X	
6	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de Proctor Modificado debe realizarse según las normas ASTM D – 1557 – MTC E 115 para obtener excelentes resultados?					X
7	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que los ensayos para determinar el CBR de suelos en laboratorio debe realizarse según las normas ASTM D 1883 – MTC E 132 para obtener excelentes resultados?				X	
8	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el planteamiento de comparación de adición de cal en diferentes porcentajes será ideal para encontrar la resistencia óptima en la base granular del pavimento?					X

Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Indeciso	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5


ISMAEL COLLA SUPE
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 71173 REG. CONSULTA 13657
SELLO Y FIRMA DEL ESPECIALISTA

Figura 45. Validación de instrumento experto 1

CUESTIONARIO DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

TITULO DE TESIS	:	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
Apellidos y Nombres de los Investigadores	:	Estefanero Pérez, Leonardo Damián Arque Cari, Magdiel Fernando

Apellidos y Nombres del experto	:	FLORES BRACAMONTE PAULO CESAR		
Profesión	:	ING. CIVIL	CIP:	128611

Estimado Experto: La presente encuesta corresponde a un estudio de investigación sobre el Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado. La encuesta no es anónima, por lo que le solicitamos su sinceridad en sus respuestas.

Instrucción:

Valores marcando con una "X" según el indicador mostrado debajo, para poder evaluar a los instrumentos utilizados en el proyecto de investigación "Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado" según la escala del 1 al 5, donde 1 es (totalmente en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (indeciso), 4 (de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo).

N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	¿En su experiencia profesional cree usted que es importante realizar fichas de recolección de datos para la validación de algún instrumento?				X	
2	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de análisis granulométrico por tamizado debe realizarse según las normas ASTM D – 422 y/o MTC E 107 para obtener excelentes resultados?				X	
3	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la adición de cal a la base granular de un pavimento debe realizarse según las normas AASHTO T 220-66 2004 y/o MTC E 1108 para obtener excelentes resultados?				X	
4	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite líquido debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 110 para obtener excelentes resultados?			X		
5	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite plástico debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 111 para obtener excelentes resultados?				X	
6	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de Proctor Modificado debe realizarse según las normas ASTM D – 1557 – MTC E 115 para obtener excelentes resultados?				X	
7	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que los ensayos para determinar el CBR de suelos en laboratorio debe realizarse según las normas ASTM D 1883 – MTC E 132 para obtener excelentes resultados?			X		
8	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el planteamiento de comparación de adición de cal en diferentes porcentajes será ideal para encontrar la resistencia óptima en la base granular del pavimento?				X	

Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Indeciso	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5


 Ing. CIP. PAULO CESAR FLORES BRACAMONTE
 Registro 128611 - CIVIL

SELLO Y FIRMA DEL ESPECIALISTA

Figura 46. Validación de instrumento experto 2

CUESTIONARIO DE VALIDEZ DEL INSTRUMENTO

TITULO DE TESIS	:	Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Characato, Arequipa, 2021
Apellidos y Nombres de los Investigadores	:	Estefanero Pérez, Leonardo Damián Arque Cari, Magdiel Fernando

Apellidos y Nombres del experto	:	Rosas Torres Jesús		
Profesión	:	Ingeniero Civil	CIP:	47264

Estimado Experto: La presente encuesta corresponde a un estudio de investigación sobre el Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado. La encuesta no es anónima, por lo que le solicitamos su sinceridad en sus respuestas.

Instrucción:

Valores marcando con una "X" según el indicador mostrado debajo, para poder evaluar a los instrumentos utilizados en el proyecto de investigación "Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado" según la escala del 1 al 5, donde 1 es (totalmente en desacuerdo), 2 (en desacuerdo), 3 (indeciso), 4 (de acuerdo) y 5 (totalmente de acuerdo).

N°	Preguntas	1	2	3	4	5
1	¿En su experiencia profesional cree usted que es importante realizar fichas de recolección de datos para la validación de algún instrumento?					X
2	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de análisis granulométrico por tamizado debe realizarse según las normas ASTM D – 422 y/o MTC E 107 para obtener excelentes resultados?				X	
3	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la adición de cal a la base granular de un pavimento debe realizarse según las normas AASHTO T 220-66 2004 y/o MTC E 1108 para obtener excelentes resultados?				X	
4	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite líquido debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 110 para obtener excelentes resultados?				X	
5	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que la determinación del límite plástico debe realizarse según las normas ASTM D – 4318 – MTC E 111 para obtener excelentes resultados?				X	
6	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el ensayo de Proctor Modificado debe realizarse según las normas ASTM D – 1557 – MTC E 115 para obtener excelentes resultados?					X
7	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que los ensayos para determinar el CBR de suelos en laboratorio debe realizarse según las normas ASTM D 1883 – MTC E 132 para obtener excelentes resultados?				X	
8	¿De acuerdo a su experiencia profesional cree usted que el planteamiento de comparación de adición de cal en diferentes porcentajes será ideal para encontrar la resistencia óptima en la base granular del pavimento?					X

Totalmente en desacuerdo	1
En desacuerdo	2
Indeciso	3
De acuerdo	4
Totalmente de acuerdo	5


 Jesús V. Rosas Torres
 INGENIERO CIVIL
 C.I.P 47264

SELLO Y FIRMA DEL ESPECIALISTA

Figura 47. Validación de instrumento experto 3

Anexo 08: Resultados de ensayos en laboratorio 2021.

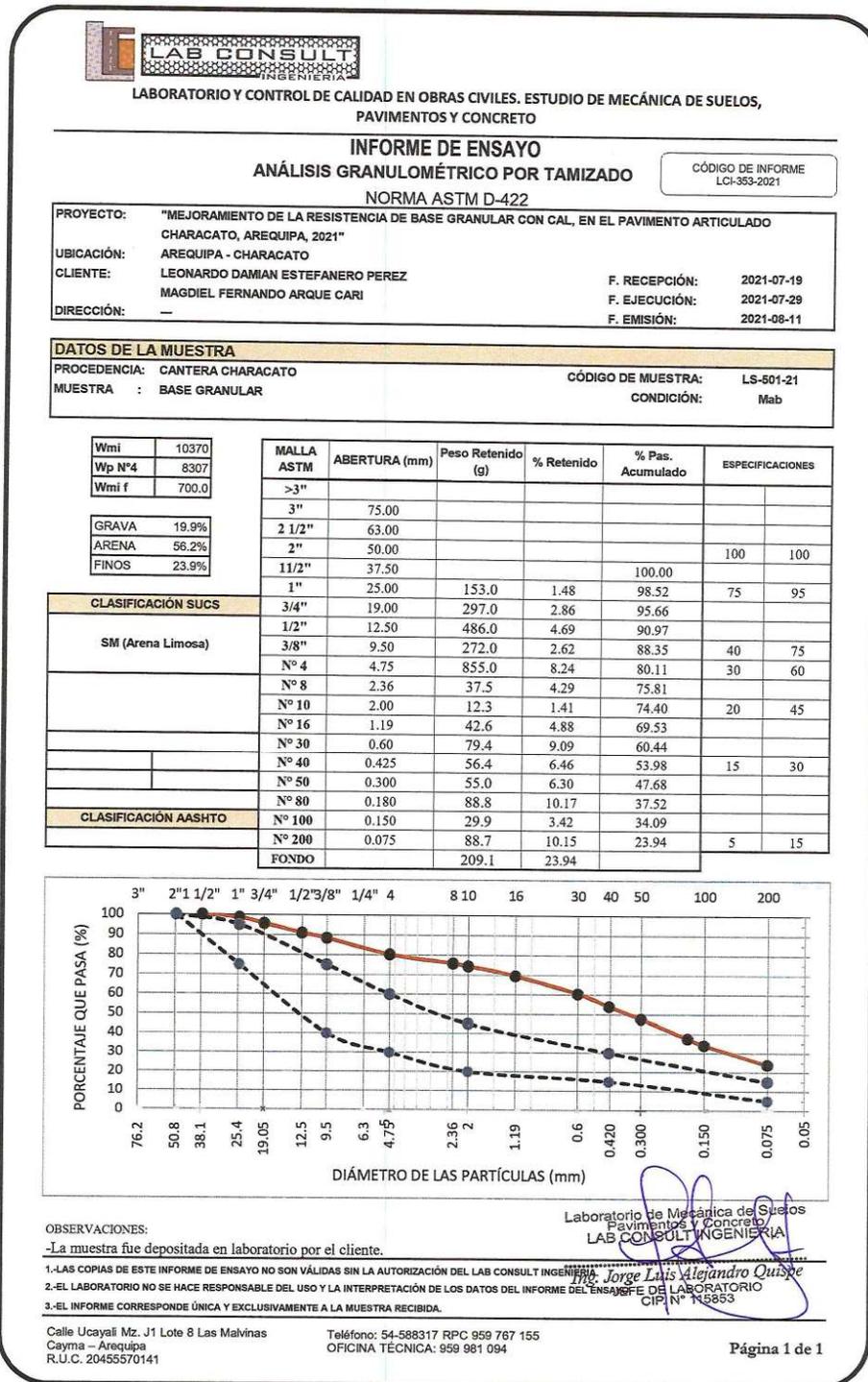


Figura 48. Determinación de análisis granulométrico de los suelos.
Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

**INFORME DE ENSAYO
CONTENIDO DE HUMEDAD
NORMA ASTM D-2216**

CÓDIGO DE INFORME
LCI-353-2021

PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"		
UBICACIÓN:	AREQUIPA - CHARACATO		
CLIENTE:	LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ	F. RECEPCIÓN:	2021-07-19
	MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI	F. EJECUCIÓN:	2021-07-29
DIRECCIÓN:	---	F. EMISIÓN:	2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA:	CANTERA CHARACATO	CÓDIGO DE MUESTRA:	LS-501-21
MUESTRA :	BASE GRANULAR	CONDICIÓN:	Mab

CONTENIDO DE HUMEDAD	
DESCRIPCIÓN	
PESO SUELO HÚMEDO + CÁPSULA (g)	10590
PESO SUELO SECO + CÁPSULA (g)	10370
PESO DEL AGUA (g)	220
PESO DE LA CÁPSULA (g)	0
PESO NETO DEL SUELO SECO (g)	10370
PORCENTAJE DE HUMEDAD %	2.1

Laboratorio de Mecánica de Suelos
Pavimentos y Control de Calidad
LAB CONSULT INGENIERIA
.....
Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
JEFE DE LABORATORIO
DIP. N° 115853

OBSERVACIONES:

-La muestra fue depositada en laboratorio por el cliente.

1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.

2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.

3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las
Malvinas
Cayma - Arequipa
R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
Email. laboratoriolpse@labconsult.pe

Página 1 de 1

Figura 49. Determinación de contenido de humedad de los suelos.
Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

INFORME DE ENSAYO
COMPACTACION MODIFICADO
 NORMA ASTM D-1557

CÓDIGO DE INFORME
 LCI-353-2021

PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"		
UBICACIÓN:	AREQUIPA - CHARACATO		
CLIENTE:	LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ	F. RECEPCIÓN:	2021-07-19
	MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI	F. EJECUCIÓN:	2021-07-29
DIRECCIÓN:	---	F. EMISIÓN:	2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA	
PROCEDENCIA:	CANTERA CHARACATO
CÓDIGO DE MUESTRA:	LS-501-21
MUESTRA :	BASE GRANULAR
CONDICIÓN:	Mab

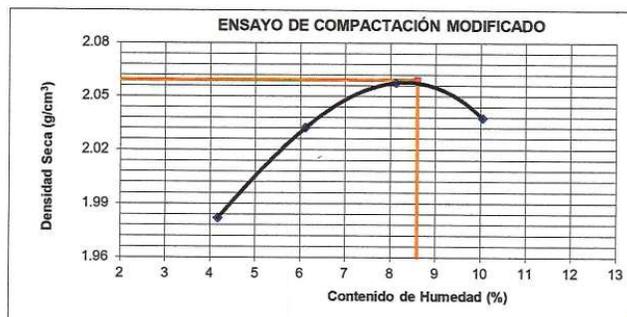
TIPO	C
PESO MARTILLO kg	4,54
Nº DE CAPAS	5
GOLPES POR CAPA	56

MOLDE METÁLICO	
PESO DEL MOLDE	6405 g
DIMENSIONES	DIAM. 15,24 cm ALTURA 11,64 cm
VOLUMEN DEL MOLDE	2107,7 cm ³

ENSAYO	Nº	1	2	3	4
Peso Suelo Húmedo + Molde	g	10756	10950	11094	11131
Peso del Suelo Húmedo	g/cm ³	4351	4545	4689	4726
Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.064	2.156	2.225	2.242

HUMEDAD	Nº	1	2	3	4
Peso de Cápsula	g	0.0	0.0	0.0	0.0
Peso de Cápsula + Suelo Húmedo	g	787.5	786.1	645.4	698.8
Peso del Suelo Seco + Cápsula	g	756.0	740.8	596.9	635.0
Peso del Suelo Húmedo	g	787.5	786.1	645.4	698.8
Peso del Suelo Seco	g	756.0	740.8	596.9	635.0
Peso del Agua	g	31.5	45.3	48.5	63.8
Humedad	%	4.17	6.12	8.13	10.05
Contenido de Humedad	%	4.17	6.12	8.13	10.05
Densidad Seca	g/cm ³	1.982	2.032	2.058	2.038

Densidad Seca Máxima : 2.059 g/cm³ Humedad Óptima : 8.6 %



OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.- LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.- EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.- EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
 Cayma - Arequipa
 R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
 OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
 Email. laboratoriospc@labconsult.pe

Laboratorio de Mecánica de Suelos
 Pavimentos y Concreto
LAB CONSULT INGENIERIA
 Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
 JEFE DE LABORATORIO
 CR. N° 115853

Página 1 de 1

Figura 50. Determinación de Proctor Modificado de los suelos.
 Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

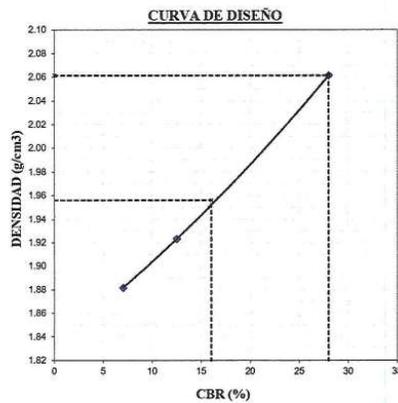
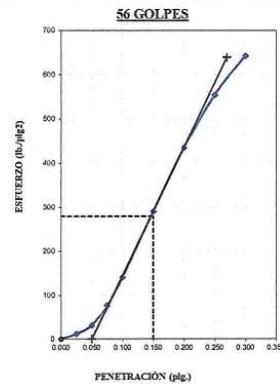
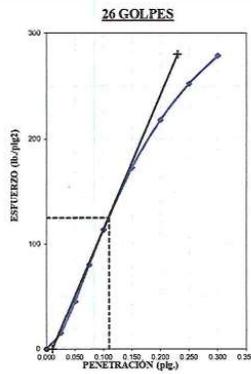
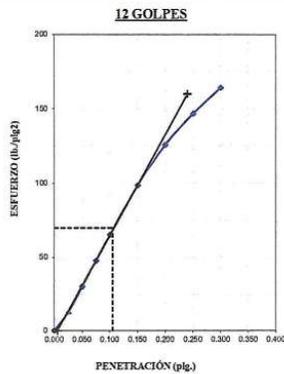
INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
 NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
 LCI-353-2021

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"
 UBICACIÓN: AREQUIPA - CHARACATO
 CLIENTE: LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ
 MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI
 DIRECCIÓN: ---
 F. RECEPCIÓN: 2021-07-19
 F. EJECUCIÓN: 2021-07-29
 F. EMISIÓN: 2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA: CANTERA CHARACATO
 MUESTRA : BASE GRANULAR
 CÓDIGO DE MUESTRA: LS-501-21
 CONDICIÓN: Mab



DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA MÁXIMA : 2.059 g/cm³
 HUMEDAD ÓPTIMA : 8.6 %

100% de la Densidad Seca Máxima : 2.061 g/cm³

CBR PARA EL 100% 28.0 %

95% de la Densidad Seca Máxima: 1.956 g/cm³

CBR PARA EL 95% DSM 16.0 %

Laboratorio de Mecánica de Suelos
 Pavimentos y Control de Calidad
 LAB CONSULT INGENIERIA

Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
 JEFE DE LABORATORIO
 CR. N° 115853

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
 Cayma - Arequipa
 R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
 OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
 Email. laboratoriospc@labconsult.pe



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
LCI-353-2021

PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"	F. RECEPCIÓN:	2021-07-19
UBICACIÓN:	AREQUIPA - CHARACATO	F. EJECUCIÓN:	2021-07-29
CLIENTE:	LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI	F. EMISIÓN:	2021-08-11
DIRECCIÓN:	---		

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA:	CANTERA CHARACATO	CÓDIGO DE MUESTRA:	LS-501-21
MUESTRA :	BASE GRANULAR	CONDICIÓN:	Mab

DATOS DE LA PRENSA CBR	TRANSDUCTOR: ZEMIC	ALCANCE:	5000 kg
	Serial : 5.0T M2C0991-20	FECHA DE CALIBRACION:	16/12/2020

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Unidad			
Peso del Molde	g	7698	7860	7760
Volumen del Molde	g	2103	2109	2106
P. Húmedo+Molde	g	11977	12246	12454
Peso Suelo Húmedo	g	4279	4386	4694
Peso Suelo Seco	g	3958	4056	4341
Peso Agua	g	321	330	353
Humedad	%	8.1	8.1	8.1

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.035	2.080	2.229
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.882	1.923	2.061

Altura	11.62 cm.	11.71 cm.	11.81 cm.
Expansión	0 cm.	0 cm.	0 cm.
% de expansión	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Penetración	Nº Golpes 12					Nº Golpes 26					Nº Golpes 56				
	mm.	pulg.	Lect.		CBR	Lect.	Corrección		CBR	Lect.	Corrección		CBR		
			Dial	Corrección			Dial	Corrección			Dial	Corrección			
0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
0.635	0.025	16.8	37.04	12.35	20.8	46	15.29		16	34.172	11.39				
1.270	0.050	40.9	90.17	30.06	62.3	137	45.78		42	93.035	31.01				
1.905	0.075	64.9	143.1	47.69	109.7	242	80.62		105	231.04	77.01				
2.540	0.100	88.7	195.5	65.18	154.8	341	113.8	12.5	192	422.41	140.8	28			
3.810	0.150	134.3	296.1	98.69	235.3	519	172.9		396	872.15	290.7				
5.080	0.200	171.3	377.7	125.9	296.7	654	218		593	1306.5	435.5				
6.350	0.250	199.7	440.3	146.8	343.3	757	252.3		755	1663.4	554.5				
7.620	0.300	223.4	492.5	164.2	379.4	836	278.8		875	1929	643				
10.160	0.400														
12.700	0.500														

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.

2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.

3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Laboratorio de Mecánica de Suelos
Pavimentos y Concreto
LAB CONSULT INGENIERIA

Ing. Jorge Luis Alejandro Quijpe
JEFE DE LABORATORIO
CIP. N° 115853

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
Cayma - Arequipa
R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
Email. laboratoriospc@labconsult.pe

Página 2 de 2

Figura 51. Determinación de CBR al suelo natural.
Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

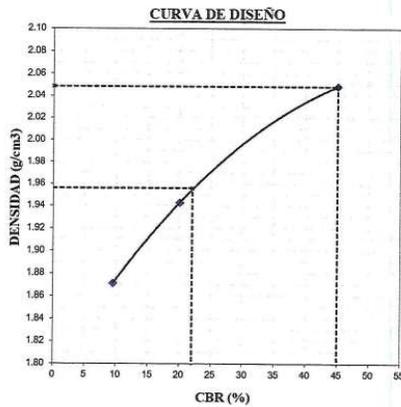
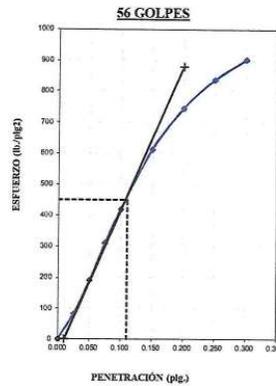
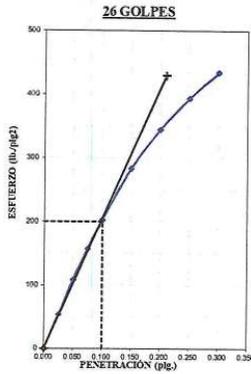
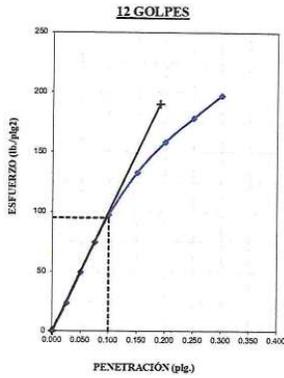
INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
 NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
 LCI-353-2021

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"
 UBICACIÓN: AREQUIPA - CHARACATO
 CLIENTE: LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ
 DIRECCIÓN: ---
 F. RECEPCIÓN: 2021-07-19
 F. EJECUCIÓN: 2021-08-07
 F. EMISIÓN: 2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDECENCIA: CANTERA CHARACATO
 MUESTRA : BASE GRANULAR MEJORADA CON 3% DE CAL
 CÓDIGO DE MUESTRA: LS-501-21
 CONDICIÓN: Mab



DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA MÁXIMA : 2.059 g/cm³
 HUMEDAD ÓPTIMA : 8.6 %

100% de la Densidad Seca Máxima : 2.049 g/cm³

CBR PARA EL 100% 45.0 %

95% de la Densidad Seca Máxima: 1.956 g/cm³

CBR PARA EL 95% DSM 22.0 %

Laboratorio de Mecánica de Suelos
 Pavimentos y Concreto
 LAB CONSULT INGENIERIA
 Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
 JEFE DE LABORATORIO
 CIP. N° 115853

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
 Cayma - Arequipa
 R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
 OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
 Email. laboratoriospc@labconsult.pe



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
 NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
 LCI-353-2021

PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"		
UBICACIÓN:	AREQUIPA - CHARACATO		
CLIENTE:	LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ	F. RECEPCIÓN:	2021-07-19
	MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI	F. EJECUCIÓN:	2021-07-29
DIRECCIÓN:	---	F. EMISIÓN:	2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA:	CANTERA CHARACATO	CÓDIGO DE MUESTRA:	LS-501-21
MUESTRA :	BASE GRANULAR MEJORADA CON 3% DE CAL	CONDICIÓN:	Mab

DATOS DE LA PRENSA CBR	TRANSDUCTOR : ZEMIC	ALCANCE : 5000 kg
	Serial : 5.0T M2C0091-20	FECHA DE CALIBRACION: 16/12/2020

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Unidad			
Peso del Molde	g	8641	8616	8706
Volumen del Molde	g	2106	2120	2115
P. Húmedo+Molde	g	12921	13089	13411
Peso Suelo Húmedo	g	4280	4473	4705
Peso Suelo Seco	g	3941	4119	4332
Peso Agua	g	339	354	373
Humedad	%	8.6	8.6	8.6

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.032	2.110	2.225
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.871	1.943	2.049

Altura	11.62 cm.	11.71 cm.	11.81 cm.
Expansión	0 cm.	0 cm.	0 cm.
% de expansión	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Penetración	Nº Golpes 12					Nº Golpes 26					Nº Golpes 56				
	mm.	pulg.	Lect.	Corrección		CBR (%)	Lect.	Corrección		CBR (%)	Lect.	Corrección		CBR (%)	
			Dial	lbs.	lb./plg ²			Dial	lbs.			lb./plg ²	Dial		lbs.
0.000	0.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0.635	0.025	32.3	71.21	23.74		72.3	159	53.13		111	245.37	81.79			
1.270	0.050	67.2	148.2	49.38		147.2	325	108.2		260	572.54	190.8			
1.905	0.075	101.2	223.1	74.37		213.2	470	156.7		423	933	311			
2.540	0.100	132.7	292.6	97.52	9.5	275.3	607	202.3	20.0	571	1259.5	419.8	45		
3.810	0.150	180.6	398.2	132.7		385.4	850	283.2		833	1837.3	612.4			
5.080	0.200	215.5	475.1	158.4		469.1	1034	344.7		1014	2236.1	745.4			
6.350	0.250	242.7	535.1	178.4		535.4	1180	393.5		1140	2512.6	837.5			
7.620	0.300	268.3	591.5	197.2		591.3	1304	434.5		1228	2707.7	902.6			
10.160	0.400														
12.700	0.500														

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.- LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.- EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.- EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Laboratorio de Mecánica de Suelos
 Pavimentos y Concreto
 LAB CONSULT INGENIERIA

Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
 JEFE DE LABORATORIO
 C.R. N° 115853

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
 Cayma - Arequipa
 R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
 OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
 Email: laboratoriospc@labconsult.pe

Figura 52. Determinación de CBR con 3% de Cal adicionado.
 Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

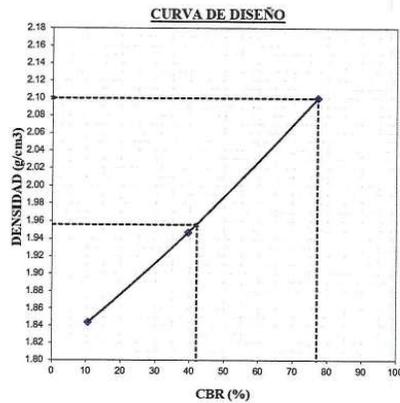
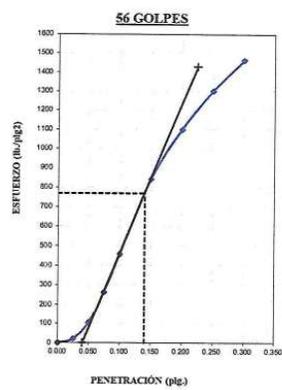
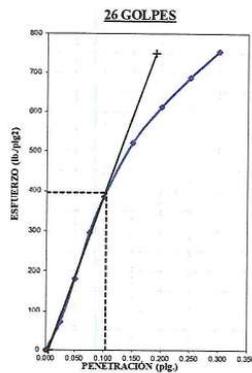
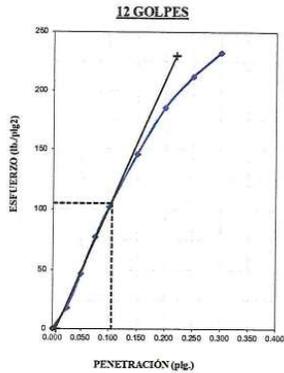
INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
 NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
 LCI-353-2021

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"
 UBICACIÓN: AREQUIPA - CHARACATO
 CLIENTE: LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ
 MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI
 DIRECCIÓN: ---
 F. RECEPCIÓN: 2021-07-19
 F. EJECUCIÓN: 2021-08-07
 F. EMISIÓN: 2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA: CANTERA CHARACATO
 MUESTRA : BASE GRANULAR MEJORADA CON 6% DE CAL
 CÓDIGO DE MUESTRA: LS-501-21
 CONDICIÓN: Mab



DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA MÁXIMA : 2.059 g/cm³
 HUMEDAD ÓPTIMA : 8.6 %

100% de la Densidad Seca Máxima : 2.100 g/cm³

CBR PARA EL 100% : 77.0 %

95% de la Densidad Seca Máxima: 1.956 g/cm³

CBR PARA EL 95% DSM : 42.0 %

Laboratorio de Mecánica de Suelos
 Pavimentos y Concreto
 LAB CONSULT INGENIERIA
 Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
 JEFE DE LABORATORIO
 CIR. N° 115853

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.
- 1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
 Cayma - Arequipa
 R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
 OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
 Email. laboratoriospc@labconsult.pe



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
LCI-353-2021

PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"		
UBICACIÓN:	AREQUIPA - CHARACATO		
CLIENTE:	LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ	F. RECEPCIÓN:	2021-07-19
	MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI	F. EJECUCIÓN:	2021-08-07
DIRECCIÓN:	---	F. EMISIÓN:	2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA:	CANTERA CHARACATO	CÓDIGO DE MUESTRA:	LS-501-21
MUESTRA :	BASE GRANULAR MEJORADA CON 6% DE CAL	CONDICIÓN:	Mab

DATOS DE LA PRESNA CBR	TRANSDUCTOR : ZEMIC	ALCANCE :	5000 kg
	Serial : 5.0T M2C0091-20	FECHA DE CALIBRACION:	16/12/2020

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Unidad			
Peso del Molde	g	8577	8566	8634
Volumen del Molde	g	2103	2109	2106
P. Húmedo+Molde	g	12789	13025	13435
Peso Suelo Húmedo	g	4212	4459	4801
Peso Suelo Seco	g	3878	4106	4422
Peso Agua	g	334	353	379
Humedad	%	8.6	8.6	8.6

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	2.003	2.115	2.280
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.844	1.947	2.100

Altura	11.62 cm.	11.71 cm.	11.81 cm.
Expansión	0 cm.	0 cm.	0 cm.
% de expansión	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Penetración		Nº Golpes 12				Nº Golpes 26				Nº Golpes 56			
		Lect.	Corrección		CBR	Lect.	Corrección		CBR	Lect.	Corrección		CBR
mm.	pulg.	Dial	lbs.	lb./plg ²	(%)	Dial	lbs.	lb./plg ²	(%)	Dial	lbs.	lb./plg ²	(%)
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0	
0.635	0.025	25.1	55.34	18.45		96.3	212	70.77		28	62.391	20.8	
1.270	0.050	63.7	140.4	46.81		245.4	541	180.3		142	312.17	104.1	
1.905	0.075	104.5	230.4	76.79		401.4	885	295		359	791.46	263.8	
2.540	0.100	138.6	305.6	101.9	10.5	522.8	1153	384.2	39.5	623	1373.5	457.8	77
3.810	0.150	198.6	437.8	145.9		708.3	1562	520.5		1146	2527.2	842.4	
5.080	0.200	252.1	555.8	185.3		832.5	1835	611.8		1497	3299.7	1100	
6.350	0.250	288.5	636	212		936.3	2064	688.1		1770	3902.8	1301	
7.620	0.300	316.4	697.5	232.5		1028	2266	755.2		1991	4389.8	1463	
10.160	0.400												
12.700	0.500												

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Laboratorio de Mecánica de Suelos
Pavimentos y Concreto
LAB CONSULT INGENIERIA

Ing. Jorge Luis Alejandro Ocaspe
JEFE DE LABORATORIO
CIR N° 115853

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
Cayma - Arequipa
R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
Email. laboratoriospc@labconsult.pe

Página 2 de 2

Figura 53. Determinación de CBR con 6% de Cal adicionado.
Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

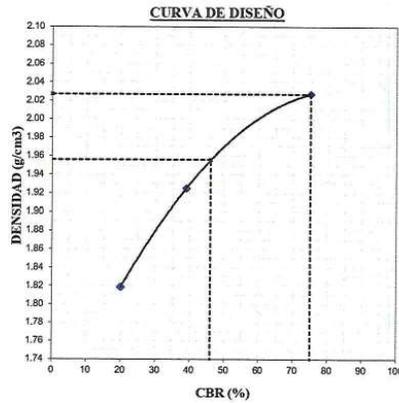
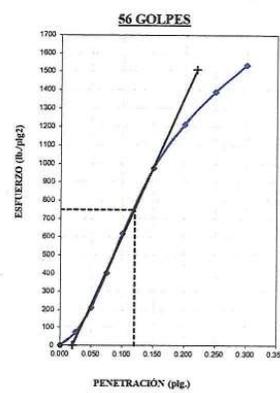
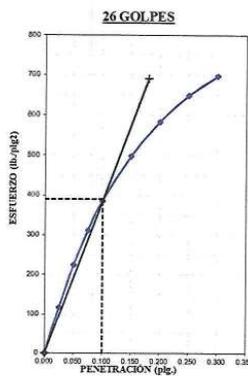
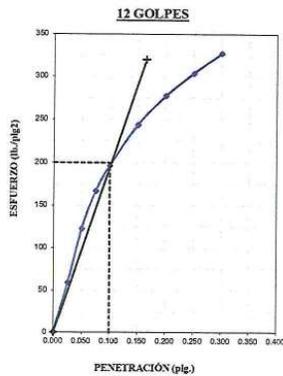
INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
LCI-353-2021

PROYECTO: "MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"
UBICACIÓN: AREQUIPA - CHARACATO
CLIENTE: LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ
MAGDIEL FERNANDO ARQUE CARI
DIRECCIÓN: ---
F. RECEPCIÓN: 2021-07-19
F. EJECUCIÓN: 2021-08-07
F. EMISIÓN: 2021-08-11

DATOS DE LA MUESTRA

PROCEDENCIA: CANTERA CHARACATO
MUESTRA : BASE GRANULAR MEJORADA CON 9% DE CAL
CÓDIGO DE MUESTRA: LS-501-21
CONDICIÓN: Mab



DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA MÁXIMA : 2.059 g/cm³
HUMEDAD ÓPTIMA : 8.6 %

100% de la Densidad Seca Máxima : 2.027 g/cm³

CBR PARA EL 100% 75.0 %

95% de la Densidad Seca Máxima: 1.956 g/cm³

CBR PARA EL 95% DSM 46.0 %

Laboratorio de Mecánica de Suelos
Pavimentos y Concreto
LAB CONSULT INGENIERIA
Ing. Jorge Luis Alejandro Quispe
JEFE DE LABORATORIO
CIP. N° 115853

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
Cayma - Arequipa
R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
OFICINA TÉCNICA: 959 981 084
Email. laboratoriospc@labconsult.pe



LABORATORIO Y CONTROL DE CALIDAD EN OBRAS CIVILES. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS, PAVIMENTOS Y CONCRETO

INFORME DE ENSAYO
CALIFORNIA BEARING RATIO
NORMA ASTM D-1883

CÓDIGO DE INFORME
LCI-353-2021

PROYECTO:	"MEJORAMIENTO DE LA RESISTENCIA DE BASE GRANULAR CON CAL, EN EL PAVIMENTO ARTICULADO CHARACATO, AREQUIPA, 2021"	F. RECEPCIÓN:	2021-07-19
UBICACIÓN:	AREQUIPA - CHARACATO	F. EJECUCIÓN:	2021-08-07
CLIENTE:	LEONARDO DAMIAN ESTEFANERO PEREZ	F. EMISIÓN:	2021-08-11
DIRECCIÓN:	---		

DATOS DE LA MUESTRA			
PROCEDENCIA:	CANTERA CHARACATO	CÓDIGO DE MUESTRA:	LS-501-21
MUESTRA :	BASE GRANULAR MEJORADA CON 9% DE CAL	CONDICIÓN:	Mab

DATOS DE LA PRENSA CBR	TRANSDUCTOR: ZEMIC	ALCANCE:	5000 kg
	Serial: 5.0T MDC0091-20	FECHA DE CALIBRACION:	16/12/2020

ENSAYO		1	2	3
Numero de golpes por capa		12	26	56
	Unidad			
Peso del Molde	g	7698	7860	7760
Volumen del Molde	g	2103	2107	2109
P. Húmedo+Molde	g	11852	12265	12405
Peso Suelo Húmedo	g	4154	4405	4645
Peso Suelo Seco	g	3825	4057	4276
Peso Agua	g	329	348	369
Humedad	%	8.6	8.6	8.6

Densidad del Suelo Húmedo	g/cm ³	1.975	2.091	2.202
Densidad del Suelo Seco	g/cm ³	1.819	1.925	2.027

Altura	11.62 cm.	11.71 cm.	11.81 cm.
Expansión	0 cm.	0 cm.	0 cm.
% de expansión	0.00 %	0.00 %	0.00 %

Penetración	Nº Golpes 12					Nº Golpes 26			Nº Golpes 56					
	mm	pulg.	Lect. Dial	Corrección lbs.	Corrección lb./plg ²	CBR (%)	Lect. Dial	Corrección lbs.	Corrección lb./plg ²	CBR (%)	Lect. Dial	Corrección lbs.	Corrección lb./plg ²	CBR (%)
0.000	0.000	0	0	0		0	0	0		0	0	0		
0.635	0.025	80.2	176.8	58.94		159.2	351	117		100	219.36	73.12		
1.270	0.050	166.4	366.8	122.3		304.3	671	223.6		289	637.8	212.6		
1.905	0.075	226.7	499.8	166.6		423.4	933	311.1		548	1207.7	402.6		
2.540	0.100	267.3	589.3	196.4	20	524.2	1156	385.2	39.0	842	1857	619	75	
3.810	0.150	331.8	731.5	243.8		676.7	1492	497.3		1328	2928.2	976.1		
5.080	0.200	377.2	831.6	277.2		793.6	1750	583.2		1650	3637	1212		
6.350	0.250	413.3	911.2	303.7		882.3	1945	648.4		1890	4165.9	1389		
7.620	0.300	444.9	980.8	326.9		948.2	2090	696.8		2089	4605.2	1535		
10.160	0.400													
12.700	0.500													

OBSERVACIONES:

- La muestra fue depositada en el laboratorio por el cliente.

- 1.-LAS COPIAS DE ESTE INFORME DE ENSAYO NO SON VÁLIDAS SIN LA AUTORIZACIÓN DEL LAB CONSULT INGENIERIA.
- 2.-EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE DEL USO Y LA INTERPRETACIÓN DE LOS DATOS DEL INFORME DEL ENSAYO.
- 3.-EL INFORME CORRESPONDE ÚNICA Y EXCLUSIVAMENTE A LA MUESTRA RECIBIDA.

Laboratorio de Mecánica de Suelos
Pavimentos y Concreto
LAB CONSULT INGENIERIA

Ing. *Jorge Luis Alejandro Quispe*
JEFE DE LABORATORIO
SIP. N° 116853

Calle Ucayali Mz. J1 Lote 8 Las Malvinas
Cayma - Arequipa
R.U.C. 20455570141

Teléfono: 54-588317 RPC 959 767 155
OFICINA TÉCNICA: 959 981 094
Email. laboratoriospc@labconsult.pe

Página 2 de 2

Figura 54. Determinación de CBR con 9% de Cal adicionado.
Fuente: Laboratorio Lab Consult Ingeniería E.I.R.L., 2021.