

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL  
EN 3%, 6% Y RESIDUOS DE PVC EN 2%, 4% EN  
LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA  
PARA SUBBASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA,  
2022”

Tesis para optar el título profesional de:

**Ingeniera Civil**

**Autor:**

Cintia Ingrid Chiclayo Vasquez

**Asesor:**

M. Cs. Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

<https://orcid.org/0000-0001-7619-7995>

Cajamarca - Perú

**JURADO EVALUADOR**

Jurado 1 Presidente(a)	<b>Milagros Merma Gallardo</b>	<b>40012838</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	<b>Hugo Rodríguez Chico</b>	<b>45955444</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	<b>Katia Carrión Rabanal</b>	<b>46269439</b>
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

## INFORME DE SIMILITUD

### TESIS

#### INFORME DE ORIGINALIDAD



#### FUENTES PRIMARIAS

<b>1</b>	<b>escher.puj.edu.co</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad de Las Palmas de Gran Canaria</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>3</b>	<b>documentop.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>Submitted to Weatherford College</b> Trabajo del estudiante	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>www.nanocomp.ictp.csic.es</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>www.161gtw.pl</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>construaprende.com</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>blog.pucp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>&lt;1%</b>
<b>9</b>	<b>ciencia.lasalle.edu.co</b> Fuente de Internet	

## **DEDICATORIA**

La presente investigación va dedicada a; Celinda, mi madre, a mis hermanas Rosa Elizabeth y Ana Gabriela, a Yoni, mi esposo y José Mathias, mi hijo, quienes me han acompañado y apoyado siempre durante esta etapa de mi vida, permitiendo que se vuelva realidad.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por no desampararme cada día de mi vida y permitirme cumplir mis objetivos.

A mis hermanos y demás familiares, por haberme dado la mano y motivado en momentos que los he necesitado.

A la Universidad Privada del Norte, por brindarme todos los medios necesarios para desarrollarme como profesional.

## TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR.....	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA .....	4
AGRADECIMIENTO .....	5
TABLA DE CONTENIDO.....	6
ÍNDICE DE TABLAS .....	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
RESUMEN .....	11
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	12
1.1. REALIDAD PROBLEMÁTICA .....	12
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	20
1.3. OBJETIVOS .....	20
1.4. HIPÓTESIS.....	21
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA .....	22
CAPÍTULO III: RESULTADOS.....	39
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	43
REFERENCIAS.....	47
ANEXOS .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Cantidad de especímenes a ensayar .....	23
<b>Tabla 2</b>	Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular .....	27
<b>Tabla 3</b>	Requerimientos de Calidad para Subbase Granular.....	28
<b>Tabla 4</b>	Carga abrasiva según la granulometría de ensayo. ....	33
<b>Tabla 5</b>	Granulometría para ensayo de abrasión .....	33
<b>Tabla 6</b>	Especificaciones técnicas para Proctor Modificado. ....	35
<b>Tabla 7</b>	Granulometría por tamizado .....	39
<b>Tabla 8</b>	Límites de plasticidad .....	40
<b>Tabla 9</b>	Proctor modificado.....	41
<b>Tabla 10</b>	Resultados de ensayo CBR (California Bearing Ratio).....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Esquema del procedimiento de recolección de datos .....	24
<b>Figura 2</b> Ubicación de la cantera Aquino - El Gavilán - Cajamarca .....	25
<b>Figura 3</b> Ubicación planta de residuos sólidos "Wilo Srl" .....	27
<b>Figura 4</b> Curva granulométrica .....	40
<b>Figura 5</b> Extracción del material de cantera para subbase "Cantera Aquino - El Gavilán". .	50
<b>Figura 6</b> Recolección de material para ensayos .....	50
<b>Figura 7</b> Selección de Restos de PVC en la planta de residuos sólidos Wilo S.R.L .....	51
<b>Figura 8</b> Triturado del material PVC reciclado .....	51
<b>Figura 9</b> Ensayo de granulometría por tamizado .....	52
<b>Figura 10</b> Lavado de material fino para granulometría por tamizado.....	52
<b>Figura 11</b> Ensayo de límites de plasticidad .....	53
<b>Figura 12</b> Lavado de material para ensayo de Abrasión los ángeles .....	53
<b>Figura 13</b> Colocación de material en la máquina para ensayo de Abrasión. ....	53
<b>Figura 14</b> Extracción de material de ensayo de Abrasión los Ángeles .....	54
<b>Figura 15</b> Selección de material para ensayo de Equivalente de Arena.....	54
<b>Figura 16</b> Ensayo Equivalente de arena .....	55
<b>Figura 17</b> Ensayo para determinar el Equivalente de arena .....	55
<b>Figura 18</b> Selección de material para ensayos de Proctor y CBR .....	56
<b>Figura 19</b> Adición de Cal en el material natural.....	56

<b>Figura 20</b> Adición de residuos de PVC al material natural .....	57
<b>Figura 21</b> Ensayo Proctor Modificado .....	57
<b>Figura 22</b> Ensayo de CBR.....	58
<b>Figura 23</b> Ensayo para determinar el esponjamiento del material .....	58
<b>Figura 24</b> Ensayo de penetración .....	59
<b>Figura 25</b> Protocolo de ensayo de granulometría .....	60
<b>Figura 26</b> Protocolo de ensayo de límites de plasticidad .....	61
<b>Figura 27</b> Protocolo para ensayo Equivalente de arena .....	62
<b>Figura 28</b> Protocolo ensayo Abrasión los Ángeles .....	63
<b>Figura 29</b> Protocolo ensayo Proctor modificado material natural.....	64
<b>Figura 30</b> Protocolo ensayo Proctor modificado - PVC 2%.....	65
<b>Figura 31</b> Protocolo ensayo Proctor modificado - PVC 4%.....	66
<b>Figura 32</b> Protocolo ensayo Proctor modificado - Cal 3%.....	67
<b>Figura 33</b> Protocolo ensayo Proctor modificado - Cal 6%.....	68
<b>Figura 34</b> Protocolo ensayo de CBR - Material natural.....	69
<b>Figura 35</b> Protocolo ensayo de CBR - PVC 2% .....	72
<b>Figura 36</b> Protocolo ensayo de CBR - PVC 4% .....	75
<b>Figura 37</b> Protocolo ensayo de CBR - Cal 3% .....	78
<b>Figura 38</b> Protocolo ensayo de CBR - Cal 6% .....	81

## TABLA DE ECUACIONES

**Ecuación 1** Porcentaje de material retenido .....; **Error! Marcador no definido.**

**Ecuación 2** Coeficiente de uniformidad .....; **Error! Marcador no definido.**

**Ecuación 3** Coeficiente de curvatura .....; **Error! Marcador no definido.**

**Ecuación 4** Densidad seca .....; **Error! Marcador no definido.**

**Ecuación 5** Índices de CBR .....; **Error! Marcador no definido.**

## RESUMEN

Esta investigación se centra en mejorar las propiedades material para subbase del pavimento mediante la incorporación de Cal y residuos de PVC por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influye la incorporación de Cal al 3%, 6% y residuos de PVC al 2%, 4% en las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos? y como objetivo general determinar la influencia de la incorporación de cal al 3%, 6% y residuos de PVC 2%, 4% en las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos. Para el proceso de la investigación la muestra fue extraída de la cantera Aquino – El Gavilán. Posteriormente, en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte se realizó los ensayos necesarios del material para subbase natural según lo especifica la norma técnica CE. 010, sin embargo, para el material con incorporación de residuos de PVC y para el material con incorporación de Cal se realizó los ensayos Proctor modificado y CBR para determinar la influencia. Se comprobó la incorporación de dichos material provocan un incremento en las propiedades físicas ( Contenido Óptimo de Humedad, Densidad seca), sin embargo, para las propiedades mecánicas la incorporación de Cal al 6% no mejora esta capacidad a diferencia de la incorporación de Cal al 3% logra aumentar el CBR para 0.01” es 51.02% y para 0.02” es 65.77%; respecto a incorporación de residuos de PVC en 2% y 4%, los dos porcentajes logran aumentar esta propiedad, sin embargo, al incorporar residuos de PVC al 4% se tiene los mejores resultados, por tanto se concluye que, la incorporación de la Cal y residuos de PVC mejoran las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos y se obtiene solo con la incorporación del 3% de Cal, 2% y 4% de residuos de PVC.

**PALABRAS CLAVES:** Material para subbase, incorporación, Cal, Residuos de PVC, material para subbase, propiedades físico-mecánicas.

## CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

### 1.1. Realidad problemática

Una infraestructura vial es de suma importancia cuando se trata del desarrollo de un país, pues está vinculada directamente con la economía. Según, VISE (2021) detalla que, en la actualidad el crecimiento de un país se inicia por la condición de su conexión de vías. Las comunidades mejoran su economía y aumenta gracias a un eficiente sistema vial. Siendo estas conexiones carrozables una táctica de progreso y superación. La reducción de costos y tiempos en todos los aspectos sociales es el resultado de una buena obra vial. Brindando de esta manera una mejora económica, laboral e intelectual a toda la sociedad involucrada, permitiendo la comunicación desde los pequeños agricultores y comerciantes hasta las grandes empresas.

Por otro lado, el Foro Económico Mundial realizó una encuesta para dar a conocer la calidad de las carreteras en América latina, el resultado fue alarmante ya que gran parte de los países presentan deficiencias en su red vial, a pesar de las grandes inversiones que se hacen, el rendimiento en transporte sigue siendo deficiente. (Vilac & Zabala, 2019)

Además, De acuerdo con el reporte de competitividad global 2019 el Perú se encuentra el puesto 110 de 141 economías evaluadas, con respecto a la calidad de infraestructura en carreteras, lo cual refleja la alarmante situación en que se encuentra el país en términos de infraestructura vial.(ComexPerú, 2020)

En consecuencia, estos resultados son el reflejo del mal estado en que se encuentran las infraestructuras viales en nuestro país, así mismo la ciudad de Cajamarca no es ajena a esta realidad puesto que, podemos observar que gran parte de los pavimentos presentan daños, los cuales son causados por diferentes factores como el exceso de carga vehicular, fenómenos naturales, mal diseño, errores en la construcción y el uso de materiales de mala calidad; los

cuales afectan directamente a la capacidad portante de las capas que conforman el pavimento, en consecuencia disminuyen el tiempo de vida útil de este.

En ese sentido, y teniendo en cuenta lo antes mencionado, es que se opta por la adición de productos químicos o diversos materiales para mejorar las propiedades físico-mecánicas de los suelos; el uso de materiales para el mejoramiento de suelo en infraestructuras viales es bastante antiguo, Linares Ordoñez (2019) menciona que, hace 50 siglos atrás la superficie terrestre se consolidaba con puzolanas o cal. A pesar de que la verdadera importancia de esta técnica tuvo un acrecentamiento realmente valioso en épocas de la segunda guerra mundial. En consecuencia, a la vital importancia de apertura accesos viales, lugares de embarcaderos como aeropuertos, en zonas más aledañas.

En ese sentido, la consolidación de suelos consta de tratamientos químicos o mecánicos para aumentar o conservar la firmeza de una cierta cantidad de suelo o para acrecentar sus características físico-mecánicas. También, la consolidación de tratamientos químicos consiste en modificar las propiedades del terreno usando aditivos, los cuales incorporándose con el terreno resulta una alteración en las propiedades moleculares del terreno y en algunas ocasiones en cambio, los granos se fusionan dando como resultado un aumento en su resistencia. Asimismo, la consolidación mecánica es la modificación de la propiedad de los suelos cambiando su granulometría por el procedimiento de aumentar o disminuir partículas o por compactación de los suelos (Solminihac T. et al., 1989).

Por otro lado, Durante el desarrollo de la presente investigación se encontraron diferentes estudios donde se ha tratado de incluir nuevos materiales para mejorar las propiedades de las capas que conforman el pavimento, tal es el caso de policloruro de vinilo, cemento, escombros de construcción, tereftalato de polietileno, asfaltita, como también es el caso de la Cal y PVC.

Según, Estefanero Pérez & Arque Cari (2021), en su estudio científico “Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Arequipa – 2021”, tienen por objetivo principal demostrar que la Cal aporta en el aumento de la resistencia y otras propiedades físicas por lo que consideraron tomar los siguientes porcentajes de Cal; 0%, 3%, 6% y 9%, con el fin de determinar el porcentaje óptimo para el suelo (base granular), donde concluyen que el porcentaje ideal con el que alcanzaron la resistencia máxima es el 6% pasando de un CBR natural de 28% a un 77%.

También, Angulo Roldan & Zavaleta Papa (2020), en su tesis “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”, tienen como objetivo estudiar el comportamiento de las propiedades físicas – mecánicas de diferentes tipos de suelos al ser tratados (estabilizados) con cal hidratada y cal viva, para el cual usaron dosis de 2%, 4% y 6% de cal hidratada y cal viva, en dos suelos, la calicata 01 de alta plasticidad, expansión y la calicata 02 de baja plasticidad y expansión, como resultado mencionan que con la cal viva aumenta la resistencia, controla el efecto expansivo, reduce ligeramente la densidad y plasticidad, mientras que la cal hidratada no ofrece grandes resistencias, y mantiene en similares condiciones la densidad, plasticidad y expansión; y concluyen que con una dosificación de 6% se obtiene mejores resultados.

Así mismo, (Taquilla Otiniano & Valdivia Julca, 2020), en su estudio Comparación entre las influencias de cal hidratada y aditivo quim kd-40 para estabilización de suelos arcillosos como capa subrasante en pavimentos flexibles, Huamachuco-Cajabamba 2019, en el cual, tuvo como objetivo determinar la influencia que tiene la cal hidratada y el aditivo Quim kd-40 para la estabilización de suelos como capa subrasante en pavimentos flexibles, para ello realizaron 8 calicatas obtenidas a lo largo de 4 kms en el tramo Chaquilbamba-Habas Horco, a

todas le realizaron los ensayos para determinar el tipo de suelo, humedad, índice de plasticidad y a las C1, C3, C5 y C7 se realiza el ensayo CBR utilizando 60 especímenes, en los cuales se encuentran el suelo sin adición, suelo + 2% de cal, suelo + 2% de Quim kd-40, Suelo + 4% de cal y Suelo + 4% de Quim kd-40 aplicando las normas técnicas peruanas, en donde logran determinar que el suelo que tenemos es arcilloso y que en adiciones de 2% es mejor adicionar el aditivo Quim kd-40 puesto que mejoró un CBR=3.70% a 18.27%, logrando así pasarlo de subrasante Insuficiente a subrasante Buena y en adiciones de 4% es mejor adicionar la cal ya que logró aumentar su CBR de 3.70% a 31.11%, pasándolo de una subrasante Insuficiente a una subrasante Excelente.

Por otro lado, (Avila Valencia & Rodríguez Solano, 2021), estudian sobre, “Influencia del porcentaje de cal y cemento tipo I para estabilización de la subrasante en avenida Víctor Raúl, centro poblado El Carmelo, Virú, 2021”, el cual tiene por finalidad determinar la influencia de la cal y cemento tipo I en la estabilización de la subrasante, para lo cual realizaron 4 calicatas y ensayos de CBR agregando 8% y 10% de cal y cemento, logrando aumentar su CBR de 5.75% hasta 54.50% con cal y 57.94% con cemento, una resistencia de 0.90 kg/cm<sup>2</sup> hasta 2.00 kg/cm<sup>2</sup> con cal y 2.05 kg/cm<sup>2</sup> con cemento para compresión no confinada, para Proctor la M.D.S. pasó de 1.54 gr/cm<sup>3</sup> a 1.86 gr/cm<sup>3</sup> con cemento y 1.80 gr/cm<sup>3</sup> con cal, su contenido de humedad óptimo pasó de 18% a 12% con cemento, de 16% a 12% con cal. Se concluye que ambos estabilizantes en estas cantidades de 8% y 10% logran una subrasante excelente, pero con el 10% de cemento se logran los valores más altos.

Así mismo, Saravia Álvarez & Vejarano Ferrer (2019), en su tesis “Influencia de la adición de policloruro de vinilo reciclado sobre la compactación, capacidad de soporte y resistencia a la abrasión de un material granular para capa base del pavimento flexible de la Carretera Huanchaco – Santiago de Cao”, plantearon determinar la influencia de la adición del

PVC reciclado sobre la compactación, capacidad de soporte y resistencia a la abrasión de un material granular para su uso como capa base del pavimento flexible de la carretera Huanchaco-Santiago de Cao, para ello, se utilizaron material granular de una cantera y el PVC triturado en diferentes porcentajes (0, 2, 4, 6, 8%), se determinó que el porcentaje óptimo de adición de PVC al material granular es de 4 %, debido a que se obtuvo un material más ligero, con una máxima densidad seca de 2.18 g/cm<sup>2</sup>, con una mayor capacidad de soporte de 123.5 % y con un coeficiente de desgaste a la abrasión de 21.85 %. Luego, realizaron un análisis del tráfico vial de la carretera en estudio obteniéndose un IMDA de 577 vehículos por día, de los cuales 109 correspondían a vehículos pesados y mediante fórmula se calculó que su ESAL era de 3.24 x 10<sup>6</sup>, clasificando a la vía como tipo TP7 (Camino pavimentado con tráfico pesado de rango 7) y mediante la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible para una sola etapa de diseño de 20 años, se obtuvo espesores para el primer sector homogéneo de 0.09 y 0.20 m de carpeta asfáltica y base, respectivamente y para el segundo sector homogéneo de 0.09 y 0.25 m de carpeta asfáltica y base, respectivamente. Finalmente, se hizo un análisis de costos, resultando que para 1 km de carretera con base modificada con PVC reciclado y con un ancho de calzada de 6.90 m, para un periodo de diseño de 20 años, es más económico que el pavimento flexible tradicional con un margen de diferencia de S/. 12,038.68 para el primer sector homogéneo y de S/. 8,619.03 para el segundo sector homogéneo, por tanto, concluyen que la mezcla de material de cantera con residuos de PVC al 4%, aumenta considerablemente las propiedades físico-mecánicas del suelo.

Además, (Del Castillo Ruíz, 2017), en su tesis “Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase en la ciudad de Trujillo”, tiene como objetivo determinar la influencia de la inclusión de desechos de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase, para el cual empleó desechos de PVC como material de

adición, para modificar el comportamiento de una subbase granular. A partir de ensayos de Proctor Modificado y CBR se comparó el comportamiento del material natural, y mezclado con diferentes proporciones (4%, 6%, 8%) de desecho de PVC. Los resultados de la investigación muestran que el CBR de una mezcla de material granular, tipo subbase, y material de desecho, presenta un incremento notable. Por tanto, concluye que la inclusión de desecho de PCV mejora el CBR de un material granular tipo subbase a partir del 3% (la resistencia aumentó y el peso unitario disminuyó).

Para tener más conocimiento sobre el tema en estudio se considera las siguientes definiciones:

**Carretera.** Camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de esta, deben cumplir las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.(MTC, 2018)

**Carretera Pavimentada.** Carretera cuya superficie de rodadura, está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Portland (rígida). (MTC, 2018)

**Pavimento.** Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y capa de rodadura. (MTC, 2018)

Los pavimentos para carreteras viales y vías urbanas son estructuras viales construidas en varias capas relativamente horizontales, estas están compuestas por materiales seleccionados. Estas estructuras son creadas para soportar las cargas impuestas por el tránsito y por las condiciones ambientales. (Reyes Lizcano & Rondón Quintana, 2015)

**Subbase.** Capa que forma parte de la estructura de un pavimento que se encuentra inmediatamente por debajo de la capa de base. (MTC, 2018)

**Cantera.** Depósito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras. (MTC, 2018)

**Material de cantera.** Material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de esta. (MTC, 2018)

Estabilización de suelos: Enriquecer las propiedades físicas de los suelos a través de procesos mecánicos e incorporación de productos naturales, sintéticos o químicos. Dichas estabilizaciones, generalmente se efectúan en las superficies de rodadura o capas inferiores de la carretera, y son conocidas como suelo cemento, suelo cal y otros diversos. (MTC, 2018)

**Cal.** El óxido de calcio es un producto obtenido a partir de un proceso de calcinación de piedra caliza con una alta ley mayor al 90% y estrictamente seleccionada, seguida por un proceso de molienda y clasificación, obteniendo la cal viva molida lista para ser comercializada en diferentes granulometrías.(MYCAL, 2023)

La cal presenta las siguientes características y propiedades:

- La característica más importante de la cal es que puede endurecerse hasta alcanzar la dureza y resistencia de la piedra inicial, esta no se deteriora, sino que adquiere más firmeza.
- Evita filtraciones de agua, lo que favorece a la proliferación de moho o bacterias.
- Es de fácil trabajabilidad.

**Policloruro de vinilo (PVC).** Es un moderno e importante miembro de la familia de los termoplásticos. Es un polímero sintético obtenido de dos materias primas naturales:

cloruro de sodio o sal común (ClNa) (57%) y petróleo o gas natural (43%), siendo por lo tanto menos dependiente de recursos no renovables que otros plásticos. Es uno de los polímeros más estudiados y utilizados dado que por su amplia versatilidad es utilizado en áreas tan diversas como la construcción, energía, salud, preservación de alimentos y artículos de uso diario, entre otros. (Acoplásticos, 2022)

El PVC presenta las siguientes características y propiedades:

- Presenta una excelente resistencia mecánica al impacto o al aplastamiento
- Su peso específico bajo (1.4 g/cm<sup>3</sup>) lo que facilita su porte y aplicación
- Es fuerte, durable y es fácil para convertir y usar en muy diferentes formas.
- A prueba de agua y resistente a la acción de productos químicos y a la corrosión.
- Resistente al ataque de insectos, bacterias, hongos y roedores.
- Tiene un gran poder acústico, térmico y eléctrico. Además, es auto extingible y no propaga el fuego.
- El material innovador, permite a los diseñadores mejorar productos y crear nuevos.
- El costo del material es competitivo, lo que permite la producción de artículos de buena calidad a precios razonables.

**Contenido de humedad.** Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente. (MTC, 2018)

**Granulometría:** Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas. (MTC, 2018)

**Límite líquido.** Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo. (MTC, 2018)

**Límite plástico.** Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semisólido. (MTC, 2018)

**Equivalente de Arena.** Proporción relativa del contenido de polvo fino o material arcilloso en los suelos o agregados finos. (MTC, 2018)

**Abrasión.** Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

**CBR (California Bearing Ratio).** Valor relativo de soporte de un suelo o material, que se mide por la penetración de una fuerza dentro de una masa de suelo. (MTC, 2018)

## 1.2. Formulación del problema

La investigación se centra en mejorar las propiedades físicas y mecánicas del material para subbase del pavimento mediante la incorporación de Cal y residuos de PVC por lo que se plantea la siguiente pregunta de investigación: ¿Cómo influye la incorporación de Cal al 3%, 6% y residuos de PVC al 2%, 4% en las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos?, por otra parte, se tiene como objetivo general y objetivos específicos los siguientes:

## 1.3. Objetivos

### *Objetivo General:*

Determinar la influencia de la incorporación de cal al 3%,6% y residuos de PVC al 2%, 4% en las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos.

### *Objetivo Específicos:*

- Determinar la influencia de la cal al 3% y 6%, en las propiedades físicas del suelo (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca);

- Determinar la influencia de los residuos de PVC al 2% y 4%, en las propiedades físicas del suelo (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca);
- Determinar la influencia de la cal al 3% y 6%, en las propiedades mecánicas del suelo (CBR);
- Determinar la influencia de los residuos de PVC al 2% y 4%, en las propiedades mecánicas del suelo (CBR);
- Comparar las propiedades físicas (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca) y mecánicas (CBR) del material natural con el material con adición de cal y residuos de PVC en diferentes porcentajes.

#### 1.4. Hipótesis

Además, como respuesta a la pregunta de investigación se plantea la siguiente hipótesis: “La incorporación de Cal al 3%, 6% y residuos de PVC al 2%, 4%, mejoran las propiedades físico-mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos”.

En ese sentido esta investigación se justifica en el impacto positivo que tiene el mejoramiento del material para subbase de pavimentos, ya que, permite aumentar la confiabilidad de este, puesto que, la construcción de pavimentos en la actualidad busca generar la mayor rentabilidad, eficiencia y continuidad libre de fallas. En ese caso, la incorporación de cal y residuos de PVC en el material para subbase juega un papel importante, ya que busca mejorar las propiedades físicas (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca) y mecánicas (CBR). Finalmente, para efectos de investigación, la influencia de la incorporación de Cal y residuos de PVC en las propiedades del material de cantera para subbase de pavimentos representará información valiosa para trabajos en obra, así mismo, para efectos de futuros estudios ya que podría considerarse un punto de referencia en la misma línea de investigación en la ciudad de Cajamarca.

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

Según su naturaleza, la presente investigación tiene un enfoque cuantitativo, ya que se analizan las variables en función a mediciones objetivas y valores numéricos, según Hernández Sampieri et al., (2014), este tipo de investigación utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías.

Además, teniendo en cuenta procedimientos empleados, la presente investigación es de diseño tipo experimentales ya que las variables se manipulan en su totalidad, según Agudelo Viana & Aigner Aburto (2008), un experimento es una investigación en la cual el investigador manipula y controla una o más variables independientes y observa la o las variables dependientes para medir las variaciones concomitantes.

Según el alcance la investigación es transversal ya que estudia aspectos de desarrollo de los sujetos en un momento dado y de nivel explicativa porque el estudio está orientado a una hipótesis con relación causa-efecto. Agudelo Viana & Aigner Aburto (2008),

Así mismo, la población para la presente investigación es el material afirmado de la cantera Aquino – El Gavilán de la ciudad de Cajamarca, el cual se empleará como material para subbase de pavimentos, este será ensayado de manera natural y con la adición de diferentes porcentajes de Cal y residuos de PVC.

Por otro lado, la muestra seleccionada serán especímenes del material afirmado, tanto para la muestra natural como también para la muestra con adición de diferentes porcentajes de Cal y residuos de PVC, tal como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

*Cantidad de especímenes a ensayar*

<b>Muestra</b>	<b>Especímenes para C. Energía Modificada</b>	<b>Especímenes para ensayo CBR</b>
Muestra natural	4	3
Con PVC 2%	4	3
Con PVC 4%	4	3
Con Cal 3%	4	3
Con Cal 6%	4	3
<b>Total</b>	<b>20</b>	<b>15</b>

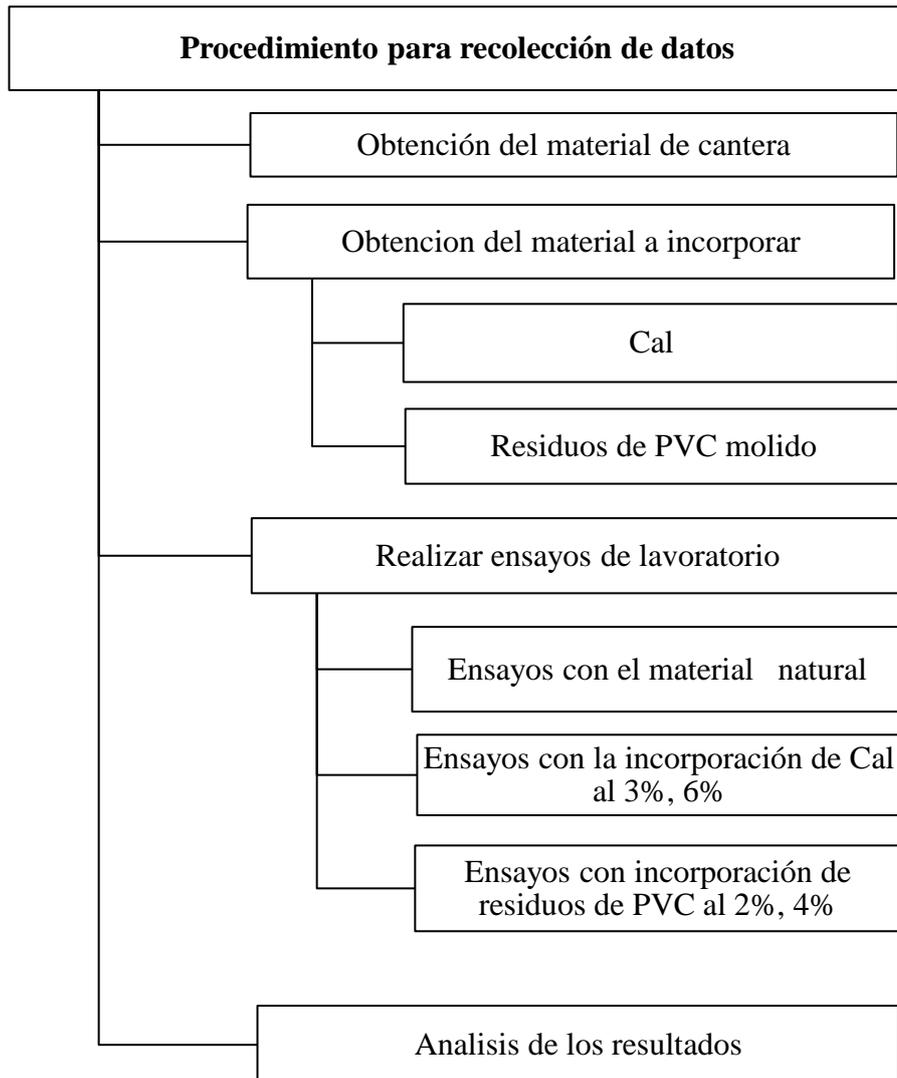
*Nota.* Las muestras corresponden al ensayo de Compactación Energía Modificada donde se obtendrá el Contenido óptimo de Humedad (Coh) y Densidad Seca (Ds), como también el ensayo California Bearing Ratio (CBR).

Además, las técnicas e instrumentos de recolección de datos se llevaron a cabo mediante ensayos en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte y los instrumentos serán los protocolos establecidos y aprobados por la universidad. Se realizarán los ensayos necesarios del material natural para subbase según lo especifica la norma técnica CE.010 Pavimentos Urbanos y para material con incorporación de cal y residuos de PVC solo se realizarán ensayos de Proctor modificado (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca) y CBR para determinar la influencia; Para el análisis de los datos se emplearon hojas de cálculo en Excel para facilitar la interpretación de datos mediante tablas y gráficos a partir de la información recopilada.

Para el desarrollo de la investigación se realizó el siguiente procedimiento:

**Figura 1**

*Esquema del procedimiento de recolección de datos*



## Procedimiento para obtención de material de cantera:

La muestra de material para subbase de pavimentos fue extraída de la cantera “Aquino - El Gavilán - Cajamarca” mediante el método B de la norma E 103 del MTC, la cual tienen por finalidad reducir el tamaño de la muestra obtenida en el campo a tamaños convenientes para realizar varios ensayos a fin de describir el material y medir su calidad, de tal manera que la porción de muestra de ensayo más pequeña no deje de ser representativa de la muestra más grande y por lo tanto de la total suministrada.(MTC, 2016)

La cantera está ubicada en el kilómetro 16 de la carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, en las coordenadas Norte: 9199739, Este: 777619 y una altitud de 3206 msnm.

### Figura 2

*Ubicación de la cantera Aquino - El Gavilán - Cajamarca*



Fuente: Google Earth, 2023.

### **Procedimiento para la obtención de Cal:**

La Cal empleada en los ensayos de la presente investigación fue la Cal viva, la cual es obtenida directamente de tiendas ferreteras, sin embargo, cabe mencionar que la cal es un material aglomerante igual que el cemento, proviene de la piedra caliza o carbonato de calcio. Esta se calcina en hornos a temperaturas aproximadas a los 1.200 °C, formando cal viva (óxido de calcio), esta se somete a un proceso de molienda, dando como resultado un polvo fino. (Abonos ecológicos, 2020)

La cal viva es la más utilizada para la estabilización de suelos. Sus principales ventajas son que presenta una mayor reactividad con los materiales por estabilizar y menor generación de polvo durante su utilización. (Angulo Roldan & Zavaleta Papa, 2020)

### **Procedimiento para la obtención de residuos de PVC:**

La recolección de los residuos de PVC se realizó mediante visitas a la planta de residuos sólidos “Wilo S.R.L.”, donde verificó la disponibilidad del material, esta planta está ubicada en Avenida San Martín De Porres 1722 - Br. San Martín De Porres – Cajamarca, en las coordenadas Norte: 9206043, Este: 776419 y una altitud de 2703 msnm.

Se procedió con la selección del PVC, que corresponde a restos de tuberías empleadas en instalaciones de agua y desagüe, estos restos fueron llevados y procesados en la máquina trituradora de la empresa con tamaño máximo de ½” obteniendo un total de 5Kg de PVC.

**Figura 3**

*Ubicación planta de residuos sólidos "Wilo Srl".*



Fuente: Google Earth, 2023.

**Procedimiento para los ensayos realizados:**

Las cantidades para incorporar de Cal y PVC se consideraron en proporción a la cantidad de material de cantera que se empleó para cada ensayo que establece la norma.

La Norma técnica CE.010 de Pavimentos Urbanos establece los requisitos necesarios que debe cumplir el material como subbase, los cuales se muestran en las siguientes tablas:

**Tabla 2**

*Requerimientos Granulométricos para Subbase Granular*

Tamiz	Gradación A*	Porcentaje que pasa en peso		
		Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	-	-
25 mm (1")	-	75 - 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 - 65	40 - 75	50 - 85	60 - 100
4.75 mm (N°4)	25 - 55	30 - 60	35 - 65	50 - 85
2.0 mm (N°10)	15 - 40	20 - 45	25 - 50	40 - 70
4.25 µm (N°40)	8 - 20	15 - 30	15 - 30	25 - 45
75 µm (N°200)	2 - 8	5 - 15	5 - 15	8 - 15

Fuente: Sección 402, Tabla 402-01 del EG-2013 o la Tabla 4 de la Norma técnica CE 0.10

\*La curva de gradación A deberá emplearse en zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm. Además, el material también debe cumplir con los siguientes requisitos de calidad:

**Tabla 3**

*Requerimientos de Calidad para Subbase Granular*

Ensayo	Norma NTP	Norma MTC	Norma ASTM	Requerimiento	
				< 3000msnm	≥ 3000msnm
Abrasión Los Ángeles	400.019	E 207	C 131	50 % máximo	50 % máximo
CBR de laboratorio	339.145	E 132	D 1883	30 - 40 % mínimo*	
Limite Líquido	339.129	E 110	D 4318	25 % máximo	25 % máximo
Índice de Plasticidad	339.130	E 111	D 4318	6% máximo	4% máximo
Equivalente de Arena	339.152	E 114	D 2419	25 % mínimo	35 % mínimo
Sales Solubles					
Totales**	339.152	E 114	D 2419	1% máximo	

Fuente: la Tabla 5 de la Norma técnica CE 0.10 o la Sección 402, Tabla 402-02 del EG-2013.

\*30 % para pavimentos rígidos y de adoquines. 40 % para pavimentos flexibles.

\*\*Solo para pavimento flexible.

Según los ensayos establecidos se realiza los siguientes procedimientos:

***Ensayo de granulometría de agregado grueso y fino (MTC E 107 / ASTM D421)***

Material:

- Muestra seca aproximadamente 10 Kg.

Equipo:

- Juego de tamices.
- Balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Taras.

Procedimiento:

- Secar la muestra al aire.

- Pesar la muestra seca en la balanza con aproximación de 0.1 gr.
- Pasar la muestra seca por el juego de tamices, agitando en forma manual.
- Obtener el peso del material retenido en cada tamiz (P.R.P).
- Calcular el peso del material retenido en porcentaje de cada tamiz (% RP) mediante la siguiente ecuación.

$$\%RP = \frac{P.R.P}{Wms} \times 100 \quad (1)$$

- Determinar los porcentajes retenidos acumulados para cada tamiz (%RA), para lo cual se sumarán en forma progresiva el porcentaje retenido (%R.P.) en cada tamiz
- Determinar los porcentajes acumulados que pasan en cada tamiz.
- Dibujar la curva granulométrica, en el eje de abscisas se registrará la abertura de las mallas en milímetros en escala logarítmica, y en el eje de ordenadas se registrará los porcentajes acumulados que pasan en las mallas que se utilizan en escala natural.
- Determinar el coeficiente de uniformidad y de curvatura mediante las siguientes ecuaciones.

$$Cu = \frac{D60}{D10} \quad (2)$$

$$Cc = \frac{(D30)^2}{D60 \times D10} \quad (3)$$

### ***Ensayos de Límites de Atterberg (NTP E339.130 / MTC E111 / ASTM D4318)***

Límite Líquido:

Material:

- Material seco que pasa la malla N°40.

Equipo:

- Tamiz N°40.
- Balanza con una aproximación de 0.01 gr.

- Copa de Casagrande
- Depósito de porcelana.
- Ranurador o acanalador
- Espátula.
- Probeta de agua.
- Taras con identificación.

Procedimiento:

- En un depósito de porcelana colocar parte del suelo con una cantidad de agua, con la ayuda de la espátula, mezclar hasta obtener una masa uniforme.
- Colocar parte de la mezcla en la copa de Casagrande, nivelar con la espátula hasta obtener una superficie plana.
- Con ayuda del ranurador dividir la mezcla por el centro de la muestra de tal manera que estas sean iguales.
- Dejar caer la copa las veces que sean necesarios hasta que las dos mitades se unen aproximadamente de 1.27 cm, registrar la cantidad de golpes empleados.
- Con la espátula retirar la porción de suelo que se ha unido y colocarlo en la tara para determinar su contenido de humedad.
- Retirar el suelo de la copa de Casagrande y colocar en el depósito de porcelana, agregar agua o más material según sea necesario, (la cantidad de golpes tiene que estar entre 6 y 35). Repetir el ensayo 3 veces para obtener un promedio.
- Dibujar la curva de fluidez.

Límite Plástico:

Material:

- Parte de la mezcla del límite líquido reservada.

Equipo:

- Balanza con una aproximación de 0.01 gr.
- Espátula.
- Cápsulas de porcelana.
- Placa de vidrio.
- Taras identificadas.

Procedimiento:

- A la porción de la mezcla preparada para el límite líquido agregar suelo seco de tal manera que la pasta baje su contenido de humedad.
- Enrollar la muestra con la mano sobre una placa de vidrio hasta obtener cilindros de 3 mm de diámetro y que presenten agrietamientos, determinar su contenido de humedad.
- Repetir el ensayo una vez más.
- El límite plástico es el promedio de los 2 valores de contenidos de humedad.

***Ensayo Equivalente De Arena (NTP 339.152 / MTC E 114 / ASTM D 2419)***

Material:

- Material que pasa la malla N°4
- Glicerina.

Equipo:

- Probetas de acrílico.

- Tamiz N°4.
- Embudo.
- Pistón.
- Balanza con aproximación de 0.01gr.
- Tapones.
- Recipiente para la solución y tubo irrigador.
- Cápsula de aluminio.

Procedimiento:

- Pasar el material por la malla N°4 unos 500 gr de material, cuartearse y tomar 3 muestras representativas del material con un peso de 100 gr cada una.
- Agregar en la probeta la solución, luego adicionar el material y dejar en reposo durante 10 min. para que se homogenice la muestra, pasando ese tiempo agitar durante un minuto y adicionar más solución con glicerina y dejar reposar durante 20 minutos.
- Pasado este tiempo tomar lectura de la altura en que se encuentran los finos, el cual será la lectura de arcilla.
- Después de esto y con la ayuda del pistón introducimos lentamente para evitar turbulencia y cuando ya no baje más se aplicará un giro sin hacer presión de tal manera que se pueda tomar la altura de la arena, posteriormente calcular el equivalente de arena.

***Ensayo de Abrasión Los Ángeles (MTC E207 / NTP 400.019)***

Material:

- Agregado limpio por lavado y secado.

Equipo:

- Balanza con una aproximación de 0.01 gr

- Estufa
- Tamices.
- Máquina de Los Ángeles.

Procedimiento:

- En un depósito separar la parte granular del material, lavar y colocar al horno, una vez seca se seleccionará las cantidades necesarias para el ensayo según el método a usar.
- Selección de la Carga Abrasiva: La carga abrasiva dependerá de la granulometría del ensayo A, B, C o D y deberán ser representativas tal y como va a ser utilizado en la obra.

**Tabla 4**

*Carga abrasiva según la granulometría de ensayo.*

<b>Granulometría de ensayo</b>				
<b>Gradación</b>	<b>"A"</b>	<b>"B"</b>	<b>"C"</b>	<b>"D"</b>
Carga abrasiva (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

**Tabla 5**

*Granulometría para ensayo de abrasión*

<b>Granulometría de la muestra de agregado para ensayo</b>					
<b>Tamiz (pasa)</b>	<b>Tamiz (retiene)</b>	<b>"A" (gr)</b>	<b>"B" (gr)</b>	<b>"C" (gr)</b>	<b>"D" (gr)</b>
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±25	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±25	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
<b>Total</b>		<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>	<b>5000±10</b>

- Después de haber identificado el método a usar, se coloca la muestra y la carga abrasiva correspondiente en la máquina de Los Ángeles, y se hace girar el cilindro a una velocidad

comprendida entre 30 y 33 rpm; el número total de vueltas deberá ser 500. La máquina deberá girar de manera uniforme para mantener una velocidad periférica prácticamente constante.

- Una vez cumplido el número de vueltas prescrito, se descarga el material del cilindro y se procede con una separación preliminar de la muestra ensayada, en el tamiz N°12.
- Cuando el agregado retenido en el tamiz N°12 esté libre de finos o de polvo, procedemos a pesarlo y determinar el porcentaje de desgaste.

### ***Ensayo De Compactación Proctor Modificado (MTC E115 / ASTM D1557 / NTP 339.141)***

Material:

- Material seco.
- Papel filtro.

Equipo:

- Equipo Proctor Modificado.
- Pisón Proctor Modificado.
- Balanza con una aproximación de 0.01 gr.
- Probeta de agua de 1000 ml.
- Recipiente con capacidad de 6 kg.
- Espátula.
- Taras identificadas.

Procedimiento:

- Seleccionar la cantidad de muestra seca necesaria para el ensayo, según el método seleccionado (método A, B o C).

- Preparar 4 muestras con diferentes cantidades de agua, de tal manera que el contenido de humedad varía aproximadamente ¼ % entre ellas.
- Ensamblar cada molde (cilíndrico, placa de base, collar de extensión y el papel filtro), compactar el material en 5 capas con 25 o 56 golpes, según el método a emplear (método A, B o C), al terminar con la compactación de la última capa, se retira el collarín, enrasamos y determinamos la densidad húmeda (Dh).
- Determinar el contenido de humedad (W %), sacar dos muestras de cada molde ensayado.
- Calcular las densidades secas para cada muestra (Ds).

$$Ds = \frac{Dh}{\left(1 + \frac{w\%}{100}\right)} \quad (4)$$

- Dibujar la curva de compactación en escala natural, el dato del contenido de humedad se registra en el eje de abscisas y los datos de densidad seca en el eje de ordenadas.
- Determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad.

**Tabla 6**

*Especificaciones técnicas para Proctor Modificado.*

ID	Descripción	Und	Proctor Modificado		
			A	B	C
1	Método		A	B	C
2	Condiciones para la selección del método		% Ret. Acum. N°4 ≤ 20%	% Ret. Acum. 3/8" ≤ 20%	% Ret. Acum. 3/4" ≤ 30%
3	Tipo de material utilizado		Pasante malla N°4	Pasante malla 3/8"	Pasante malla 3/4"
4	N° de capas	n	5	5	5
5	N° de golpes	N	25	25	56
6	Diámetro del molde	cm	10.16±0.04	10.16±0.04	15.24±0.07
7	Altura del molde	cm	11.64±0.05	11.64±0.05	11.64±0.05
8	Volumen del molde	cm <sup>3</sup>	944±0.15	944±0.15	2124±0.25
9	Peso del martillo	Kg	4.54±0.01	4.54±0.01	4.54±0.01
10	Altura caída del martillo	cm	45.72±0.16	45.72±0.16	45.72±0.16
11	Diámetro del martillo	cm	5.08±0.025	5.08±0.025	5.08±0.025
12	Energía de compactación	Kg/cm	27.485	27.485	27.485

### **California Bearing Ratio - CBR (MTC E132 / ASTM D1883 / ASTM D4429)**

Material:

- Material seco.
- Papel filtro

Equipo:

- Equipo CBR.
- Pisón Proctor modificado.
- Balanza (precisión de 1 gr).
- 3 diales de expansión con divisiones de 0.01 mm.
- Probeta de agua de 1000 ml.
- Recipiente con capacidad de 6kg.
- Espátula.
- Taras con identificación.

Procedimiento: El ensayo consta de tres fases: ensayo de CBR, ensayo de hinchamiento y ensayo de carga – penetración.

Ensayo de compactación CBR:

- Mezclar el material con el contenido óptimo de humedad calculado en el ensayo de compactación Proctor modificado.
- Ensamblar los moldes cilíndricos (placas de base, collares de extensión, discos espaciadores y papeles filtro).
- Compactar la muestra con los 3 moldes CBR, cada uno en 5 capas, el primero con 13 golpes, el segundo con 27 golpes y el último de 55 golpes por capa.
- Determinar la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.

- Determinar la densidad seca de las muestras de cada molde.

#### Ensayo de hinchamiento:

- Invertir las muestras de tal manera que las superficies libres queden en la parte superior cuando se ensambla nuevamente los moldes en sus placas base.
- Colocar sobre cada muestra el papel filtro, la placa de expansión, la sobrecarga, el trípode y el dial de expansión.
- Colocar los tres moldes en un tanque con agua durante 4 días (96 horas), registrar las lecturas de expansión cada 24 horas.

#### Ensayo Carga – Penetración:

- Después de los 4 días sacar los moldes del tanque, dejarlos drenar durante 15 minutos.
- Colocar la sobrecarga en cada molde, llevar a la prensa hidráulica, proceder el ensayo de penetración aplicando un pistón a una velocidad de 0.05 pulg/min, registrar las lecturas de carga y de penetración de cada muestra.
- Determinar nuevamente la densidad húmeda y el contenido de humedad de las muestras de cada molde.
- Dibujar las tres curvas de esfuerzo–deformación de las muestras de cada molde, en escala natural, el valor de la penetración se registrará en el eje de las abscisas y los valores de los esfuerzos en el eje de ordenadas.
- Determinar los esfuerzos correspondientes a 0.1” y 0.2” de penetración de cada una de las curvas esfuerzo – deformación.
- Determinar los índices de CBR para 0.1” y 0.2” de penetración, los cuales se obtienen dividiendo cada valor de esfuerzo correspondiente a 0.1” y 0.2” de la muestra ensayada entre el esfuerzo patrón correspondiente a 0.1” y 0.2” el cual se obtiene con la siguiente ecuación:

$$CBR = \frac{\sigma_t}{\sigma_p} \times 100 \quad (5)$$

$\sigma_t$ : Esfuerzo de la muestra ensayada.

$\sigma_p$ : Esfuerzo patrón.

- Dibujar las dos curvas de densidad seca correspondiente a 0.1” y 0.2” de penetración.
- El índice de CBR de diseño será el valor mínimo obtenido respecto al 95% de la densidad seca.

Asimismo, la presente investigación se desarrolló teniendo en consideración los siguientes aspectos éticos:

La información recopilada ha sido obtenida de diferentes fuentes académicas con acceso y libre descarga en beneficio de lector, todas las fuentes consultadas y consideradas en la redacción teórica y antecedentes fueron citadas respetando derechos de autor y la política anti-plagio, así mismo, para dar formato a la información recopilada se ha empleado las normas APA 7, finalmente la información obtenida se presenta sin alterar datos ni resultados y se emplea con fines académicos.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### Análisis Granulométrico

A continuación, se muestra la tabla de los porcentajes que se retiene y que pasa por cada tamiz, estos fueron obtenidos del ensayo granulométrico mediante tamizado en seco y por lavado, esta gradación cumple con las especificaciones del NT CE. 010 como material para subbase.

**Tabla 7**

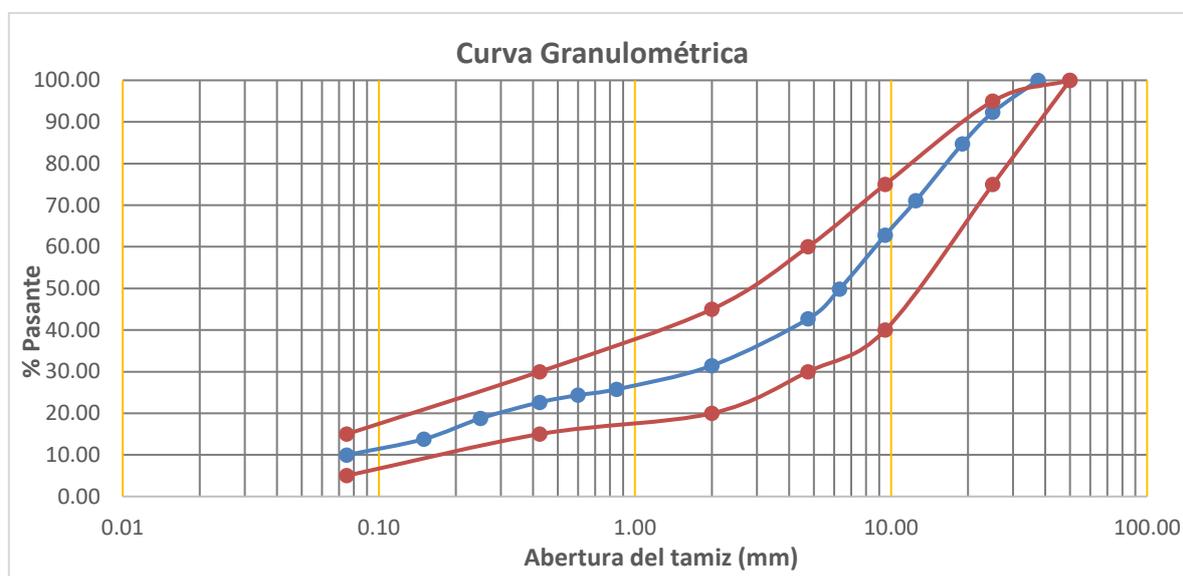
*Granulometría por tamizado*

GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO					
Malla	Abertura (mm)	P.R.P. (gr)	% RP	%RA	% que pasa
1 1/2"	37.500	0.000	0.000	0.000	100.000
1"	25.000	768.700	7.690	7.690	92.310
3/4"	19.000	757.800	7.580	15.270	84.730
1/2"	12.500	1367.200	13.670	28.940	71.060
3/8"	9.500	827.200	8.270	37.210	62.790
1/4"	6.300	1292.800	12.930	50.140	49.860
N°4	4.750	717.000	7.170	57.310	42.690
N°10	2.000	131.700	11.240	68.550	31.450
N°20	0.850	66.400	5.670	74.220	25.780
N°30	0.600	16.800	1.430	75.650	24.350
N°40	0.425	20.100	1.720	77.370	22.630
N°60	0.250	45.200	3.860	81.230	18.770
N°100	0.150	58.200	4.970	86.200	13.800
N°200	0.075	45.000	3.840	90.040	9.960
Cazoleta	-	116.600	9.960	100.000	0.000

*Nota.* Esta tabla corresponde a la ficha de recolección de granulometría el cual se muestra en la figura 22 del Anexo 3.

**Figura 4**

*Curva granulométrica*



**Límites de Atterberg**

El material empleado solo presenta límite líquido, no presenta límite plástico tal como se muestra en la figura 23 del Anexo 3, por tanto, tampoco presenta índice de plasticidad.

**Tabla 8**

*Límites de plasticidad*

<b>LÍMITES DE PLASTICIDAD</b>	
Límite Líquido (LL) (%)	19.83
Límite Plástico (LP) (%)	NP
Índice de Plasticidad (IP) (%)	NP

*Nota.* Esta tabla corresponde a los resultados obtenidos en el protocolo de ensayo de límites de plasticidad, el cual se muestra en la figura 23 del Anexo 3.

## Equivalente de arena

Según el protocolo de ensayo realizado, el cual se muestra en la figura 24 del Anexo 3, el material de cantera para subbase presenta un Equivalente de Arena promedio de 19.30%.

## Abrasión los Ángeles

El resultado obtenido en el ensayo de abrasión los ángeles del material para subbase como se muestra en la figura 25 del Anexo 3, el material presenta un porcentaje de desgaste del 42.95% el cual está dentro del rango permitido, según establece la norma NT CE. 010.

## Proctor Modificado

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos en el ensayo de Proctor Modificado (contenido óptimo de humedad y densidad máxima seca).

**Tabla 9**

*Proctor modificado*

<b>PROCTOR MODIFICADO</b>		
Muestra	Contenido Óptimo de Humedad (%)	Densidad máxima seca (gr/cm <sup>3</sup> )
Material Natural	5.80	2.23
Cal 3%	6.10	2.27
Cal 6%	6.50	2.29
PVC 2%	5.90	2.19
PVC 4%	6.20	2.16

*Nota.* Esta tabla corresponde a los resultados obtenidos en los protocolos del ensayo Compactación Proctor Modificado, el cual se muestran desde la figura 26 hasta la figura 30 del Anexo 3.

## CBR (California Bering Ratio)

Después de la saturación, las muestras que presentaron hinchamiento fueron, la muestra con adición del 3% de Cal, el cual se puede apreciar en la figura 34 del Anexo 3, del cual la muestra con mayor compactación alcanza una deformación de 0.064mm en un rango de 48 horas y el material con adición del 6% de Cal alcanza una deformación de 0.889mm a las 96 horas, el cual se puede apreciar en la figura 35 del Anexo 3.

En la siguiente tabla se muestran los resultados obtenidos del ensayo de CBR (California Bearing Ratio) para 0.1" y 0.2" de penetración.

**Tabla 10**

*Resultados de ensayo CBR (California Bearing Ratio)*

<b>CBR (CALIFORNIA BEARING RATIO)</b>		
Muestra	Resultado 0.1" - 95%	Resultado 0.2" - 95%
Material Natural	21.75	38.17
Cal 3%	51.02	65.77
Cal 6%	11.30	15.37
PVC 2%	25.60	48.22
PVC 4%	53.22	70.01

*Nota.* Esta tabla corresponde a los resultados obtenidos en los protocolos del ensayo de CBR, el cual se puede apreciar desde la figura 26 hasta la figura 30 del Anexo 3.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### Discusión

La presente investigación da a conocer ensayos que nos permiten identificar el tipo y calidad del suelo como son: El análisis granulométrico, tal como se muestra, el material presenta una buena gradación, sin embargo, una mínima parte se encuentra fuera del parámetro granulométrico que establece en la Tabla 4 de la Norma técnica CE.010 del RNE como material para subbase, por tanto, necesita adicionar un mínimo de material grueso.

Asimismo, el ensayo de Límites de Plasticidad del material para subbase de la cantera Aquino – El Gavilán presenta un Límite de plasticidad de 19.83% que según la Tabla 5 de la Norma Técnica CE.010 del RNE, se encuentra dentro del requerimiento establecido, sin embargo, no presenta índice de plasticidad lo que conlleva a no poder determinar el índice de plasticidad.

Del mismo modo, para el equivalente de arena, la Tabla 5 de la Norma Técnica CE.010 del RNE establece que para zonas ubicadas a una altitud menos a 3000 msnm el mínimo de equivalente de arena debe ser el 25%, sin embargo, el material ensayado tiene 19.30%, lo que implica aumentar el contenido de material fino.

En el ensayo de compactación de material mediante energía modificada, según los resultados obtenidos en la tabla 9 de la presente investigación, la adición de CAL al 3% y 6% produce un aumento tanto en el contenido de humedad como en la densidad seca, sin embargo, la adición de residuos de PVC al 2% y 4% presenta un aumento en el contenido de humedad y una disminución en la densidad seca.

Para la investigación se tiene que para el ensayo de CBR (California Bearing Ratio), según los resultados obtenidos, la tabla 10 muestran al material natural con un patrón de 0.1"

el CBR alcanza un 21.75%, el cual no cumple con lo que especifica la tabla 5 de la NT CE. 0.10 del RNE, esta especifica que, para pavimentos rígidos el material debe tener un mínimo de 30%, sin embargo, con un patrón de 0.2" alcanza un 38.17%.

Respecto a la incorporación de Cal, Según Estefanero Pérez & Arque Cari (2021), en su investigación menciona que los mejores resultados obtenidos fueron con la incorporación del 6%, sin embargo, para la presente investigación la adición del 6% no mejora esta capacidad, sin embargo, con la adición del 3% de Cal el CBR para un patrón de 0.1" alcanza un 51.02% y para 0.2" el CBR alcanza un 65.77%, resultado que se acerca más a los resultados de Taquilla Otiniano & Valdivia Julca, (2020), quien obtiene el mejor resultado al incorporar el 4% de Cal.

Respecto a incorporación de residuos de PVC en 2% y 4%, los dos porcentajes logran aumentar esta propiedad, sin embargo, al incorporar residuos de PVC al 4% se tiene los mejores resultados alcanzando para un patrón de 0.1" alcanza un 53.22% y para 0.2" el CBR alcanza un 70.01%, esta información obtenida concuerda con los resultados de Saravia Álvarez & Vejarano Ferrer (2019), que obtuvo los mejores resultados con la incorporación de 4% de PVC.

### **Limitación**

La presente investigación tuvo como limitación la temporada en que se desarrolló, la presencia de las fuertes lluvias limitaba la obtención del material de cantera, el material se encontraba saturado y el secado era muy lento.

Asimismo, la investigación se ha limitado a determinar la influencia de la incorporación de Cal y PVC en un material para subbase, por lo que no se ha considerado realizar una clasificación de suelos.

## **Implicancias**

La presente investigación queda a conocimiento que la incorporación de cal y residuos de PVC puede mejorar las propiedades del suelo de pavimentos y que los materiales empleados son de fácil acceso. Además, al utilizar PVC reciclado se contribuyen con el cuidado del medio ambiente.

También es de importancia teórica ya que busca aportar a la comunidad científica conocimientos relacionados con el mejoramiento de suelos en pavimentos.

Además, la investigación tiene relevancia social, puesto que, los usos de estos materiales empleados en el mejoramiento de suelos de pavimentos tendrán un impacto positivo, logrando ampliar el tiempo de vida del pavimento y por ende disminuyendo los costos de mantenimiento.

Cabe resaltar que esta investigación puede desarrollarse en lugares donde tengan características similares al lugar de aplicación, con el fin de profundizar el tema de investigación.

## **Conclusiones**

La incorporación de Cal al 3%, y residuos de PVC al 2% y 4%, logra un mejoramiento de las propiedades físicas y mecánicas del material, sin embargo, la incorporación de Cal al 6% no mejora, por lo tanto, la hipótesis planteada queda no queda aprobada en su totalidad.

Respecto al objetivo general, la incorporación de la Cal y residuos de PVC en el material de cantera para subbase de pavimentos influyen en las propiedades físicas y mecánicas, a diferencia de la muestra con material natural la incorporación de Cal y PVC provocan una variación respecto al contenido óptimo de humedad y la densidad máxima seca, asimismo, el CBR logra un incremento, este logra apreciarse solo con la incorporación del 3% de Cal, 2% y 4% de residuos de PVC.

Respecto a los objetivos secundarios tiene que el contenido óptimo de humedad de la muestra de material natural es 5.80%, y con la incorporación de CAL al 3% y 6% aumento a 6.10% y con el 6% a 6.50%. Así mismo, la adición de residuos de PVC al 2% y 4% se obtiene un contenido óptimo de humedad es de 5.90% y para PVC al 4% un 6.20%.

La densidad máxima seca del material natural es 2.23%, con la adición de CAL al 3% y 6% aumenta alcanzando un 2.27gr/cm<sup>3</sup> y un 2.29gr/cm<sup>3</sup> respectivamente. Sin embargo, con la adición de residuos de PVC al 2% y 4% no presentan un aumento con respecto a la densidad seca del material natural.

## REFERENCIAS

- Abonos ecológicos. (2020). *Cal Viva*. Abonos Conagrícolas. <https://abonosconagricola.com/project/cal-viva/>
- Acoplásticos. (2022). *¿Qué es el PVC? ¿Cuáles son sus principales propiedades y ventajas?* <https://www.acoplasticos.org/index.php/mnu-pre/opm-bus-pref/37-opc-fag-pre5>
- Agudelo Viana, L. G., & Aignerren Aburto, J. M. (2008). *Diseños de investigación experimental y no-experimental*. <https://hdl.handle.net/10495/2622>
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2020a). *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* [Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- Angulo Roldan, M., & Zavaleta Papa, C. N. (2020b). *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* [Tesis para optar el título profesional en Ingeniería Civil, Universidad Científica del Perú]. <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/1220>
- ComexPerú. (2020, febrero 28). *Infraestructura vial: Gobiernos subnacionales estancados. Sociedad de Comercio Exterior del Perú*. <https://www.comexperu.org.pe/articulo/infraestructura-vial-gobiernos-subnacionales-estancados>
- Estefanero Pérez, L. D., & Arque Cari, M. F. (2021). *Mejoramiento de la resistencia en la base granular con cal, en el pavimento articulado Arequipa - 2021* [Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo]. En *Título para obtener el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/72475>
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. del P. (2014). *Metodología de la investigación* (Sexta Edición). <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>

- Linares Ordoñez, C. J. (2019). *Propuesta de estabilización química de la red vial terciaria del municipio de Cogua* [Trabajo de grado, Universidad Militar Nueva Granada]. <http://hdl.handle.net/10654/32012>
- MTC. (2016, mayo). *Manual de ensayos de materiales*.
- MTC. (2018, febrero). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. Ministerio de transporte y comunicaciones.
- MYCAL. (2023). *MYCAL VIVA*. <https://mycal.com.pe/productos/mycal-viva/>
- NT CE.010. (2010). *Instituto de la construcción y gerencia*. Norma Técnica Pavimentos Urbanos. RNE. <https://www.construccion.org/normas/rne2012/rne2006.htm>
- Reyes Lizcano, F., & Rondón Quintana, H. (2015). *Pavimentos: Materiales, construcción y diseño*. <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=zuwcDgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP5&dq=pavimento&ots=-rgNPuIbNa&sig=1uwmb3I3rORe6NaCNCSTqEJz-BQ#v=onepage&q=pavimento&f=false>
- Saravia Alvarez, P. E., & Vejarano Ferrer, F. G. (2019). *Influencia de la adición de policloruro de vinilo reciclado sobre la compactación, capacidad de soporte y resistencia a la abrasión de un material granular para capa base del pavimento flexible de la Carretera Huanchaco – Santiago de Cao* [Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Trujillo]. <http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/13160>
- Solminihaq T., H., Echeverría G., G., & Thenoux Z., G. (1989). *Estabilización química de suelos: aplicaciones en la construcción de estructuras de pavimento*. Pontificia Universidad Católica de Chile. <https://repositorio.uc.cl/handle/11534/10036>
- Vilac, M., & Zabala, V. (2019, agosto 13). Países con mejores vías de la región. *Ekos*. <https://ekosnegocios.com/articulo/paises-con-mejores-vias-de-la-region#:~:text=Chile%2C%20Ecuador%2C%20M%C3%A9xico%20y%20Panam%C3%A1,redes%20viales%20de%20Am%C3%A9rica%20Latina.>
- WISE. (2021). *Por qué es importante la construcción de carreteras*. <https://blog.wise.com.mx/por-que-es-importante-la-construccion-de-carreteras>

## ANEXOS

### Anexo 1: Matriz de consistencia.

PREGUNTA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES
¿Cómo influye la incorporación de Cal y residuos de PVC en las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos?	<b>GENERAL:</b> Determinar la influencia de la incorporación de cal y residuos de PVC en las propiedades físicas y mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos.	La incorporación de Cal y residuos de PVC, mejoran las propiedades físico-mecánicas del material de cantera para subbase de pavimentos.	Independiente:  Incorporación de Cal y residuos de PVC  Dependiente:  Las propiedades del material para subbase
	<b>ESPECÍFICOS:</b> - Determinar la influencia de la cal al 3% y 6%, en las propiedades físicas del suelo (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca); - Determinar la influencia de los residuos de PVC al 2% y 4%, en las propiedades físicas del suelo (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca); - Determinar la influencia de la cal al 3% y 6%, en las propiedades mecánicas del suelo (CBR); - Determinar la influencia de los residuos de PVC al 2% y 4%, en las propiedades mecánicas del suelo (CBR); - Comparar las propiedades físicas suelo (Contenido óptimo de humedad, densidad máxima seca) y mecánicas (CBR) del material sin incorporación de cal y residuos de PVC con un material con incorporación cal y residuos de PVC en diferentes porcentajes.		

**Anexo 2:** Panel fotográfico.

**Figura 5** *Extracción del material de cantera para subbase "Cantera Aquino - El Gavilán".*



**Figura 6** *Recolección de material para ensayos*



**Figura 7** Selección de Restos de PVC en la planta de residuos sólidos Wilo S.R.L



**Figura 8** Triturado del material PVC reciclado



**Figura 9** *Ensayo de granulometría por tamizado*



**Figura 10** *Lavado de material fino para granulometría por tamizado*



**Figura 11** *Ensayo de límites de plasticidad*



**Figura 12** *Lavado de material para ensayo de Abrasión los ángeles*



**Figura 13** *Colocación de material en la máquina para ensayo de Abrasión.*



**Figura 14** *Extracción de material de ensayo de Abrasión los Ángeles*



**Figura 15** *Selección de material para ensayo de Equivalente de Arena*



**Figura 16** *Ensayo Equivalente de arena*



**Figura 17** *Ensayo para determinar el Equivalente de arena*



**Figura 18** Selección de material para ensayos de Proctor y CBR



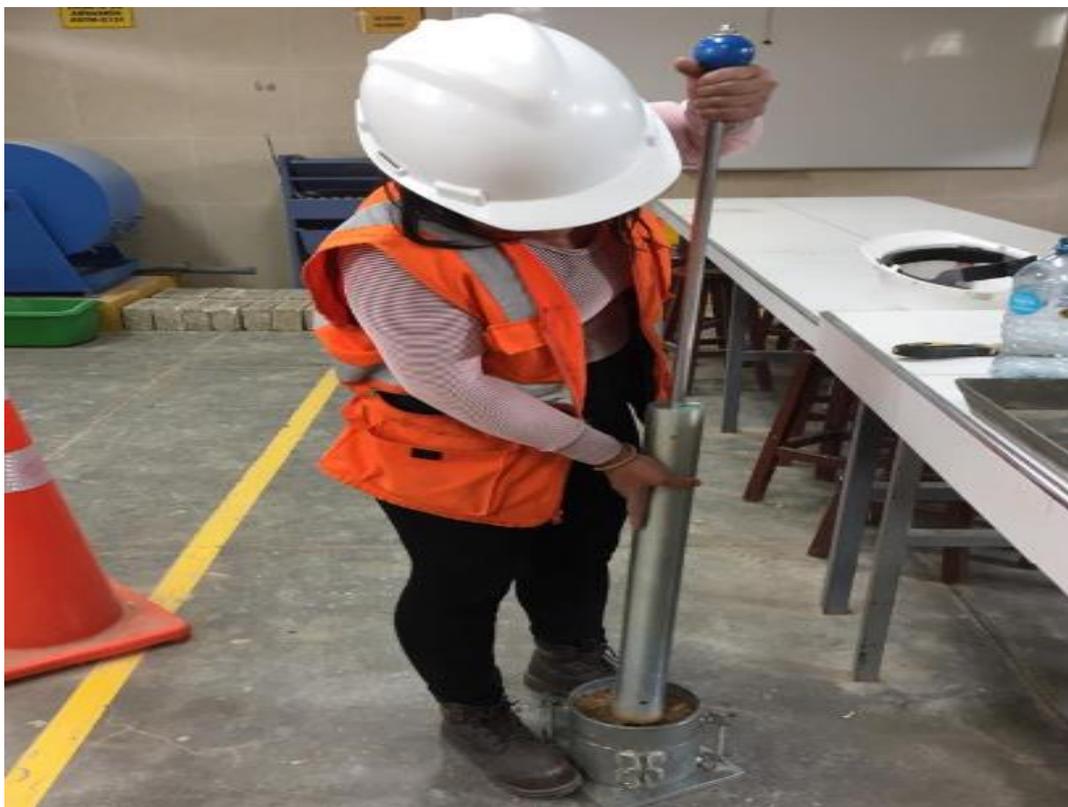
**Figura 19** Adición de Cal en el material natural



**Figura 20** *Adición de residuos de PVC al material natural*



**Figura 21** *Ensayo Proctor Modificado*



**Figura 22** *Ensayo de CBR*



**Figura 23** *Ensayo para determinar el esponjamiento del material*



**Figura 24** *Ensayo de penetración*



Anexo 3: Protocolos de ensayos.

Figura 25 Protocolo de ensayo de granulometría

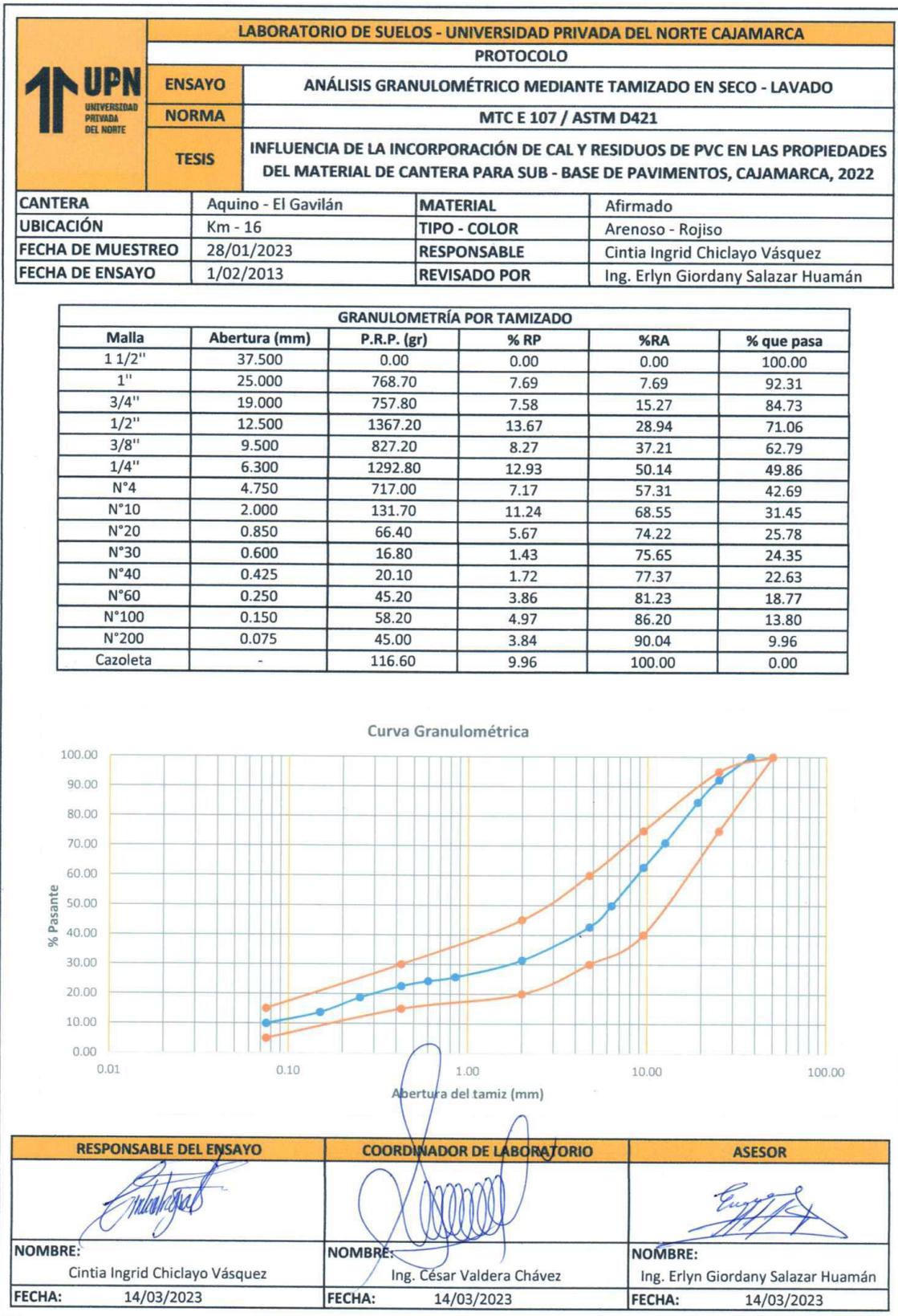


Figura 26 Protocolo de ensayo de límites de plasticidad

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO		LÍMITES DE PLASTICIDAD	
NORMA		NTP E339.130/MTC E 111 / ASTM D4318	
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022	
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	2/02/2013	REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

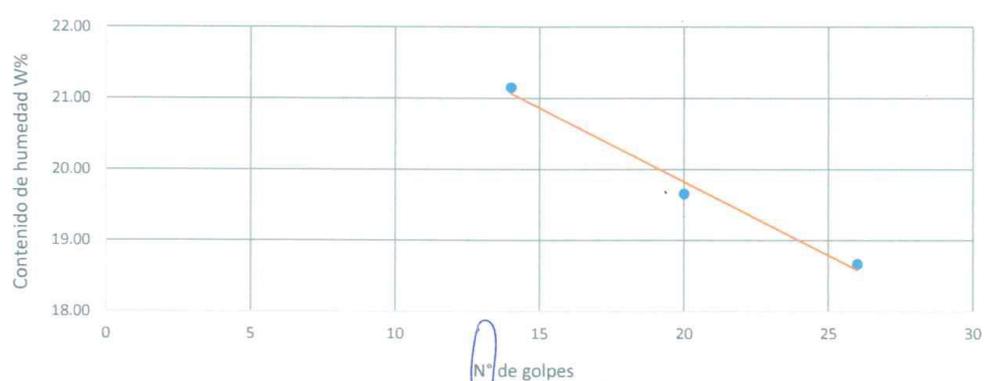
  

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	Abertura (mm)	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	M1	M2	M3
B	Suelo húmedo + Recipiente	gr	52.6	54.8	54.6
C	Suelo seco + Recipiente	gr	48.2	50.2	50.4
D	Peso de Resipiente	gr	27.4	26.8	27.9
E	Peso del Agua (B - C)	gr	4.4	4.6	4.2
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr	20.8	23.4	22.5
G	Número de Golpes	N	14	20	26
H	Contenido de Humedad (E/F) × 100	%	21.15	19.66	18.67

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	Abertura (mm)	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°			
B	Suelo húmedo + Recipiente	gr			
C	Suelo seco + Recipiente	gr			
D	Peso de Resipiente	gr			
E	Peso del Agua (B - C)	gr			
F	Peso Suelo Seco (C - D)	gr			
G	Número de Golpes	N			
H	Contenido de Humedad (E/F) × 100	%			

NO PRESENTA

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

**Figura 27** Protocolo para ensayo Equivalente de arena

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO	<b>EQUIVALENTE DE ARENA</b>		
NORMA	<b>NTP E339.146/MTC E 114 / ASTM D2419</b>		
TESIS	<b>INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022</b>		
<b>CANTERA</b>	Aquino - El Gavilán	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	Afirmado
<b>UBICACIÓN</b>	Km - 16	<b>COLOR DE MATERIAL</b>	Arenoso - Rojiso
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/01/2023	<b>RESPONSABLE</b>	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	3/02/2013	<b>REVISADO POR</b>	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

EQUIVALENTE DE ARENA					
ID	Abertura (mm)	UND	1	2	3
A	Hora de entrada a saturación	Hrs	03:50	03:53	03:55
B	Hora de salida de saturación	Hrs	04:00	04:03	04:05
C	Hora de entrada a decantación	Hrs	04:03	04:06	04:09
D	Hora de salida de decantación	Hrs	04:23	04:26	04:29
E	Altura del nivel de material fino	mm	139.00	138.00	140.00
F	Altura de nivel de arena	mm	27.00	26.50	27.00
G	Equivalentende arena $(SE\%) = \frac{E}{F} \times 100$	%	19.42	19.20	19.29
H	<b>Equivalente de arena promedio</b>	<b>%</b>	<b>19.30</b>		

$$(SE\%) = \frac{E}{F} \times 100$$
  

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
<b>NOMBRE:</b> Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	<b>NOMBRE:</b> Ing. César Valdera Chávez	<b>NOMBRE:</b> Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
<b>FECHA:</b> 14/03/2023	<b>FECHA:</b> 14/03/2023	<b>FECHA:</b> 14/03/2023

Figura 28 Protocolo ensayo Abrasión los Ángeles

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	ABRASIÓN LOS ANGELES (L.A.)	
	NORMA	MTC E 107 / ASTM D421	
	TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022	
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16		Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	3/02/2013	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

GRANULOMETRÍA DE ENSAYO				
GRADACIÓN	"A"	"B"	"C"	"D"
CARGA ABREASIVA (N° de esferas de acero)	12	11	8	6

GRANULOMETRÍA DE LA MUESTRA DE AGREGADO PARA ENSAYO					
Tamiz (pasa)	Tamiz (retiene)	"A" (gr)	"B" (gr)	"C" (gr)	"D" (gr)
1 1/2"	1"	1250±25			
1"	3/4"	1250±25			
3/4"	1/2"	1250±25	2500±10		
1/2"	3/8"	1250±25	2500±10		
3/8"	1/4"			2500±10	
1/4"	N°4			2500±10	
N°4	N°8				5000±10
Total		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

DESGASTE A LA ABRASIÓN			
ID	DESCRIPCIÓN	UNI	1
A	Peso de la muestra total	gr	5000.00
B	Peso retenido en el tamiz N°12	gr	2852.70
C	Desgaste a la abrasión de los Ángeles $C = \frac{(A - B) \times 100}{A}$	%	42.95

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

Figura 29 Protocolo ensayo Proctor modificado material natural

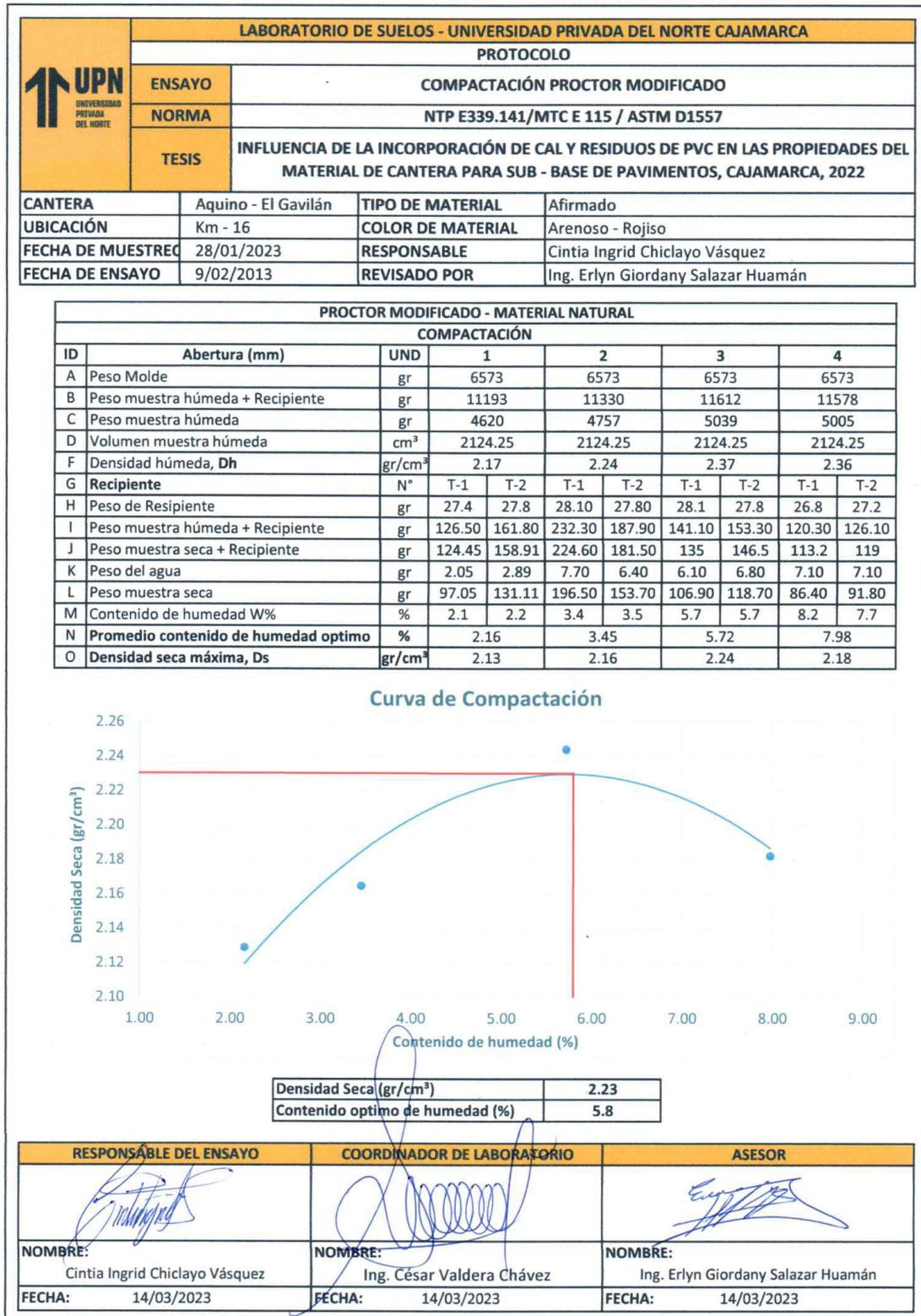


Figura 30 Protocolo ensayo Proctor modificado - PVC 2%

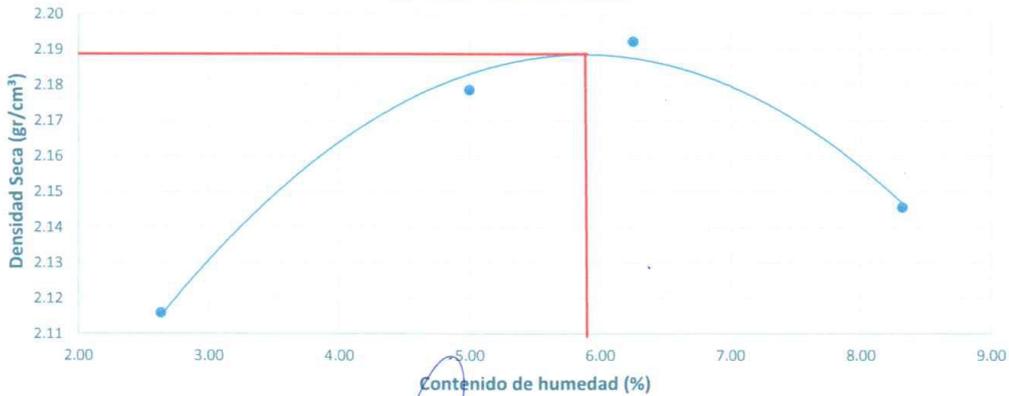
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO	COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO		
NORMA	NTP E339.141/MTC E 115 / ASTM D1557		
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	14/02/2013	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

PROCTOR MODIFICADO - PVC 2%										
COMPACTACIÓN										
ID	Abertura (mm)	UND	1	2	3	4				
A	Peso Molde	gr	6573	6555	6573	6555				
B	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	11186	11414	11521	11492				
C	Peso muestra húmeda	gr	4613	4859	4948	4937				
D	Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2124.25	2124.25	2124.25	2124.25				
F	Densidad húmeda, Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.17	2.29	2.33	2.32				
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2
H	Peso de Resipiente	gr	17.3	18.4	27.40	27.90	18.8	18.8	27.7	28.1
I	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	153.30	124.20	128.90	115.10	131.10	120.80	113.80	135.00
J	Peso muestra seca + Recipiente	gr	149.8	121.5	123.90	111.10	124.6	114.7	107.1	126.9
K	Peso del agua	gr	3.50	2.70	5.00	4.00	6.50	6.10	6.70	8.10
L	Peso muestra seca	gr	132.50	103.10	96.50	83.20	105.80	95.90	79.40	98.80
M	Contenido de humedad W%	%	2.6	2.6	5.2	4.8	6.1	6.4	8.4	8.2
N	Promedio contenido de humedad optimo	%	2.63		4.99		6.25		8.32	
O	Densidad seca máxima, Ds	gr/cm <sup>3</sup>	2.12	2.18	2.19	2.15				

**Curva de Compactación**



Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.19
Contenido optimo de humedad (%)	5.9

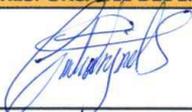
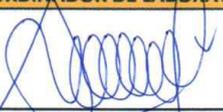
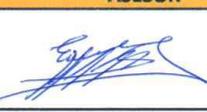
RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

Figura 31 Protocolo ensayo Proctor modificado - PVC 4%

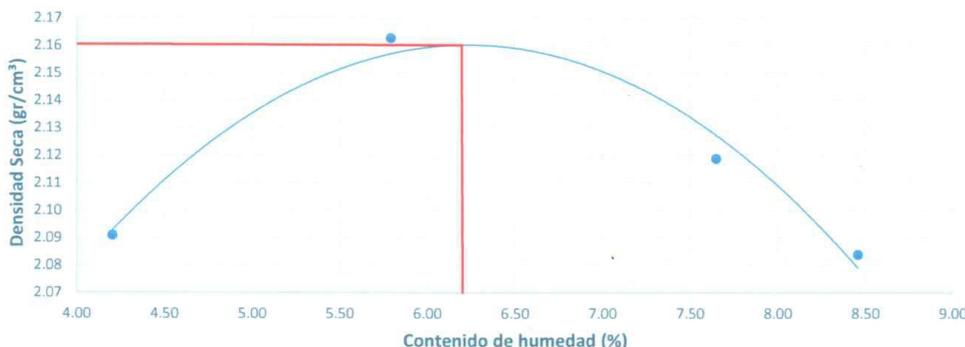
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO							
NORMA		NTP E339.141/MTC E 115 / ASTM D1557							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado						
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso						
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez						
FECHA DE ENSAYO	15/02/2013	REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán						

PROCTOR MODIFICADO - PVC 4%										
COMPACTACIÓN										
ID	Abertura (mm)	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6573		6573		6573		6573	
B	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	11201		11433		11418		11374	
C	Peso muestra húmeda	gr	4628		4860		4845		4801	
D	Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2124.25		2124.25		2124.25		2124.25	
F	Densidad húmeda, Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.18		2.29		2.28		2.26	
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2
H	Peso de Resipiente	gr	27.6	27.8	28.20	28.10	28.2	27.8	27.3	27.2
I	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	112.90	145.90	137.00	130.80	133.40	140.80	156.60	143.50
J	Peso muestra seca + Recipiente	gr	109.2	141.5	130.60	125.60	125.9	132.8	146	134.9
K	Peso del agua	gr	3.70	4.40	6.40	5.20	7.50	8.00	10.60	8.60
L	Peso muestra seca	gr	81.60	113.70	102.40	97.50	97.70	105.00	118.70	107.70
M	Contenido de humedad W%	%	4.5	3.9	6.3	5.3	7.7	7.6	8.9	8.0
N	Promedio contenido de humedad optimo	%	4.20		5.79		7.65		8.46	
O	Densidad seca máxima, Ds	gr/cm <sup>3</sup>	2.09		2.16		2.12		2.08	

**Curva de Compactación**



Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.16
Contenido optimo de humedad (%)	6.2

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

Figura 32 Protocolo ensayo Proctor modificado - Cal 3%

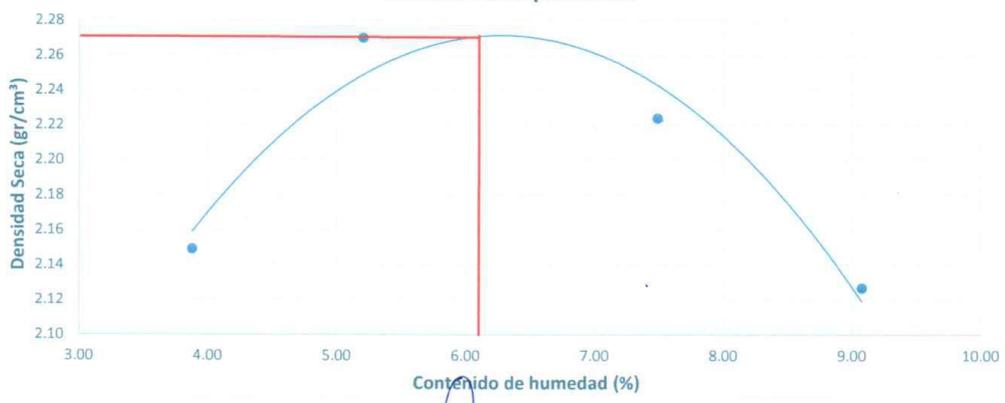
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO							
NORMA		NTP E339.141/MTC E 115 / ASTM D1557							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado						
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso						
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez						
FECHA DE ENSAYO	10/02/2023	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán						

PROCTOR MODIFICADO - CAL 3%										
COMPACTACIÓN										
ID	Abertura (mm)	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6573		6555		6573		6573	
B	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	11315		11628		11651		11501	
C	Peso muestra húmeda	gr	4742		5073		5078		4928	
D	Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2124.25		2124.25		2124.25		2124.25	
F	Densidad húmeda, Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.23		2.39		2.39		2.32	
G	Recipiente	Nº	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2
H	Peso de Resipiente	gr	17.3	18.3	18.70	18.70	27.9	27.6	28.1	27.8
I	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	113.20	152.30	159.00	167.70	146.90	180.40	116.00	134.50
J	Peso muestra seca + Recipiente	gr	109.4	147.6	151.80	160.60	138.8	169.5	108.7	125.6
K	Peso del agua	gr	3.80	4.70	7.20	7.10	8.10	10.90	7.30	8.90
L	Peso muestra seca	gr	92.10	129.30	133.10	141.90	110.90	141.90	80.60	97.80
M	Contenido de humedad W%	%	4.1	3.6	5.4	5.0	7.3	7.7	9.1	9.1
N	Promedio contenido de humedad optimo	%	3.88		5.21		7.49		9.08	
O	Densidad seca máxima, Ds	gr/cm <sup>3</sup>	2.15		2.27		2.22		2.13	

**Curva de Compactación**



Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.27
Contenido optimo de humedad (%)	6.1

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

Figura 33 Protocolo ensayo Proctor modificado - Cal 6%

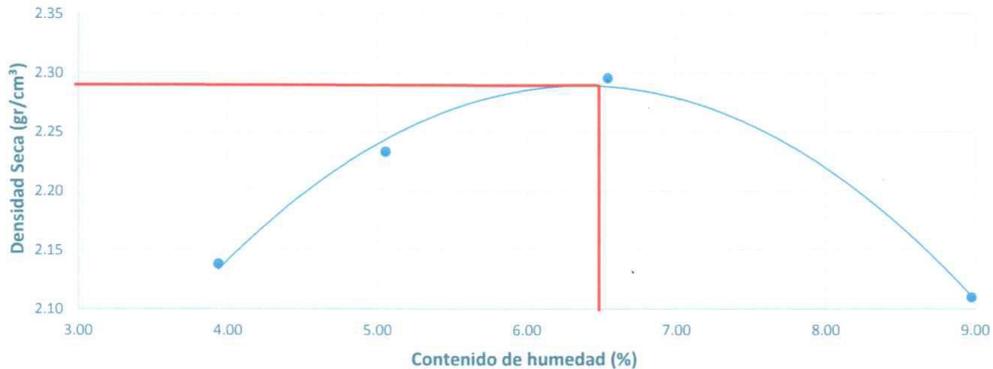
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		COMPACTACIÓN PROCTOR MODIFICADO							
NORMA		NTP E339.141/MTC E 115 / ASTM D1557							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado						
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso						
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez						
FECHA DE ENSAYO	11/02/2023	REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán						

PROCTOR MODIFICADO - CAL 6%										
COMPACTACIÓN										
ID	Abertura (mm)	UND	1		2		3		4	
A	Peso Molde	gr	6555		6573		6573		6573	
B	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	11276		11556		11768		11457	
C	Peso muestra húmeda	gr	4721		4983		5195		4884	
D	Volumen muestra húmeda	cm <sup>3</sup>	2124.25		2124.25		2124.25		2124.25	
F	Densidad húmeda, Dh	gr/cm <sup>3</sup>	2.22		2.35		2.45		2.30	
G	Recipiente	N°	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2	T-1	T-2
H	Peso de Resipiente	gr	28.2	27.8	27.4	27.8	27.9	28.1	28.2	27.9
I	Peso muestra húmeda + Recipiente	gr	127.10	140.00	150.2	150.3	130.50	154.10	148.90	118.00
J	Peso muestra seca + Recipiente	gr	123.4	135.7	144.1	144.6	124.5	146	139.2	110.4
K	Peso del agua	gr	3.70	4.30	6.10	5.70	6.00	8.10	9.70	7.60
L	Peso muestra seca	gr	95.20	107.90	116.70	116.80	96.60	117.90	111.00	82.50
M	Contenido de humedad W%	%	3.9	4.0	5.2	4.9	6.2	6.9	8.7	9.2
N	Promedio contenido de humedad optimo	%	3.94		5.05		6.54		8.98	
O	Densidad seca máxima, Ds	gr/cm <sup>3</sup>	2.14		2.23		2.30		2.11	

**Curva de Compactación**



Densidad Seca (gr/cm <sup>3</sup> )	2.29
Contenido optimo de humedad (%)	6.5

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

**Figura 34** Protocolo ensayo de CBR - Material natural

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR							
NORMA		MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán			TIPO DE MATERIAL	Afirmado				
UBICACIÓN	Km - 16			COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso				
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023			RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez				
FECHA DE ENSAYO	14/02/2023			REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR - MATERIAL NATURAL							
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por capa		13		27		55	
Condición de muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso molde	gr	8300	8300	8028	8028	8242	8242
Peso muestra húmeda + molde	gr	13280	13353	13656	13699	13764	13786
Peso muestra húmeda	gr	4980	5053	5628	5671	5522	5544
Volumen muestra húmeda	gr	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91
Densidad máxima húmeda (Dh)	%	2.13	2.16	2.41	2.43	2.36	2.37

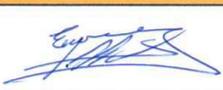
  

CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C
Peso recipiente	gr	28.10	26.60	27.90	27.90	27.10	28.40	27.40	27.80	28.40
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	162.30	135.20	99.00	122.50	159.40	98.20	113.00	129.70	122.60
Peso muestra seca + recipiente	gr	154.00	129.80	93.40	118.30	150.50	93.20	108.50	123.50	116.00
Peso del agua	gr	8.30	5.40	5.60	4.20	8.90	5.00	4.50	6.20	6.60
Peso muestra seca	gr	125.90	103.20	65.50	90.40	123.40	64.80	81.10	95.70	87.60
Contenido de humedad (W%)	%	5.91		8.55	5.93		7.72	6.01		7.53
Promedio Conteido de humedad	%	7.23			6.82			6.77		
Densidad máxima seca (Ds)	gr/cm <sup>3</sup>	1.99			2.26			2.21		

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
Horas	Días	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	
	NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429	
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	14/02/2023	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

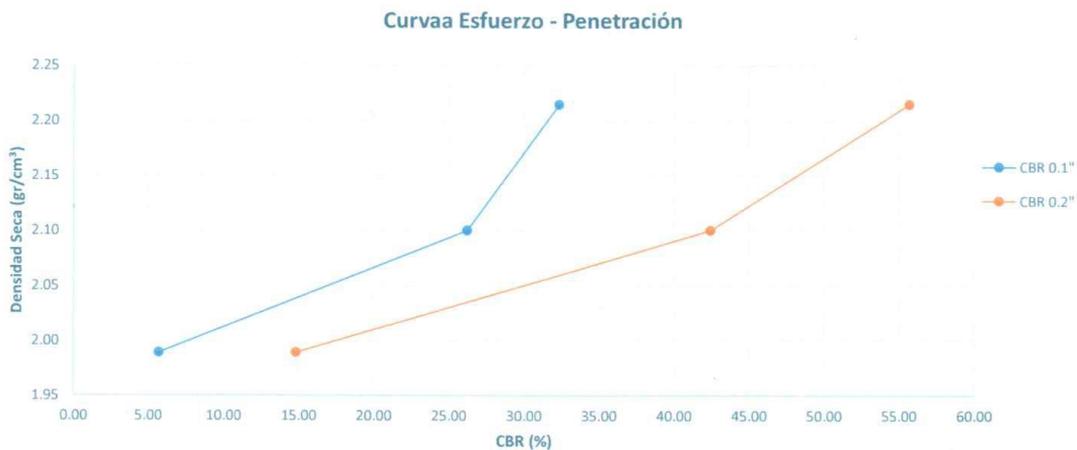
CARGA - PENETRACIÓN (MATERIAL NATURAL)										
PENETRACIÓN		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulgadas	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	22.63	1.12	15.88	41.35	2.04	29.02	74.80	3.69	52.49
1.27	0.050	34.91	1.72	24.50	136.14	6.72	95.54	189.80	9.36	133.20
1.91	0.075	53.32	2.63	37.42	251.10	12.39	176.21	316.36	15.61	222.01
2.54	0.100	80.93	3.99	56.79	373.63	18.43	262.20	460.86	22.74	323.41
3.18	0.125	116.21	5.73	81.55	509.81	25.15	357.76	636.40	31.40	446.60
3.81	0.150	169.88	8.38	119.21	644.34	31.79	452.17	806.23	39.78	565.77
4.45	0.175	240.38	11.86	168.69	769.59	37.97	540.06	974.03	48.06	683.53
5.08	0.200	316.97	15.64	222.44	906.93	44.75	636.44	1190.35	58.73	835.34
6.35	0.250	511.34	25.23	358.84	1146.20	56.55	804.35	1625.07	80.18	1140.40
7.62	0.300	739.05	36.46	518.63	1403.31	69.24	984.78	1978.25	97.60	1388.25
8.89	0.350	992.32	48.96	696.37	1634.17	80.63	1146.79	2351.69	116.03	1650.32
10.16	0.400	1260.36	62.18	884.47	1830.71	90.32	1284.72	2671.44	131.80	1874.70



RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
	ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	
	NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429	
	TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022	
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	14/02/2023	REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA (MATERIAL NATURAL)						
Molde N°	MOLDE N°01		MOLDE N°02		MOLDE N°03	
Penetración (pulg)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	56.79	222.44	262.20	636.44	323.41	835.34
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	5.68	14.83	26.22	42.43	32.34	55.69
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.99		2.10		2.21	



RESULTADO 0.01" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.10
CBR (%)	21.75

RESULTADO 0.2" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.10
CBR (%)	38.17

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

Figura 35 Protocolo ensayo de CBR - PVC 2%

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR							
NORMA		MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán			TIPO DE MATERIAL	Afirmado				
UBICACIÓN	Km - 16			COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso				
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023			RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez				
FECHA DE ENSAYO	14/02/2023			REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR - PVC 2%							
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por capa		13		27		55	
Condición de muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso molde	gr	8025	8025	7979	7979	7220	7220
Peso muestra húmeda + molde	gr	12339	13353	13258	13699	13344	13786
Peso muestra húmeda	gr	4314	5328	5279	5720	6124	6566
Volumen muestra húmeda	gr	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91
Densidad máxima húmeda (Dh)	%	1.85	2.28	2.26	2.45	2.62	2.81

CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C
Peso recipiente	gr	27.60	27.90	27.40	18.70	18.80	28.00	17.30	18.40	27.80
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	155.90	146.20	142.40	121.90	134.50	113.90	117.50	109.00	120.10
Peso muestra seca + recipiente	gr	148.00	140.10	134.20	115.80	128.20	108.50	110.90	104.80	114.40
Peso del agua	gr	7.90	6.10	8.20	6.10	6.30	5.40	6.60	4.20	5.70
Peso muestra seca	gr	120.40	112.20	106.80	97.10	109.40	80.50	93.60	86.40	86.60
Contenido de humedad (W%)	%	6.00		7.68	6.02		6.71	5.96		6.58
Promedio Conteido de humedad	%	6.84			6.36			6.27		
Densidad máxima seca (Ds)	gr/cm <sup>3</sup>	1.73			2.13			2.47		

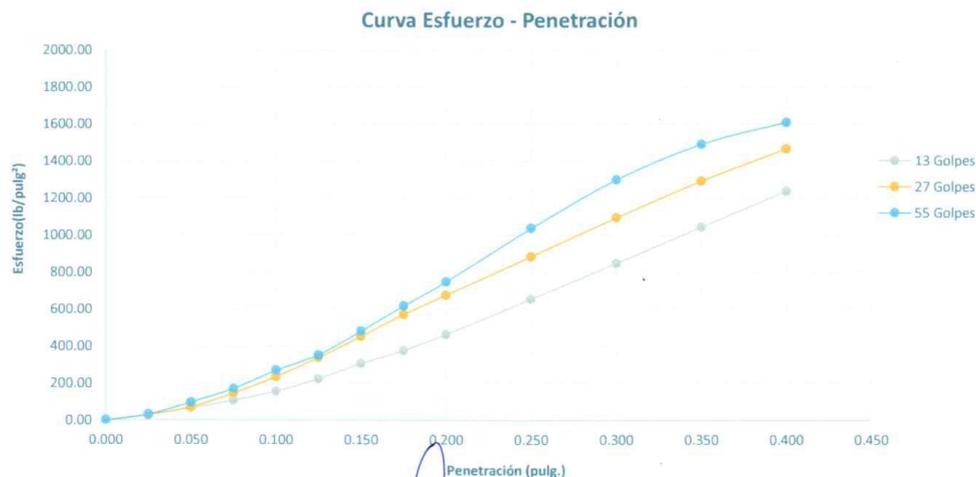
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
Horas	Días	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	Hinchamiento %	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	Hinchamiento %	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	Hinchamiento %
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									

RESPONSABLE DEL ENSAYO		COORDINADOR DE LABORATORIO		ASESOR	
					
NOMBRE:	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE:	Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE:	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA:	14/03/2023	FECHA:	14/03/2023	FECHA:	14/03/2023

<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR</b>	
	<b>NORMA</b>	<b>MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429</b>	
	<b>TESIS</b>	<b>INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022</b>	
<b>CANTERA</b>	Aquino - El Gavilán	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	Afirmado
<b>UBICACIÓN</b>	Km - 16	<b>COLOR DE MATERIAL</b>	Arenoso - Rojiso
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/01/2023	<b>RESPONSABLE</b>	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	14/02/2023	<b>REVISADO POR</b>	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán

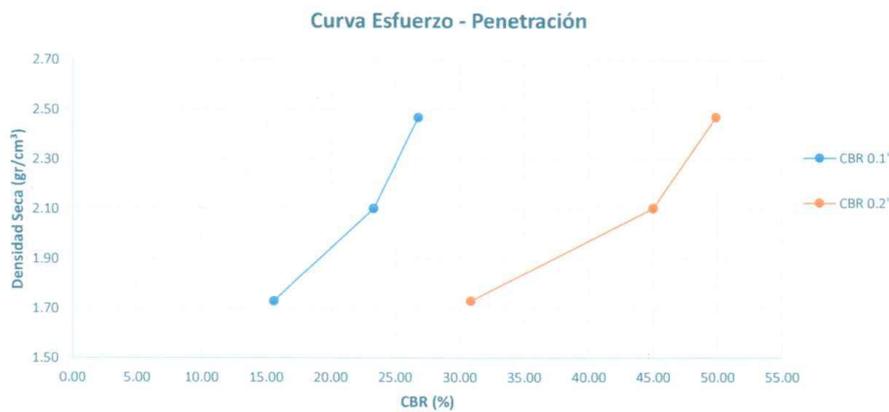
CARGA - PENETRACIÓN (PVC 2%)										
PENETRACIÓN		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulgadas	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	41.04	2.02	28.80	37.97	1.87	26.65	44.11	2.18	30.96
1.27	0.050	93.20	4.60	65.41	99.34	4.90	69.71	137.68	6.79	96.62
1.91	0.075	151.48	7.47	106.30	205.13	10.12	143.95	241.91	11.94	169.76
2.54	0.100	221.99	10.95	155.78	332.29	16.39	233.18	381.28	18.81	267.57
3.18	0.125	316.97	15.64	222.44	479.22	23.64	336.30	500.64	24.70	351.32
3.81	0.150	433.32	21.38	304.09	641.29	31.64	450.03	684.07	33.75	480.05
4.45	0.175	534.28	26.36	374.94	810.81	40.00	568.99	877.95	43.32	616.10
5.08	0.200	659.62	32.54	462.89	961.83	47.45	674.97	1065.47	52.57	747.70
6.35	0.250	932.86	46.03	654.64	1260.36	62.18	884.47	1479.30	72.99	1038.11
7.62	0.300	1208.62	59.63	848.16	1558.27	76.88	1093.53	1851.02	91.33	1298.97
8.89	0.350	1488.41	73.44	1044.50	1840.41	90.80	1291.52	2125.02	104.84	1491.25
10.16	0.400	1764.62	87.06	1238.34	2088.72	103.05	1465.77	2294.31	113.20	1610.04



RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR		
NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429		
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	14/02/2023	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA (PVC 2%)						
Molde N°	MOLDE N°01		MOLDE N°02		MOLDE N°03	
Penetración (pulg)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	155.78	462.89	233.18	674.97	267.57	747.70
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	15.58	30.86	23.32	45.00	26.76	49.85
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.73		2.10		2.47	



RESULTADO 0.01" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.34
CBR (%)	25.60

RESULTADO 0.2" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.34
CBR (%)	48.22

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

Figura 36 Protocolo ensayo de CBR - PVC 4%

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR							
NORMA		MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán			TIPO DE MATERIAL	Afirmado				
UBICACIÓN	Km - 16			COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso				
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023			RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez				
FECHA DE ENSAYO	22/02/2023			REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR - PVC 4%							
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por capa		13		27		55	
Condición de muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso molde	gr	7799	7799	7975	7975	7220	7220
Peso muestra húmeda + molde	gr	12610	12776	13037	13137	13189	13237
Peso muestra húmeda	gr	4811	4977	5062	5162	5969	6017
Volumen muestra húmeda	gr	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91
Densidad máxima húmeda (Dh)	%	2.06	2.13	2.17	2.21	2.56	2.58

CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C
Peso recipiente	gr	27.00	28.10	28.40	27.30	27.70	27.90	29.20	28.90	28.10
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	155.70	134.20	128.00	149.90	134.80	99.40	149.30	148.80	137.50
Peso muestra seca + recipiente	gr	146.10	129.60	120.10	142.90	128.30	93.50	142.50	141.40	130.00
Peso del agua	gr	9.60	4.60	7.90	7.00	6.50	5.90	6.80	7.40	7.50
Peso muestra seca	gr	119.10	101.50	91.70	115.60	100.60	65.60	113.30	112.50	101.90
Contenido de humedad (W%)	%	6.30		8.62	6.26		8.99	6.29		7.36
Promedio Conteido de humedad	%	7.46			7.63			6.82		
Densidad máxima seca (Ds)	gr/cm <sup>3</sup>	1.92			2.01			2.39		

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
Horas	Días	Deformación	mm	%	Deformación	mm	%	Deformación	mm	%
24	1									
48	2									
72	3									
96	4									

NO PRESENTA

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	
	NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429	
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojizo
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	22/02/2023	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

CARGA - PENETRACIÓN (PVC 4%)										
PENETRACIÓN		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulgadas	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	16.49	0.81	11.57	99.34	4.90	69.71	116.21	5.73	81.55
1.27	0.050	37.97	1.87	26.65	307.78	15.19	215.99	353.72	17.45	248.23
1.91	0.075	77.86	3.84	54.64	479.22	23.64	336.30	607.67	29.98	426.43
2.54	0.100	123.88	6.11	86.93	632.12	31.19	443.59	888.63	43.84	623.60
3.18	0.125	169.88	8.38	119.21	766.54	37.82	537.92	1147.72	56.63	805.42
3.81	0.150	217.39	10.73	152.56	891.68	43.99	625.74	1400.27	69.09	982.65
4.45	0.175	261.83	12.92	183.74	992.32	48.96	696.37	1606.85	79.28	1127.62
5.08	0.200	300.13	14.81	210.62	1088.32	53.70	763.74	1819.20	89.76	1276.63
6.35	0.250	375.16	18.51	263.27	1260.36	62.18	884.47	2185.50	107.83	1533.69
7.62	0.300	442.50	21.83	310.53	1409.39	69.54	989.05	2508.64	123.77	1760.46
8.89	0.350	506.75	25.00	355.62	1594.71	78.68	1119.10	2924.31	144.28	2052.15
10.16	0.400	555.69	27.42	389.96	1785.85	88.11	1253.23	3284.77	162.06	2305.11



RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

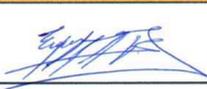
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR		
NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429		
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	22/02/2023	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA (PVC 4%)						
Molde N°	MOLDE N°01		MOLDE N°02		MOLDE N°03	
Penetración (pulg)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	86.93	210.62	443.59	763.74	623.60	1276.63
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	8.69	14.04	44.36	50.92	62.36	85.11
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.92		2.10		2.39	



RESULTADO 0.01" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.27
CBR (%)	53.22

RESULTADO 0.2" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.27
CBR (%)	70.01

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

**Figura 37 Protocolo ensayo de CBR - Cal 3%**

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA									
PROTOCOLO									
ENSAYO		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR							
NORMA		MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429							
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022							
CANTERA	Aquino - El Gavilán			TIPO DE MATERIAL	Afirmado				
UBICACIÓN	Km - 16			COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso				
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023			RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez				
FECHA DE ENSAYO	23/02/2023			REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán				

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR - CAL 3%							
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por capa		13		27		55	
Condición de muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso molde	gr	7935	7935	7850	7850	7806	7806
Peso muestra húmeda + molde	gr	12872	13105	13195	13263	13149	13213
Peso muestra húmeda	gr	4937	5170	5345	5413	5343	5407
Volumen muestra húmeda	gr	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91
Densidad máxima húmeda (Dh)	%	2.11	2.21	2.29	2.32	2.29	2.32

CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C
Peso recipiente	gr	28.4	28.3	28.4	27.9	28.3	29.3	29.1	28.1	28.1
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	184.6	152.4	144.4	136.1	157.7	133.8	136.8	154.9	103.8
Peso muestra seca + recipiente	gr	176	144.6	132.2	129.4	150.4	125.4	131.2	146.7	97.8
Peso del agua	gr	8.6	7.8	12.2	6.7	7.3	8.4	5.6	8.2	6
Peso muestra seca	gr	147.6	116.3	103.8	101.5	122.1	96.1	102.1	118.6	69.7
Contenido de humedad (W%)	%	6.27		11.75	6.29		8.74	6.20		8.61
Promedio Conteido de humedad	%	9.01			7.52			7.40		
Densidad máxima seca (Ds)	gr/cm <sup>3</sup>	1.94			2.13			2.13		

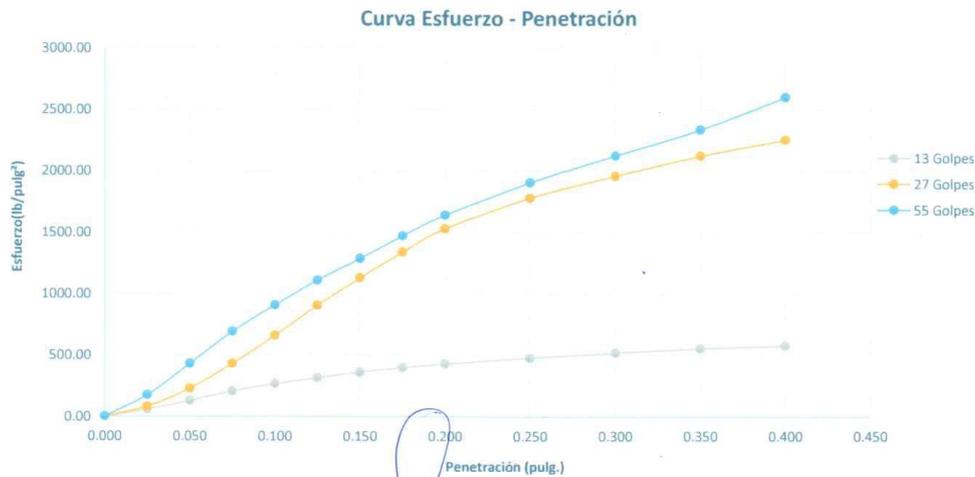
ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
Horas	Días	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%
24	1	0.021	0.533	100	0.004	0.102	100	0.003	0.064	100
48	2	0.021	0.533	100	0.004	0.102	100	0.003	0.064	100
72	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-
96	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-

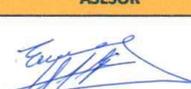
  

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

	LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA		
	PROTOCOLO		
	ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR	
	NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429	
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	23/02/2023	REVISADO POR	Ing. Erllyn Giordany Salazar Huamán

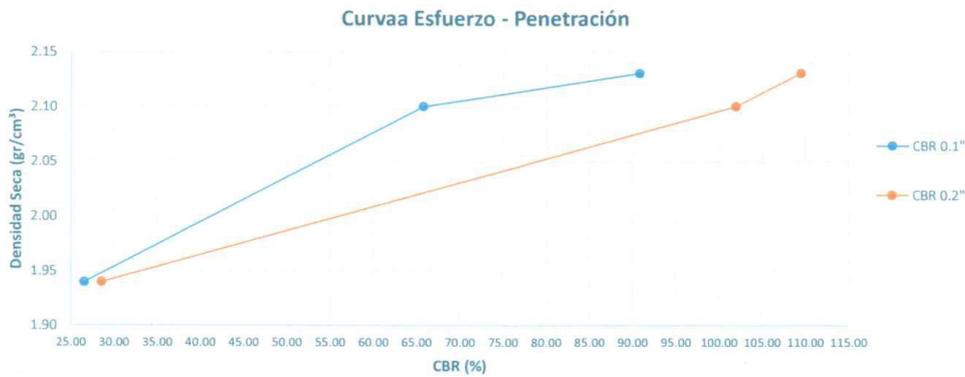
CARGA - PENETRACIÓN (CAL 3%)										
PENETRACIÓN		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulgadas	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	80.93	3.99	56.79	114.68	5.66	80.47	249.57	12.31	175.14
1.27	0.050	182.14	8.99	127.82	323.10	15.94	226.74	610.72	30.13	428.58
1.91	0.075	294.00	14.51	206.32	609.19	30.06	427.51	983.17	48.51	689.95
2.54	0.100	378.22	18.66	265.42	937.43	46.25	657.85	1293.83	63.84	907.95
3.18	0.125	450.15	22.21	315.90	1287.75	63.54	903.68	1581.05	78.01	1109.51
3.81	0.150	515.93	25.46	362.06	1606.85	79.28	1127.62	1834.35	90.50	1287.27
4.45	0.175	567.92	28.02	398.54	1907.08	94.09	1338.30	2099.31	103.58	1473.20
5.08	0.200	610.72	30.13	428.58	2179.46	107.53	1529.45	2339.61	115.43	1641.84
6.35	0.250	681.01	33.60	477.90	2535.79	125.11	1779.51	2716.63	134.03	1906.41
7.62	0.300	739.05	36.46	518.63	2788.90	137.60	1957.13	3026.53	149.32	2123.89
8.89	0.350	787.91	38.87	552.92	3020.52	149.03	2119.67	3325.26	164.06	2333.52
10.16	0.400	821.49	40.53	576.49	3206.75	158.21	2250.35	3704.12	182.75	2599.39



RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erllyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR</b>	
	<b>NORMA</b>	<b>MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429</b>	
	<b>TESIS</b>	<b>INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022</b>	
<b>CANTERA</b>	Aquino - El Gavilán	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	Afirmado
<b>UBICACIÓN</b>	Km - 16	<b>COLOR DE MATERIAL</b>	Arenoso - Rojiso
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/01/2023	<b>RESPONSABLE</b>	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	23/02/2023	<b>REVISADO POR</b>	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA (CAL 3%)						
Molde N°	MOLDE N°01		MOLDE N°02		MOLDE N°03	
Penetración (pulg)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	265.42	428.58	657.85	1529.45	907.95	1641.84
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	26.54	28.57	65.78	101.96	90.80	109.46
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	1.94		2.10		2.13	



RESULTADO 0.01" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.02
CBR (%)	51.02

RESULTADO 0.2" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.02
CBR (%)	65.77

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

**Figura 38** Protocolo ensayo de CBR - Cal 6%

LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA							
PROTOCOLO							
ENSAYO		CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR					
NORMA		MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429					
TESIS		INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022					
CANTERA	Aquino - El Gavilán			TIPO DE MATERIAL	Afirmado		
UBICACIÓN	Km - 16			COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso		
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023			RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez		
FECHA DE ENSAYO	27/02/2023			REVISADO POR	Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán		

CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR - CAL 6%							
DESCRIPCIÓN	UND	1		2		3	
N° Golpes		5		5		5	
N° Golpes por capa		13		27		55	
Condición de muestra		Antes	Despues	Antes	Despues	Antes	Despues
Peso molde	gr	7219	7219	7978	7978	8023	8023
Peso muestra húmeda + molde	gr	12423	12546	13016	13225	13452	13489
Peso muestra húmeda	gr	5204	5327	5038	5247	5429	5466
Volumen muestra húmeda	gr	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91	2334.91
Densidad máxima húmeda (Dh)	%	2.23	2.28	2.16	2.25	2.33	2.34

CONTENIDO DE HUMEDAD										
Ensayo	N°	1 - A	1 - B	1 - C	2 - A	2 - B	2 - C	3 - A	3 - B	3 - C
Peso recipiente	gr	28.1	27.4	28	27.8	29.9	27.6	28.1	27	28.8
Peso muestra húmeda + recipiente	gr	148.7	131.8	98.5	154.7	176.4	119.6	139.3	136.4	122.5
Peso muestra seca + recipiente	gr	141.5	125.1	91.2	147.2	166.9	110.1	132.8	129.3	113.2
Peso del agua	gr	7.2	6.7	7.3	7.5	9.5	9.5	6.5	7.1	9.3
Peso muestra seca	gr	113.4	97.7	63.2	119.4	137	82.5	104.7	102.3	84.4
Contenido de humedad (W%)	%	6.60		11.55	6.61		11.52	6.57		11.02
Promedio Conteido de humedad	%	9.08			9.06			8.80		
Densidad máxima seca (Ds)	gr/cm <sup>3</sup>	2.04			1.98			2.14		

ENSAYO DE HINCHAMIENTO										
TIEMPO ACUMULADO		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
Horas	Días	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%	Lectura Deformación	Hinchamiento mm	%
24	1	0.021	0.533	30	0.017	0.419	37	0.011	0.279	31
48	2	0.034	0.864	49	0.022	0.559	49	0.017	0.432	49
72	3	0.044	1.105	62	0.034	0.864	76	0.024	0.597	67
96	4	0.070	1.778	100	0.045	1.130	100	0.035	0.889	100

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Erlyn Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

<b>LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA</b>			
<b>PROTOCOLO</b>			
	<b>ENSAYO</b>	<b>CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR</b>	
	<b>NORMA</b>	<b>MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429</b>	
	<b>TESIS</b>	<b>INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022</b>	
<b>CANTERA</b>	Aquino - El Gavilán	<b>TIPO DE MATERIAL</b>	Afirmado
<b>UBICACIÓN</b>	Km - 16	<b>COLOR DE MATERIAL</b>	Arenoso - Rojiso
<b>FECHA DE MUESTREO</b>	28/01/2023	<b>RESPONSABLE</b>	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
<b>FECHA DE ENSAYO</b>	27/02/2023	<b>REVISADO POR</b>	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

CARGA - PENETRACIÓN (CAL 6%)										
PENETRACIÓN		MOLDE N°01			MOLDE N°02			MOLDE N°03		
		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo		Carga	Esfuerzo	
mm	Pulgadas	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>	Kg	Kg/cm <sup>2</sup>	Lb/pl <sup>2</sup>
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	47.18	2.33	33.11	56.39	2.78	39.57	108.54	5.36	76.17
1.27	0.050	90.14	4.45	63.25	177.54	8.76	124.59	255.70	12.62	179.44
1.91	0.075	163.74	8.08	114.91	316.97	15.64	222.44	488.40	24.10	342.74
2.54	0.100	258.76	12.77	181.59	466.98	23.04	327.71	778.75	38.42	546.49
3.18	0.125	347.60	17.15	243.93	633.65	31.26	444.67	1076.14	53.09	755.19
3.81	0.150	436.38	21.53	306.23	806.23	39.78	565.77	1372.91	67.74	963.45
4.45	0.175	509.81	25.15	357.76	955.73	47.15	670.69	1641.76	81.00	1152.12
5.08	0.200	574.04	28.32	402.83	1095.94	54.07	769.08	1879.81	92.75	1319.17
6.35	0.250	681.01	33.60	477.90	1330.33	65.64	933.57	2279.20	112.45	1599.44
7.62	0.300	760.43	37.52	533.64	1515.75	74.78	1063.69	2599.11	128.24	1823.94
8.89	0.350	833.70	41.13	585.05	1661.49	81.97	1165.96	2900.25	143.09	2035.27
10.16	0.400	900.83	44.45	632.16	1794.94	88.56	1259.61	3229.26	159.33	2266.15



RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023

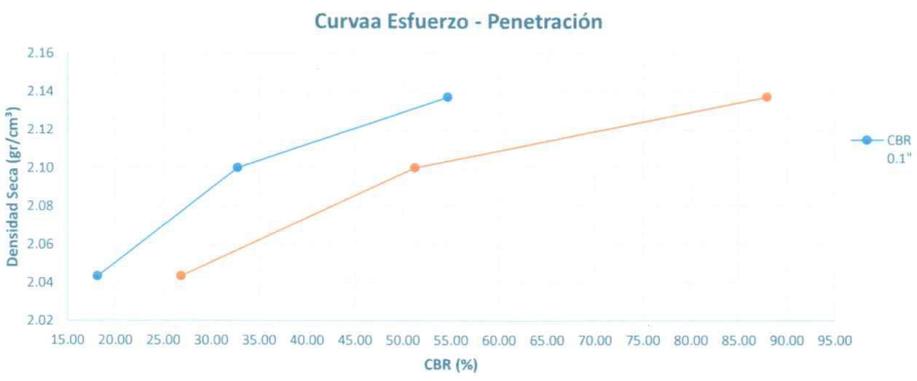
LABORATORIO DE SUELOS - UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE CAJAMARCA			
PROTOCOLO			
ENSAYO	CALIFORNIA BEARING RATIO - CBR		
NORMA	MTC D 1883 / ASTM D1883 / ASTM D4429		
TESIS	INFLUENCIA DE LA INCORPORACIÓN DE CAL Y RESIDUOS DE PVC EN LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL DE CANTERA PARA SUB - BASE DE PAVIMENTOS, CAJAMARCA, 2022		
CANTERA	Aquino - El Gavilán	TIPO DE MATERIAL	Afirmado
UBICACIÓN	Km - 16	COLOR DE MATERIAL	Arenoso - Rojiso
FECHA DE MUESTREO	28/01/2023	RESPONSABLE	Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez
FECHA DE ENSAYO	27/02/2023	REVISADO POR	Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán

ESFUERZO PARA 0.1" Y 0.2" DE PENETRACIÓN, CBR Y DENSIDAD SECA (CAL 6%)						
Molde N°	MOLDE N°01		MOLDE N°02		MOLDE N°03	
Penetración (pulg)	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"	0.1"	0.2"
Esfuerzo del suelo (lb/pulg <sup>2</sup> )	181.59	402.83	327.71	769.08	546.49	1319.17
Esfuerzo patrón (lb/pulg <sup>2</sup> )	1000	1500	1000	1500	1000	1500
CBR (%)	18.16	26.86	32.77	51.27	54.65	87.94
Ds (gr/cm <sup>3</sup> )	2.04		2.10		2.14	

**Curva Esfuerzo - Penetración**



RESULTADO 0.01" - 95%		RESULTADO 0.2" - 95%	
Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.03	Maxima densidad seca (kg/cm <sup>3</sup> )	2.03
CBR (%)	11.30	CBR (%)	15.37

RESPONSABLE DEL ENSAYO	COORDINADOR DE LABORATORIO	ASESOR
		
NOMBRE: Cintia Ingrid Chiclayo Vásquez	NOMBRE: Ing. César Valdera Chávez	NOMBRE: Ing. Eryln Giordany Salazar Huamán
FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023	FECHA: 14/03/2023