



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

“Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Desechos De
Policloruro De Vinilo Y Cal En El Sector Vial De Huanchac – Ancash-
2021”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTORES:

Huayapa Muñoz, Angel Junior (ORCID: 0000-0003-0616-0032)

Villacaqui Henostroza, Jhonatan Marino (ORCID: 0000-0001-7041-5402)

ASESOR:

Ing. Marin Cubas, Percy Lethelier (ORCID: 0000-000-5232-2499)

LINEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de infraestructura vial

HUARAZ – PERÚ

2021

Dedicatoria

Dedicamos esta tesis a Dios padre todo poderoso. A nuestras familias en especial a nuestros padres por su apoyo y por la disponibilidad con los recursos necesarios para estudiar. Nos han dado todo lo que somos como persona, nuestros valores, principios, carácter, empeño, perseverancia y coraje para conseguir nuestros objetivos. A nuestros hermanos por estar siempre presentes, acompañándonos para poder realizarnos.

Agradecimientos

Expresamos nuestro más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo.

A Dios nuestro creador.

A la Universidad Cesar Vallejo por brindarnos conocimientos que hoy en día hacen posible la conclusión de la investigación.

Al Ing. Marín Cubas Percy, asesor de esta investigación, por su paciencia, disposición en este proyecto.

A nuestros padres por estar siempre dispuesto a brindarnos su apoyo incondicional.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	4
III. METODOLOGÍA	10
3.1. Tipo y diseño de investigación	10
3.2. Variables, Operacionalización (ver Anexo N°1).....	10
3.3. Población, muestra y muestreo	10
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	11
3.5. Procedimientos	12
3.6. Método de análisis de datos.....	12
3.7. Aspectos éticos.....	16
IV. RESULTADOS.....	17
V. DISCUSIÓN	29
VI. CONCLUSIONES	33
VII. RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	37
ANEXOS.....	42

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de la mejora de resistencia del suelo arcilloso.....	17
Tabla 2. Resumen de resultados del ensayo granulométrico.	18
Tabla 3. Contenido de humedad.	19
Tabla 4. Límite líquido.	20
Tabla 5. Límite plástico.	20
Tabla 6. Límites de Consistencia.	21
Tabla 7. Clasificación de la muestra extraída.	21
Tabla 8. Resultados del proctor modificado del suelo patrón.	22
Tabla 9. Resultados del CBR suelo patrón.....	22
Tabla 10. Resultados del ensayo del límite de consistencia con adiciones de policloruro de vinilo y cal.	23
Tabla 11. Resultados del ensayo del proctor modificado con adiciones de policloruro de vinilo y cal.	24
Tabla 12. Resultados del ensayo del CBR con adiciones de policloruro de vinilo y cal.	24

Índice de figuras

figura 1.	Límite De Consistencia De La Muestra Con Adición De Pvc Y Cal. ...	25
Figura 2.	Resultados Del Proctor Modificado Con Adiciones De Pvc Y Cal.	26
Figura 3.	Comparacion De Expasión.	27
Figura 4.	Comparacion De C.B.R.	27

Resumen

La presente investigación desea verificar la mejora de las propiedades mecánicas y físicas del suelo arcilloso de baja capacidad portante mediante la estabilización de dichos suelos utilizando Policloruro de Vinilo y cal viva, y así asegurar un nivel adecuado de serviciabilidad para subsiguientes construcciones de carreteras pavimentadas. Los suelos estabilizados con polímeros y Cal viva han ganado mayor atención en los últimos tiempos. Se tomó como muestra parte del suelo de la carretera no pavimentada de Huanchac, Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz, se elaboraron 1 calicata para obtener muestras representativas que consecutivamente fueron analizadas de manera funcional mediante los ensayos de laboratorio, teniendo siempre en cuenta las normas técnicas peruanas. Dichos ensayos se realizaron en el laboratorio de Suelos MATHLAB Ingeniería Sismo resistente E.I.R.L Huaraz. El suelo arcilloso de baja capacidad portante de Huanchac tiene dos alternativas establecidas por el MTC, la primera de mejorar este suelo y la segunda de cambiar el suelo de fundación con material adecuado, para esta presente investigación se optó por la primera solución dado por el MTC. Para poder determinar la cantidad óptima de Cal y Policloruro de Vinilo estabilizante se tuvo que realizar ensayos de comportamiento como es el ensayo Proctor modificado y CBR. El resultado de la presente investigación nos lleva a decir que el porcentaje más óptimo en la adición de PVC reciclado y Cal viva es del 9% y 4% respectivamente. En donde el suelo va tener mayor capacidad de resistencia llegando a valores muy encima del promedio en comparación a las otras adiciones solas del PVC y Cal viva. Al mismo tiempo que el policloruro de vinilo ayuda a aumentar la resistencia y la densidad, mientras que la Cal hace aumenta la plasticidad. Por lo tanto, se concluye que estos aditivos empleados juntos ayudan a estabilizar mejor un suelo arcilloso para sus diferentes aplicaciones.

Palabras Claves: Cal, Policloruro De Vinilo, Arcilla, Granulometría, Proctor Estándar y Compactación.

Abstract

The present investigation can be verified the improvement of the mechanical and physical properties of the clay soil of low carrying capacity by means of the stabilization of said means using the Polychloride of Vinyl and Cal alive, and like this assure an adequate level of service for subsequent constructions of the streets paved. Soils stabilized with polymers and quicklime have gained more attention in recent times. Sampling was taken as part of the ground of the unpaved road of Huanchac, District of Independencia, Province of Huaraz, 1 test pits were prepared to obtain representative samples that were consecutively analyzed in a functional way by laboratory tests, always taking into account the standards Peruvian techniques. These tests were carried out in the Soils laboratory of the civil engineering faculty of the San Pedro - Huaraz branch. The clay soil of low bearing capacity of Huanchac has two alternatives established by the MTC, the first to improve this soil and the second to change the soil foundation with adequate material, for this research we chose the first solution given by the MTC. In order to determine the optimal amount of lime and Vinyl Chloride, it has been stabilized and the performance test has been carried out as is the standard Proctor and CBR test. The result of the present investigation leads us to say that the most optimal percentage in the addition of recycled PVC and quicklime is 9% and 4% respectively. Where the soil will have greater resistance capacity reaching values well above the average compared to the other single additions of PVC and quicklime. At the same time that polyvinyl chloride helps increase strength and density, while lime increases plasticity. Therefore, it is concluded that these additives used together help to better stabilize a clayey soil for its different applications.

Keywords: Lime, Polyvinylchloride, Clay, Granulometry, Proctor Standard and Compaction.

I. INTRODUCCIÓN

En el presente estudio de investigación se planteó realizar el estudio de la consolidación de superficies arcillosas, con aditivos en diferentes porcentajes. Se pretendió hacer entender de forma lógica y sistemática la totalidad de los procesos ejecutados con la finalidad de conseguir consolidaciones notorias con la utilización de los diversos tipos de aditivos las cuales son el Policloruro de vinilo dando a conocer sus propiedades físicas y químicas; de igual manera de la Cal viva; la interrelación con el suelo arcilloso. En el Perú se tienen por características geológicas variedades diferentes de superficies, relieves abruptos y el clima es muy variado, los mismos que se han originado debido a las actividades de la cordillera de los andes. En la zona sierra la mayoría de las superficies geológicas sobresalientes localizadas en el área son básicamente superficies arcillosas y al impregnarse muestra alteraciones en su volumen que lo origina desequilibrio, asimismo tienen una capacidad baja de soporte, por lo que no es posible su uso en la capa sub rasante en asfaltados. El lugar de la ubicación del presente estudio se localiza en el centro poblado de Huanchac, perteneciente al distrito de Independencia, provincia de Huaraz del departamento de Ancash, la superficie de esta localidad consiste de arcillas y limos principalmente. Las vías de comunicación que conectan esta localidad presentan daos, debido a una mala consolidación y el tipo de superficie. Los ensayos de laboratorio de la siguiente tesis se fundamentaron mediante las siguientes preguntas: **Formulación del problema:** ¿se podrá mejorar el suelo arcilloso de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados y cal viva en carreteras? **Justificación del estudio:** La presente investigación se fundamentó en los procesos de consolidación de las superficies, en las pruebas de laboratorio tales como: los límites atterberg, la distribución de los granos, el CBR y el Proctor modificado; en las propiedades de las superficies arcillosas, propiedades de la cal y el policloruro de vinilo. **Justificación técnica:** Para la aplicación de polímeros y cal viva hay que considerar todas las especificaciones técnicas existentes, debido a que se trata de unos datos relevantes, la misma que debe ser corroborada a fin de contar datos confiables. Entonces, en la ejecución de la investigación se usó: el manual de carreteras (suelos, geología, geotecnia y pavimentos), las normas técnicas

peruanas, debido a que son indispensables para realizar la prueba con los datos. Se demostró la influencia del polímero policloruro de vinilo y cal en las particularidades de las superficies arcillosas, en consecuencia se realizó la localización y zonificación de las calicatas a examinar en el Centro Poblado de Huanchac – Ancash, asimismo se utilizó el Manual de Carreteras, debido a que presenta toda la información necesaria y es específica en relación a la norma CE.010 Pavimentos urbanos, en seguida se hicieron las diferentes pruebas en el laboratorio consistentes en: la identificación del tipo de superficie, cálculo de los porcentajes de los material fino, arena y grava contenido en la muestra respectivamente, la misma que nos servirá para tener en cuenta el porcentaje de material fino con la cual el aditivo tienen mejor reacción, enseguida se realiza las pruebas de Proctor Modificado (NTP 339.141) y CBR (NTP 339.145), los mismos que permitieron comparar las resistencias (CBR) de una superficie natural y una superficie consolidada con el polímero y cal, los mismos permiten examinar en qué medida influye la utilización del polímero y cal en los suelos arcillosos del Centro Poblado de Huanchac. **Justificación social:** Se justifica socialmente debido a la necesidad de la población de tener vías de transporte en buen estado ya sea pavimentada, asfaltada o compactada, conllevando a ello la estabilización del suelo arcilloso del sector vial de Huanchac - Ancash. De igual manera mejorará la economía de la zona debido a una mejor transitabilidad. **Justificación económica:** Se justifica económicamente debido a que, en la actual condición que se encuentra la carretera los vehículos cobra más caro el traslado de personas u objetos, de igual forma los productos llegan con un precio más elevado afectando de esta forma de forma directa la economía de la población en general. Bajo lo mencionado se Tiene como **objetivo general** el siguiente: Analizar el efecto de estabilidad de suelo arcilloso de baja capacidad portante a través de la utilización de desechos de policloruro de vinilo reciclados al 6%, 9% y cal 4% en el sector vial de Huanchac y cuyos **objetivos específicos** son: a) Analizar la toma de la muestra del suelo extraído mediante los ensayos de laboratorio. b) Analizar el índice de plasticidad de la superficie arcillosa añadiendo desechos de policloruro de vinilo y cal. c) Analizar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo arcilloso adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal. d) Analizar la capacidad de carga y resistencia de la superficie arcillosa añadiendo desechos de policloruro de

vinilo y cal. Como **Hipótesis**: El uso de desechos de policloruro de vinilo en un 6%, 9% y cal en un 4% mejorará la capacidad de soporte de la superficie arcillosa en el sector vial de Huanchac.

II. MARCO TEÓRICO

TRABAJOS PREVIOS: Dentro de los preliminares, se tiene a **Nivel Internacional**, Ruano López (2012), en su tesis denominada “Estabilización De Suelos Cohesivos Por Medio De Arenas Volcánicas Y Cal Viva”, realizada en la Universidad de San Carlos de Guatemala. Llego a concluir que la cal viva posee costo bajo en comparación con la cal hidratada, se probó que su utilización es eficiente en la consolidación de las superficies cohesivas, debido a que se consigue consolidar las superficies a un bajo costo combinándolo con arena azul y arena sílice. Las combinaciones de las proposiciones fueron de 10%, 25% y 50% de arena sobre el material a consolidar obteniendo los valores de CBR de 52.6% a 91.5%, la misma que representa una amplia diferencia de valores que se pueden escoger de acuerdo a las exigencias y necesidades según sea el caso. En el estudio se utilizó dos muestras de superficies las mismas que fueron extraídas de la parte boreal de Guatemala, estas superficies tienen propiedades cohesivas por lo que se tomaron estas muestras para consolidar otras muestras de superficies que cuentan con propiedades idénticas en otros sitios de Guatemala, para ello fue necesario tener en recuento del transporte de las muestras al sitio a consolidar. Las diversas consolidaciones realizadas en los laboratorios de la Universidad de San Carlos evidencian que es factible el uso de las arenas cuya raíz sean las muestras originadas por los volcanes con una adición del 10% de cal viva para conseguir consolidaciones de acuerdo a las necesidades o los requerimientos individuales de los constructores teniendo en cuenta las citas a las gráficas hechas con los hallazgos. **A nivel Internacional**; Blanco, Branco & Rivera (2012), en su tesis denominada “Reutilización Del Desecho De PVC Como Agente Estabilizador De Sub-Bases Granulares”, realizada en la Universidad de la Costa, CUC – Colombia. Concluyó que, con la adición de residuos de PVC se logra mejorar el CBR de una muestra granular tipo Sub-base desde el 4% hasta el 6%, donde resulta mantener sus características primarias, se comprobó que realizando la incorporación de mayores porcentajes al 6% de PVC en la Sub-base esta tiende a perder su densidad, esto se debe básicamente, a que la muestra de residuos es ligera. Cuando se reemplazó ciertos porcentajes de la Sub-base por la muestra de residuos de PVC, la estructura tiende a perder peso, por lo tanto, en el instante de la realización de la prueba de densidad, los materiales son consolidados en un

envase de igual volumen, como se sabe la densidad viene hacer la división del peso sobre el volumen en la cual se encuentra contenida, debido a que el volumen es igual para ambos casos y al reducir el peso de la combinación del material granular para Sub-base y PVC, esta pierde disminuye su densidad. Además de logro notar que al aumentar los porcentajes de la muestra consistente en los residuos de PVC la resistencia a la inserción aumenta considerablemente, sin embargo, por lo mencionado con anterioridad no debe añadirse porcentajes que superar el 6% a la Sub-base en la consolidación. Otra de las razones por el que no se debe añadir es debido a que el PVC es material impermeable, ya que añadiendo mayores cantidades de muestra de residuos de PVC se estaría tendiendo a impermeabilizar la estructura del asfaltado en investigación, la misma que al ser impermeable la consolidación de esta combinación sería muy complicada y por consiguiente sería demasiado dificultoso conseguir una homogeneidad en la mezcla, la cual presentaría consecuencias negativas a la vía pavimentada. Pero la mixtura estudiada de la muestra granular y residuos de PVC, se logró cumplir los requisitos mínimos de resistencia exhortados para la pavimentación a través de las normas emitidas por Provias la misma que guía las condiciones que se deben cumplir en nuestro país, asimismo esta provee de una superficie de apoyo a la base granular o a la losa de concreto y atenúa el peso que soportar la sub-rasante, también presenta ventajas económicas, ya que, se lograr ahorrar la cantidad de material granular para Sub - base la cual resulta en menor cantidad, debido a que se reemplaza un porción de esta. **A nivel internacional**, Lascano & Narvaez (2010), en su investigación "Mejoramiento De la Capacidad Portante Del CBR De Una Sub Base Granular Con Material Proveniente De La Provincia De Esmeraldas Por Medio De La Adición De Desechos De PVC", realizada en la Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Concluyeron a través de los hallazgos encontrados que las pruebas realizadas según los procedimientos normalizados que logró ver que la muestra obtenida de la mina Tachina, no logran cumplir con las determinaciones técnicas del Ministerio de Obras Públicas. Ya que los límites líquido y plástico obtenidas resultan ser menores a 25 y 6 respectivamente. El valor del porcentaje de abrasión medida en la máquina de los ángeles resulta ser 17.27% la misma que es menor a los previsto. En relación a la distribución de los granos la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 mm no cumple debido a que valor normado es de

100% y en la muestra resulto el valor de 95%. La erosión a los sulfatos es de 33.52% lo cual es mayor en 12% a los especificado en las normas respectivas. En la prueba de CBR los valores conseguidos de 18% para 0.1 pulg. y 20,5% para 0,2 pulg. resultan ser menores a los indicado por la normatividad existente por lo tanto con lograr cumplir con estas condiciones. La muestra obtenida de la mina de Tachina resulta ser una sub-base clase 3 de acuerdo al capítulo 4 de las normas del MOP. La superficie natural según la denominación de la SUCS resulta ser una arena mala graduación de clase SP que cuenta con la presencia de grava. Asimismo, al utilizar los residuos de PVC, se beneficia al medio ambiente, ya que el reciclado de un desecho que no es biodegradable favorece grandemente a la naturaleza. La utilización de los residuos de PVC entre el 3% y el 9% se observa que la densidad disminuye considerablemente la misma que afecta la resistencia de la muestra, por lo que se ocasiona una relación que es inversamente proporcional: asimismo la densidad seca máxima disminuye, la resistencia aumenta. A través de la inclusión de residuos de PVC entre el 12% y el 25% se logra originar una asociación directa y proporcional; aquí la densidad seca máxima disminuye y la resistencia también. Se logró identificar que los residuos de PVC mejoran el CBR de una sub-base desde el 3% hasta el 9% de inclusión, resultando el 9% como el porcentaje de residuo de PVC optimo, debido a que a partir del 12%, el valor de CBR comienza a descender. Por lo tanto, la muestra obtenida de la mina Tachina no logra cumplir con las especificaciones de MOP en su capítulo IV logra ser considerada como material de sub-base sino únicamente como muestra para mejorar la subrasante. **A nivel nacional**, Velarde Del Castillo (2015), en su investigación “Aplicación De La Metodología De La Superficie De Respuesta En La Determinación De La Resistencia A La Compresión Simple De Suelos Arcillosos Estabilizados Con Cal Y Cemento”, realizada en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Llego a concluir la posibilidad de la implementación de la metodología de la superficie respuesta (MSR) en la consolidación de las superficies arcillosas, con la adición de la cal y el cemento, debido a que consiguió valores de las resistencias, las mismas que resultaron ser mayores que la de las muestras sin consolidar. Los hallazgos del estudio son convenientes ya que los porcentajes propuestos con la adición de cal y cemento logran obtener resistencias a la compresión satisfactorios cuyo coeficiente de determinación es aceptable en las

posiciones de operación de Huaje y Salcedo ($R^2 > 0.50$), caso contrario sucede en el estadio universitario UNA-PUNO ($R^2 < 0.50$), la misma que conlleva a concluir en la modificación del lugar de estudio con la finalidad de lograr determinar los porcentajes óptimos de cemento y cal respectivamente, sin embargo el RNE en la norma CE-020 consolidación de superficies y taludes recomienda que la adición de cal en la superficie es hasta el 8% como máximo debido a que incrementa la resistencia, pero también se incrementa la plasticidad. La correlación en todos los casos resulta ser moderada ($0.5 < R < 0.8$), la misma que indica que existe asociación entre la adición de la cal y el cemento con la resistencia a la compresión simple de la muestra. **Quispe Supo (2014)**, en su tesis denominada “Estabilización De Suelos No Aptos Con Desechos De Policloruro De Vinilo Para Su Uso En La Conformación De La Capa Base y Sub Base De Pavimentos”, realizada en la UNA, Puno. Llego a concluir que el residuo de PVC como material consolidante o compactador de las superficies logra mejorar las características mecánicas de las muestras de las canteras, clasificándolo como aptas para su utilización en la configuración de las capas: base y sub base para los pavimentos de las vías de comunicación. Debido a que los residuos de PVC cuentan con un extraordinario rigidez, altos niveles de resistencia a la rotura, buena resistencia química y teniendo en cuenta los hallazgos identificado en las pruebas de abrasión, Proctor Modificado, Valor Relativo de Soporte y relacionándolos con las especificaciones establecidas a través de la EG-2013, se concluye que el 6% es el porcentaje óptimo de la adición de residuos de PVC como el más efectivo. De las dimensiones de los diámetros de los residuos de PVC usados en la investigación. Se logró identificar que el material consistente en el residuo de PVC retenido a través del tamiz N° 10 y los que logran pasar la malla N° 4 son las que cuentan con las mejores características mecánicas. Haciendo uso de los residuos de PVC como material consolidador se logra conseguir el Valor Relativo de Soporte (CBR) requerida por la especificación presente en EG-2013, a una menor consolidación. Según los hallazgos encontrados se concluyó que la consolidación de las superficies con los residuos de PVC, se obtienen mejoras cuando las particularidades físicas de las muestras de las canteras presentan un bajo índice de plasticidad ($IP \leq 7$). En el estudio usaron muestras de cantera denominada como Arena Limosa resultante de la cantera Salcedo cuyo IP fue de 2.59, Grava limosa arcillosa proveniente de la

cantera Jallihuaya cuyo IP resulto 4.45, en esta cantera se presenci6 la consolidaci6n de las caracteristicas como el Valor Relativo de Soporte y Abrasi6n, las muestras presentaron en su constituci6n suelo fino-Limo, la misma que ocasiona fricci6n entre la superficie y los residuos. Mientras que en la cantera CunturWasi sucede lo contrario, esta se clasifica segun SUCS en OL (IP=11.27), la misma que presenta en su contenido un suelo fino-arcilla, la misma que ocasiona el escurrimiento en la muestra del suelo y los residuos, por lo tanto no existe fricci6n alguna entre ellas. **A nivel local**, se tiene a Cabana Valverde (2017), en su estudio denominada "Mejoramiento De La Relaci6n De Soporte (CBR) Al Adicionar El Estabilizante Quimico Cal A La Sub-Rasante De La Carretera No Pavimentada De Bajo Transito Paria – Wilcahuain, Huaraz, 2017", realizada en la Universidad Cesar Vallejo - Huaraz. Quien llego a concluir la factibilidad t6cnica del empleo de la cal hidratada en la estabilizaci6n quimica de la sub rasante, la misma que se encuentra constituida por superficies clasificados como SC (Arena arcillosa con escasa grava) y CL (Arcilla inorgánica de plasticidad baja con arena y escasa grava). Las mismas que proporcionan las particularidades mecánicas y óptimas resistencias en relaci6n a la muestra natural. Segun estudios econ6micos simples se logr6 identificar que el costo de la consolidaci6n por metro cuadrado con la cal hidratada, fundamentalmente depende del tipo de la superficie a consolidar, segun los cálculos realizados la consolidaci6n de una superficie tipo SC tiene un costo de s/. 56.30 por metro cuadrado, en cambio la consolidaci6n de una superficie tipo CL resulta ser de s/.14.90 por metro cuadrado. Los dos ensayos sobre el actuar de las muestras suelo-cal, con el objetivo de corroborar la mejora e indicar el uso de consolidantes quimicos como la cal, asimismo hay una tendencia de incremento de la resistencia de la superficie, la misma que garantiza la durabilidad de la sub – rasante, la misma que posteriormente ser6 utilizada como fundaci6n de la estructura del pavimento de las vıas de comunicaci6n. Adem6s se comprob6 la mejorıa de la resistencia de la sub – rasante de la carretera PARIA – WILCAHUIAN, al ańadir la cal a la superficie clasificada como SC y CL respectivamente de la calicatas 1 y 3, la misma que dio por intermedio de la prueba de CBR, antes de la prueba de Proctor modificado, obteniendo ası un CBR de la superficie natural de la C-01 una resistencia de 3.50% y con una propagaci6n de 1.01%, y al ańadir el 8% de cal, la misma que resulto ser la cantidad optima a trav6s de la prueba de edades, esta

logro incrementar el CBR al 12% y redujo su propagación en un 0.11%, de la misma manera para la superficie clasificada como CL que al inicio tuvo un CBR del 8% con una propagación de 1.62% y al añadir el 4% de cal, cuya cantidad optima fue obtenida de la misma prueba que el anterior, se incrementó hasta un 28% y redujo su propagación al 0.13%, logrando cumplir los requerimientos de resistencia y ser usados en la capa de sub-rasante.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación: la presente investigación resulta ser de enfoque cuantitativa. De acuerdo a Landeau (2007), una investigación cuantitativa explora la confrontación o demostración de las proposiciones causales proyectadas afuera del sitio donde se realiza el estudio, por lo tanto es preciso el planteo de una hipótesis a fin de comprobar las consecuencias de las variables en estudio.

Diseño de Investigación: El diseño de investigación será experimental ya que se obtiene la muestra de la superficie a estabilizar y se analizará las capacidades con diferentes porcentajes de los aditivos de Policloruro de Vinilo y cal viva en Huanchac.

3.2. Variables, Operacionalización (ver Anexo N°1)

Variable Independiente: Policloruro de vinilo y cal.

Variable dependiente: Estabilización de suelos arcillosos.

3.3. Población, muestra y muestreo

Población: Está conformado por los suelos arcillosos de la carretera con baja capacidad portante ubicados en la localidad de Huanchac, perteneciente al distrito de Independencia, provincia de Huaraz, región Ancash. (L = 5+482Km)

Muestra: La muestra que se analizó en el presente estudio, es la carretera de Huanchac; cuyo suelo presenta una baja capacidad portante. La carretera de Huanchac cuenta con una distancia de 5.482 km, la parte de la muestra se encuentra comprendido entre el km 0+850 y 1+350, este sector problemático tiene un área de 2250 m²; esta vía de comunicación se encuentra situación al noroeste de la ciudad de Huaraz en el distrito de Independencia. Este tramo solo es un sector por las características físicas observadas en campo, y en dicho sector se realizó una calicata en la progresiva 1+100; la calicata sirvió para obtener el tipo de superficie y determinar la capacidad portante del suelo, es decir fue la muestra patrón;

en la muestra de dicha calicata se hará la adición del 6% y 9 % de desecho de Policloruro de Vinilo junto a un 4% de cal.

Se optó en la realización de una la calicata debido a que el tramo ubicado en las progresivas 0+850 y 1+350 es el más crítico en todo el largo de la carretera del sector vial de Huanchac; teniendo este: baches, empozamientos de aguas de lluvia y desniveles; en si una inestabilidad total. Dicho esto, se realizó los estudios de suelos para la mejora de la sub-rasante adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como técnica para la toma de los datos fue la observación directa, ya que esta presenta ventajas en relación a otras técnicas debido a que permite la recopilación de forma directa con la realidad. De igual manera la granulometría, ensayos del CBR y ensayos de Proctor Estándar con y sin adición de Policloruro de Vinilo con cal viva. Los pasos a realizar fueron los siguientes:

- Recolección de los desechos de Policloruro de Vinilo.
- Obtención de cal viva.
- Toma de muestras del suelo.
- Realización de la granulometría de la muestra patrón.
- Ensayo de Proctor Modificado (Densidad seca máxima del suelo en relación con su contenido de humedad, a una energía de consolidación determinada.)
- Prueba del CBR (La resistencia al esfuerzo cortante del suelo)

INSTRUMENTOS

Los principales instrumentos que se emplearon en la realización del presente estudio son:

- Instrumentos de laboratorio que permiten realizar las pruebas de la muestra.
- Formato de laboratorio

- Equipo de cómputo
- Información bibliográfica
- Cámara fotográfica
- calculadora
- Cuaderno de apuntes

3.5. Procedimientos

- Recolección de los desechos de Policloruro de Vinilo. Se utilizará previo lavado y secado, posteriormente se triturará.
- Obtención de la cal viva de la Empresa Constructora Mil Oficinas S.R.L.
- Realizar la calicata de una profundidad de 1.50 cada una para la obtención de las muestras y llevarlas al laboratorio.

La finalidad es conseguir una muestra representativa a través de los procesos emitidos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

REFERENCIAS NORMATIVAS:

- MTC E 101: orientaciones para realizar el muestreo de superficies y rocas

EQUIPOS Y ACCESORIOS:

- Recipiente con cerradura hermética.
- Instrumentos manuales (pico, lampa, barreta)
- Instrumentos de escritorio.
- **Análisis granulométrico por tamizado de las muestras.**

Cuya finalidad es identificar los porcentajes de las muestras que logran pasar por las distintas mallas utilizadas en la prueba, hasta el tamiz de 0.075 de diámetro o 4 mm (N°200).

REFERENCIAS NORMATIVAS:

- MTC E 107, estudio de la distribución de los granos de la superficie a través de los tamices.

EQUIPOS Y ACCESORIOS:

- Conjunto de tamices.
- Balanza de precisión cuya sensibilidad debe ser de 0.1 gramo.

- Homo para secar la muestra.
 - Recipientes, cepillos y brochas.
 - Muestras del suelo.
- **Determinación de límite líquido, límite plástico e índice plástico.**

El límite líquido se refiere al contenido de agua que por debajo de la misma la superficie tiene un comportamiento de un material plástico. Mientras que el límite plástico es la cantidad en porcentaje de humedad, cuando la superficie se encuentra entre el estado plástico y semisólido. El índice de plasticidad se consigue por la resta del límite líquido y plástico, la misma que indica la variabilidad de la plasticidad de la superficie. Estos valores conocidos como los límites de consistencia nos proporcionan la data necesaria para la clasificación e identificación de las muestras de superficies.

REFERENCIAS NORMATIVAS:

- MTC E 110: especificación del límite líquido de las superficies.
- MTC E 111: especificación del límite plástico e índice de plasticidad de las muestras de la superficie.

EQUIPOS Y ACCESORIOS:

- Envases para almacenar y mezclar las muestras.
 - Tamices N°40.
 - Paleta de hoja maleable.
 - Cuchara de Casagrande y su acanalador.
 - Estuches para obtener el contenido de humedad.
 - Balanza de precisión con sensibilidad de 0.1gr.
 - Horno para el secado de las muestras.
 - Pipeta con agua.
 - Placa de vidrio esmerilado cuadrada de por lo menos 30cm. de lado, de 0.01m. de espesor.
- **Analizar las muestras del suelo mediante los ensayos de Proctor Modificado y CBR.**
- **Ensayo Proctor Modificado**

La finalidad de este ensayo es identificar el contenido de agua en la cual la muestra de la superficie logra alcanzar su máxima densidad seca. Para lo cual es preciso desarrollar un procedimiento de prueba para identificar el nexo entre el contenido de humedad y el peso unitario seco consolidado a través de una energía de consolidación identificada. De acuerdo a la distribución de los granos de la muestra se administra alguno de los procedimientos desarrollados.

REFERENCIAS NORMATIVAS:

- ASTM D-1557, Métodos de prueba estándar para las características de compactación del suelo en laboratorio utilizando esfuerzos modificados (2700 kN-m/m³)
- MTC E 115, consolidación de muestras de superficie en el laboratorio usando energía modificada.

EQUIPOS Y ACCESORIOS:

- Molde de 4pulg. cuya altura debe ser de 4.584pulg. (116.4mm) y cuyo volumen es de 0.0333 pie³ (944cm³) y 0.075 pie³ (2124cm³) respectivamente
- Un recipiente base y un collar de prolongación de 2pulg.
- Pisón, la cual se deja caer libremente a una altura de 18pulg.
- Balanza de precisión con sensibilidad de 1gr.
- Horno para el secado de la muestra, la misma que debe sostener una temperatura uniforme de 230 ± 9°F (110±5°C).
- Una regla metálica, rígida de una extensión no menor que 10 pulg.
- Tamices de ¾" (19.0 mm), 3/8" (9.5 mm) y N° 4 (4.75mm)

Y otros instrumentos como: cuchara, mezclador, pipetas, probetas, recipiente para la mezcla completa de la muestra de superficie con adiciones de agua.

➤ **Ensayo del CBR**

El objetivo primordial de esta prueba consiste en identificar la capacidad de soporte (CBR) de la muestra de superficie y agregados consolidados en el laboratorio, con el contenido de agua óptimo y variaciones en la consolidación.

REFERENCIAS NORMATIVAS:

- AASHTO T-193

- ASTM D-1883
- MTC E 132-2000

EQUIPOS Y ACCESORIOS:

- Compresora, cuya capacidad debe ser de 44.5 kN (10000 lbf) o mayores y una especificación mínima de 44 N (10 lbf) o menores.
 - matriz de metal de forma cilíndrica cuyo diámetro interior debe ser 152.4mm de altura debe medir 177.8mm, un collarín de metal de 50.8mm de altura y una placa de base con perforaciones.
 - Un disco espaciador de metal, la misma que debe ser circular de 150.8mm de diámetro exterior y de 61.37mm de espesor, a fin de insertarlo como falso fondo en el molde cilíndrico al momento de realizar la consolidación.
 - Pisón con las características descritas para la prueba de Proctor Modificado.
 - Un aparato que permita medir la expansión compuesto por: Una placa de metal con perforaciones por cada molde de 149.2mm de diámetro, asimismo estará equipada de un vástago en el centro con un sistema de tornillo que admita regularizar la altura. Un trípode cuyas patas puedan sostenerse en el borde del molde, que lleve montado y bien sujeto en el centro un dial (deformímetro), cuyo vástago corresponda con el de la placa, de manera que admita controlar la posición de éste y medir la expansión, con aproximación de 0.025mm (0.001").
 - Pesas anulares de metal que presenten una masa total de 4.54kg y pesas ranuradas de metal cada una con masas de 2.27 kg.
 - Pistón de introducción metálica de sección transversal circular de 49.63mm de diámetro.
 - Dos diales con recorrido mínimo de 25mm (1") y divisiones lecturas en 0.025mm (0.001").
 - Tanque para la sumersión de los moldes.
 - Horno para el secado de las muestras.
 - Misceláneos, Tamices, papel filtro, espátulas, engrasador, pipeta.
- **Dosificar la muestra del suelo con desechos de Policloruro de Vinilo al 6% y 9%; junto a la cal con un porcentaje constante del 4% en todas las adiciones.**

REFERENCIAS NORMATIVAS:

- Según ASTM D6276.

Se proporciona una secuencia de muestras de porcentajes de contenido de PVC y Cal Viva en la superficie.

- Teniendo 3 muestras, 1 como muestra patrón y 2 con las adiciones. Se procede a los ensayos de adición del 6% y 9% de PVC con 4% de Cal.
- Se realiza las pruebas de Proctor y CBR a las muestras con los aditivos.
- **Analizar las propiedades físicas y mecánicas del suelo luego de realizar los ensayos previstos anteriormente.**
- **Analizar mediante comparación de las muestras realizadas en los diferentes porcentajes establecidos del desecho de Policloruro de Vinilo y Cal Viva.**

3.6. Método de análisis de datos

Las datas obtenidas de los estudios hechos en campo serán verificados, registrados, para luego ser ingresados a la hoja de cálculo Microsoft Excel, hoja de cálculo de análisis granulométrico. La hoja de cálculo para los ensayos del Proctor Modificado y del CBR con y sin añadidura de Policloruro de Vinilo y Cal Viva.

3.7. Aspectos éticos

En el estudio se tomó en cuenta, el consentimiento informado, que consiste en informar a todas las personas y empresas, instituciones sobre la finalidad del estudio y los beneficios que trae a la comunidad de Huanchac del distrito de Independencia provincia de Huaraz del departamento de Ancash. Otro aspecto resaltante es la originalidad, conformada por respetar las fuentes de información tomadas en el desarrollo del estudio, con el propósito de contar con información pertinente y requerida para desarrollar la fundamentación teórica.

Además de lo mencionado se realizará la evaluación de originalidad mediante el programa TURNITIN, con la finalidad de detectar el grado de originalidad del estudio, con las fuentes citadas en todo el desarrollo.

IV. RESULTADOS

4.1. RESULTADOS RESPECTO AL OBJETIVO GENERAL

4.1.1. OBJETIVO GENERAL ANALIZAR EL EFECTO DE ESTABILIDAD DE SUELO ARCILLOSO DE BAJA CAPACIDAD PORTANTE MEDIANTE EL USO DE DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO RECICLADOS AL 6%, 9% Y CAL 4% EN EL SECTOR VIAL DE HUANCHAC.

Los resultados de laboratorio mostraron que con la adición de desechos de policloruro de vinilo y cal, se logró constatar que la capacidad de soporte (CBR) y la máxima densidad seca aumentan; se consiguió disminuir el índice de plasticidad de la muestra de la superficie analizada la misma que cumplió con los parámetros mínimos que debe tener el CBR de la sub – rasante para poder ser utilizados como carpeta estructural del pavimento o afirmado.

Tabla 1. Resumen de los resultados obtenidos en laboratorio de la mejora de resistencia del suelo arcilloso.

MUESTRA	% DE ADICIÓN	COMPACTACIÓN		EXPANSION (%)	CBR (%)	I.P (%)
		M.D.S	O.C.H.(%)			
SUELO ARCILLOSO + DESECHOS DE PVC Y CAL	0%	1.92	5.32	0.206	4.19	37.82
	6% Y 4%	1.96	6.55	0.174	13.23	26.63
	9% Y 4%	2.01	5.34	0.142	18.63	24.73

Fuente: Elaboración propia.

En esta tabla se muestra los valores de mejora de los límites de consistencia, de la muestra patrón y la modificada. Nos arrojó valores respecto a compactación de la densidad seca máxima de 1.92 T/m³ respecto a la muestra patrón, 1.96 T/m³ con la primera adición y de 2.01 T/m³ en la segunda adición con desechos de policloruro de vinilo. Respecto al contenido de humedad óptima 5.32% en la muestra patrón, 6.55% en la segunda adición y 5.34% en la segunda adición. Referente a la expansión los resultados obtenidos fueron de 0.206% en la muestra patrón, 0.174% con la primera adición y de 0.142% con la segunda adición de desechos de policloruro de vinilo y cal. sabemos de igual forma que se

determinó el CBR siendo de 4.19% de la muestra patrón, 13.25% de la primera adición y de 18.63% de la segunda adición. Y finalmente sobre el IP se analizó que tuvo 37.82% referido a la muestra patrón, 26.63% en la primera adición y de 24.73% en la segunda adición.

4.2. RESULTADOS RESPECTO A LOS OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los resultados realizados para obtener y establecer las características físicas y mecánicas, luego se adicionó de desechos de policloruro de vinilo y cal. Para lograr obtener la muestra se realizó una calicata de 1.50 m de profundidad.

4.2.1. OBJETIVO ESPECIFICO N° 1 ANALIZAR LA TOMA DE LA MUESTRA DEL SUELO EXTRAIDO MEDIANTE LOS ENSAYOS DE LABORATORIO.

➤ PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO.

A. ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

Este La finalidad fue clasificar los granos de la muestra de la superficie teniendo en cuenta el tamaño de las mismas.

Tabla 2. Resumen de resultados del ensayo granulométrico.

MALLA	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
2"	50.00	100.00
1 1/2"	37.50	100.00
1"	25.00	100.00
3/4"	19.05	100.00
3/8"	9.525	98.97
N° 4	4.76	96.60
N° 10	2	92.79
N° 40	0.426	83.80
N° 60	0.25	72.85
N° 140	0.106	65.54
N° 200	0.074	62.60

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla N° 02 se aprecia que el material pasante por la malla N°200 es de 62.60%, mostrando así la presencia de material arcilloso. Con estos datos se pudo graficar la curva granulométrica para determinar el porcentaje de cada material tanto de gravas, arenas y limos-arcillas presentes en las muestras traídas.

B. CONTENIDO DE HUMEDAD

Tabla 3. Contenido de humedad.

CONTENIDO DE HUMEDAD		
NUMERO DE RECIPIENTE	1	2
W.DEL RECIPIENTE + W.DEL SUELO HUMEDO (Gr)	351.26	345.02
W.DEL RECIPIENTE + W.DEL SUELO SECO (Gr)	333.15	325.64
W.DEL AGUA (ml)	18.11	19.38
W.DEL RECIPIENTE (Gr)	153.85	154.26
W.DEL SUELO SECO (Gr)	179.30	171.38
HUMEDAD (%)	10.10	11.31
CONTENIDO DE HUMEDA PRIMEDIO	10.70	

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 03 Se muestra el contenido de humedad de la muestra a estabilizar se utiliza como parámetro para la elaboración de los ensayos desde los límites de consistencia, hasta los ensayos del CBR con los aditivos planteados. Con la determinación del contenido de agua que se encuentra en la muestra permite la compactación del suelo de la sub – rasante. El contenido de humedad de la muestra patrón fue de 10.70%.

C. LIMITES DE CONSISTENCIA.

Los límites de consistencia se determinaron mediante la muestra de la fracción seca, la cual mediante la copa de casa grande se determinó el límite líquido y el límite plástico. Nos interesó más el índice de plasticidad con la cual se determinó el tipo de suelo a estabilizar.

Tabla 4. Límite líquido.

LIMITE LIQUIDO				
NUMERO DEL RECIPIENTE				
	18	22	32	38
NUMEROS DE GOLPES				
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO HUMEDO (Gr)	42.95	42.15	41.00	44.05
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO SECO (Gr)	36.10	35.78	35.06	37.48
W.DEL AGUA (Gr)	6.85	6.37	5.94	6.57
W.DEL RECIPIENTE (Gr)	25.50	25.42	25.12	25.84
W.DEL SUELO SECO (Gr)	10.60	10.36	9.94	11.64
% DE HUMEDAD	64.62	61.49	59.76	56.44
LIMITE LIQUIDO				
61.10				

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla N°4 podemos observar que el Límite líquido de la muestra es un porcentaje de 61.10 % posteriormente con este dato realizara la obtención del Índice de plasticidad

Tabla 5. Límite plástico.

LIMITE PLASTICO				
NUMERO DEL RECIPIENTE	1	2	3	4
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO HUMEDO (Gr)	31.85	33.12	33.45	35.84
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO SECO (Gr)	28.45	29.38	29.78	32.62
W.DEL AGUA (ml)	3.40	3.74	3.67	3.22
W.DEL RECIPIENTE (Gr)	14.44	13.56	13.52	18.40
W.DEL SUELO SECO (Gr)	14.01	15.82	16.26	14.22
% DE HUMEDAD	24.27	23.64	22.57	22.64

LIMITE PLASTICO
23.28

Fuente: Elaboración Propia.

De la tabla N°5 podemos observar que el Limite Plástico de la muestra es un porcentaje de 23.28 % posteriormente con este dato realizara la obtención del Índice de plasticidad.

Tabla 6. Límites de Consistencia.

LIMITE LIQUIDO	61.10
LIMITE PLASTICO	23.28
INDICE DE PLASTICIDAD	37.82

Fuente: Elaboración Propia.

En la tabla N° 06 se determinó el IP mediante una simple diferencia entre el límite líquido (tabla N° 04) y el límite plástico (tabla N° 05); siendo en este caso un IP= 37.82%, el cual tiene un alto índice de plasticidad por ello se estabilizo el suelo.

D. CARACTERISTICAS DEL SUELO EXTRAIDO DEL SECTOR VIAL DE HUANCHAC.

De los hallazgos conseguidos a través de las pruebas, se tuvo como punto las características físicas del suelo, el cual se clasificó según los procedimientos de la SUCS y AASHTO.

- En el método AASHTO se tuvo en consideración la distribución de los granos, los valores de los porcentajes que pasan las mallas N° 10, N° 40, y N° 200, y las particularidades plásticas y el índice de grupo. Para poder analizar la calidad de la superficie es trascendental comprender el índice de grupo (I.G.), que está en función del límite líquido, y el material que pasa por el tamiz N° 200.
- El procedimiento SUCS se tomó en consideración la distribución de los granos, los porcentajes de material que pasaron el tamiz N°4, N°200 y sus características plásticas.

Tabla 7. Clasificación de la muestra extraída.

CALICATA	MUESTRA	AASHTO	SUCS
C-01	M-01	A-7-6(22)	CH (ES UNA ARCILLA DE ALTA PLASTICIDAD)

Fuente: Elaboración propia.

De la tabla N° 7 se muestra la clasificación de suelos ya que el resultado obtenido se analizó que la muestra extraída es un material arcilloso el cual es una característica particular de un material que presenta baja capacidad de soporte CBR.

➤ **PROPIEDADES MECÁNICAS DEL SUELO.**

A. PROCTOR MODIFICADO

Se analizó la muestra obteniendo la relación del contenido de humedad y la máxima densidad seca, obteniendo así la curva de compactación del suelo.

Tabla 8. Resultados del proctor modificado del suelo patrón.

CALICATA	MUESTRA	M.D.S.	O.C.H. (%)
C-01	M-01	1.92	5.32

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 08 se muestra los resultados a las cuales se llegó mediante el ensayo del proctor modificado.

B. ENSAYO DE LA RELACIÓN DE SOPORTE (CBR)

Se analizó los hallazgos del ensayo del CBR, dichos ensayos estuvieron sumergidos 96 horas (4 días), con un incremento de carga de 4.5Kg. De igual forma se analizó los porcentajes de propagación y asimismo el valor del CBR al 95% y al 100% de la máxima densidad seca a una introducción de 0.1”.

Tabla 9. Resultados del CBR suelo patrón.

CALICATA	MUESTRA	EXPANSIÓN	CBR 0.1" AL	
			95% (M.D.S)	100% (M.D.S.)
C-01	M-01	0.206	4.19	5.86

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N° 09 se observa los resultados de CBR referida a la muestra patrón. Los resultados obtenidos fueron de suma importancia

ya que desde ese punto se pudo comparar con los resultados obtenidos con las adiciones del desecho de policloruro de vinilo y cal.

4.2.2. OBJETIVO ESPECIFICO N° 2 ANALIZAR EL ÍNDICE DE PLASTICIDAD DEL SUELO ARCILLOSO ADICIONANDO DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO Y CAL.

Luego de analizar y comprender las propiedades físicas y mecánicas de la muestra extraída, se presentaron los resultados del ensayo obtenido con la adición de desechos de policloruro de vinilo y cal, en sus diversos porcentajes.

Tabla 10. Resultados del ensayo del límite de consistencia con adiciones de policloruro de vinilo y cal.

CALICATA	MUESTRA	% DE ADICION POLICLORURO DE VINILO Y CAL	L.L. (%)	L.P. (%)	I.P (%)
C-01	CH	6% Y 4%	54.05	27.42	26.63
		9% Y 4%	49.35	24.62	24.73

Fuente: Elaboración propia

De la tabla N° 10 Se observa El índice de plasticidad referido a la muestra patrón fue de 37.82, sin embargo, con la adición del 6% de policloruro de vinilo y 4% de cal, tuvimos un límite líquido y un límite plástico de 54.05 y 27.42 respectivamente, de la cual obtuvimos un índice de plasticidad de 26.63. Con la adición del 9% de policloruro de vinilo y 4% de cal se consiguió un límite líquido y plástico de 49.35 y 24.62 respectivamente, logrando un índice de plasticidad de 24.73. En la tabla se muestra el resumen del I.P. con las adiciones respectivas.

4.2.3. OBJETICO ESPECIFICO N° 3 ANALIZAR EL ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD Y LA MÁXIMA DENSIDAD SECA DEL SUELO ARCILLOSO ADICIONANDO DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO Y CAL.

Mediante el ensayo de Proctor modificado se analizó y se obtuvo el óptimo contenido de humedad la cual se usó para el CBR y la máxima densidad seca.

Tabla 11. Resultados del ensayo del proctor modificado con adiciones de policloruro de vinilo y cal.

CALICATA	MUESTRA	% DE ADICION POLICLORURO DE VINILO Y CAL	M.D.S.	O.C.H.
			(Gr/Cm3)	(%)
C-01	CH	6% Y 4%	1.96	6.55
		9% Y 4%	2.01	5.34

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 11 se muestra el resumen del ensayo del proctor modificado.

4.2.4. OBJETIVO ESPECIFICO N° 4 ANALIZAR LA CAPACIDAD DE CARGA Y RESISTENCIA DEL SUELO ARCILLOSO ADICIONANDO DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO Y CAL.

Tabla 12. Resultados del ensayo del CBR con adiciones de policloruro de vinilo y cal.

CALICATA	MUESTRA	% DE ADICION POLICLORURO DE VINILO Y CAL	CBR 0.1" AL	
			95% (M.D.S)	100% (M.D.S.)
C-01	CH	6% Y 4%	13.23	18.52
		9% Y 4%	18.63	26.08

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N° 12 se observa el resumen de los valores que se lograron analizar mediante el ensayo del CBR a las adiciones ya mencionadas, con el óptimo contenido de humedad la cual se logró en el ensayo anterior.

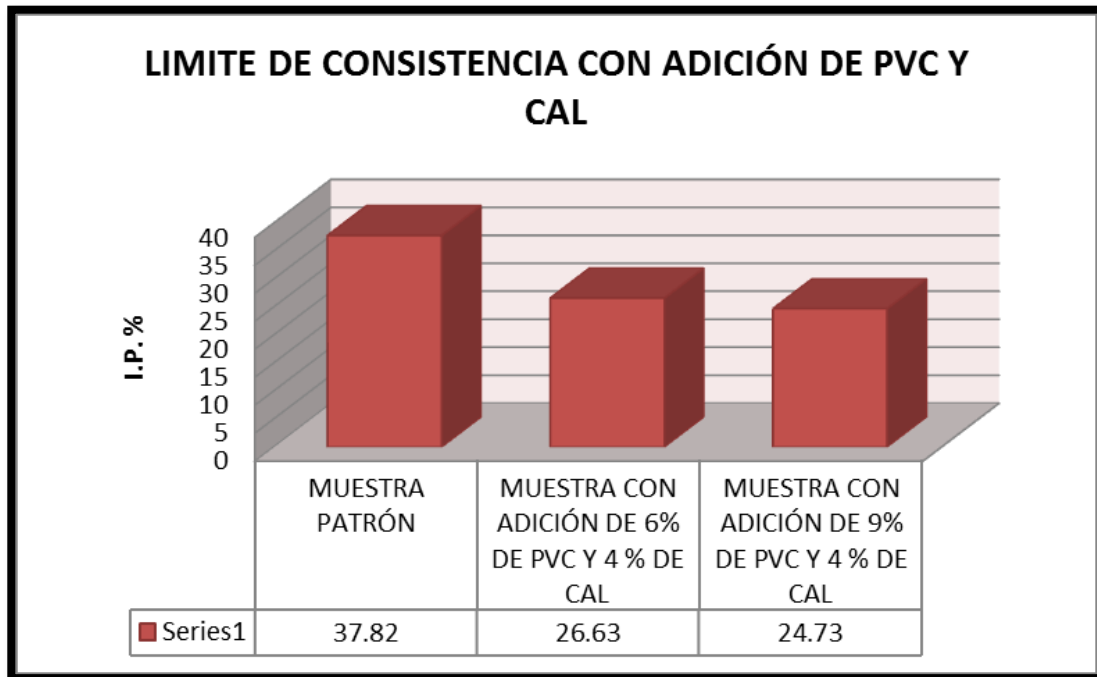
4.3. RESULTADOS DESCRIPTIVOS

4.3.1. ANALIZAR LA TOMA DE LA MUESTRA DEL SUELO PATRÓN Y CON ADICION DE DESECHOS DE POLICLORURO DE VINILO Y CAL.

4.3.1.1. LIMITES DE CONSISTENCIA

➤ ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Figura 1. Límite de consistencia de la muestra con adición de PVC y cal.



Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN:

Mediante la diferencia marcada se destacó que el que tiene mayor deficiencia es la muestra patrón con un I.P. de 37.82. Obteniendo una disminución favorable con la adición de 9 % de PVC y 4% de cal, se llegó a obtener un I.P. de 24. 73.

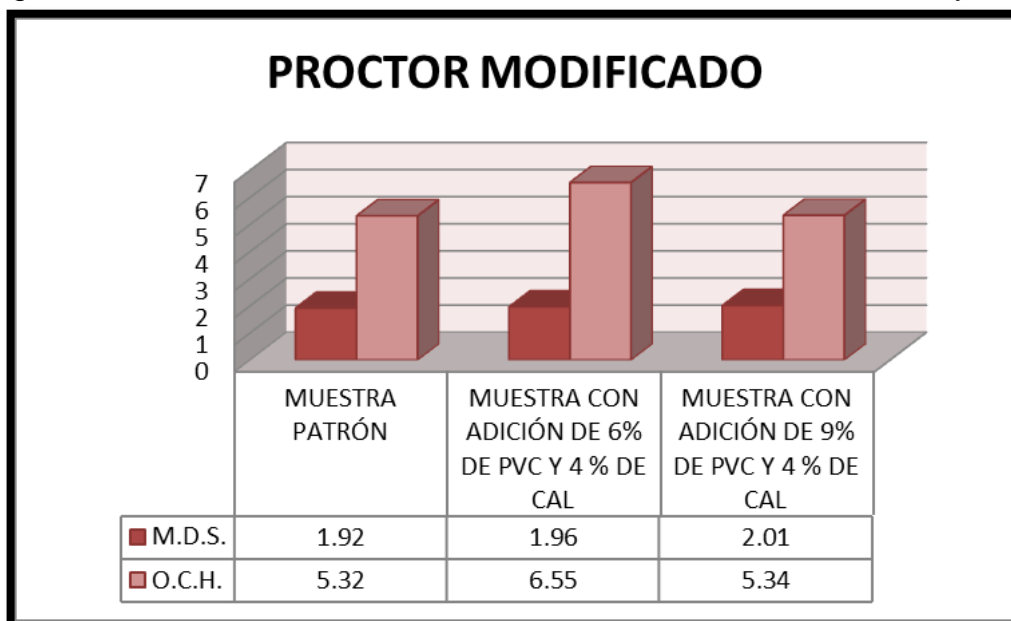
INTERPRETACIÓN:

Fue evidente que la muestra patrón tuvo un índice de plasticidad alto y mediante las adiciones se lograban disminuir el I.P. por debajo del 10%.

4.3.1.2. PROCTOR MODIFICADO

➤ ANALISIS DE LOS RESULTADOS

Figura 2. Resultados del Proctor modificado con adiciones de PVC y cal.



Fuente: Elaboración propia

DESCRIPCIÓN:

En la prueba del proctor modificado se consideró de referencia la muestra patrón teniendo una densidad de 1.92 T/m³ cuyo contenido de humedad óptima fue de 5.32%. En la distribución destacó la mejor densidad seca lograda con la humedad de cada adición de desechos de policloruro de vinilo y cal. De los ensayos correspondientes al proctor modificado el que sobresalió fue de la adición de 9% desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal con un 2.01 T/m³ con un contenido de humedad de 5.34 %. Seguidamente queda la adición de 6% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal con una densidad seca de 1.96 T/m³ y con su contenido óptimo de humedad de 1.96%.

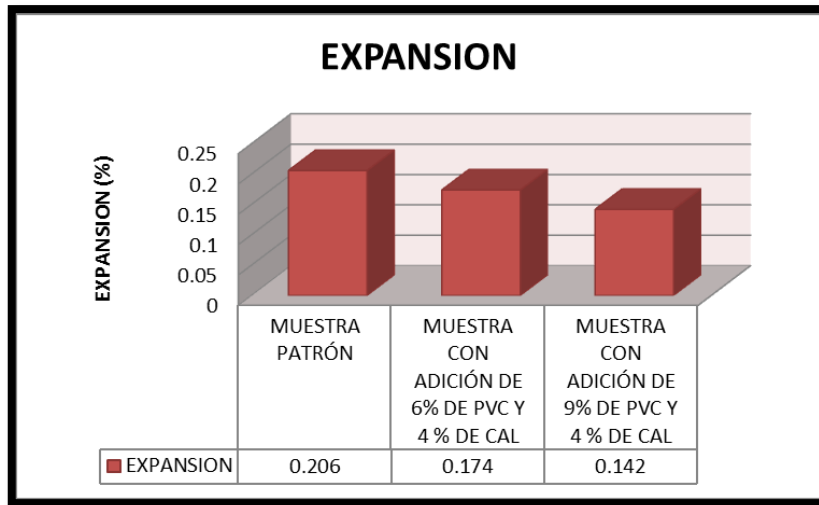
INTERPRETACIÓN:

El ensayo de proctor modificado analizó el suelo del sector vial de Huanchac con añadidura y sin añadidura de PVC y cal, se logró conseguir a través de porcentajes de agua, un balanceo de óptima humedad para dar como hallazgo una mejor consolidación, identificando su máxima densidad seca, teniendo como hallazgo y mejor resultado la inclusión de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal, con un 5.32% de agua consiguiendo una densidad seca de 1.92 T/m³.

➤ **CBR**

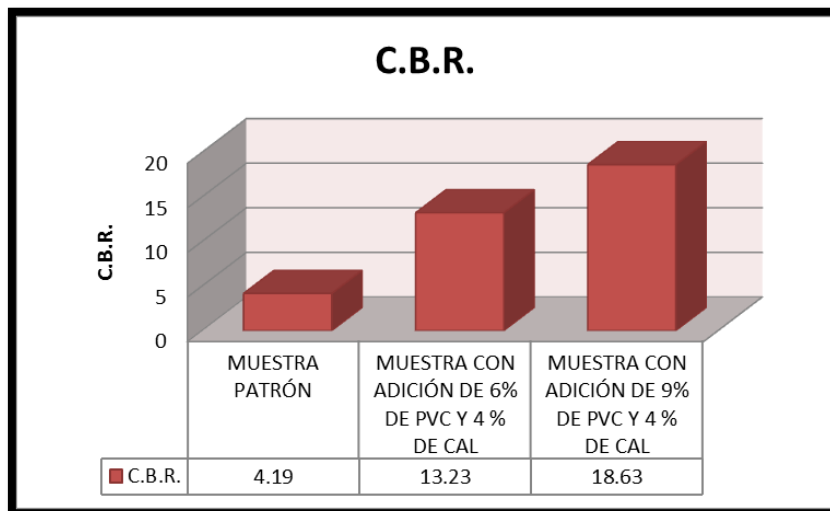
ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Figura 3. COMPARACION DE EXPANSIÓN.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 4. COMPARACION DE C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN:

En este ensayo tomaremos como punto inicial la muestra patrón. Esta muestra tuvo como su mejor densidad seca de 1.92 T/m³ con una humedad de 5.32%, después de cargar y calibrar su resistencia con una introducción correlacional al 0.1” con una lectura al 95% de CBR para la sub – rasante resultó el valor de 4.19%.

Se destacó el mejor índice de CBR que nos arrojó con la inclusión del 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal, teniendo un 2.01 T/m³ con un contenido de humedad de 5.34 %; a una introducción correlacional al 0.1” con una lectura al 95% de CBR para la sub – rasante el valor de 18.63 %.

La muestra con adición de 6% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal, tuvo 1.96 T/m³ tuvo un contenido de humedad de 6.55%, de la muestra utilizada en el molde del proctor modificado y luego se saturó y se midió su resistencia con una introducción correlacional al 0.1” con una lectura al 95% de CBR para la sub – rasante la cual nos dio el valor de 13.23%.

INTERPRETACIÓN:

La prueba del CBR sirvió para saber si la superficie es adecuada para ser usada en calidad de carpeta de rodadura las mismas que deben cumplir los requisitos citados en la norma E-101 del ministerio de transportes y comunicaciones, la muestra patrón arrojó un CBR de 4.19% la cual es una sub – rasante malo y nos dimos cuenta que si adicionamos 6% de policloruro de vinilo y 4% de cal el porcentaje del CBR aumenta a un 13.23%, después de esto si le adicionamos el 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal nos arrojó un CBR de 18.63 % siendo este el predominante.

V. DISCUSIÓN

1. En la investigación, realizada por Quispe Supo (2014), en la Universidad Nacional Del Altiplano, Puno. Llego a concluir que el residuo de PVC como material consolidante o compactador de las superficies logra mejorar las características mecánicas de las muestras de las canteras, clasificándolo como aptas para su utilización en la configuración de las capas: base y sub base para los pavimentos de las vías de comunicación. Debido a que los residuos de PVC cuentan con un extraordinario rigidez, altos niveles de resistencia a la rotura, buena resistencia química y teniendo en cuenta los hallazgos identificado en las pruebas de abrasión, Proctor Modificado, Valor Relativo de Soporte y relacionándolos con las especificaciones establecidas a través de la EG-2013, se concluye que el 6% es el porcentaje óptimo de la adición de residuos de PVC como el más efectivo. Llegando a este punto se llega a una discrepancia total. Primero si se debe considerar las dimensiones a utilizar de los desechos de policloruro de vinilo, es decir del PVC, porque a unas dimensiones exageradas no se va llegar a compactar de una buena manera, la mejor forma de adición sería en forma de harina, pero en caso de nuestra investigación no se llegó a obtener en ese estado. Nos mencionan que usaron lo que retiene la malla N°10 y la pasante por la malla N°4. Cabe destacar que mientras más pequeños sean las dimensiones de la adición que en este caso es el policloruro de vinilo mejor resultados obtendremos. De acuerdo a la norma CE.010 (2010, p.41), la consolidación de las superficies son los procedimientos físicos o químicos, por el que se logran mejorar las particularidades físicas y/o químicas de las superficies en su estado natural en corte o de los materiales de préstamo de relleno, con el propósito de aumentar las características y hacerlos estables. En este estudio se corrobora esta información ya que debido a la adición de desechos de policloruro de vinilo y cal se mejoró las características físicas y mecánicas de suelo a tratar, el que se comprobó mediante las pruebas de laboratorio de mecánica de suelos.
2. En la tesis realizada por Ruano López Denis Robin (2012) de Guatemala, este autor en su investigación uso dos tipos de muestras de suelos los cuales se extrajeron del norte del departamento de Guatemala, ya que estos suelos

poseen características cohesivas para mejorar la estabilidad, utilizó de igual forma un 10 % de cal incluidas en dichos suelos aumentado de esta forma su resistencia desde un 52.6% a 91.5% lo cual nos hace referencia que ay un margen amplio para el uso de este tipo de suelo junto con la cal. Teniendo como punto base que solo se añadió el 10 % de cal, pero con la diferencia que uso tipos de suelos muy cohesivos, y sabiendo que nuestra investigación solo llego a un CBR máximo de 18.63% contra un 91.5% de CBR de dicho autor.

3. En la investigación que realizó Velarde del Castillo (2015), realizada en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú. Concluyó que no debe de excederse a adiciones superiores al 8% de cal, porque aumentarían la resistencia, pero de igual forma aumentarían la plasticidad, llegado a este punto se puede decir que si se puede pasar ese límite tanto así que el PVC ayudaría a contrarrestar esa negatividad que es el aumento de plasticidad. Es decir que se puede hacer adiciones mayores con cal, pero junto a la adición de PVC. Debido a que en cada adición que se incorporaba el PVC y la cal bajaba el índice de plasticidad de una óptima manera.
4. En la investigación que realizaron Blanco, Branco & Rivera (2012), concluyó que el aditivo de desecho de PVC mejora el CBR de un material granular tipo sub – base a partir del 4% hasta el 6%, caso en el cual mantiene las propiedades originales, se comprobó que al incluir porcentajes mayores del 6% de PVC esta pierde densidad. Dicho eso se puso en análisis con nuestros resultados obtenidos en laboratorio la cual teniendo como punto base la muestra patrón con una densidad máxima seca de 1.92 T/m³ aumentaba a medida que aumentábamos la adición de PVC, pero cabe resaltar que era junto a la cal, llegando con una adición de 9% de PVC y 4% de cal a una densidad máxima de 2.01 T/m³. De lo cual se podría rescatar que la cal ayuda que podamos sobrepasar esos límites las cuales impiden que la densidad suba y más por el contrario baje, teniendo esto como referencia podemos decir que se pueda seguir haciendo con adiciones superiores al 6% de PVC, pero siempre y cuando sea junto a otro estabilizador como en este caso es la cal. De igual forma ponen de hincapié que a mayor adición del 6% la estructura pierde peso, ya que, al momento

de realizar el ensayo de densidad, ambos materiales son compactados en un recipiente de volumen constante y se sabe que la densidad es la relación entre el peso y el volumen que lo contiene. Teniendo esto como referencia se debe de tener cuidado al momento de aumentar demasiado porcentaje de PVC, es decir elevados porcentajes ya que en si se cumple lo que mencionan respecto a la densidad los autores de dicha tesis.

5. En la investigación, realizado por los autores Lascano & Narvaez, señalaron que el tipo de suelo que se usó como muestra o estudio es una arena mal graduada del tipo SP con presencia de grava. En esta investigación se usó adiciones del 3% al 9% de PVC en la cual menciona que se presenta una disminución de la densidad, la cual de otra manera menciona que mientras la densidad seca máxima disminuya la resistencia aumente. De la cual se puede rescatar que se cumplen en decir que el 9% es el óptimo de adición de PVC, es cuestión que otros investigadores lleven a cabo estudios de adiciones superiores al 9% pero junto a la cal para ver hasta donde se podría llegar con respecto a al CBR y de igual forma a la densidad máxima.

Haciendo una comparación sus resultados de CBR con 9% de PVC llegaron a un 13.911 % a 0.1” de penetración con una lectura al 95%, mientras que nuestros ensayos con un 9% de PVC y 4% de cal a una penetración de 0.1” con una lectura al 95 % nos dio un resultado muy favorable de 18.63%, con esto podemos decir que si ayuda de una manera óptima el uso de la cal junto al PVC, es decir tiene un mejor comportamiento. De igual forma en la tesis, realizada por el Cabana Valverde Marco Antonio de nacionalidad peruana. Este autor realizó dos ensayos de comportamiento a la mezcla suelo – cal, cuyo fin fue corroborar la mejora, ya que indican que al usar el consolidante cal existe la tendencia al incremento de la resistencia del suelo, la misma que garantiza una adecuada durabilidad a la sub – rasante, para que esta posteriormente sea usada como fundación de la estructura de un pavimento, su suelo en estudio tuvo una resistencia de 3.50% y con una expansión de 1.01% y le incorporaron 8% de cal la cual era la óptima llegando a una resistencia de 12% y su hinchamiento se redujo a 0.11%. comparado nuestra muestra de suelo a tratar con un 4.19% de resistencia con una expansión de 0.206 %, adicionando a este suelo la más óptima en estudio fue la de 9% de

desechos de PVC y 4% de cal, llegando a obtener valores respecto a la resistencia de 18.63% y una expansión de 0.142. Teniendo como referencia dichos valores se dice que la adición de PVC reciclado ayuda de una manera positiva al aumento del soporte del suelo a tratar mejor que la adición de cal en un porcentaje mayor que es la del 8%. No solo se puede apreciar el buen estabilizador que son los dos juntos, sino también que el índice de plasticidad reduce y la expansión en referencia a la muestra patrón.

VI. CONCLUSIONES

1. En la presente investigación después de realizar las pruebas de contenido de humedad, la distribución de los granos, límite de consistencia, proctor modificado y la prueba de la relación de soporte de california con la unión de la superficie con los desechos de policloruro de vinilo y cal se analizó los efectos que tiene la estabilización. Logrando resultados satisfactoriamente positivos de las que se pudo obtener mejoras tanto en las características físicas como en las mecánicas del suelo a tratar. Donde se analizó y se concluyó que con la adición de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal el suelo arcilloso logro estabilizarse, se logró un soporte al 95% de 18.63%, una densidad seca de 2.01 T/m³ con un óptimo contenido de humedad de 5.34% y reduciendo el índice de plasticidad (I.P.) de un 37.82% a 24.73%, de la misma manera se logró disminuir la expansión de un 0.206% a un 0.142%.
2. Respecto a los ensayos efectuados en el laboratorio, se analizó el suelo a tratar, tanto en sus propiedades físicas como en sus propiedades mecánicas, por lo cual se llegó a la conclusión que el tipo de suelo de la carretera del sector vial de Huanchac la cual fue analizada y evaluada mediante las pruebas de distribución de los gramos por tamizado y los límites de consistencia nos arrojó el resultado de un suelo A – 7 - 6 (22) la cual es mediante la clasificación del método de AASHTO y según SUCS es un suelo CH (superficie de alta plasticidad), el contenido de humedad natural está entre 10.10% a 11.31%, limite liquido de 56.44% a 64.62%, limite plástico de 22.64% a 24.27%, el índice de plasticidad de 37.82%, la densidad máxima seca de 1.92 T/m³ con un óptimo contenido de humedad de 5.32% y un índice de CBR al 95% de 4.19%.
3. De acuerdo a los valores alcanzados en los límites de consistencia, la muestra patrón tuvo un índice de plasticidad de 37.82% y con las adiciones de PVC y cal se obtiene mejoras en el índice de plasticidad por la reducción de estos. Se alcanzó un índice plasticidad de 26.63% con la adición de 6% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal. Y con la última adición que es de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal logro bajar a 24.73%.

4. Con referencia en los ensayos del proctor modificado se concluye que la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad de la superficie arcillosa con la inclusión del 6% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal llego a un valor de 1.96 T/m³ con un óptimo contenido de humedad de 6.55%, el ultimo porcentaje de adición es de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal logrando alcanzar una máxima densidad seca de 2.01 T/m³ y un óptimo contenido de humedad de 5.34%, con todos estos ensayos se llega a decir y a concluir que la mejor adición es la segunda la cual representa una mejora significativa en sus propiedades mecánicas a través de la compactación.
5. Mediante el ensayo del CBR se concluye que la superficie arcillosa se estabiliza con la adición de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal, alcanzando un CBR a una lectura del 95% de 18.63%. Con la adición de 6% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal se logró un CBR al 95% de 13.23%. Se ve la muestra patrón como un suelo desfavorable por su baja resistencia la cual es de 4.19%.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda a los funcionarios de la municipalidad distrital de Independencia que realice la mejora de la sub – rasante del sector vial de Huanchac aplicando la adición de desechos de policloruro de vinilo y cal como agentes estabilizantes, para mejorar la capacidad portante y de esta manera estabilizar el suelo natural, la mejor adición es la de 9% de desechos de policloruro de vinilo y 4% de cal; de igual forma se debe de realizar un buen mezclado para lograr así una mejor compactación y estabilidad.
2. Al ministerio de transportes y comunicaciones difundir e incentivar a la investigación de adiciones estabilizantes con materiales de desechos, de esta manera ayudar a no seguir contaminando y aprovechar al máximo lo que está de desperdicio, de igual forma se podrá analizar más tipos de suelos.
3. Utilizar desechos de policloruro junto a la cal viva en suelos con estratos arcillas y con presencia de limos, que den baja capacidad de soporte y un alto índice de plasticidad, ya que al adicionar dichos estabilizadores aumentan el CBR de estos tipos de suelos mencionados, también reducen su índice de plasticidad. De igual forma se recomienda realizar la toma de muestra de la calicata en épocas de estiaje, para así determinar mejor las humedades y evitar las correcciones continuas, obteniendo así mejores resultados y una mejor trabajabilidad en laboratorio.
4. Ser recomienda como punto de referencia que los procedimientos de proctor modificado y CBR, se deban de hacer con mucho cuidado y siempre siguiendo los pasos para su ejecución, tanto en el momento de realizar las adiciones, en el momento de colocar y sacar las pruebas del horno y de igual forma en el proceso de saturado la cual se da en el ensayo del CBR ya que estos ensayos son primordiales de las cuales dependerá para un diseño posterior de pavimentado.

5. De la misma manera a futuras investigaciones referentes a este tema, se sugiere tomar esta investigación como guía de inicio, para consolidar las superficies arcillosas existentes en diferentes puntos del mundo y de esta manera incentivar a crear un manual con estabilizadores de diferentes tipos no convencionales. A futuros investigadores seguir con porcentajes mayores tanto del policloruro de vinilo y de la cal, y así tener más amplios horizontes de porcentajes a usar por los diferentes tipos de suelos que existen.

REFERENCIAS

Álvarez J, C., & Echeverri J, D. (1999). Estabilización de arcillas expansivas con cal hidratada. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

Altamirano & Díaz (2015). *Estabilización de suelos cohesivos por medio de Cal en las Vías de la comunidad de San Isidro del Pegón, municipio Potosí- Rivas*, realizada en la Universidad Nacional de Autónoma de Nicaragua.

Ancade; Anter; Ieca;. (2008). Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal. En I. E. (IECA) (Ed.). Madrid: I.S.B.N.: 978-84-89702-23-3.

ASTM D422-63 (2007) e2, *Método de prueba estándar para análisis del tamaño de partículas de suelos* (retirado en 2016), ASTM International, West Conshohocken, PA, 2007, www.astm.org

AASHTO M 145-91 (2017), *Especificación estándar para la clasificación de suelos y mezclas de suelos y agregados para fines de construcción de carreteras*, ESTÁNDAR de la Asociación Estadounidense de Oficiales de Transporte Estatal y de Carreteras, USA, 2017, M145-91-UL, M145-91-UL, M145-91-UL

GE 441 - Advanced Engineering Geology And Geotechnics
https://web.mst.edu/~rogersda/umrcourses/ge441/online_lectures/drainage&erosion_control/

Blanco Rodriguez, M., & Matuz Lazo, I. (2006). Guías de laboratorio de materiales de construcción. Managua, Nicaragua.

Blanco, Branco & Rivera (2012). *Reutilización Del Desecho De PVC Como Agente Estabilizador De Sub-Bases Granulares*, realizada en la Universidad De La Costa, CUC – Colombia.

Berry, P., & Reid, D. (1993). Mecánica de Suelos. (B. Caicedo, Trad.) Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Latinoamérica, S.A

Cabana (2017). *Mejoramiento De La Relación De Soporte (CBR) Al Adicionar El Estabilizante Químico Cal A La Sub-Rasante De La Carretera No Pavimentada De Bajo Transito Paria – Wilcahuain, Huaraz, 2017*, realizada en la Universidad Cesar Vallejo - Huaraz.

Crespo, C. (2004). *MECANICA DE SUELOS Y CIMENTACIONES* (LIMUSA (ed.); 5th ed.). <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/mecanica-desuelos-y-cimentaciones-crespo-villalaz.pdf>

Das, B. (2001). *Fundamentos de ingeniería geotécnica*. (I. Bernal Carreño, Trad.) D.F., Mexico: Thomson Learning.

Hernández, R. (1996). *Estabilización de un suelo arcilloso con cal y su proceso constructivo*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Lascano & Narvaez (2010). *Mejoramiento De la Capacidad Portante Del CBR De Una Sub Base Granular Con Material Proveniente De La Provincia De Esmeraldas Por Medio De La Adición De Desechos De PVC*, realizada en la Pontificia Universidad Católica Del Ecuador.

LIME-TREATED SOIL CONSTRUCTION MANUAL (2004). *LIME STABILIZATION & LIME MODIFICATION*. USA. National LIME Chemical.

Estabilización de la subrasante de suelo arcilloso con uso de polímero sintético en la carretera Chachapoyas – Huancas, Amazonas, 2018

Menéndez Acurio, J. R. (2013). *Ingeniería de pavimentos: diseño y gestión de pavimentos*. Lima: Imprenta ICG.

Métodos de Estabilización de Suelos. (15 de 2 de 2010). Obtenido de Apuntes Ingeniería Civil:
<http://apuntesingenierocivil.blogspot.com/2011/03/metodosestabilizacion-de-suelos.html>

Hernández, R. (1996). *Estabilización de un suelo arcilloso con cal y su proceso*

constructivo. Universidad Nacional Autónoma de México.

MTC. (2014). Manual de Carreteras. R.D. N° 10-2014-MTC/14.

MTC. (2016). Manual de ensayo de materiales. Lima. Obtenido de https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html

MTC. (2018). Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG-2018. Obtenido de Dirección General de Caminos Y Ferrocarriles: https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

Palomino (2006). *Estabilización De Suelos Y Su Aplicación En El Mejoramiento De Sub Rasante*, realizada en la universidad nacional de ingeniería – Perú.

Ancade. 2008. Manual De Estabilización De Suelos Con Cemento O Cal. España : Ieca, 2008.

NACIONAL LIME ASSOCIATION. 2004. Manual de Estabilización de suelo tratado con Cal. Estabilización y Modificación con cal.

Quispe (2014). *Estabilización De Suelos No Aptos Con Desechos De Policloruro De Vinilo Para Su Uso En La Conformación De La Capa Base y Sub Base De Pavimentos*, realizada en la Universidad Nacional Del Altiplano, Puno.

Ravines, M. (2010). *Pruebas con un producto Enzimático como Agente Estabilizador de Suelos para Carreteras - Piura*. [Universidad de Piura]. https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1354/ICI_185.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Rico A. del Castillo, H. (2005). La ingeniería de suelos en las vías terrestres pavimentos, ferrocarriles y aeropistas. Vol. 1. Ciudad de México: Limusa S. A.

ATARAMA, Edson. 2015. Evaluacion de la transitabilidad para caminos de bajo volumen de transito estabilizados con aditivo proes. Piura : Universidad Nacional de Piura, 2015.

Ruano (2012). *Estabilización De Suelos Cohesivos Por Medio De Arenas Volcánicas Y Cal Viva*, realizada en la Universidad De San Carlos De Guatemala.

Valdivia (2016). *Factibilidad De Implementación Del Material Suelo-Cemento Como Material De Construcción Para Viviendas De Bajo Costo En El Perú*. Realizada en la pontificia universidad católica – Perú.

Velarde (2015). *Aplicación De La Metodología De La Superficie De Respuesta En La Determinación De La Resistencia A La Compresión Simple De Suelos Arcillosos Estabilizados Con Cal Y Cemento*, realizada en la Universidad Nacional del Altiplano, Perú.

Mohamad Hassibi Chemco Systems L. P. *Factores que afectan la calidad de la cal viva (CaO)*. Publicación, septiembre 2002 – Revisión 1, 17 de marzo de 2009.

Hernández, R. (1996). *Estabilización de un suelo arcilloso con cal y su proceso constructivo*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Asociación Nacional de Fabricantes de Cal, ANFACAL, A.C. *Uso de óxido de calcio (pulverizado), CaO, como estabilizador de las arcillas del Ex Lago de Texcoco*, México 2016.

Laura, L. (2016). *MICROSCOPIA OPTICA DE LA GELACION DEL POLICLORURO DE VINILO* [Universidad Nacional De San Agustín].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/3267/MTlaarl.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Olvera, M. (2013). *Desarrollo de formulaciones alternas para tubería de PVC* [Universidad Nacional de Queretaro]. Tesis.

PROMATERIALES, (2019). *PVC EN LA CONSTRUCCION*.

<https://promateriales.com/pdf/pm1505.pdf>

INC, (2015). *Cloruro vinílico*. <https://www.cancer.gov/espanol/cancer/causas-prevencion/riesgo/sustancias/cloruro-vinilico>

MATERIALS, (2017). *POLICLORURO DE VINILO*. Universidad de Barcelona. <http://www.ub.edu/cmematerials/es/content/policloruro-de-vinilo>

Zaid Alqaraghuli SOIL STABILIZATION WITH RICE HUSK ASH AND CEMENT
https://www.researchgate.net/publication/303111828_Soil_Stabilization_with_Rice_Husk_Ash_and_Cement

ANEXOS

ANEXO N°1

Tabla 13. Matriz de Operacionalización de Variables

VARIABLE(S)	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICION
V.D: Estabilización de suelos arcillosos	Es el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniendo un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.	La variable estabilización de suelos arcillosos se va a medir en función de las dimensiones: tipos según la geotecnia, propiedad índice y pruebas de resistencia en cada uno de sus indicadores.	Tipos según la geotecnia	Arenas y gravas	RAZON
				Limos	
				Arcillas	
			Propiedad Índice	Humedad	
				Gravedad específica	
				Análisis granulométrico	
			Pruebas de Resistencia	Límites de consistencia	
				Proctor estándar o Modificado	
California Bearing Ratio					
V.I: Policloruro de vinilo y cal.	El policloruro de vinilo es un material que tiene buen desempeño en el termo formado moldeable, tiene buena resistencia mecánica y disminuye resistencia al impacto. La cal viva es una sustancia alcalina la cual mejora las propiedades de suelos arcillosos.	La variable policloruro de vinilo se va a medir en función de las dimensiones: Composición de PVC, comportamiento de la cal, en cada uno de sus indicadores.	Composición de PVC	Física	RAZON
				Química.	
			Comportamiento de la cal	Cal para tratamiento de suelos	
				Modificación de suelos con cal	
				Efectos de la aplicación de la cal	
				Tipos de modificación de suelos mediante cal	
Factores condicionantes					

Tabla 14. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO	LINEA DE INVESTIGACION	PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	METODOLOGIA
"Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Desechos De Policloruro De Vinilo Y Cal En El Sector Vial De Huanchac - Ancash"	Diseño de infraestructura vial	¿se podrá mejorar el suelo arcilloso de baja capacidad portante mediante el uso de polímeros reciclados y cal en carreteras?	OBJETIVO GENERAL	El uso de desechos de policloruro de vinilo en un 6%, 9% y cal en un 4% mejorará la capacidad de soporte del suelo arcilloso en el sector vial de Huanchac	VARIABLE I	TIPO
			Analizar el efecto de estabilidad de suelo arcilloso de baja capacidad portante mediante el uso de desechos de policloruro de vinilo reciclados al 6%, 9% y cal 4% en el sector vial de Huanchac		Policloruro de vinilo y cal.	El presente proyecto de investigación es de tipo cuantitativo.
			OBJETIVOS ESPECIFICOS		VARIABLE D	TECNICAS
			a) Analizar la toma de la muestra del suelo extraído mediante los ensayos de laboratorio.		Estabilización de suelos arcillosos	DISEÑO DE INVESTIGACION EXPERIMENTAL
			b) Analizar el índice de plasticidad del suelo arcilloso adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal..			
			c) Analizar el óptimo contenido de humedad y la máxima densidad seca del suelo arcilloso adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal..			
d) Analizar la capacidad de carga y resistencia del suelo arcilloso adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal.						

ANEXO N°2

SUELOS

Al suelo se le denomina parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa, que proviene de la desintegración o alteración física, y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella. Los suelos son sistemas complejos donde ocurren una vasta gama de procesos físicos y biológicos que se ven reflejados en la gran variedad de suelos existentes en la tierra. (Crespo, 2004)

Existen muchos son los procesos que pueden contribuir a crear un suelo particular, algunos de estos son: la deposición eólica, sedimentación en cursos de agua, meteorización, deposición de material orgánico y la intervención humana en procesos específicos. Menciona que los suelos tienen su origen en los macizos rocosos preexistentes que constituyen la roca madre, sometida a la acción ambiental disgregadora de la erosión en sus tres facetas. (Juaréz & Rico, 2005) las cuales se presentan en el esquema.

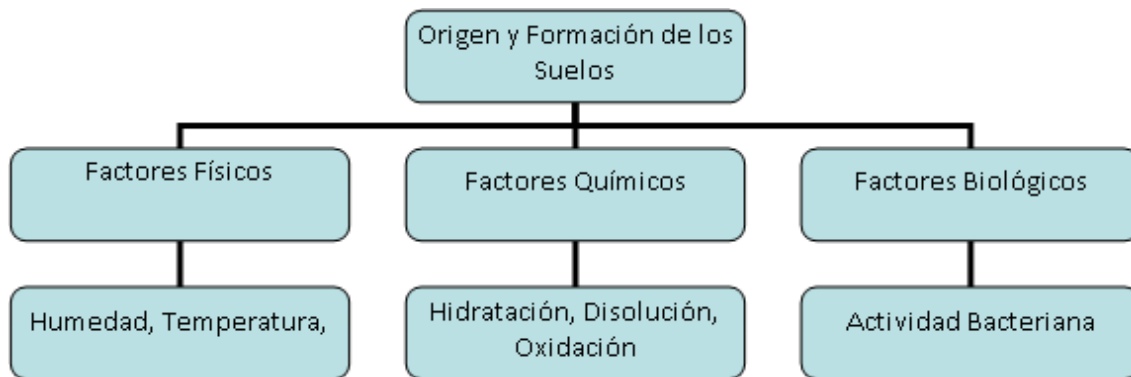


Figura 5. "origen y formación del suelo" - (Juaréz & Rico, 2005)

La clasificación de los suelos fue uno de los primeros objetivos de la mecánica de suelos. Antiguamente dicha clasificación se hacía en base a criterios puramente descriptivos. Actualmente la clasificación de suelos está basada en las propiedades

mecánicas de los suelos. Encontramos las arenas y las gravas, los limos y las arcillas. (ASTM, 2016)

Las pruebas nos permiten conocer propiedad índice y características mecánicas de los suelos según las normativas ASTM y AASHTO. Estas normativas definen la determinación de las propiedades índice del suelo a través del método SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos), para obras de tipo vertical y el método HRB (Highway Research Board) para obras horizontales según (Das, 2001)

Para clasificar apropiadamente un suelo utilizando este sistema, deben conocerse el porcentaje de grava, el porcentaje de arena, el porcentaje de limo y arcilla, los coeficientes de uniformidad y curvatura y el límite líquido e índice de plasticidad. La clasificación de los suelos mediante el sistema de clasificación HRB se basa en la trabajabilidad que tiene el suelo desde el punto de vista vial, clasificándolos en 8 grupos denominados A1 - A7 a medida que la numeración aumenta la dificultad para trabajarlo (extracción, movimientos, compactación, etc.) y menor calidad en la capa de estructura vial ejecutada. El suelo A-1, es un suelo de propiedades óptimas para ser usado en las capas que conforman la estructura de un pavimento y en su orden ascendente de numeración, su comportamiento va decreciendo hasta llegar al suelo A-7, cuya aplicación en carreteras no es recomendable.

El índice plástico del Sub - Grupo A - 7 -5 es igual o menor que Límite Líquido menos 30. ($IP \leq (L - 30)$).

El índice plástico del Sub - Grupo A - 7 -6 es mayor que Límite Líquido menos 30. ($IP > (L - 30)$).

El índice de Grupo debe ser indicado entre paréntesis después del símbolo del grupo (ej.: A-2-6 (3) y debe ser un número entero, si da menor que cero el IG es igual a cero. El IG no tiene límite pero se lo suele acotar a un valor máximo de 20.

$$IG = (F - 35) (0,2 + 0,005 (\omega L - 40)) + 0,01 (F - 15) (IP - 10) \dots\dots\dots Ec. 1.1$$

F = % que pasa el tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200)

$$IP = LL - Lp \dots\dots\dots Ec. 1.2$$

CLASIFICACION GENERAL	SUELOS GRANULARES Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) hasta el 35 %							SUELOS ARCILLOSO - LIMOSO Pasa tamiz IRAM 75 micrómetros (N° 200) más del 35 %			
	A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7
CLASIFICACION POR GRUPOS	A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5 A - 7 - 6
Tamiz IRAM de 2 mm. N° 10	Máx 50										
Tamiz IRAM de 425 micrómetros N° 40	Máx 30	Máx 50	Min 51								
Tamiz IRAM de 75 micrómetros N° 200	Máx 15	Máx 25	Máx 10	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Máx 35	Min 35	Min 35	Min 35	Min 35
Características de la fracción que pasa por tamiz IRAM 425 micrómetros N° 40											
Límite Líquido ⁽¹⁾ (%)	-	-	-	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41	Máx 40	Min 41
Índice de Plasticidad I _p (%)	Máximo 6		No plástico	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11	Máx 10	Máx 10	Min 11	Min 11
Índice de Grupo IG	0	0	0	0	0	Máx 4	Máx 4	Máx 8	Máx 12	Máx 16	Máx 20
CONSTITUYENTES PRINCIPALES DE TIPOS MAS COMUNES	Fragmentos de rocas, grava y arena		Árena fina	Gravas y arenas arcillosas limosas				Suelos limosas		Suelos arcillosos	
COMPORTAMIENTO GENERAL COMO SUBRASANTE	Excelente a bueno						Regular a pobre				

Figura 6. Descripción de los grupos y sub grupos AASHTO M-145.

Propiedades Índice. (Juárez y Rico, 2004

a) Humedad

El contenido de humedad del suelo, se define como la cantidad de agua presente en el suelo al momento de efectuar el ensayo, relacionado al peso de su fase sólida. Los datos de humedad fueron calculados mediante la siguiente ecuación:

$$\%W = (W_w / W_s) * 100; \dots\dots\dots \text{Ec. 1.3}$$

(Das, 2001) sostiene que todos los suelos se componen de tres fases, sólida, líquida y gaseosa. La fase sólida está constituida por las partículas minerales, la parte líquida está representada principalmente por agua, y la gaseosa por aire. Todas las fases ocupan un determinado volumen, y representan un determinado peso, con respecto al total de una muestra, (ver figura 20).

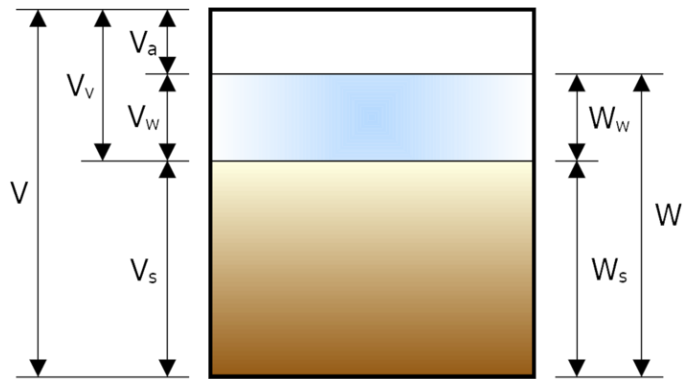


Figura 7. Fase de los suelos, (Berry & Reid, 1993)

b) Gravedad específica.

(Berry & Reid, 1993) menciona como Gravedad Específica de los Suelos, a la relación de la densidad de un suelo y la densidad del agua. El valor de la Gravedad Específica de un Suelo queda expresado por un valor abstracto, el valor de la misma varía entre 2.20 y 3.

La gravedad específica se utiliza para el cálculo de volúmenes de vacíos, se utiliza también en el análisis del hidrómetro y es útil para predecir el peso unitario del suelo, especialmente para agregados finos, esta se calcula a través de la siguiente expresión:

$$G.S = A_s / A \dots\dots\dots Ec. 1.4$$

a) Análisis granulométrico.

(Blanco & Matuz, 2006) sostiene que la granulometría es muy importante en el proceso de clasificación de suelos, ya que permite en primera instancia separar la fracción gruesa de la fina. Además, las características del tamaño de las partículas de un suelo, tienen gran importancia en su comportamiento mecánico, e influyen considerablemente en la compactación adecuada de los suelos. La estabilidad de un suelo depende de su cantidad de vacíos, mientras esta sea menor mejor será el comportamiento del mismo. Para lograr que los vacíos de un suelo sean reducidos al mínimo es necesario que el material tenga una gama de tamaños que permita que los

huecos resultantes del acomodo de las partículas mayores, sean ocupados por partículas más pequeñas. Esta prueba se remite a determinar al tamaño o diámetro de las partículas que componen el suelo, existen diferentes métodos, dependiendo de la mayor proporción de tamaños que existen en la muestra que se va a analizar.

❖ **Granulometría por tamizado:**

(ASTM International, 2007), es un proceso mecánico mediante el cual se separan las partículas de un suelo en sus diferentes tamaños, denominado a la fracción menor (Tamiz No 200) como limo, Arcilla y Coloide. Se lleva a cabo utilizando tamices en orden decreciente. La cantidad de suelo retenido indica el tamaño de la muestra, esto solo separa una porción de suelo entre dos tamaños.

El primer grupo es la fracción “gruesa”, que está conformada por las partículas mayores a la malla #200 (0.074mm). Y el segundo es la parte “fina”, la cual está conformada por todas aquellas partículas menores a la malla 200. Se considera un suelo grueso, cuando el 50% del peso de una muestra queda retenido en la malla 200. Los suelos gruesos se subdividen en: gravas de símbolo genérico G y arenas, de símbolo genérico S. Las gravas y las arenas se separan con la malla #4 (4.76mm). Se considera como grava a todo el material retenido en dicha malla, El material que pasa la malla #4 y es retenido en la malla # 200, es una arena.

Estos grupos G y S, se subdividen en cuatro grupos más, en función de su gama de tamaños, de la presencia de finos y la plasticidad de los mismos. De esta forma a cada grupo formado se le asigna un símbolo conformado por dos letras mayúsculas. Cuando el 50% del peso total de la muestra traspasa la malla # 200, se dice que el suelo es fino. De la misma forma que los suelos gruesos, los finos se subdividen en tres grupos, en función de su índice plástico (IP). Estos tres grupos son: Limos inorgánicos, de símbolo genérico M. Arcillas inorgánicas, de símbolo C. Arcillas y limos orgánicos de símbolo genérico O. Al igual que los suelos gruesos, el símbolo consta de dos letras, esta segunda letra es asignada en función de su grado de compresibilidad, definida por el límite líquido (LL), esta segunda letra puede ser H, para una alta compresibilidad o L, para baja compresibilidad.

❖ Análisis granulométrico por medio del hidrómetro:

(ASTM International, 2007), el análisis hidrométrico se basa en la ley de Stokes, la cual relaciona la velocidad de una esfera cayendo libremente a través de un fluido con el diámetro de la esfera. Se asume que la ley de Stokes puede ser aplicada a una masa de suelo dispersado, con partículas de varias formas y tamaños. El diámetro se usa para determinar el porcentaje de partículas del suelo dispersados, que permanecen en suspensión en un determinado tiempo. Para ensayos de rutina con fines de clasificación, el análisis del hidrómetro se aplica a partículas de suelo que pasan el tamiz No.10.

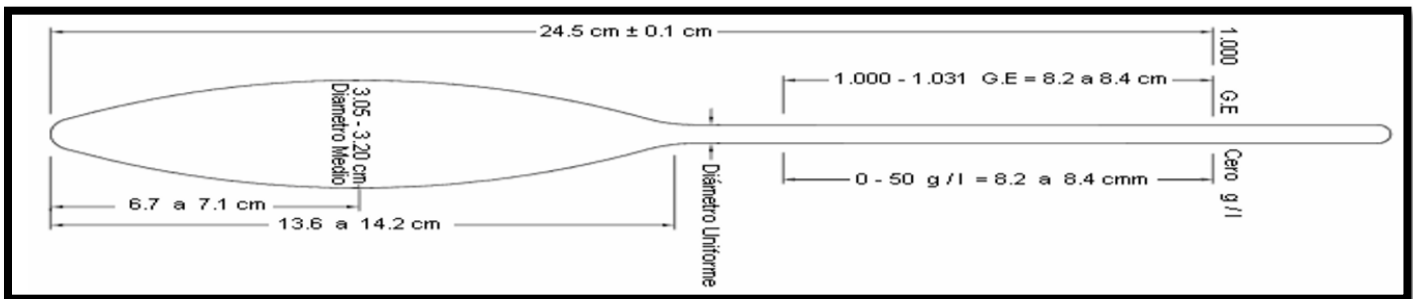


Figura 8. Características del hidrómetro, (Crespo Villalaz, 2004).

b) Límites de consistencia de los Suelos (Límites de Atterberg)

Los límites de Atterberg o límites de consistencia se utilizan para caracterizar el comportamiento de los suelos finos. (ASTM International, 2007), los límites de Atterberg o límites de consistencia se basan en el concepto de que los suelos finos, presentes en la naturaleza, pueden encontrarse en diferentes estados, dependiendo del contenido de agua. Así un suelo se puede encontrar en un estado sólido, semisólido, plástico, semilíquido y líquido. La arcilla, por ejemplo, al agregarle agua, pasa gradualmente del estado sólido al estado plástico y finalmente al estado líquido.

(Crespo, 2004) menciona que el contenido de agua con que se produce el cambio de estado varía de un suelo a otro y en mecánica de suelos interesa fundamentalmente

conocer el rango de humedades, para el cual el suelo presenta un comportamiento plástico, es decir, acepta deformaciones sin romperse (plasticidad), es decir, la propiedad que presenta los suelos hasta cierto límite sin romperse. El método usado para medir estos límites de humedad fue ideado por Atterberg a principios de siglo a través de dos ensayos que definen los límites del estado plástico. Los límites de Atterberg son propiedades índices de los suelos, con que se definen la plasticidad y se utilizan en la identificación y clasificación de un suelo.

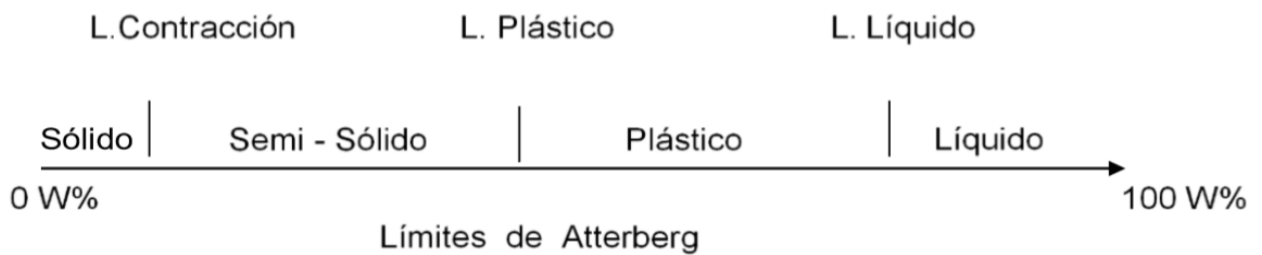


Figura 9. Límites de Consistencia fue ideado por Atterberg

❖ **Límite Líquido (L.L):**

(Crespo, 2004), el límite se define como el contenido de humedad expresado en porcentaje con respecto al peso seco de la muestra, que debe tener un suelo moldeado para una muestra del mismo en que se haya moldeado una ranura de dimensiones Estándar, el límite líquido se obtiene con la expresión:

$$LP = \%h1 - \%h2 \dots \dots \dots \text{Ec. 1.5}$$

$$LI = (Ww/Ws * 100) * k \dots \dots \dots \text{Ec. 1.6}$$

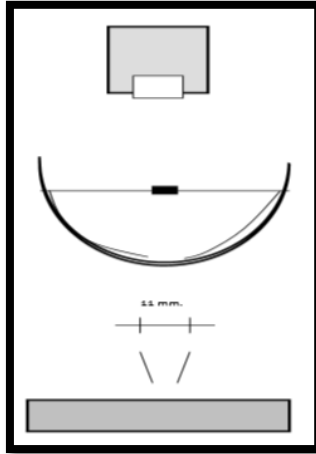


Figura 10. Corte esquemático Copa de Casa Grande, (UNAN, 2011)

❖ **Límite Plástico (L.P.):**

(Crespo, 2004) menciona que el límite plástico se define como el contenido de humedad, expresado en porcentaje, cuando comienza agrietarse un rollo formado con el suelo de 3 mm. De diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa y absorbente.

❖ **Límite de Contracción:**

(Crespo, 2004) menciona que el Límite de Contracción (L.C.) de un suelo se define como el porcentaje de humedad con respecto al peso seco de la muestra, con el cual una reducción de agua no ocasiona ya disminución en el volumen del suelo. El límite de contracción es muy útil para evaluar el comportamiento de cortes y terraplenes principalmente en el posible surgimiento de grietas.

❖ **Índice de plasticidad (IP):**

(Crespo, 2004) menciona que el Índice de Plasticidad (IP) es una medida de cuánta agua puede absorber un suelo antes de disolverse en una solución. Mientras más alto es este número, el material es más plástico y más débil. El IP se mide por dos pruebas

simples en la mecánica de suelo: el límite líquido y el límite plástico; la diferencia entre los dos es el Índice de Plasticidad.

PRUEBAS DE RESISTENCIA.

(Berrios & Chavarría, 2011) sostiene que en el nuestro estudio se realizaron pruebas de CBR (California Bearing Ratio) y las pruebas de compactación Proctor. Estas pruebas fueron realizadas a fin de determinar la resistencia al esfuerzo cortante y capacidad de carga de los suelos en la comunidad San Isidro.

Pruebas de compactación (Proctor Estándar y Proctor Modificado).

(Berrios & Chavarría, 2011) menciona que el término compactación se utiliza en la descripción del proceso de densificación de un material mediante medios mecánicos. El incremento de la densidad se obtiene por medio de la disminución de la cantidad de aire que se encuentra en los espacios vacíos presentes en determinado material, manteniendo el contenido de humedad relativamente constante. En la vida real, la compactación se realiza sobre materiales que serán utilizados para relleno en la construcción de terraplenes, pero también puede ser empleado la material in situ en proyectos de mejoramiento del terreno. El principal objetivo de la compactación es mejorar las propiedades ingenieriles del material en algunos aspectos:

- Aumentar la resistencia al corte, y por consiguiente, mejorar la estabilidad, de terraplenes y la capacidad de carga de cimentaciones y pavimentos.
- Disminuir la compresibilidad y, por consiguiente, reducir los asentamientos.
- Disminuir la relación de vacíos y, por consiguiente, reducir la permeabilidad.
- Reducir el potencial de expansión, contracción o expansión por congelamiento.

Para medir el grado de compactación de material de un suelo o un relleno se debe establecer la densidad seca del material. En la obtención de la densidad seca se debe tener en cuenta los parámetros de la energía utilizada durante la compactación y también depende del contenido de humedad durante el mismo.

Factores que afectan el proceso de compactación de los suelos.

(Berrios & Chavarría , 2011), si se compacta un suelo por diversos métodos, la densidad obtenida será posiblemente diferente para cada uno; del mismo modo, si distintos suelos se compactan empleando el mismo método es de esperar que los resultados obtenidos sean también diferentes. Esto indica que el proceso de compactación de un suelo se encuentra afectado por una serie de factores, de los cuales los más determinantes son:

1. El tipo de suelo.
2. El método de compactación.
3. La energía de compactación.
4. El contenido de agua del suelo.
5. El re compactación del suelo.

La Prueba Proctor Standard

Este ensayo se encuentra estandarizado por la ASTM D-698. Los parámetros que se obtienen de este ensayo son el peso unitario seco máximo y el contenido de humedad óptimo.

La compactación es la densificación del suelo debido a la eliminación del aire por medio de energía mecánica para así obtener del suelo mayor resistencia, menor deformación y permeabilidad. El grado de compactación se mide en términos del peso unitario seco del suelo. Al compactar se añade agua, el peso unitario seco que se obtiene de la compactación viene dado por el contenido de humedad óptimo que es diferente para cada tipo de suelo.

La diferencia entre el Proctor estándar y el modificado radica en la energía empleada en el proceso de compactación, lo que genera una mayor reducción en el porcentaje de vacíos.

Pruebas de CBR

(ASTM International, 2007), la finalidad de este ensayo, es determinar la capacidad de soporte (CBR) de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California (EE.UU.) y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos.

(Blanco & Matuz, 2006), sostiene que el ensayo CBR (California Bearing Ratio), consiste en medir la resistencia al punzonamiento de un suelo sobre las probetas confeccionadas por el procedimiento del ensayo Proctor y comparar los valores obtenidos con un valor de referencia patrón. Se mide así la capacidad portante del suelo o lo que es lo mismo su capacidad de soportar una carga para cada pareja de valores de densidad-humedad. Se expresa por el índice portante CBR en % del valor de referencia. Cuanto más elevado es el CBR más capacidad portante tiene el suelo.

❖ Resistencia al Esfuerzo Cortante.

(Berry & Reid, 1993) sostiene que uno de los puntos fundamentales de la mecánica de suelos es la determinación de la resistencia al esfuerzo cortante de los suelos. Es imprescindible contar con este concepto al tratar de aplicar la mecánica de suelos al análisis de estabilidad de obras civiles. En teoría la resistencia al esfuerzo cortante en los suelos está dada por, el ángulo de fricción interna ϕ en los materiales 100% granulares y por la cohesión c , en los suelos puramente cohesivos (arcillas homogéneas), la cual depende de la humedad del suelo, sin embargo, en la mayoría de los suelos la resistencia al esfuerzo cortante está dada por la combinación de ambos parámetros.

RESIDUOS O ESCORIAS DE PVC

El PVC es un material termoplástico, es decir, que tiene la propiedad de ablandar o fundirse cuando se calienta y endurecerse cuando se ha enfriado, al finalizar el siglo XX la producción anual del poli cloruro de vinilo fue de, aproximadamente 20 millones de toneladas siendo los mayores fabricantes los Estados Unidos, Europa y Japón,

debido a su extendido uso en diversas industrias. Considerando que los materiales de construcción elaborados con poli cloruro de vinilo tienen una vida útil entre 5 y 30 años, así como la gran producción del material, los residuos generados durante los procesos de fabricación, uso y desecho, son altos y finalmente se disponen en escombreras, vertederos de residuos sólidos o incineradoras. (Laura, 2016)

Los Materiales termoplásticos, formulado correctamente, pueden sufrir este proceso muchas veces sin someterse a cualquier cambio químico apreciable. El PVC tiene principalmente una estructura amorfa, es decir, no existe orden posicional a escala molecular, y muestra características típicas de Estabilidad dimensional hasta la temperatura de transición vítrea (T_g): resistencia a la fluencia, baja contracción, resistencia al impacto, pero la muesca sensible y buena transparencia. T_g es la temperatura a la que un polímero cristalino, tales como PVC, se ablanda en una fase muy blandengue y viscosa, indicando las regiones amorfas. (Olvera, 2013)

El uso del PVC es diverso, desde la industria de zapatos, carteras, tarjetas, cortinas, llaveros, juguetes, hasta revestimientos, tuberías, tanques y recubrimientos aislantes en la construcción; representado en esta manufactura el 60% de la producción total.

El PVC utilizado en la presente investigación proviene de los residuos de la industria de la construcción, específicamente, de las construcciones existentes en la ciudad de Huaraz.

Origen De Los Materiales De PVC.

El Policloruro de Vinilo (PVC) es uno de los plásticos más antiguos, avanzados, utilizados y estudiados de la actualidad. En 1835, el Cloruro de Vinilo (CVM) es sintetizado por primera vez en un laboratorio por Justus von Liebig. En 1839, Victor Regnault publica sus observaciones sobre la aparición de un polvo blanco que se formaba cuando una ampolla cerrada, conteniendo CVM, era expuesta a la luz solar. En 1860, Hoffmann publica un informe sobre la obtención de Policloruro de Vinilo, pero no es hasta 1872 cuando es sintetizado por Barman. En 1912, Fritz Klatte descubrió los principios básicos para la producción industrial de PVC, pero habría que esperar hasta el año 1920 para obtener en Estados Unidos el primer producto comercial de

PVC. Diez años más tarde, la industria alemana comienza su producción. Sin embargo, la producción masiva de esta materia sintética, que se obtiene de la sal y el petróleo, se inició en 1938, cuando se apreciaron con más claridad las inmensas utilidades de este material. Su comercialización comenzará en Inglaterra en 1940. (Promateriales, 2019)

Composición Físico Química PVC.

Composición Física:

Se puede describir al PVC como un material resistente, rígido y de dureza mecánica elevada; tiene la ventaja de ser aislante eléctrico y altamente resistente a la acción de microorganismos y agentes atmosféricos. Tiene una elevada resistencia a la abrasión, buena resistencia mecánica y al impacto, lo que lo hace común e ideal para la edificación y construcción. Al utilizar aditivos tales como estabilizantes, plastificantes entre otros, el PVC puede transformarse en un material rígido o flexible, característica que le permite ser usado en un gran número de aplicaciones. La densidad del PVC es de entre 1,3 a 1,4 depende de sus características y propiedades. Es un material altamente resistente, debido a los átomos de cloro que forman parte del polímero PVC, no se quema con facilidad ni arde por sí solo y cesa de arder una vez que la fuente de calor se ha retirado. Se vuelve flexible y moldeable sin necesidad de someterlo a altas temperaturas (basta unos segundos expuesto a una llama) y mantiene la forma dada y propiedades una vez enfriado a temperatura ambiente, lo cual facilita su modificación. (INC, 2015)

Las propiedades físicas generales del PVC se exponen en la siguiente figura 11:

Propiedad	Referencia
Punto de ebullición (°C)	- 13,9 +/- 0,1
Punto de congelación (°C)	- 153,7
Densidad a 28,11°C (gr/cm³)	0,8955
Calor de fusión (Kcal/mol)	1,181
Calor de vaporización	5.735
Índice de refracción a 15°	1,38
Viscosidad a - 10°C (mPoisses)	2,63
Presión de vapor a 25°C (mm)	3,000
Calor específico del líquido (cal/g)	0,38
Calor específico del vapor	10,8 - 12,83
Calor de combustión a 80°C (Kcal/mol)	286

Figura 11. Propiedades Físicas Del PVC.

Composición Química

Se trata de un homopolímero de cloruro de vinilo lineal. Las cadenas macromoleculares de PVC son poco ramificadas. Los grupos cloro laterales están estéricamente desordenados (atáctico) a lo largo de la macromolécula, dando lugar a un polímero polar. El contenido teórico de cloro es aproximadamente del 57%. El poli (cloruro de vinilo) presenta varias propiedades en función de los monómeros o polímeros que se utilicen en la polimerización. De este modo existen en el mercado diferentes tipos de PVC, como el del poli (cloruro de vinilo) rígido (PVC-U), el de alto impacto (PVC-HI), el clorato (PVC-C), el plastificado (PVC-P). (MATERIALS, 2017)

- **Resistencia a los ácidos:** Tiene muy buena resistencia a los ácidos débiles y buena para los fuertes.
- **Resistencia a los álcalis:** Tiene muy buena resistencia a los álcalis fuertes y débiles.
- **Resistencia a los disolventes orgánicos:** Tiene una resistencia media a los disolventes orgánicos.

- **Absorción de agua:** Su resistencia frente a la oxidación a 500 °C es muy pobre.

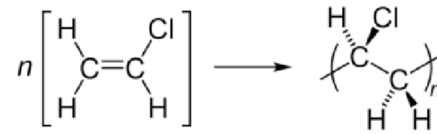


Figura 12. FORMULA DEL PVC

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS.

(Métodos de Estabilización de Suelos, 2010), el funcionamiento a largo plazo de cualquier proyecto de construcción depende de la calidad de los suelos subyacentes. Los suelos inestables pueden crear problemas significativos en las estructuras y pavimentos. Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con determinado aditivo transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables. Adicionalmente, el soporte estructural de los suelos estabilizados puede ser aprovechado en el diseño de pavimentos.

(Crespo, 2004) sostiene que la estabilización de un suelo al proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose un firme estable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones de clima más severas.

Historia De La Estabilidad

(Berry & Reid, 1993) menciona que desde sus inicios la humanidad se ha visto en la necesidad de transportar objetos como bienes propios, materiales e incluso el mismo ser, esto desde el periodo cavernario el hombre como tal ha emigrado en busca de mejores condiciones. Las rutas juegan un papel fundamental dado a que algunas no prestaban las condiciones para el transporte surgió la necesidad de modificar su estructura adecuándola a las condiciones que se requiriesen en ese entonces.

(Berrios & Chavarría, 2011) sostiene que datos históricos sitúan obras desde el imperio romano, en el cual, de acuerdo a necesidades bélicas, se produjo la construcción de

70.000 km, esto durante el gobierno de Julio Cesar. En si este tipo de trabajo como tal constituía un tipo de estabilización física, ya que se procedía a compactar el suelo mediante el apisonamiento con esclavos y ganado lanar, posterior a este proceso se colocaban piedras labradas a mano como carpeta de rodadura; no obstante, la intervención de agregados como los que se poseen en la actualidad no se presentaron en este proceso.

Tipos De Estabilización.

(Métodos de Estabilización de Suelos, 2010), las tres formas de lograrlo son las siguientes:

Estabilización Física.

Este se utiliza para mejorar el suelo produciendo cambios físicos en el mismo por medio de mezclas de suelos, existen varios métodos como lo son:

- Geotextiles: son telas permeables no biodegradables que pueden emplearse como filtros y para controlar la erosión de suelos y el transporte de lodos
- Vibroflotación (Mecánica de Suelos): sirve para densificar suelos no cohesivos limpios. Por lo general el vibrador con el jet de agua reduce la fuerza intergranulares entre las partículas del suelo, permitiéndolas moverse a una posición más densa.
- Consolidación Previa

Estabilización Química.

Se refiere principalmente a la utilización de ciertas sustancias químicas patentizadas y cuyo uso involucra la sustitución de iones metálicos y cambios en la constitución de los suelos involucrados en el proceso.

- Cal: disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.
- Cemento Portland: aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

- **Productos Asfálticos:** es una emulsión muy usada para material triturado sin cohesión.
- **Cloruro de Sodio:** impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Cloruro de Calcio:** impermeabilizan y disminuyen los polvos en el suelo, principalmente para arcillas y limos.
- **Escorias de Fundición:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Polímeros:** Este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.
- **Hule de Neumáticos:** este se utiliza comúnmente en carpetas asfálticas para darle mayor resistencia, impermeabilizarla y prolongar su vida útil.

Estabilización Mecánica

Es aquella con la que se logra mejorar considerablemente un suelo sin que se produzcan reacciones químicas de importancia.

- **Compactación:** este mejoramiento generalmente se hace en la sub-base, base y en las carpetas asfálticas.

Métodos De Estabilización Según El MTC:

A continuación, se describen diferentes tipos de estabilizaciones recomendados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en el manual de carreteras: suelos, geología, geotecnia y pavimentos. Cada tipo de estabilización se describe de forma resumida y se profundiza más en la estabilización suelo cal por adaptarse más al tipo de suelo estudiado para poder comparar con la estabilización de la presente investigación.

Estabilización Mecánica De Suelos

Con la Estabilización Mecánica de Suelos se pretende mejorar el material del suelo existente, sin cambiar la estructura y composición básica del mismo. Como herramienta para lograr este tipo de estabilización se utiliza la compactación, con la cual se reduce el volumen de vacíos presentes en el suelo.

Al compactar un suelo se obtiene: una mayor densidad, por lo que tendremos una mejor distribución de fuerzas que actúan sobre el suelo; una mayor estabilidad, pues al no compactar un suelo se tendrán asentamientos desiguales por lo tanto inestabilidad de la estructura; una disminución de la contracción del suelo, al existir espacios vacíos, provocando en suelos arcillosos la contracción y dilatación del suelo y por último ocasionará una disminución de los asentamientos. (Ravines, 2010)

Estabilización Por Combinación De Suelos

La estabilización por combinación de suelos considera la combinación o mezcla de los materiales del suelo existente con materiales de préstamo, con el objetivo de suplir las carencias de gravas o arenas. Los suelos de subrasante analizados en la presente investigación presentan gran presencia de partículas finas y poco de gravas, razón por la cual se adiciona el PET para que pueda cumplir similar función que la grava.

El suelo existente se disgregará o escarificará, en una profundidad de quince centímetros (15 cm) y luego se colocará el material de préstamo o de aporte. Los materiales disgregados y los de aporte se humedecerán o airearán hasta alcanzar la humedad apropiada de compactación y previa eliminación de partículas mayores de setenta y cinco milímetros (75 mm), sí las hubiere. Luego se procederá a un mezclado de ambos suelos, se conformará y compactará cumpliendo las exigencias de densidad y espesores hasta el nivel de subrasante fijado en el proyecto. (MTC 2013 b).

Suelos Estabilizados Con Cemento

La combinación suelo cemento produce la reacción del calcio con la sílice y alúmina produciendo compuestos silicatos y aluminatos que aumentan lentamente la

resistencia de la mezcla, conocido como la acción puzolánica. (Montejo Fonseca, 2002)

El material llamado suelo-cemento se obtiene por la mezcla íntima de un suelo suficientemente disgregado con cemento, agua y otras eventuales adiciones, seguida de una compactación y un curado adecuados. De esta forma, el material suelto se convierte en otro endurecido, mucho más resistente. A diferencia del concreto, sin embargo, los granos de los suelos no están envueltos en pasta de cemento endurecido, sino que están puntualmente unidos entre sí. Por ello, el suelo-cemento tiene una resistencia inferior y un módulo de elasticidad más bajo que el concreto (MTC 2008 a).

El contenido óptimo de agua se determina por el ensayo Proctor como en la compactación de suelos. Las propiedades del suelo-cemento dependen del tipo y cantidad de suelo, cemento y agua; ejecución; edad de la mezcla compactada y tipo de curado.

(Menéndez, 2013b) sostiene que los suelos más adecuados para estabilizar con cemento son los granulares tipos A-1, A-2 y A-3, con finos de plasticidad baja o media ($LL < 40$, $IP < 18$). La resistencia del suelo-cemento aumenta con el contenido de cemento y la edad de la mezcla. Al añadir cemento a un suelo y antes de iniciarse el fraguado, su IP disminuye, su LL varía ligeramente y su densidad máxima y humedad-óptima aumenta o disminuyen ligeramente, según el tipo de suelo. La dosificación de cemento para Suelo Cemento puede fijarse aproximadamente en función del tipo de suelo, así como se muestra en la figura 26

CLASIFICACION DE SUELOS AASHTO	RANGO USUAL DE CEMENTO REQUERIDO PORCENTAJE DEL PESO DE LOS SUELOS
A-1-a	3-5
A-1-b	5-8
A-2	8-9
A-3	7-11
A-4	7-12
A-5	8-13
A-6	9-15
A-7	10-16

Figura 13. Rango Del Cemento Requerido En Estabilización Suelo – Cemento

Estabilización De Suelos Con Cal.

La materia prima para la elaboración de los diferentes tipos de cal es la piedra caliza, material extraído de depósitos sedimentarios, la cual es sometida a un proceso de descomposición térmica de materiales a grandes temperaturas. La caliza abunda en la naturaleza y dependiendo de la región en que sea explotada. La cal puede variar en su composición química, de tal manera que para calificar que una piedra caliza pueda ser procesada, debe contener como mínimo un 50% de carbonato de calcio. Principalmente, las piedras calizas contienen minerales como CaCO_3 , MgCO_3 , CaO , Hierro, Sílice, Alúmina y rastros de otros componentes o impurezas que afectan la calidad del CaO . (ANCAFAL, 2016)

Durante el proceso de descomposición térmica o de calcinación a temperaturas entre 880 y 1000 °C, se liberan moléculas de dióxido de carbono (CO_2), resultando el material llamado óxido de calcio (CaO), de color blanco y muy cáustico. Este último proceso puede ser reversible si al enfriarse la cal se permite la absorción del CO_2 del aire nuevamente y después de cierto tiempo, vuelve a convertirse en CaCO_3 o carbonato de calcio. (Hernandez, 1996)

El óxido de calcio (CaO) también conocido como “cal viva”, al combinarse con agua produce una reacción exotérmica violenta y se convierte entonces, en el hidróxido de

calcio que se comercializa como cal en forma de polvo blanco, conocido también, como cal muerta o apagada. (Mohamad, 2009)

La cal puede ser utilizada en el tratamiento de suelos, en varios grados o cantidades, dependiendo del objetivo. Una mínima cantidad de cal para tratamiento se utiliza para secar y modificar temporalmente los suelos. Tal tratamiento produce una plataforma de trabajo para la construcción de caminos temporales. Un mayor grado de tratamiento, respaldado por las pruebas, diseño y las técnicas apropiadas de construcción, producen la estabilización estructural permanente del suelo (Álvarez & Echeverri, 1999)

El uso de la cal en la estabilización aumenta su capacidad para resistir los efectos inducidos por el tránsito y también mejora las características plásticas haciéndolos más friables y aumentando el valor de soporte. (Ancade, 2002)

(MANUAL DE ESTABILIZACIÓN DE SUELO TRATADO CON CAL, 2006).

Con el diseño y técnicas de construcción apropiados, el tratamiento con cal transforma químicamente los suelos inestables en materiales utilizables. Adicionalmente, el soporte estructural de los suelos estabilizados con cal puede ser aprovechado en el diseño de pavimentos. En general casi todos los tipos de suelos susceptibles de estabilizar con cal, pero es más práctico la cal cuando el índice de plasticidad es mayor de 15. La cal produce una disminución de la densidad de los suelos, modifica la plasticidad aumenta la capacidad portante y resistencia al corte del material y reduce su hinchamiento.

La acción de la cal suele explicarse como efectuada por tres reacciones básicas (Menéndez, 2013):

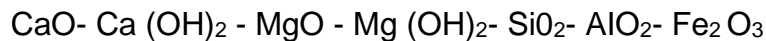
- El primer proceso es la alteración de la película de agua que rodea los minerales de arcilla.

- El segundo proceso es de coagulación o floculación de las partículas de suelo, dado que la cantidad de cal ordinariamente empleada en las construcciones viales resulta de una concentración de ion de calcio mayor que la realmente necesaria.
- El tercer proceso a través del cual la cal afecta el suelo, es su reacción con los componentes del mismo para formar nuevos productos químicos. Los dos principales componentes que reaccionan con la cal son la alúmina y la sílice. Esta reacción es prolongada en la acción del tiempo y se manifiesta en una mayor resistencia si las mezclas de suelo-cal son curadas durante determinados lapsos de tiempo. Este es conocido como "acción puzolánica"

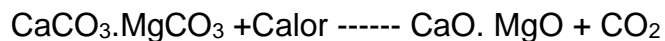
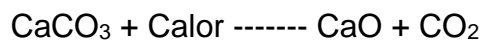
La LIME Nacional Lime Association en su boletín 326 del manual de estabilización de suelo tratado con cal, explica las reacciones que sucede entre estos elementos, a continuación, se explica los puntos importantes de este manual.

A. La Cal Para El Tratamiento De Suelos:

La cal es un producto compuesto de óxidos e hidróxidos de calcio y magnesio que procede de la calcinación de minerales calizos y dolomíticos. También suele contener óxidos de silicio, aluminio e hierro en función del material básico de procedencia:



Las reacciones químicas siguen el siguiente esquema:



B. La Modificación De Suelos Arcillosos Con Cal:

La adición de cal a un suelo con una fracción de partículas finas relevante modifica su comportamiento debido principalmente a dos manifestaciones típicas, la primera es la modificación de la textura del suelo y la segunda es el incremento de su resistencia. (Ancade, 2002).

Estos hechos se producen en mayor o menor medida según el tipo de suelos, su granulometría y mineralogía, y el de la cal empleada, en función de su riqueza y actividad.

B.1. Mecanismos De Interacción De La Cal Sobre Un Suelo:

En la mezcla de la cal con un suelo arcilloso se producen dos tipos de reacción que se pueden agrupar según sus manifestaciones en:

- Una modificación "inmediata" de las condiciones de granulometría, textura y compacidad originada por: el Intercambio de iones entre la arcilla y la cal; la floculación de las partículas de arcilla y la reducción de la cantidad de agua adsorbida por la arcilla.
- Y una mejora de las características resistentes del suelo a medio y largo plazo, producida por la reacción puzolánica de cementación y la carbonatación

La proporción de cal precisa para alcanzar los efectos. En la mayoría de los casos la frontera o delimitación a partir de la cual se inicia el segundo grupo de mecanismos es la cantidad de cal. Puede decirse que las primeras dosis de cal van destinadas a la modificación de la textura y granulometría, y que para mejorar las características resistentes es preciso superar esta primera proporción. En caso contrario, no existirá adición activa o cal que facilite dichas reacciones. (Ancade, 2002)

B.2. El Intercambio Iónico:

(Rico y Del castillo, 1998) menciona que las partículas de arcilla tienen una elevada cantidad de superficies con carga negativa que atraen cationes libres y dipolos de agua. Como resultado, se forma una capa de agua altamente difusa alrededor de las partículas, separándolas y haciendo que la arcilla se vuelva débil e inestable. La adición de cal al suelo en cantidad suficiente suministra un exceso de iones Ca^{++} que reemplaza los cationes metálicos más débiles reduciendo el tamaño de la capa de agua difusa y permitiendo que las partículas de arcilla se aproximen unas a otras o floculen. Cuando la cal toma contacto con las arcillas los cationes de calcio tienden a reemplazar a aquéllos otros que están adsorbidos en la superficie de sus partículas,

dispersos en lo que se ha llamado la capa doble. Desplazan así a cationes monovalentes usuales en las arcillas naturales, como los de sodio, potasio o magnesio. Esto se debe a que esta sustitución compensa de manera más efectiva los desequilibrios eléctricos de las partículas arcillosas y reduce la concentración diferencial de iones en la capa doble.

B.3. Floculación Y Aglomeración De Partículas (Reacción Rápida):

El fenómeno del intercambio iónico por cationes de mayor valencia reduce el espesor de la capa doble de la arcilla. Ello genera que se reduzca pues la zona de alta presencia de cationes que separa una partícula de otra, tanto por concentración como por repulsión eléctrica. Por tanto, se consigue que se aproximen las partículas y esto da lugar a nuevas fuerzas de atracción entre ellas. Estas propiedades se basan en que bajo condiciones de pH altos pueden provocar un efecto consistente en la reacción de la cal con la sílice y alúmina para producir productos cementantes. Las partículas de arcilla al entrar en contacto con la cal, que proporciona el medio básico, lleva a formar silicatos y aluminatos de calcio hidratados.

Se produce un cambio aparente de la textura del suelo, por cuanto las partículas de arcilla se aglomeran formando otras de mayor tamaño. Como resultado de ello, se producen mejoras inmediatas en:

- Plasticidad, debido a la reducción de la capa de agua adsorbida
- Trabajabilidad, debido al cambio de textura de una arcilla plástica a un material friable del tipo limoso o arenoso.
- Aumento de fricción interna entre las partículas aglomeradas y mayor resistencia al corte.

B.4. Modificación De La Textura Y Consistencia:

El fenómeno de la floculación descrito tiene además una consecuencia indirecta de gran importancia sobre las estructuras de los suelos arcillosos. Se basa esta consecuencia en que la aglomeración de las partículas se produce desordenando la estructura laminar estable que hasta ese momento presentaba la arcilla. El

comportamiento flexible y direccional que es fácil pensar en una estructura laminar en la que el contacto está lubricado por el agua en la capa doble, se transforma ahora en un comportamiento más isotrópico y basado en un rozamiento entre partículas. Esto hace que se sustituya el comportamiento de un suelo tipo plástico por otro más friable, cercano al comportamiento de los suelos granulares.

B.5. La Reacción Puzolánica (Reacción Lenta):

Las arcillas son minerales que contienen en su estructura importantes cantidades de sílice y alúmina y otros elementos de sustitución como el hierro, magnesio. Para que la reacción se produzca y mantenga es imprescindible que se den dos factores: que haya cal libre disponible y que se liberen la sílice y la alúmina de la arcilla.

B.6. Carbonatación De La Cal

Consiste en la reacción de la cal con el dióxido de carbono del aire para formar carbonatos de calcio relativamente insolubles, en lugar de productos cementantes (silicatos y aluminatos de calcio hidratados).



La carbonatación es una reacción indeseable y debe ser evitada, por cuanto el carbonato no reacciona con el suelo para incrementar resistencias o para disminuir plasticidades. Por lo tanto, se debe impedir que el proceso de mezcla sea muy largo y que la mezcla elaborada quede expuesta al aire durante largo tiempo antes de ser compactada.

C. Efectos De La Aplicación De La Cal

C.1. Reducción De La Humedad Natural Del Suelo

Un primer efecto de la aplicación de la cal en ciertas formas a un suelo es su secado. La reacción que se produce es exotérmica. De manera orientativa es posible evaluar la reducción de humedad de un suelo en un 2 o un 3 % por la adición de un 1 % de cal.

C.2. Mayor Trabajabilidad:

Los efectos de estas modificaciones se traducen en una pérdida de cohesión y un incremento de rozamiento interno.

C.3. Reducción Del Índice De Plasticidad:

Una de las principales manifestaciones de la aplicación de la cal en los suelos arcillosos es la reducción de la plasticidad. Más concretamente la aplicación de la cal provoca de manera generalizada un aumento del límite plástico sin afectar, mucho al límite líquido.

El IP en general disminuye de 15 a 20%

El LP aumenta 10 a 15%

El LL generalmente varía muy poco.

C.4. Reducción Del Potencial De Cambios Volumétricos:

Este efecto conlleva que el tratamiento con cal de un suelo potencialmente expansivo sirve para conseguir importantes reducciones del riesgo de hinchamiento y retracción del mismo. La utilidad de este efecto es clara y de gran espectro dada la importante magnitud de los daños ocasionados en la construcción por las arcillas expansivas.

C.5. Modificación De Las Características De Compactación:

Otra consecuencia de las alteraciones granulométricas que la aplicación de la cal genera en los suelos arcillosos es la modificación de los valores característicos que relacionan los estados de humedad del suelo y su densidad.

La redistribución de las partículas en fracciones de mayor tamaño hace que ante una misma energía de compactación sea posible obtener una menor densidad máxima.

Otra consecuencia en las propiedades de compactación de la aplicación de la cal es el aumento de la humedad necesaria para conseguir la densidad máxima.

C.6. Aumento Inmediato De La Consistencia:

La manifestación más típica de este aumento de la consistencia de un suelo es el incremento del C.B.R que se produce en el mismo ante el aumento de cal.

C.7. Mayor Resistencia A Largo Plazo:

El único efecto de entre los mencionados en el que interviene lo que se ha llamado la reacción puzolánica se plasma en un incremento muy importante de la resistencia de un suelo a medio o largo plazo por la aplicación de cal.

D. Tipos De Modificación De Suelos Mediante Cal

Los efectos de la aplicación de la cal no son todos universales. Dependen en primer lugar de la reactividad del suelo ante la cal, que está condicionada por su mineralogía. En segundo lugar, dependen de la cal empleada, concretamente de su pureza, de su forma de aplicación y de su cantidad.

No todos los tratamientos de modificación de un suelo arcilloso mediante la aplicación de cal son iguales ni pueden, por tanto, perseguir los mismos objetivos, no cabe pensar en la cal como un antídoto universal o solución tipo comodín a cualquiera de ellos. Cada suelo y cada problema son diferentes y como tales deben ser tratados de manera diferenciada. (Ancade, 2002).

D.1. La Mejora De Suelos:

La mejora de suelos con cal persigue sólo el aprovechamiento de las modificaciones y efectos que la cal produce sobre el suelo de manera inmediata o, en todo caso, a corto plazo.

En el diseño y control de la mejora de suelos con cal es suficiente la realización de los ensayos básicos usuales en el ámbito de la construcción. Los efectos y utilidad del tratamiento se cuantifican mediante el control de características indirectas como pueden ser la determinación de los límites de Atterberg, del índice C.B.R. o el ensayo de compactación Proctor.

D.2. La Estabilización De Suelos:

La estabilización de suelos con cal persigue provocar los efectos que se derivan de la reacción puzolánica entre la cal y los suelos arcillosos, que se producen siempre a largo plazo.

Los tratamientos de estabilización de suelos suelen requerir porcentajes altos de cal, dado que las primeras dosis de la misma se emplean en los mecanismos de mejora y que es indispensable la disposición de cal libre en cantidad suficiente para mantener las reacciones puzolánica perseguidas. Se suelen proyectar así tratamientos de estabilización con valores siempre superiores al 3 por ciento de cal, llegando incluso a valores del 8 y 10%.

E. Factores Condicionantes En El Tratamiento De Suelos Con Cal.

E.1. Contenido En Arcillas Del Suelo:

El primer factor que condiciona la eficacia de un tratamiento con cal es la necesidad de la presencia de arcilla. La aplicación de cal a un suelo sin arcilla o con una presencia insuficiente de este tipo de material es ineficaz, es decir, no produce mejora de sus características. Las mejoras descritas, basadas en la interacción de la cal sobre las partículas de las arcillas o en la reacción con la sílice y alúmina característica de ellas, no pueden producirse sin su presencia.

Así, si la cal reduce el porcentaje de finos por floculación, para ello es preciso que haya finos que flocular. De igual manera la arcilla es la fuente de sílice y alúmina necesaria para el efecto puzolánico que justifica la estabilización de suelos con cal. Por tanto, sin arcilla, no hay reacción puzolánica y, por tanto, no hay estabilización.

E.2. Características Mineralógicas De La Arcilla:

Las diferencias que se deducen por este factor afectan fundamentalmente a los tratamientos de estabilización de suelos, basados en la reacción puzolánica. No es lo mismo tratar suelos con alto contenido en caolinita, arcilla poco plástica y poco reactiva, que otros con abundancia en montmorillonita, mucho más plástica y reactiva.

De manera análoga, las arcillas sódicas o potásicas, iones fácilmente desplazables por el calcio.

E.3. Contenido En Materia Orgánica:

La materia orgánica está constituida por partículas complejas que pueden adsorber cationes de calcio o reaccionar con el suelo, inhibiendo así la reacción superficial de la cal con las partículas de arcilla y la reacción puzolánica. Contenidos inferiores al uno por ciento de materia orgánica no presentan problemas.

E.4. PH Del Medio:

Las arcillas y la cal necesitan un medio básico, con pH alto, para asegurar el intercambio iónico y promover la reacción puzolánica.

E.5. Humedad De Compactación

Este factor, que ya es importante en cualquier suelo, lo es más aún en las mejoras y estabilizaciones, en que el agua añadida tiene la misión de aportar y sustituir o incluso disolver los cationes y sustancias que posibilitan la mejora. Hay que recordar que en el tratamiento de suelos con cal el agua no es sólo el lubricante de las partículas en la compactación, sino que también es el medio que transporta el principio activo. En estos tratamientos es siempre recomendable la aplicación de agua por encima del nivel establecido como humedad óptima en el ensayo de compactación Proctor de referencia.

Figura 14. Fragmentación de policloruro de vinilo



Fuente: Recopilación Propia.

Figura 15. Cal viva



Recopilación Propia

Figura 16. Límites de Consistencia



Fuente: Recopilación Propia

Figura 17. Método de Compactación

	METODO "A"	METODO "B"	METODO "C"
Molde	4" de diámetro (101,6mm)	4" de diámetro (101,6mm)	6" (152,4mm) de diámetro.
Material.	Se emplea el que pasa por el tamiz Nº 4.	Se emplea el que pasa por el tamiz de 3/8"	Se emplea el que pasa por el tamiz ¼"
Capas	5	5	5
Golpes por capa	25	25	56
Uso	Cuando el 20% ó menos del peso del material es retenido en el tamiz Nº 4	Cuando más del 20% del peso del material es retenido en el tamiz Nº 4 y 20% ó menos de peso del material es retenido en el tamiz 3/8"	Cuando más del 20% en peso del material se retiene en el tamiz 3/8" y menos de 30% en peso es retenido en el tamiz ¼"
Otros Usos	Si el método no es especificado; los materiales que cumplen éstos requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método B o C.	Si el método no es especificado, y los materiales entran en los requerimientos de gradación pueden ser ensayados usando Método C.	El molde de 6 pulgadas de diámetro no será usado con los métodos A o B.

ANEXO N°3

RESULTADOS DESCRIPTIVOS

CONTENIDO DE HUMEDAD

➤ PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS

Para efectuar este ensayo de contenido de contenido de humedad de la muestra patrón se dio de acuerdo al procedimiento establecido por la siguiente norma peruana NTP 339.127. El ensayo se realizó a la muestra inalterada de 700 gr, esta muestra se llevó inmediatamente al laboratorio de MATHLAB, donde se analizó la cantidad de agua presente en la muestra, mediante los siguientes cálculos.

- En el primero se determinó el peso del agua contenida.
- Luego fue determinar el peso del suelo seco.
- Seguidamente se procedió a calcular el contenido de humedad de la muestra.
- Por último se calculó el promedio de los porcentajes de humedad.
Como se muestra en las siguientes tablas.

➤ TABLAS ESTADISTICAS

Tabla 15. Contenido de humedad.

CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216)		
NUMERO DE RECIPIENTE	1	2
W.DEL RECIPIENTE + W.DEL SUELO HUMEDO (Gr)	351.26	345.02
W.DEL RECIPIENTE + W.DEL SUELO SECO (Gr)	333.15	325.64
W.DEL AGUA (ml)	18.11	19.38
W.DEL RECIPIENTE (Gr)	153.85	154.26
W.DEL SUELO SECO (Gr)	179.30	171.38

HUMEDAD (%)	10.10	11.31
CONTENIDO DE HUMEDA PRIMEDIO	10.70	

Fuente: Elaboración propia.

ANALISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

➤ PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS

Este ensayo solo se realizó para la muestra patrón de acuerdo a la NTP 339.128 y MTC E 107-2000 el cual se basa en el análisis granulométrico de tamizado.

Para el análisis de este ensayo se realizó el cuarteo del material y luego el secado de la muestra en el horno por 24 horas, se pesó 3500 gr aproximadamente. Después se lavó el material por el tamiz N°200.

El material retenido por la malla N°200 se retiró en una vasija para luego ser secada, después se dejó pasar la muestra por el juego de tamices normados, fue agitado manualmente durante un tiempo de 15 minutos. Finalmente se determinaron los porcentajes pasantes de cada tamiz y se graficó la curva granulométrica. Por medio de los siguientes cálculos.

- Primero se procedió a calcular el porcentaje retenido en cada uno de los tamices.

$$\%P. ret = \frac{P_{tamiz}}{P_1} \times 100$$

Dónde:

P_{tamiz}: Peso del material retenido en cada tamiz.

P₁: Peso total de la muestra secada en el horno.

- Luego se calculó el porcentaje retenido acumulado.
- Posteriormente se calculó el porcentaje pasante de cada uno de los tamices.
- Por último se grafica la curva granulométrica. Para el grafico de la curva se tomaron en cuenta los porcentajes del material que pasa y la abertura de las mallas

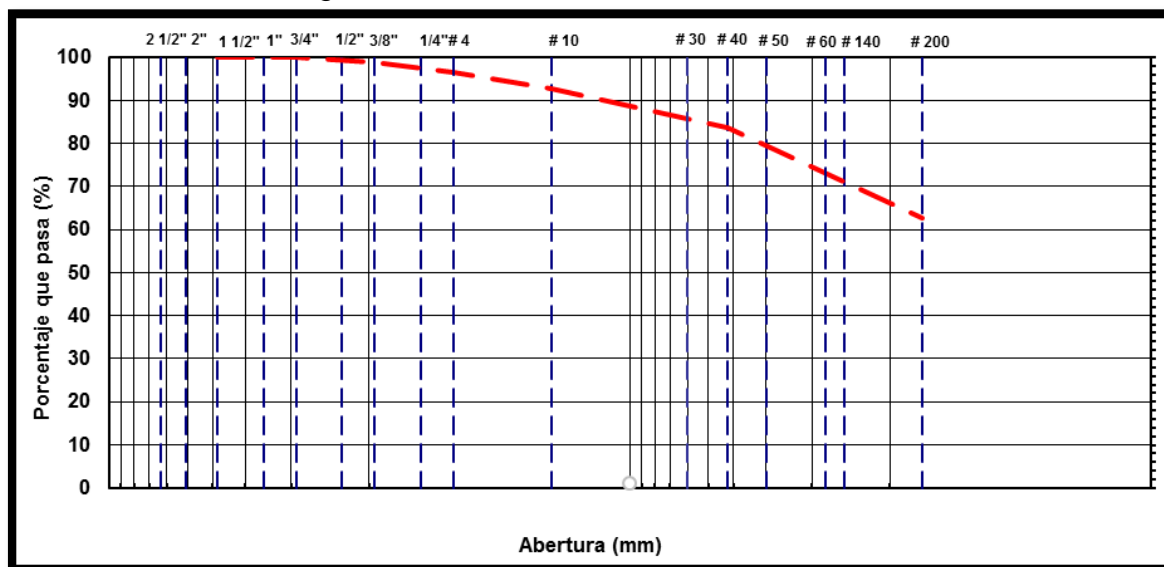
➤ **TABLAS ESTADISTICAS**

Tabla 16. Resumen de resultados del ensayo granulométrico.

MALLA	ABERTURA (mm)	% QUE PASA
2"	50.00	100.00
1 1/2"	37.50	100.00
1"	25.00	100.00
3/4"	19.05	100.00
3/8"	9.525	98.97
N° 4	4.76	96.60
N° 10	2	92.79
N° 40	0.426	83.80
N° 60	0.25	72.85
N° 140	0.106	65.54
N° 200	0.074	62.60

Fuente: Elaboración propia.

Figura 18. CURVA GRANULOMÉTRICA



Fuente: Elaboración propia.

LIMITES DE CONSISTENCIA

➤ PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS

Estos ensayos se efectuaron para las muestras patrón y con las adiciones de desechos de policloruro de vinilo y cal, de acuerdo a lo indicado en la NTP 339.129.

a) LÍMITE LÍQUIDO:

Antes de la ejecución de este ensayo se obtuvo 200 gr de la muestra pasante por el tamiz N° 40, después en un recipiente se mezcló el suelo con agua con una espátula hasta que se obtuvo una pasta suave y homogénea, para luego de esto colocar una parte en la copa de casa grande con un espesor de 1 cm. En el medio se procedió a realizar una ranura con el acanalador de tal forma que la muestra quede dividida en dos partes.

Posteriormente se ejecutó la copa de casa grande a razón de 2 golpes/seg.

Contando el número de golpes necesarios para que la parte inferior del talud de la ranura se cierre 1.27cm, luego se tomó 15 gr de suelo promedio de la ranura cerrada y se determinó el contenido de humedad.

Por último se procedió a elaborar la gráfica de fluidez determinando la ordenada a los 25 golpes, todo esto se realizó tanto a la muestra patrón como a el suelo con adición de policloruro de vinilo y cal con sus respectivos porcentajes.

b) LÍMITE PLASTICO:

De la misma forma del ensayo anterior, se mezcló homogéneamente aproximadamente 40 gr de suelo húmedo. Porque después tuvo que ser enrollado de manera uniforme sobre una placa de vidrio hasta lograr un diámetro de 3mm. De alguna manera se puede interpretar que se llegó al límite plástico cuando se cuarteó dichos enrollados. Luego de todo fue llevado al horno para determinar su humedad.

➤ TABLAS ESTADISTICAS

Tabla 17. Límite líquido muestra patrón.

LIMITE LIQUIDO				
NUMEROS DE GOLPES	18	22	32	38
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO HUMEDO (Gr)	42.95	42.15	41.00	44.05

	36.10	35.78	35.06	
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO SECO (Gr)				37.48
	6.85	6.37	5.94	
W.DEL AGUA (Gr)				6.57
	25.50	25.42	25.12	
W.DEL RECIPIENTE (Gr)				25.84
	10.60	10.36	9.94	
W.DEL SUELO SECO (Gr)				11.64
	64.62	61.49	59.76	
% DE HUMEDAD				56.44

LIMITE LIQUIDO

61.10

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 18. Límite plástico muestra patrón.

LIMITE PLASTICO				
NUMERO DEL RECIPIENTE	1	2	3	4
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO HUMEDO (Gr)	31.85	33.12	33.45	35.84
W.DEL RECIPIENTE + W.SUELO SECO (Gr)	28.45	29.38	29.78	32.62
W.DEL AGUA (ml)	3.40	3.74	3.67	3.22
W.DEL RECIPIENTE (Gr)	14.44	13.56	13.52	18.40
W.DEL SUELO SECO (Gr)	14.01	15.82	16.26	14.22
% DE HUMEDAD	24.27	23.64	22.57	22.64

LIMITE PLASTICO

23.28

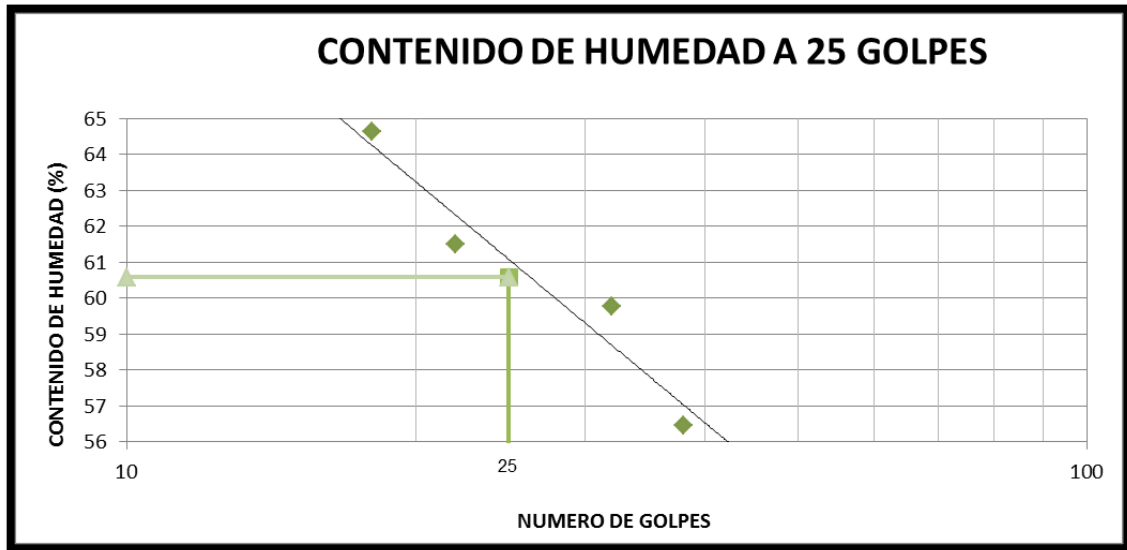
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 19. Límites de Consistencia muestra patrón.

LIMITE LIQUIDO	61.10
LIMITE PLASTICO	23.28
INDICE DE PLASTICIDAD	37.82

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 19. Diagrama de fluidez de la muestra patrón.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 20. Límite líquido muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

LIMITE LIQUIDO					
Nº TARRO		2	8	9	10
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	64.03	63.45	62.81	65.35
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	51.20	50.90	51.15	53.1
PESO DE AGUA	(g)	12.83	12.55	11.66	12.25
PESO DEL TARRO	(g)	29.10	28.40	29.15	28.6
PESO DEL SUELO SECO	(g)	22.10	22.50	22.00	24.50
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	58.05	55.78	53.00	50.00
NUMERO DE GOLPES		16	20	32	35

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 21. Límite plástico muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

LIMITE PLASTICO					
Nº TARRO		1	2	3	4
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	24.10	24.15	24.15	23.64
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	21.62	21.52	21.48	21.31

PESO DE AGUA	(g)	2.48	2.63	2.67	2.33
PESO DEL TARRO	(g)	12.36	12.22	12.15	12.35
PESO DEL SUELO SECO	(g)	9.26	9.30	9.33	8.96
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	26.78	28.28	28.62	26.00

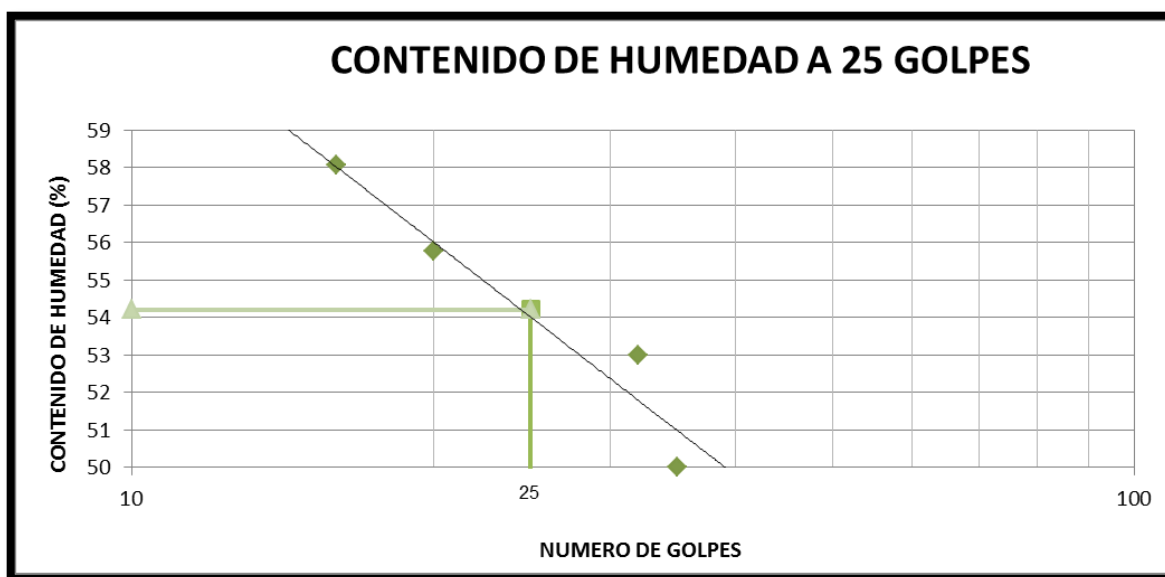
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 22. Límites de Consistencia muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

LIMITE LIQUIDO	54.05
LIMITE PLASTICO	27.42
INDICE DE PLASTICIDAD	26.63

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 20. Diagrama de fluidez de la muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 23. Límite líquido muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

LIMITE LIQUIDO				
Nº TARRO	6	7	11	13

PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	33.75	33.28	37.15	32.45
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	29.00	28.18	31.30	28.27
PESO DE AGUA	(g)	4.75	5.10	5.85	4.18
PESO DEL TARRO	(g)	19.90	18.08	19.19	19.24
PESO DEL SUELO SECO	(g)	9.10	10.10	12.11	9.03
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	52.20	50.50	48.31	46.29
NUMERO DE GOLPES		13	19	37	43

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Límite plástico muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

LIMITE PLASTICO					
Nº TARRO		1	2	3	4
PESO TARRO + SUELO HUMEDO	(g)	20.95	24.94	24.55	25.35
PESO TARRO + SUELO SECO	(g)	20.28	23.87	23.40	23.94
PESO DE AGUA	(g)	0.67	1.07	1.15	1.41
PESO DEL TARRO	(g)	17.54	19.57	18.80	18.10
PESO DEL SUELO SECO	(g)	2.74	4.30	4.60	5.84
CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)	24.45	24.88	25.00	24.14

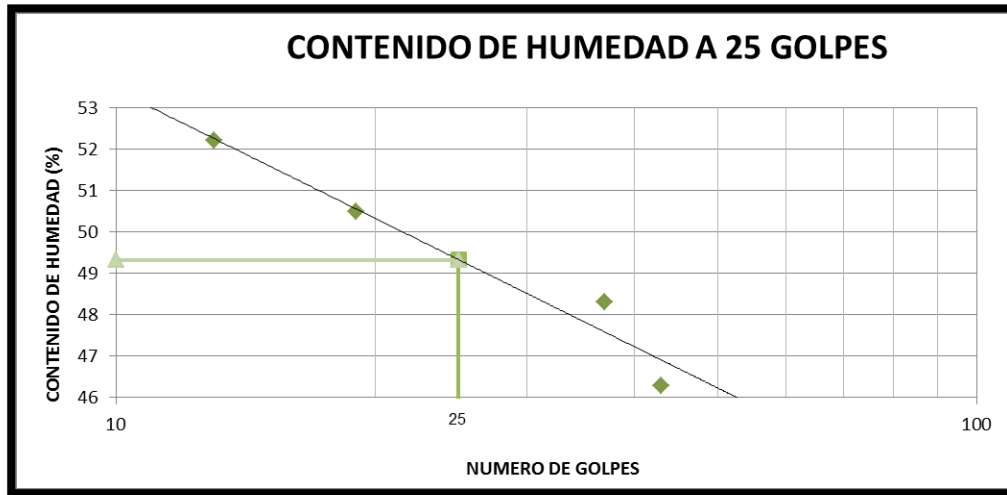
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 25. Límites de Consistencia muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

LIMITE LIQUIDO	49.35
LIMITE PLASTICO	24.62
INDICE DE PLASTICIDAD	24.73

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 21. Diagrama de fluidez de la muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.



Fuente: Elaboración Propia.

PROCTOR MODIFICADO

➤ PROCEDIMIENTOS

El ensayo de proctor modificado se realizó de acuerdo a la norma NTP 339.141, este ensayo se ejecutó tanto a la muestra patrón como a la muestra con sus respectivas adiciones de desechos policloruro de vinilo y cal.

Básicamente se tuvo que definir qué tipo de método de compactación, lo cual se determinó mediante los tamices N° 4, 3/8" y 3/4". Se seleccionó mediante la siguiente tabla.

Tabla 26. Método de compactación

METODO	MOLDE	PESO DEL PISON	N° DE CAPAS	N° DE GOLPE POR CAPAS	USO DEL METODO DE COMPACTACIÓN
(A) P. Estándar	4"	5 Lb	3	25	Si 20% o menos del material es retenido en el tamiz N°4
(B) P. Estandar	4"	5 Lb	3	25	Si más del 20% del material es retenido en el tamiz n° 4 y 20% o menos es retenido en el tamiz de 3/8"
(B) P. Estándar	6"	5 Lb	3	56	si más del 20 % del material es retenido en el tamiz 3/8 " y 30% es retenido en el tamiz ¾"
(A) P. Modificado	4"	10 lb	5	25	Si 20% o menos del material es retenido en el tamiz N°4
(B) P. Modificado	4"	10 lb	5	25	Si más del 20% del material es retenido en el tamiz n° 4 y 20% o menos es retenido en el tamiz de 3/8"
(C) P. Modificado	6"	10 lb	5	56	si más del 20 % del material es retenido en el tamiz 3/8 " y 30% es retenido en el tamiz ¾"

Fuente: Elaboración propia.

Después de que se seleccionó el método, se prosiguió a preparar 3 muestras de 6 kilos cada una con un determinado contenido de humedad, dos de las muestras con el estabilizador de desechos de policloruro de vinilo y cal, y una muestra patrón.

Hechas las muestras mencionadas se procedió a colocarlas en el molde del proctor, para después compactar cada una de ellas en 5 capas y cada una de las capas de 56 golpes de acuerdo a lo indicado en la tabla 26, este proceso es continuo agregando el 2% al 4% de agua a la muestra, hasta llegue o se aproxime a su óptimo contenido de humedad, al culminar el proceso de compactación de la última capa, se retiró el collarín

del molde y se prosiguió a nivelar con una regla metálica, para poder determinar la densidad húmeda.

Por último se grafica la curva de compactación, con los datos de contenido de humedad y los datos de densidad seca. Con la gráfica acabada se pudo determinar la máxima densidad seca y el óptimo contenido de humedad, esos datos sirvieron para el desarrollo del ensayo del CBR. Los cálculos fueron los siguientes.

- Primero se realizó el cálculo de la densidad húmeda.
- Después se realizó el cálculo de la humedad.
- Y para acabar se hizo cálculo de la densidad seca.

➤ TABLAS ESTADISTICAS

Tabla 27. Determinación del contenido de Humedad de la muestra patrón.

Recipiente N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5					
Wsuelo Hum + Rec.	83.15	87.15	92.55	93.15	100.15	110.51	46.92	45.76	123.69	125.45
Wsuelo Sec + Rec.	82.35	86.45	90.54	91.35	98.15	108.03	45.35	44.18	115.45	117.45
Peso del agua	0.80	0.70	2.01	1.80	2.00	2.48	1.57	1.58	8.24	8.00
Peso del Recip.	25.15	22.61	27.54	26.35	60.58	61.35	23.40	24.90	22.60	26.80
Peso suelo seco	57.20	63.84	63.00	65.00	37.57	46.68	21.95	19.28	92.85	90.65
Cont. Hume W%	1.40	1.10	3.19	2.77	5.32	5.31	7.15	8.20	8.88	8.83

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Determinación del peso volumétrico de la muestra patrón.

Cont. Hum. Prom.	1.25	2.98	5.32	7.67	8.85
Wsuelo + Molde	5368.00	5440.00	5558.00	5551.00	5528.00
Wmolde	3663.00	3663.00	3663.00	3663.00	3663.00
Wsuelo + Molde	1705.00	1777.00	1895.00	1888.00	1865.00
Peso Vol. Húmedo	1.82	1.90	2.03	2.02	1.99

Peso Vol. Seco (T/m3)	1.80	1.84	1.92	1.87	1.83
------------------------------	------	------	------	------	------

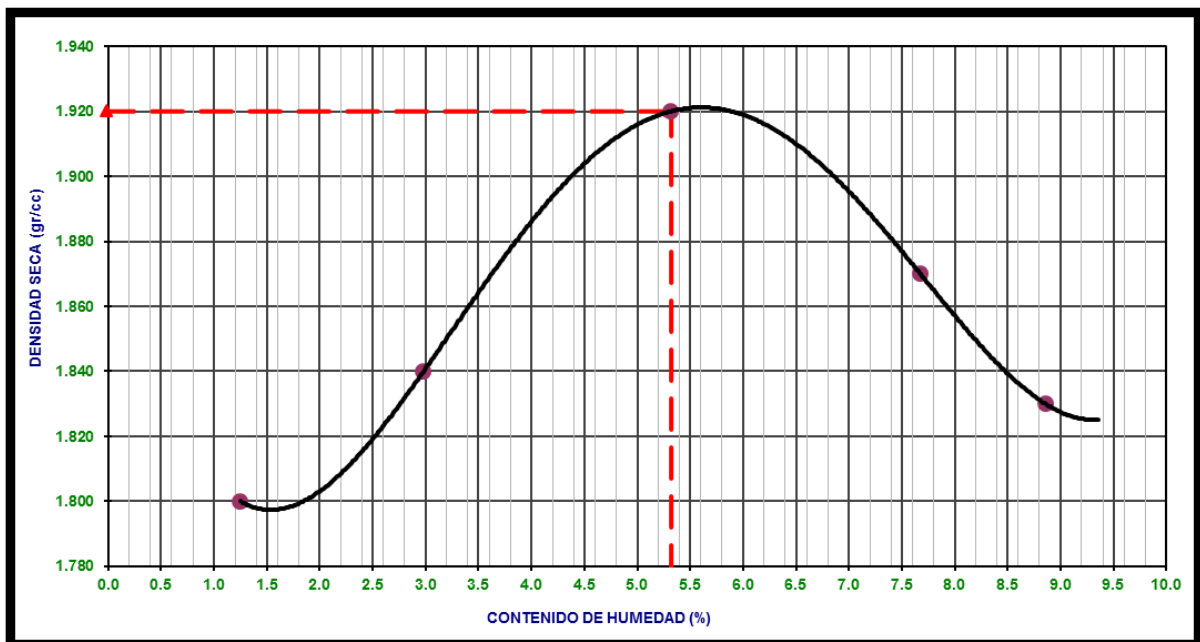
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 29. Resumen de resultados de muestra patrón.

Resumen de Resultados	
Contenido de Humedad Optimo:	5.32%
Peso Volumétrico Seco Máximo:	1.92 T/m3

Fuente: Elaboración propia.

Figura 22. Curva de compactación del suelo – muestra patrón.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Determinación del contenido de Humedad de la muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

Recipiente N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5					
Wsuelo Hum + Rec.	49.35	51.25	53.55	47.75	48.18	48.33	47.22	46.62	44.15	49.60
Wsuelo Sec + Rec.	48.70	50.65	52.38	46.62	46.84	46.68	45.38	44.95	42.10	47.46
Peso del agua	0.65	0.60	1.17	1.13	1.34	1.65	1.84	1.67	2.05	2.14

Peso del Recip.	21.30	25.20	26.20	21.60	26.50	21.35	23.40	24.90	22.60	26.80
Peso suelo seco	27.40	25.45	26.18	25.02	20.34	25.33	21.98	20.05	19.50	20.66
Cont. Hume W%	2.37	2.36	4.47	4.52	6.59	6.51	8.37	8.33	10.51	10.36

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31. Determinación del peso volumétrico de la muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

Cont. Hum.	2.36	4.49	6.55	8.35	10.44
Wsuelo + Molde	5441.00	5532.00	5613.00	5589.00	5595.00
Wmolde	3663.00	3663.00	3663.00	3663.00	3663.00
Wsuelo + Molde	1778.00	1869.00	1950.00	1926.00	1932.00
Peso Vol. Húmedo	1.90	2.00	2.08	2.06	2.06
Peso Vol. Seco	1.86	1.91	1.96	1.90	1.87

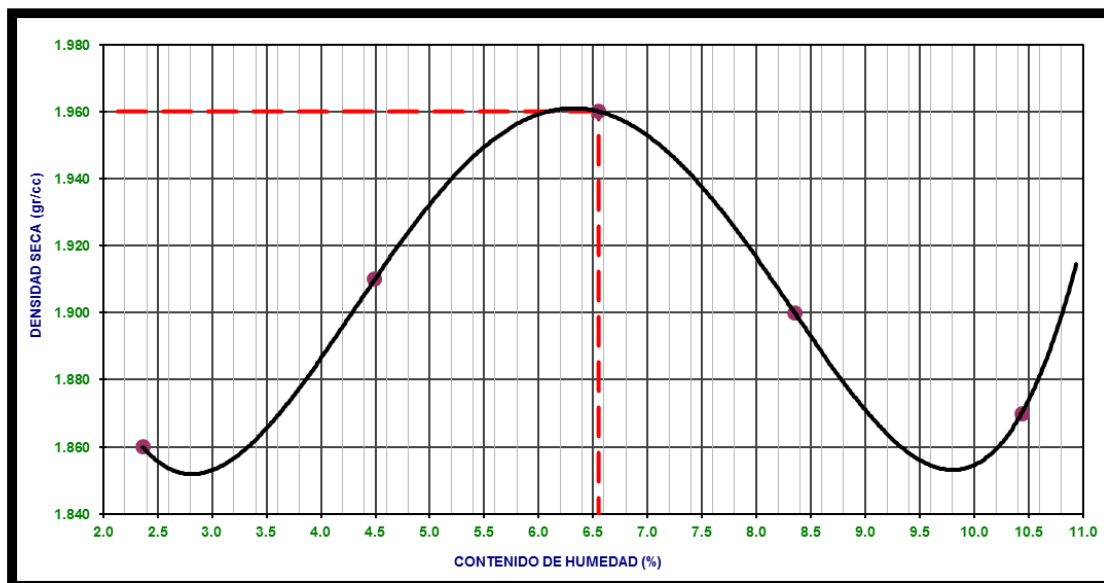
Fuente: Elaboración propia

Tabla 32. Resumen de resultados de muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

Rresumen de Resultados	
Contenido de Humedad Optimo:	6.55%
Peso Volumétrico Seco Máximo:	1.96 T/m3

Fuente: Elaboración propia

Figura 23. Curva de compactación del suelo – muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.



Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 33. Determinación del contenido de Humedad de la muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

Recipiente N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5					
Wsuelo Hum + Rec.	63.02	65.25	52.75	47.15	78.51	77.15	47.02	46.42	44.33	49.60
Wsuelo Sec + Rec.	62.42	64.62	52.08	46.45	75.96	74.23	45.43	44.95	42.48	47.62
Peso del agua	0.60	0.63	0.67	0.70	2.55	2.92	1.59	1.47	1.85	1.98
Peso del Recip.	21.30	25.20	26.20	21.60	26.50	21.35	23.40	24.90	22.60	26.80
Peso suelo seco	41.12	39.42	25.88	24.85	49.46	52.88	22.03	20.05	19.88	20.82
Cont. Hume W%	1.46	1.60	2.59	2.82	5.16	5.52	7.22	7.33	9.31	9.51

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 34. Determinación del peso volumétrico de la muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

Cont. Prom.	Hum.	1.53	2.70	5.34	7.27	9.41
Wsuelo + Molde		5470.00	5570.00	5645.00	5623.00	5623.00
Wmolde		3663.00	3663.00	3663.00	3663.00	3663.00

Wsuelo + Molde	1807.00	1907.00	1982.00	1960.00	1960.00
Peso Vol. Húmedo	1.93	2.04	2.12	2.09	2.09
Peso Vol. Seco (T/m3)	1.90	1.98	2.01	1.95	1.91

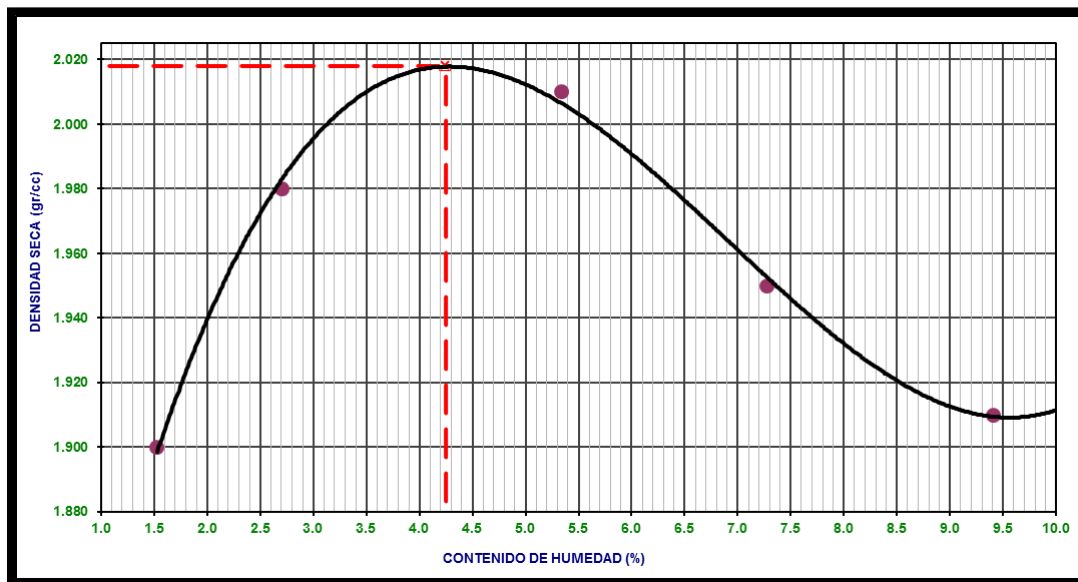
Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 35. Resumen de resultados de muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

Rresumen de Resultados	
Contenido de Humedad Optimo:	5.34%
Peso Volumétrico Seco Máximo:	2.01 T/m3

Fuente: Elaboración Propia.

Figura 24. Curva de compactación del suelo – muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.



Fuente: Elaboración Propia.

CBR

➤ PROCEDIMIENTOS Y CALCULOS.

Este ensayo se desarrolló de acuerdo a la norma NTP339.145, la elaboración de este ensayo se realizó a la muestra patrón y luego las adiciones con sus respectivos porcentajes.

Con los ensayos anteriores se demostró que la carretera en estudio tiene suelo arcilloso y teniendo de referencia que a ello les afecta la humedad de compactación y la densidad lograda, el ensayo de penetración se realizó luego que este haya sido saturado por 4 días, este ensayo se efectuó en 3 partes las cuales son mencionadas. Para el desarrollo de este ensayo se usó molde de 6" de diámetro con un pisón de 10 lb, la muestra que fue secada se mezcló con el óptimo contenido de humedad del proctor para luego separarlas en 5 partes iguales, la primera capa llenó al molde para ser compactada con el pisón por medio de 56 golpes, de igual forma se prosiguió con las demás capas. Esta secuencia se dio para los ensayos de 25 golpes y de 12 golpes, con la misma cantidad de capas a compactar y el mismo óptimo contenido de humedad.

Después de ese proceso se pasó a medir la expansión por medio del ensayo de hinchamiento. Para el desarrollo de este ensayo se pasó a sumergir por 96 horas dichos moldes en un recipiente en la cuales ingresaron y evaluadas cada 24 horas tomando una lectura en un extensómetro de la cual se observó el hinchamiento de cada muestra compactada tanto de las de 56 golpes, 25 golpes y de 12 golpes.

Por último se retiró los moldes del recipiente para realizar los ensayos de carga – penetración en la máquina de CBR y así se logró medir su resistencia, luego de obtener dichos datos, los moldes se sacaron para extraer una porción del medio de cada muestra logrando obtener de esta forma su contenido de humedad saturada. Después de ello es obtener los resultados a base de los siguientes cálculos:

- Primero se calculó la densidad húmeda.
- Luego se calculó el contenido de humedad.
- Después se hizo cálculo de la densidad seca.

- Posteriormente se midió la expansión de cada muestra compactada.
- Por último se calculó el CBR.

➤ **TABLAS ESTADÍSTICAS**

Tabla 36. Ensayo de CBR de la muestra patrón.

Molde	1				2				3			
Capas	5				5				5			
Golpes por Capas	56				25				12			
Condición de la muestra	Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada	
Peso Molde + Suelo Hum.	8525.00		13326.00		8633.00		13362.00		8378.00		13310.00	
Peso del Molde (gr)	4700.00		9500.00		4710.00		9450.00		4600.00		9460.00	
Peso del suelo Húmedo	3825.00		3826.00		3923.00		3912.00		3778.00		3850.00	
Volumen del Molde (cm3)	1894.00				1894.00				1894.00			
Peso Vol. Húmedo (gr/cc)	2.02		2.02		2.07		2.07		1.99		2.03	
% de Humedad	5.77		7.86		8.26		9.14		10.34		12.82	
Peso Vol. Seco (gr/cc)	1.91		1.87		1.91		1.89		1.81		1.80	
Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarro + suelo húmedo	99.62	100.02	84.20	84.20	80.20	81.26	88.20	88.20	90.35	90.36	95.20	95.20
Tarro + suelo seco	97.21	97.85	80.20	80.20	76.29	77.20	83.26	83.26	84.60	84.50	87.50	87.50
Peso de Agua	2.41	2.17	4.00	4.00	3.91	4.06	4.94	4.94	5.75	5.86	7.70	7.70
Peso del Tarro	55.61	60.15	29.34	29.34	29.32	27.70	29.22	29.22	29.48	27.28	27.42	27.42
Peso del Suelo Seco	41.60	37.70	50.86	50.86	46.97	49.50	54.04	54.04	55.12	57.22	60.08	60.08
% Humedad	5.79	5.76	7.86	7.86	8.32	8.20	9.14	9.14	10.43	10.24	12.82	12.82
Promedio de	5.77		7.86		8.26		9.14		10.34		12.82	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37. Penetración de CBR - muestra patrón.

PENETRACIÓN C.B.R.										
Penetración	Carga Tipo (Kg/cm ²)	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
		Carga Ensayo (Kg)	Carga Ensayo (Kg/cm ²)	C.B.R. (%)	Carga Ensayo (Kg)	Carga Ensayo (Kg/cm ²)	C.B.R. (%)	Carga Ensayo (Kg)	Carga Ensayo (Kg/cm ²)	C.B.R. (%)
0.025		26.6	1.37		22.8	1.18		17.1	0.88	
0.05		51.3	2.65		41.8	2.16		30.4	1.57	
0.075		62.7	3.24		55.1	2.85		38	1.96	
0.1	70.3	79.8	4.12	5.86	70.3	3.63	5.17	57	2.95	4.19
0.2	105.45	123.5	6.38	6.05	108.3	5.6	5.31	91.2	4.71	4.47

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Expansión de CBR - muestra patrón.

EXPANSIÓN											
Molde N°		1				2				3	
Fecha	Tiempo	Hora	Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
				mm.	%		mm.	%		mm.	%
mar-21	0.0 Hrs	10.00 am	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
mar-21	24.0 Hrs	10.00 am	22.00	0.215	0.142	23.00	0.224	0.148	24.00	0.234	0.154
mar-21	48.0 Hrs	10.00 am	24.00	0.234	0.154	25.00	0.244	0.161	28.00	0.273	0.180
mar-21	72.0 Hrs	10.00 am	26.00	0.254	0.167	26.00	0.254	0.167	30.00	0.293	0.193
mar-21	96.0 Hrs	10.00 am	28.00	0.273	0.180	30.00	0.293	0.193	32.00	0.312	0.206

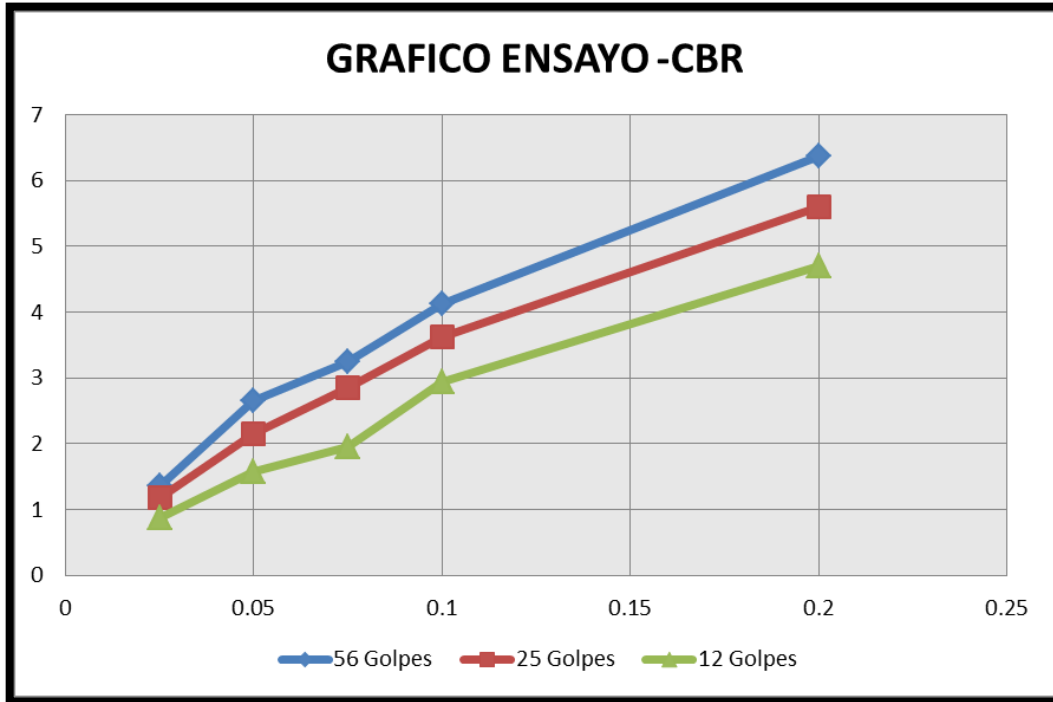
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Resumen de CBR - muestra patrón.

Resumen de Resultados	C.B.R. AL 100% P.V.S.M. =	5.86	%
	C.B.R. AL 95% P.V.S.M. =	4.19	%

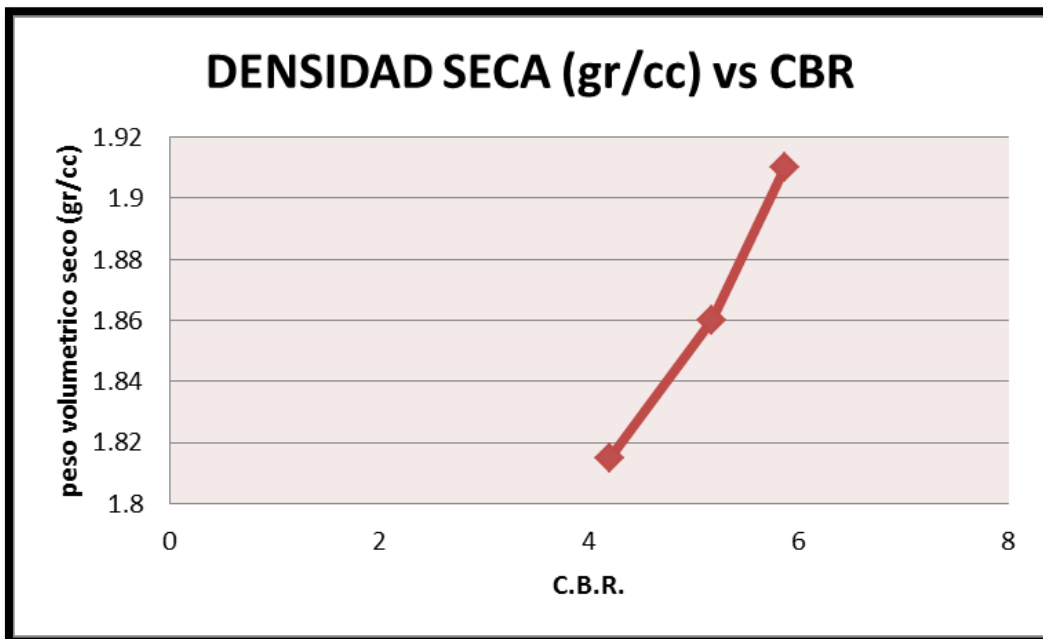
Fuente: Elaboración propia.

Figura 25. Curva del ensayo C.B.R. – muestra patrón.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 26. Densidad seca vs C.B.R.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Ensayo de CBR de la muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

Molde	1				2				3			
Capas	5				5				5			
Golpes por Capas	56				25				12			
Condición de la muestra	Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada	
Peso Molde + Suelo Hum.	8850.00		13402.00		8820.00		13302.00		8678.00		13362.00	
Peso del Molde (gr)	4900.00		9500.00		4900.00		9450.00		4800.00		9460.00	
Peso del suelo Húmedo	3950.00		3902.00		3920.00		3852.00		3878.00		3902.00	
Volumen del Molde (cm ³)	1894.00				1894.00				1894.00			
Peso Vol. Húmedo (gr/cc)	2.09		2.06		2.07		2.03		2.05		2.06	
% de Humedad	6.37		7.24		8.15		9.05		10.22		12.47	
Peso Vol. Seco (gr/cc)	1.96		1.92		1.91		1.87		1.86		1.83	
Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarro + suelo húmedo	86.28	87.10	83.88	83.88	79.95	81.05	88.15	88.15	90.26	90.32	94.99	94.99
Tarro + suelo seco	82.78	83.62	80.20	80.20	76.15	77.01	83.26	83.26	84.60	84.50	87.50	87.50
Peso de Agua	3.50	3.48	3.68	3.68	3.80	4.04	4.89	4.89	5.66	5.82	7.49	7.49
Peso del Tarro	28.42	28.45	29.34	29.34	29.34	29.32	29.22	29.22	29.48	27.28	27.42	27.42
Peso del Suelo Seco	54.36	55.17	50.86	50.86	46.83	49.31	54.04	54.04	55.12	57.22	60.08	60.08
% Humedad	6.44	6.31	7.24	7.24	8.11	8.19	9.05	9.05	10.27	10.17	12.47	12.47
Promedio de	6.37		7.24		8.15		9.05		10.22		12.47	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Penetración de CBR - muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

PENETRACIÓN C.B.R.

Penetración	Carga Tipo (Kg/cm2)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3				
		Carga Ensayo		Carga Ensayo		Carga Ensayo				
		(Kg)	(Kg/cm2)	(Kg)	(Kg/cm2)	(Kg)	(Kg/cm2)			
0.025		84	4.34	72	3.72	54	2.79			
0.05		162	8.37	132	6.82	96	4.96			
0.075		198	10.23	174	8.99	120	6.2			
0.1	70.3	252	13.02	18.52	222	11.47	16.32	180	9.3	13.23
0.2	105.45	390	20.15	19.11	342	17.67	16.76	288	14.88	14.11

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Expansión de CBR - muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

EXPANSIÓN

Fecha	Molde N°			1		2		3			
	Tiempo	Hora	Dial	Expansión		Expansión		Expansión			
				mm.	%	mm.	%	mm.	%		
mar-21	0.0 Hrs	10.00 am	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
mar-21	24.0 Hrs	10.00 am	16.00	0.156	0.103	18.00	0.176	0.116	19.00	0.185	0.122
mar-21	48.0 Hrs	10.00 am	17.00	0.166	0.109	20.00	0.195	0.129	20.00	0.195	0.129
mar-21	72.0 Hrs	10.00 am	19.00	0.185	0.122	22.00	0.215	0.142	23.00	0.224	0.148
mar-21	96.0 Hrs	10.00 am	20.00	0.195	0.129	25.00	0.244	0.161	27.00	0.263	0.174

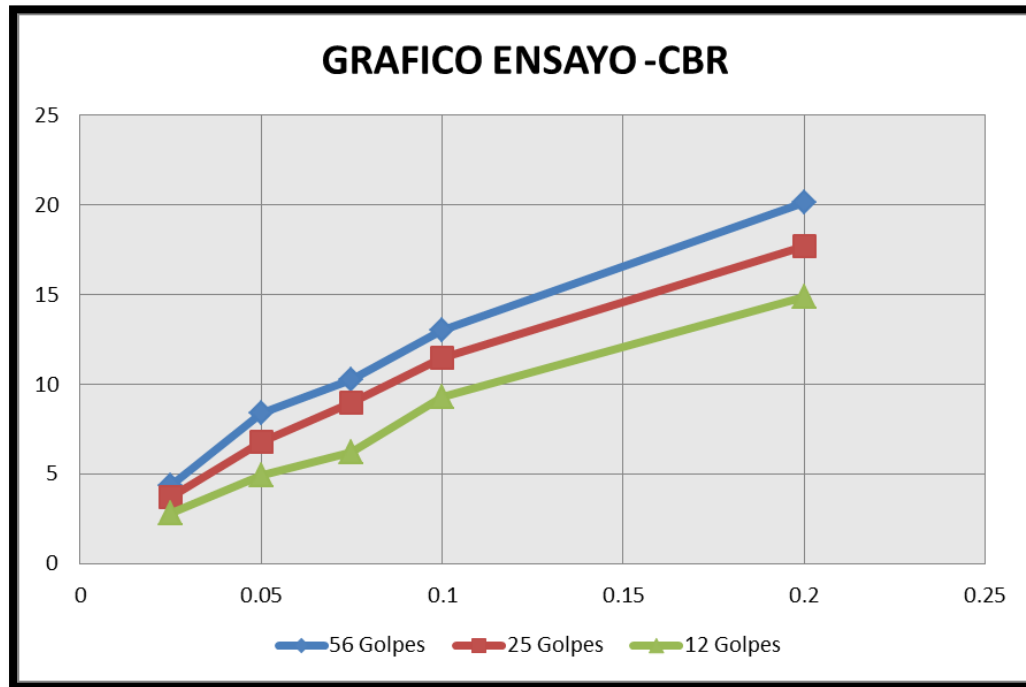
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Resumen de CBR - muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.

Resumen de Resultados	C.B.R. AL 100% P.V.S.M. =	18.52	%
	C.B.R. AL 95% P.V.S.M. =	13.23	%

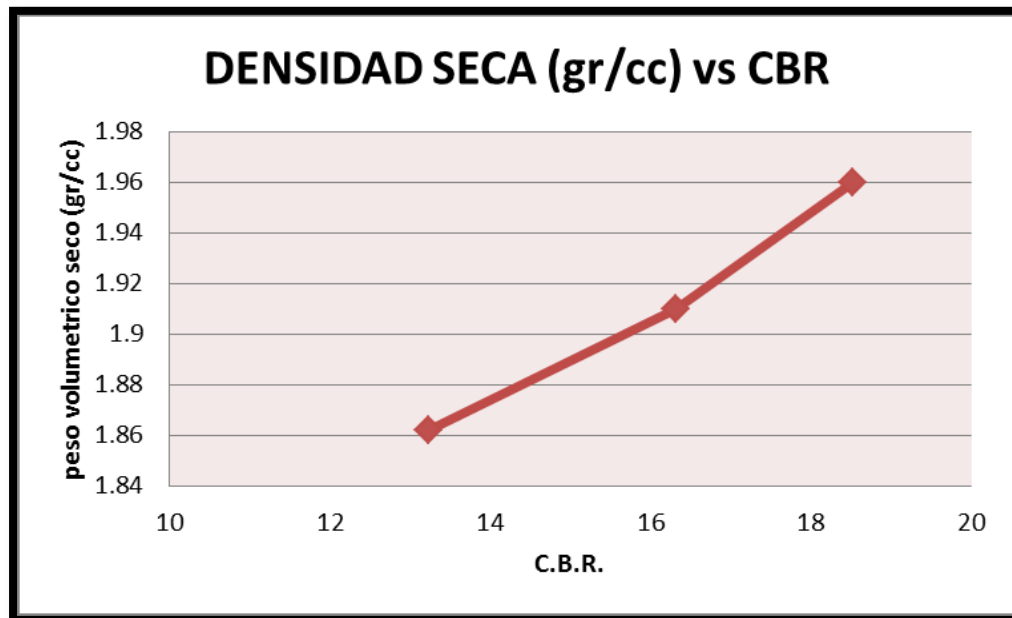
Fuente: Elaboración propia.

Figura 27. Curva del ensayo C.B.R. – muestra con adición de 6% de PVC y 4% de cal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 28. Densidad seca vs C.B.R. primera adición.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 44. Ensayo de CBR de la muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

Molde	1				2				3			
Capas	5				5				5			
Golpes por Capas	56				25				12			
Condición de la muestra	Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada	
Peso Molde + Suelo Hum.	9014.00		13454.00		8710.00		13492.00		8592.00		13511.00	
Peso del Molde (gr)	5000.00		9500.00		4710.00		9450.00		4600.00		9460.00	
Peso del suelo Húmedo	4014.00		3954.00		4000.00		4042.00		3992.00		4051.00	
Volumen del Molde (cm3)	1894.00				1894.00				1894.00			
Peso Vol. Húmedo (gr/cc)	2.12		2.09		2.11		2.13		2.11		2.14	
% de Humedad	5.40		6.74		7.74		9.08		10.29		13.18	
Peso Vol.Seco (gr/cc)	2.01		1.96		1.96		1.96		1.91		1.89	
Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarro + suelo húmedo	105.85	104.61	84.48	82.16	82.15	88.23	88.23	90.39	90.39	90.43	95.02	95.02
Tarro + suelo seco	102.45	101.51	81.00	81.00	78.45	78.15	83.32	83.32	84.65	84.60	87.15	87.15
Peso de Agua	3.40	3.10	3.48	3.48	3.71	4.00	4.91	4.91	5.74	5.83	7.87	7.87
Peso del Tarro	40.16	43.51	29.34	29.34	29.32	27.70	29.22	29.22	29.48	27.28	27.42	27.42
Peso del Suelo Seco	62.29	58.00	51.66	51.66	49.13	50.45	54.10	54.10	55.17	57.32	59.73	59.73
% Humedad	5.46	5.34	6.74	6.74	7.55	7.93	9.08	9.08	10.40	10.17	13.18	13.18
Promedio de	5.40		6.74		7.74		9.08		10.29		13.18	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 45. Penetración de CBR - muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

PENETRACIÓN C.B.R.

Penetración	Carga Tipo (Kg/cm2)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3				
		Carga Ensayo (Kg)	C.B.R. (%)	Carga Ensayo (Kg)	C.B.R. (%)	Carga Ensayo (Kg)	C.B.R. (%)			
		(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)	(Kg/cm2)			
0.025		118.3	6.11	101.4	5.24	76.05	3.93			
0.05		228.15	11.79	185.9	9.6	135.2	6.99			
0.075		278.85	14.41	245.05	12.66	169	8.73			
0.1	70.3	354.9	18.34	26.08	312.65	16.15	22.98	253.5	13.1	18.63
0.2	105.45	549.25	28.38	26.91	481.65	24.89	23.6	405.6	20.96	19.87

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 46. Expansión de CBR - muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

EXPANSIÓN

Fecha	Molde N° Tiempo	Hora	Dial	1		2		3			
				Expansión		Expansión		Expansión			
				mm.	%	mm.	%	mm.	%		
mar-21	0.0 Hrs	10.00 am	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
mar-21	24.0 Hrs	10.00 am	12.00	0.117	0.077	13.00	0.127	0.084	15.00	0.146	0.097
mar-21	48.0 Hrs	10.00 am	16.00	0.156	0.103	18.00	0.176	0.116	18.00	0.176	0.116
mar-21	72.0 Hrs	10.00 am	18.00	0.176	0.116	19.00	0.185	0.122	20.00	0.195	0.129
mar-21	96.0 Hrs	10.00 am	21.00	0.205	0.135	24.00	0.234	0.154	22.00	0.215	0.142

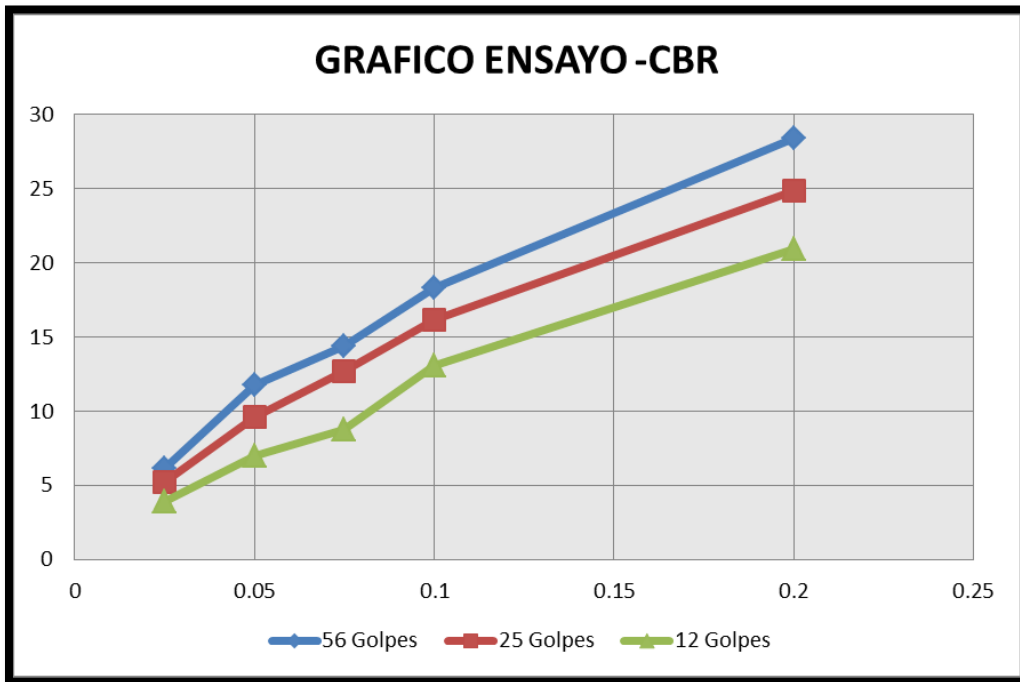
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 47. Resumen de CBR - muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.

Resumen de Resultados	C.B.R. AL 100% P.V.S.M. =	26.08	%
	C.B.R. AL 95% P.V.S.M. =	18.63	%

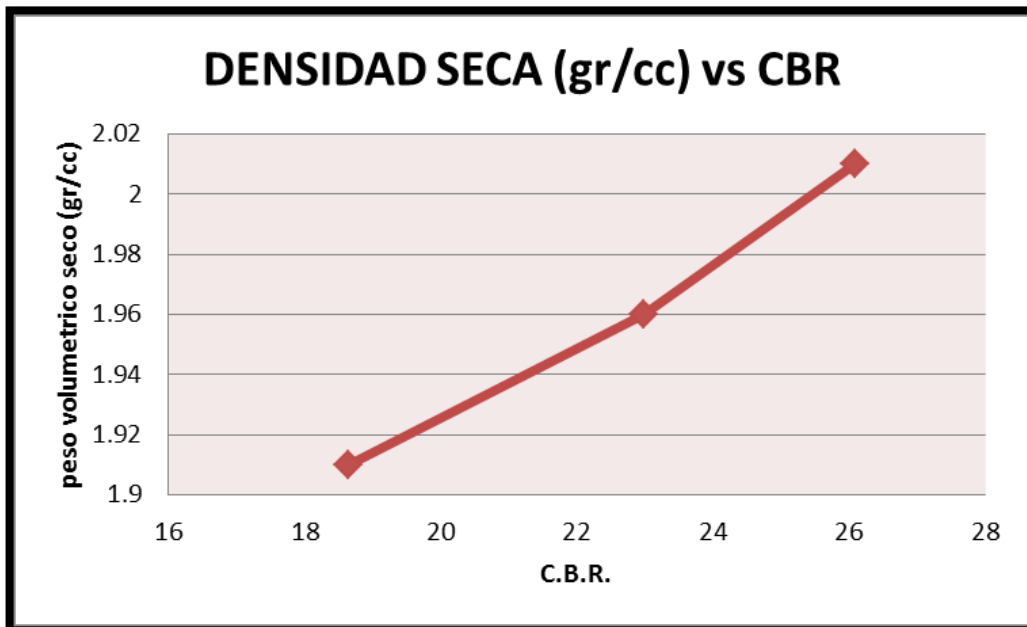
Fuente: Elaboración propia.

Figura 29. Curva del ensayo C.B.R. – muestra con adición de 9% de PVC y 4% de cal.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 30. Densidad seca vs C.B.R. segunda adición.



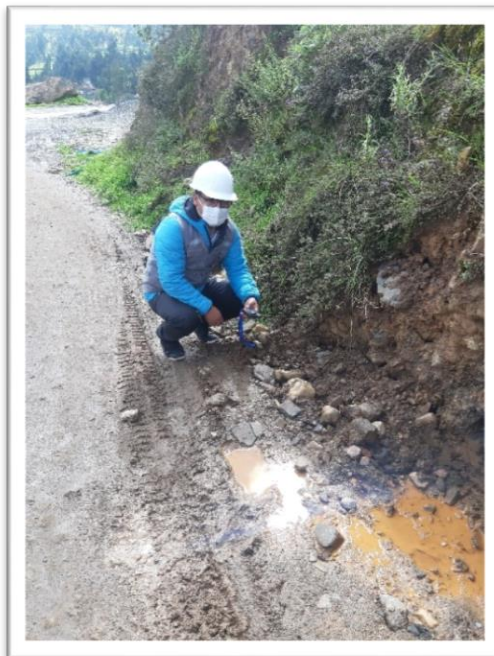
Fuente: Elaboración propia.

Anexo N°4

Panel Fotográfico



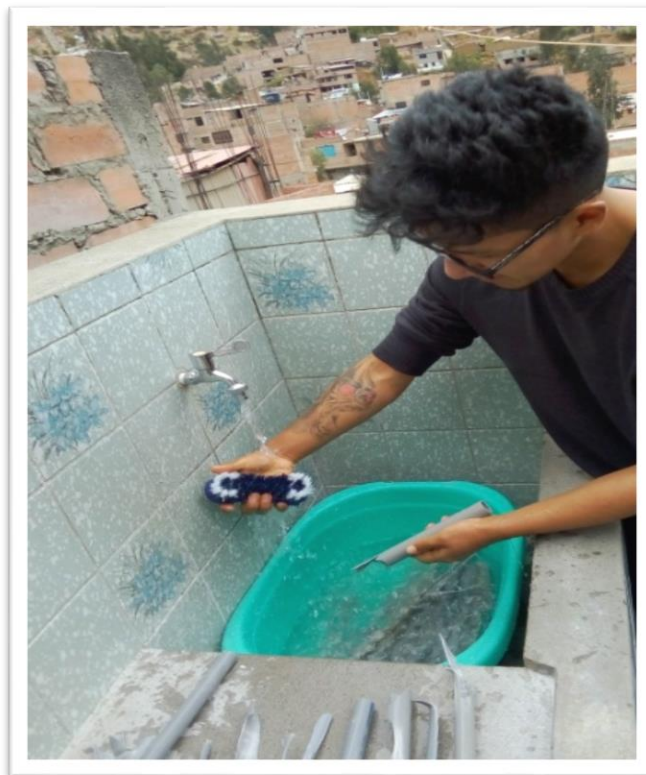
En la zona de Huanchac se realizó la estabilización de suelos así mismo se analizará la factibilidad de la utilización del policloruro de vinilo y cal para la estabilidad de suelo.



Se realizó la toma de puntos para el levantamiento topográfico de la zona de Huanchac



En la zona de Huanchac se realizó la excavación de la calicata, la toma de medida y muestra para la realización de los ensayos de suelos respectivos en laboratorio =1.50m



Lavado del policloruro de vinilo para el posterior secado



Se observa la toma de muestra de las partículas gruesas para el proctor, análisis granulométrico.





Se realizó la toma de muestra y la puesta al horno para posteriormente realizar el análisis del contenido de Humedad.



se realizó el tamizado de las partículas por la serie de tamizado ya establecidos para este tipo de estudios



Se realizó la determinación de los límites de consistencia



Se realizó la compactación para el Ensayo del proctor modificado



Ensayo del CBR con los moldes para la saturación





Mezcla del policloruro de vinilo y cal viva para el ensayo del Proctor Modificado.



Elaboración del proctor modificado con las adiciones.



Realización del ensayo del CBR con los aditivos de Policloruro de Vinilo y cal viva.



Anexo N°5 Ensayos de laboratorio



MATHLAB INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

INFORME N° SV-071-MATHLAB-2020

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

LUGAR	: SECTOR GUADALUPE
FECHA	: 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	C-01 / MUESTRA PATRON
PROGRESIVA (KM)	-----

RESUMEN DE ENSAYOS ESTANDAR DE LABORATORIO		
PORCENTAJE ACUMULADO QUE PASA POR MALLA DE PORCION DE MATERIAL MENOR DE 3"	3"	100.00
	21/2"	100.00
	2"	100.00
	1 1/2"	100.00
	1"	100.00
	3/4"	100.00
	3/8"	98.97
	N° 4	96.60
	N° 10	92.79
	N° 40	83.80
N° 60	72.85	
N° 140	65.54	
N° 200	62.60	
Coef. Uniformidad	Cu.	-----
Coef. Concavidad	Cc.	-----
LIMITES DE	L.L.	61.10
	L.P.	23.28
CONSISTENCIA	I.P.	37.82
HUMEDAD NATURAL		10.70
CLASIFICACION UNIFICADA DE SUELOS (SUCS) ASTM D-2487		CH
CLASIFICACION AASHTO ASTM D-3282 - AASHTO M145		A-7-6 (22)

RESUMEN DE ENSAYOS ESPECIALES DE LABORATORIO		
DATOS DE C.B.R. A 0.1" DE PENETRACION (ASTM D-1883)		
C.B.R. 100% P.V.S.M. (%)		5.86
C.B.R. 95% P.V.S.M. (%)		4.19
DATOS DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D-1557)		
PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO		1.92
CONTENIDO DE HUMEDAD OPTIMA		5.32



MSC. Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162839
Especialista en Ensayos y Control de Calidad

Nota:

- Los resultados de los ensayos obtenidos corresponden a la muestra proporcionada por el cliente
- Los datos del solicitante, proyecto, procedencia e identificación fueron proporcionados e indicados por el cliente.
- La interpretación y uso de los resultados es responsabilidad del cliente.



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

CONTENIDO DE HUMEDAD

ASTM D-2216

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUNDID : 1.50 m
MUESTRA : Mab.01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

Humedad	MUESTRA N° 01	
FRASCO N°	1	2
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	351.26	345.02
(2) Pfr + P.S.S. (gr)	333.15	325.64
(3) Pagua (gr) (1) - (2)	18.11	19.38
(4) Pfr (gr)	153.85	154.26
(5) P.S.S. (gr) (2) - (4)	179.30	171.38
(6) C. Humedad (%) (3) / (5)	10.10	11.31
CONTENIDO DE HUMEDAD PROM	10.70	

Nota: Pfr = Peso del frasco
P.S.H. = Peso del suelo humedo
P.S.S. = Peso del suelo seco
Pagua = Peso del agua

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



MSc Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939
Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO CLASIFICACIÓN ASTM D-422

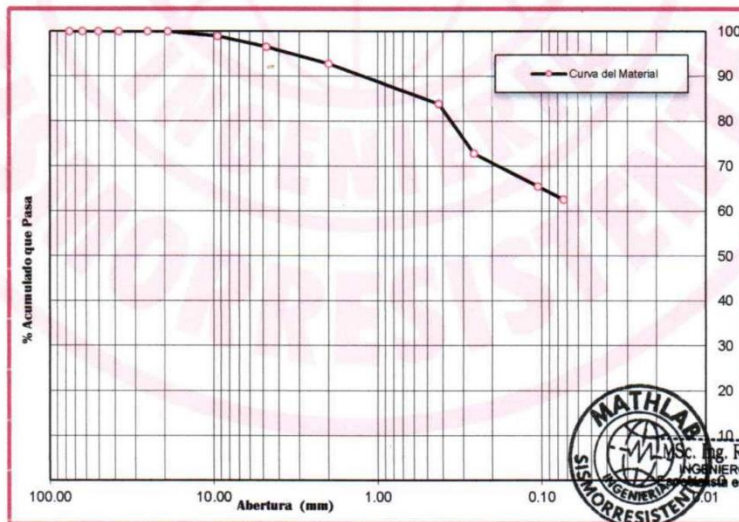
SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUNDIDAD : 1.50 m
MUESTRA : Mab_01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

PESO INICIAL SECO : 1,200.00 grs % QUE PASA MALLA No 200 : 62.60
 PESO LAVADO SECO : 468.51 grs % RETENIDO MALLA 3" : 0.00

Tamices ASTM	Abertura (mm)	Peso Retenido (grs)	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% Acumulado Que Pasa	Resumen de Datos
3"	76.200	0.00	0.00	0.00	100.00	% que pasa Nº 3 : 100.00
2 1/2"	63.500	0.00	0.00	0.00	100.00	% que pasa Nº 4 : 96.60
2"	50.800	0.00	0.00	0.00	100.00	% que pasa Nº200 : 62.60
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00	L.L. : 61.10
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00	I.P. : 23.28
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00	I.P. : 37.82
3/8"	9.525	12.36	1.03	1.03	98.97	D10 : -----
No 4	4.780	28.49	2.37	3.40	96.60	D30 : -----
No 10	2.000	45.68	3.81	7.21	92.79	D60 : -----
No 40	0.426	107.84	8.99	16.20	83.80	Cu : -----
No 60	0.260	131.49	10.96	27.16	72.85	Cc : -----
No 140	0.106	87.64	7.30	34.46	65.54	w (%) : 10.70
No 200	0.074	35.35	2.95	37.40	62.60	GRAVA (%) : 3.40
> No 200	0.000	19.66	1.64	39.04	60.96	ARENA (%) : 34.00
TOTAL		468.51	39.04			FINOS (%) : 62.60



[Signature]
 Ing. Ruben Darío Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araoz N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

LIMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO ASTM D-4318

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

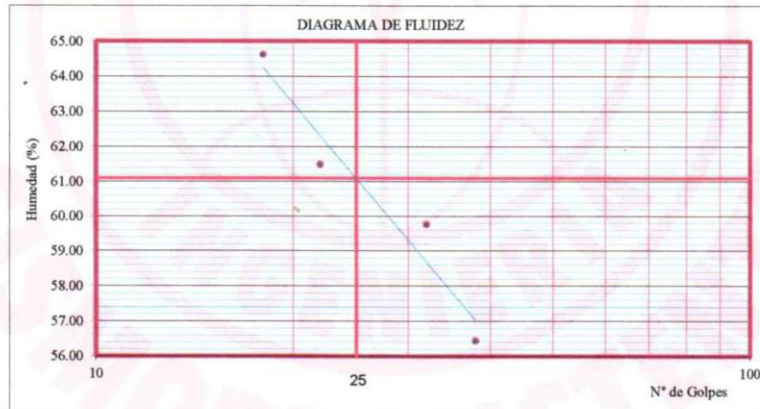
PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUNI : 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

Ensayo Datos	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
Frasco N°								
N. De golpes	18	22	32	38	1	2	3	4
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	42.95	42.15	41.00	44.05	31.85	33.12	33.45	35.84
(2) Pfr + P.S.S. (gr)	36.10	35.78	35.06	37.48	28.45	29.38	29.78	32.62
(3) Pagua (gr) (1) - (2)	6.85	6.37	5.94	6.57	3.40	3.74	3.67	3.22
(4) Pfr (gr)	25.50	25.42	25.12	25.84	14.44	13.56	13.52	18.40
(5) P.S.S. (gr) (2) - (4)	10.60	10.36	9.94	11.64	14.01	15.82	16.26	14.22
(6) C. Humedad (%) (3) / (5)	64.62	61.49	59.76	56.44	24.27	23.64	22.57	22.64

Nota: Pfr = Peso del frasco
 P.S.H. = Peso del suelo humedo
 P.S.S. = Peso del suelo seco
 Pagua = Peso del agua

Resumen de Resultados	
Limite Liquido (L.L.) =	61.10
Limite Plastico (L.P.) =	23.28
Indice Plasticidad (I.P.) =	37.82



Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



[Signature]
 MSc. Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

CARACTERISTICAS DE COMPACTACION EN LABORATORIO DEL SUELO USANDO ESFUERZO MODIFICADO ASTM D1557 - MTC E115

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUND : 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

Golpes/Capa : 25 N° de Capas : 05 Wmart. : 4,540.0 Wmolde : 3,663.0
Dimens. del molde : $\phi = 10.20$ cm. H = 11.45 cm. Volúmen : 935.61

Determinación del Contenido de Humedad:

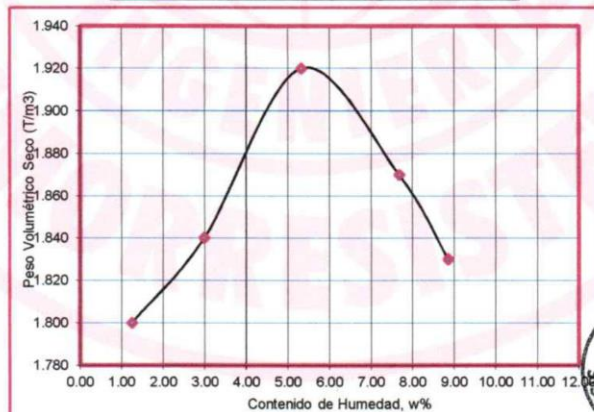
Recipiente N°	Muestra 1		Muestra 2		Muestra 3		Muestra 4		Muestra 5	
Wsuelo Húm. + Rec.	83.15	87.15	92.55	93.15	100.15	110.51	46.92	45.76	123.69	125.45
Wsuelo Sec. + Rec.	82.35	86.45	90.54	91.35	98.15	108.03	45.35	44.18	115.45	117.45
Peso del agua	0.80	0.70	2.01	1.80	2.00	2.48	1.57	1.58	8.24	8.00
Peso del Recip.	25.15	22.61	27.54	26.35	60.58	61.35	23.40	24.90	22.60	26.80
Peso suelo seco	57.20	63.84	63.00	65.00	37.57	46.68	21.95	19.28	92.85	90.65
Cont. Hum. W%	1.40	1.10	3.19	2.77	5.32	5.31	7.15	8.20	8.88	8.83

Determinación del Peso Volumétrico:

Cont. Hum. Prom.	1.25	2.98	5.32	7.67	8.85
Wsuelo + molde	5,368.00	5,440.00	5,558.00	5,551.00	5,528.00
Wmolde	3,663.00	3,663.00	3,663.00	3,663.00	3,663.00
Wsuelo	1,705.00	1,777.00	1,895.00	1,888.00	1,865.00
Peso Vol. Húmedo	1.82	1.90	2.03	2.02	1.99
Peso Vol. Seco(T/m3)	1.80	1.84	1.92	1.87	1.83

Resumen de Resultados

Contenido de Humedad Óptimo :	5.32 %
Peso Volumetrico Seco Máximo :	1.92 T/m3



Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR

ASTM D1883 - MTC E132

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA	: C-01	PROFUNDIDAD	: 1.50 m
MUESTRA	: Mab .01	FECHA	: 04 DE MARZO DEL 2021

Molde	1				2				3			
Capas	5				5				5			
Golpes por capa	56				25				12			
Condición de la muestra	Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada	
Peso Molde + Suelo hum.	8,525.00		13,326.00		8,633.00		13,362.00		8,378.00		13,310.00	
Peso del molde (gr.)	4,700.00		9,500.00		4,710.00		9,450.00		4,600.00		9,460.00	
Peso del Suelo humedo	3,825.00		3,826.00		3,923.00		3,912.00		3,778.00		3,850.00	
Volumen del Molde (cm ³)	1,894.00				1,894.00				1,894.00			
Peso Vol. Humedo (gr/cc)	2.02		2.02		2.07		2.07		1.99		2.03	
% de humedad	5.77		7.86		8.26		9.14		10.34		12.82	
Peso Vol. Seco (gr/cc)	1.91		1.87		1.91		1.89		1.81		1.80	
Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarro + suelo humedo	99.62	100.02	84.20	84.20	80.20	81.26	88.20	88.20	90.35	90.36	95.20	95.20
Tarro + suelo seco	97.21	97.85	80.20	80.20	76.29	77.20	83.26	83.26	84.60	84.50	87.50	87.50
Peso de Agua	2.41	2.17	4.00	4.00	3.91	4.06	4.94	4.94	5.75	5.86	7.70	7.70
Peso del Tarro	55.61	60.15	29.34	29.34	29.32	27.70	29.22	29.22	29.48	27.28	27.42	27.42
Peso del suelo seco	41.60	37.70	50.86	50.86	46.97	49.50	54.04	54.04	55.12	57.22	60.08	60.08
% humedad	5.79	5.76	7.86	7.86	8.32	8.20	9.14	9.14	10.43	10.24	12.82	12.82
Promedio de Humedad	5.77		7.86		8.26		9.14		10.34		12.82	

PENETRACION C.B.R.										
Penetración (Pulg)	Carga Tipo (Kg/cm ²)	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
		Carga Ensayo		C B R (%)	Carga Ensayo		C B R (%)	Carga Ensayo		C B R (%)
		(Kg)	(Kg/cm ²)		(Kg)	(Kg/cm ²)		(Kg)	(Kg/cm ²)	
0.025		26.60	1.37		22.80	1.18		17.10	0.88	
0.050		51.30	2.65		41.80	2.16		30.40	1.57	
0.075		62.70	3.24		55.10	2.85		38.00	1.96	
0.100	70.30	79.80	4.12	5.86	70.30	3.63	5.17	57.00	2.95	4.19
0.200	105.45	123.50	6.38	6.05	108.30	5.60	5.31	91.20	4.71	4.47

EXPANSION												
Molde N°	Fecha	Tiempo	Hora	Dial	1		2			3		
					Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
					mm.	%		mm.	%		mm.	%
	Mar-21	0.0 hrs	10.00 a.m.	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mar-21	24.0 hrs	10.00 a.m.	22.00	0.215	0.142	23.00	0.224	0.148	24.00	0.234	0.154
	Mar-21	48.0 hrs	10.00 a.m.	24.00	0.234	0.154	25.00	0.244	0.161	28.00	0.273	0.180
	Mar-21	72.0 hrs	10.00 a.m.	26.00	0.254	0.167	26.00	0.254	0.167	30.00	0.293	0.193
	Mar-21	96.0 hrs	10.00 a.m.	28.00	0.273	0.180	30.00	0.293	0.193	32.00	0.312	0.206

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



Ing. Ruben Barrio Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162809
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

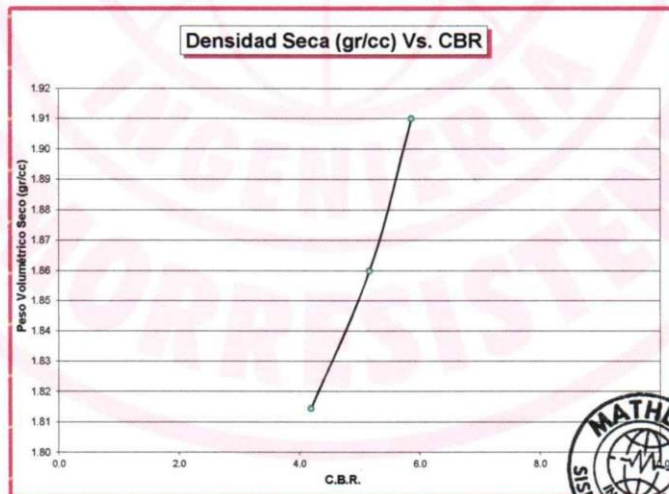
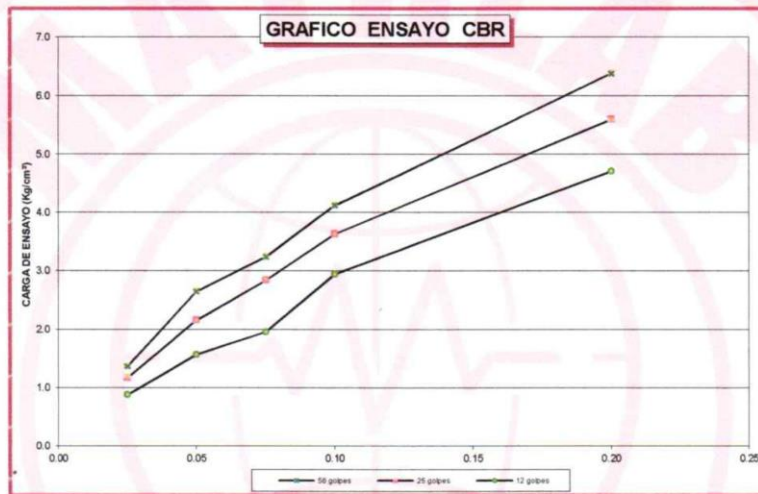
Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR ASTM D1883 - MTC E132

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO

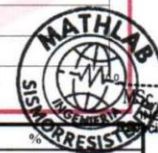
PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUNDIDAD : 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021



Resumen de Resultados	C.B.R. AL 100% P.V.S.M. =	5.86	%
	C.B.R. AL 95% P.V.S.M. =	4.19	%

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL Reg. CIP N° 162939
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

LIMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO ASTM D-4318

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUNI : 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 6% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----

Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
	Datos				Datos			
Frasco N°								
N. De golpes	16	20	32	35	1	2	3	4
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	64.03	63.45	62.81	65.35	24.10	24.15	24.15	23.64
(2) Pfr + P.S.S. (gr)	51.20	50.90	51.15	53.10	21.62	21.52	21.48	21.31
(3) Pagua (gr) (1) - (2)	12.83	12.55	11.66	12.25	2.48	2.63	2.67	2.33
(4) Pfr (gr)	29.10	28.40	29.15	28.60	12.36	12.22	12.15	12.35
(5) P.S.S. (gr) (2) - (4)	22.10	22.50	22.00	24.50	9.26	9.30	9.33	8.96
(6) C. Humedad (%) (3) / (5)	58.05	55.78	53.00	50.00	26.78	28.28	28.62	26.00

Nota: Pfr = Peso del frasco
P.S.H. = Peso del suelo humedo
P.S.S. = Peso del suelo seco
Pagua = Peso del agua

Resumen de Resultados	
Limite Liquido (L.L.) =	54.05
Limite Plastico (L.P.) =	27.42
Indice Plasticidad (I.P.) =	26.63



Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



MSc. Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
INGENIERO CIVIL - Reg. CIP. N° 162936
Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

CARACTERISTICAS DE COMPACTACION EN LABORATORIO DEL SUELO USANDO ESFUERZO MODIFICADO ASTM D1557 - MTC E115

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUND : 1.50 m
MUESTRA : Mab.01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 6% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----

Golpes/Capa : 25 N° de Capas : 05 Wmart : 4,540.0 Wmolde : 3,663.0
 Dimens. del molde : $\phi = 10.20$ cm. H = 11.45 cm. Volumen : 935.61

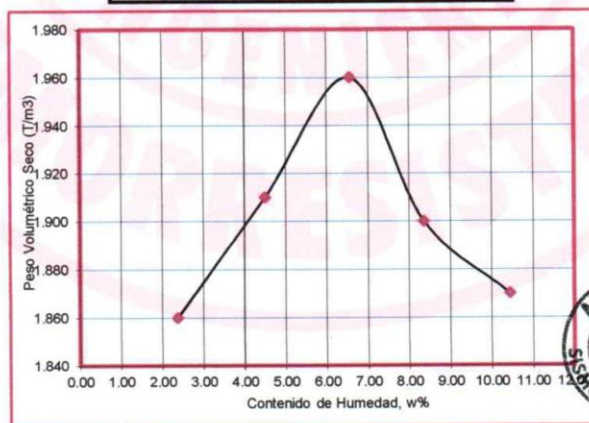
Determinación del Contenido de Humedad:

Recipiente N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5					
Wsuelo Húm. + Rec.	49.35	51.25	53.55	47.75	48.18	48.33	47.22	46.62	44.15	49.60
Wsuelo Sec. + Rec.	48.70	50.65	52.38	46.62	46.84	46.68	45.38	44.95	42.10	47.46
Peso del agua	0.65	0.60	1.17	1.13	1.34	1.65	1.84	1.67	2.05	2.14
Peso del Recip.	21.30	25.20	26.20	21.60	26.50	21.35	23.40	24.90	22.60	26.80
Peso suelo seco	27.40	25.45	26.18	25.02	20.34	25.33	21.98	20.05	19.50	20.66
Cont. Hum. W%	2.37	2.36	4.47	4.52	6.59	6.51	8.37	8.33	10.51	10.36

Determinación del Peso Volumétrico:

Cont. Hum. Prom.	2.36	4.49	6.55	8.35	10.44
Wsuelo + molde	5,441.00	5,532.00	5,613.00	5,589.00	5,595.00
Wmolde	3,663.00	3,663.00	3,663.00	3,663.00	3,663.00
Wsuelo	1,778.00	1,869.00	1,950.00	1,926.00	1,932.00
Peso Vol. Húmedo	1.90	2.00	2.08	2.06	2.06
Peso Vol. Seco(T/m3)	1.86	1.91	1.96	1.90	1.87

Resumen de Resultados	
Contenido de Humedad Optimo :	6.55 %
Peso Volumetrico Seco Máximo :	1.96 T/m3



Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.

MATHLAB
 Ing. Ruben Danilo Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - Reg. Of. N° 162939
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR

ASTM D1883 - MTC E132

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA	: C-01	PROFUNDIDAD	: 1.50 m
MUESTRA	: Mab .01	FECHA	: 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 6% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----

Molde	1				2				3			
Capas	5				5				5			
Golpes por capa	56				25				12			
Condicion de la muestra	Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada	
Peso Molde + Suelo hum.	8,850.00	13,402.00	8,820.00	13,302.00	8,678.00	13,362.00	8,678.00	13,362.00	8,678.00	13,362.00	8,678.00	13,362.00
Peso del molde (gr.)	4,900.00	9,500.00	4,900.00	9,450.00	4,800.00	9,460.00	4,800.00	9,460.00	4,800.00	9,460.00	4,800.00	9,460.00
Peso del Suelo humedo	3,950.00	3,902.00	3,920.00	3,902.00	3,852.00	3,902.00	3,852.00	3,902.00	3,878.00	3,902.00	3,878.00	3,902.00
Volumen del Molde (cm ³)	1,894.00				1,894.00				1,894.00			
Peso Vol. Humedo (gr/cc)	2.09	2.06	2.07	2.03	2.05	2.06	2.05	2.06	2.05	2.06	2.05	2.06
% de humedad	6.37	7.24	8.15	9.05	10.22	12.47	10.22	12.47	10.22	12.47	10.22	12.47
Peso Vol. Seco (gr/cc)	1.96	1.92	1.91	1.87	1.86	1.83	1.86	1.83	1.86	1.83	1.86	1.83
Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarro + suelo humedo	86.28	87.10	83.88	83.88	79.95	81.05	88.15	88.15	90.26	90.32	94.99	94.99
Tarro + suelo seco	82.78	83.62	80.20	80.20	76.15	77.01	83.26	83.26	84.60	84.50	87.50	87.50
Peso de Agua	3.50	3.48	3.68	3.68	3.80	4.04	4.89	4.89	5.66	5.82	7.49	7.49
Peso del Tarro	28.42	28.45	29.34	29.34	29.32	27.70	29.22	29.22	29.48	27.28	27.42	27.42
Peso del suelo seco	54.36	55.17	50.86	50.86	46.83	49.31	54.04	54.04	55.12	57.22	60.08	60.08
% humedad	6.44	6.31	7.24	7.24	8.11	8.19	9.05	9.05	10.27	10.17	12.47	12.47
Promedio de Humedad	6.37		7.24		8.15		9.05		10.22		12.47	

PENETRACION C.B.R.										
Penetración (Pulg)	Carga Tipo (Kg/cm ²)	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3		C B R (%)	C B R (%)	
		Carga Ensayo (Kg)	C B R (%)	Carga Ensayo (Kg)	C B R (%)	Carga Ensayo (Kg)	C B R (%)			
		0.025	84.00	4.34	72.00	3.72	54.00			2.79
0.050	162.00	8.37	132.00	6.82	96.00	4.96				
0.075	198.00	10.23	174.00	8.99	120.00	6.20				
0.100	70.30	252.00	13.02	18.52	222.00	11.47	16.32	180.00	9.30	13.23
0.200	105.45	390.00	20.15	19.11	342.00	17.67	16.76	288.00	14.88	14.11

EXPANSION												
Fecha	Tiempo	Hora	Dial	1		2		3		Dial	mm	%
				Expansión		Expansión		Expansión				
				mm	%	mm	%	mm	%			
Mar-21	0.0 hrs	11.00 a.m.	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.000
Mar-21	24.0 hrs	11.00 a.m.	16.00	0.156	0.103	18.00	0.176	0.116	19.00	0.185	0.122	0.122
Mar-21	48.0 hrs	11.00 a.m.	17.00	0.166	0.109	20.00	0.195	0.129	20.00	0.195	0.129	0.129
Mar-21	72.0 hrs	11.00 a.m.	19.00	0.185	0.122	22.00	0.215	0.142	23.00	0.224	0.148	0.148
Mar-21	96.0 hrs	11.00 a.m.	20.00	0.195	0.129	25.00	0.244	0.150	25.00	0.263	0.174	0.174

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas. MSc Ing. Ruben Dario Aranda Leiva INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR

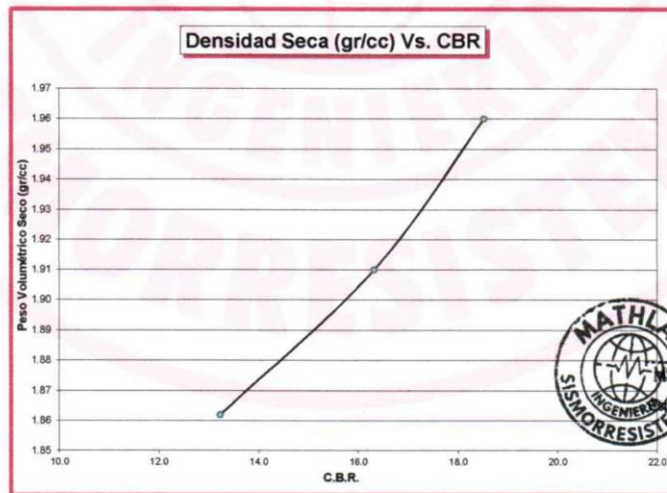
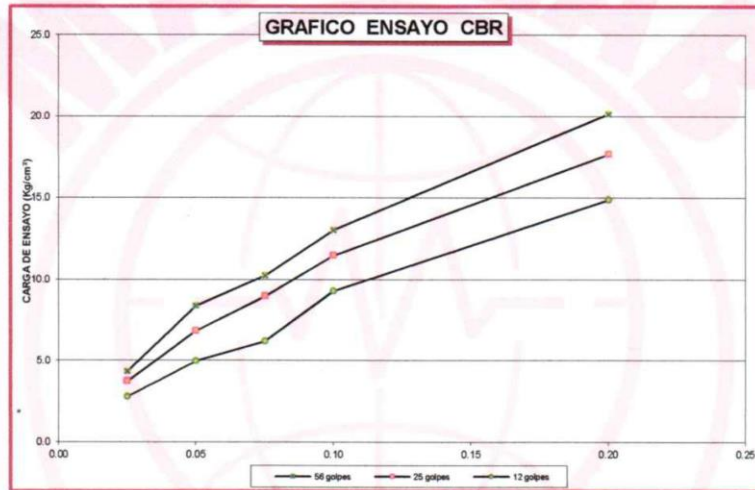
ASTM D1883 - MTC E132

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

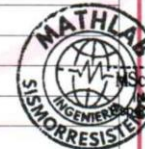
CALICATA : C-01	PROFUNDIDAD : 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 6% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----



Resumen de Resultados	C.B.R. AL 100% P.V.S.M. =	18.52	%
	C.B.R. AL 95% P.V.S.M. =	13.23	%

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



[Signature]
 Ing. Rubén Darío Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - RUC: 010152236
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

LIMITES DE CONSISTENCIA

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO Y LIMITE PLASTICO ASTM D-4318

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

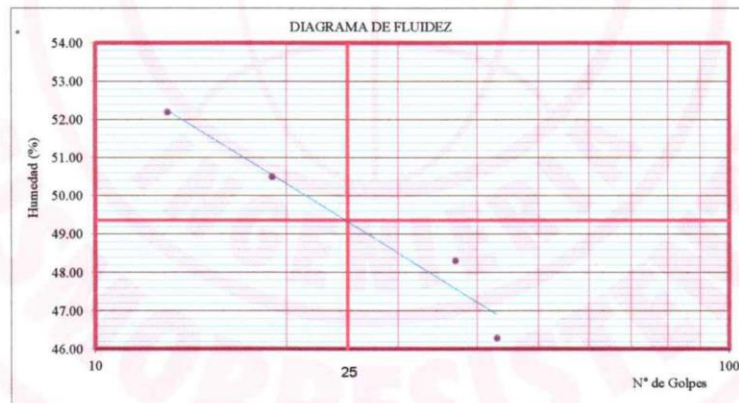
CALICATA : C-01	PROFUND: 1.50 m
MUESTRA : Mab_01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 9% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----

Ensayo	LIMITE LIQUIDO				LIMITE PLASTICO			
	Datos							
Frasco N°								
N. De golpes	13	19	37	43	1	2	3	4
(1) Pfr + P.S.H. (gr)	33.75	33.28	37.15	32.45	20.95	24.94	24.55	25.35
(2) Pfr + P.S.S. (gr)	29.00	28.18	31.30	28.27	20.28	23.87	23.40	23.94
(3) Pagua (gr) (1) - (2)	4.75	5.10	5.85	4.18	0.67	1.07	1.15	1.41
(4) Pfr (gr)	19.90	18.08	19.19	19.24	17.54	19.57	18.80	18.10
(5) P.S.S. (gr) (2) - (4)	9.10	10.10	12.11	9.03	2.74	4.30	4.60	5.84
(6) C. Humedad (%) (3) / (5)	52.20	50.50	48.31	46.29	24.45	24.88	25.00	24.14

Nota: Pfr = Peso del frasco
 P.S.H. = Peso del suelo humedo
 P.S.S. = Peso del suelo seco
 Pagua = Peso del agua

Resumen de Resultados	
Limite Liquido (L.L.) =	49.35
Limite Plastico (L.P.) =	24.62
Indice Plasticidad (I.P.) =	24.73



Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



[Handwritten Signature]

MSc. Ing. Ruben Darío Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

CARACTERISTICAS DE COMPACTACION EN LABORATORIO DEL SUELO USANDO ESFUERZO MODIFICADO ASTM D1557 - MTC E115

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUND: 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 9% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----

Golpes/Capa : 25 N° de Capas : 05 Wmart. : 4,540.0 Wmolde : 3,663.0
Dimens. del molde : ϕ = 10.20 cm. H = 11.45 cm. Volmen : 935.61

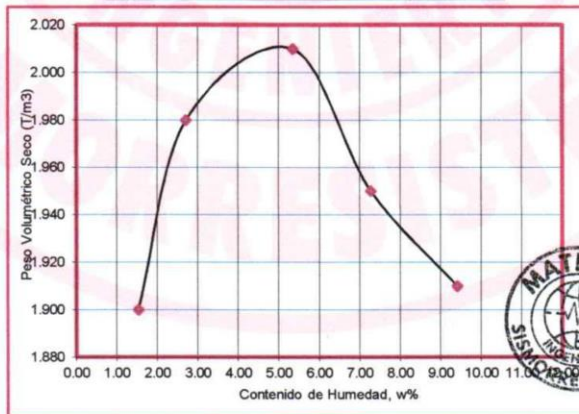
Determinación del Contenido de Humedad:

Recipiente N°	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5					
Wsuelo Húm. + Rec.	63.02	65.25	52.75	47.15	78.51	77.15	47.02	46.42	44.33	49.60
Wsuelo Sec. + Rec.	62.42	64.62	52.08	46.45	75.96	74.23	45.43	44.95	42.48	47.62
Peso del agua	0.60	0.63	0.67	0.70	2.55	2.92	1.59	1.47	1.85	1.98
Peso del Recip.	21.30	25.20	26.20	21.60	26.50	21.35	23.40	24.90	22.60	26.80
Peso suelo seco	41.12	39.42	25.88	24.85	49.46	52.88	22.03	20.05	19.88	20.82
Cont. Hum. W%	1.46	1.60	2.59	2.82	5.16	5.52	7.22	7.33	9.31	9.51

Determinación del Peso Volumétrico:

Cont. Hum. Prom.	1.53	2.70	5.34	7.27	9.41
Wsuelo + molde	5,470.00	5,570.00	5,645.00	5,623.00	5,623.00
Wmolde	3,663.00	3,663.00	3,663.00	3,663.00	3,663.00
Wsuelo	1,807.00	1,907.00	1,982.00	1,960.00	1,960.00
Peso Vol. Húmedo	1.93	2.04	2.12	2.09	2.09
Peso Vol. Seco(T/m3)	1.90	1.98	2.01	1.95	1.91

Resumen de Resultados	
Contenido de Humedad Optimo :	5.34 %
Peso Volumetrico Seco Máximo :	2.01 T/m3



Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939
Especialista en Ensayos y Control de Calidad

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR

ASTM D1883 - MTC E132

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
: BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanacac - Ancash - 2021"

CALICATA	: C-01	PROFUNDIDAD	: 1.50 m
MUESTRA	: Mab .01	FECHA	: 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 9% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----

Molde	1				2				3			
Capas	5				5				5			
Golpes por capa	56				25				12			
Condicion de la muestra	Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada		Sin Mojar		Mojada	
Peso Molde + Suelo hum.	9,014.00	13,454.00	8,710.00	13,492.00	8,592.00	13,511.00						
Peso del molde (gr.)	5,000.00	9,500.00	4,710.00	9,450.00	4,600.00	9,460.00						
Peso del Suelo humedo	4,014.00	3,954.00	4,000.00	4,042.00	3,992.00	4,051.00						
Volumen del Molde (cm ³)	1,894.00				1,894.00				1,894.00			
Peso Vol. Humedo (gr/cc)	2.12	2.09	2.11	2.13	2.11	2.14						
% de humedad	5.40	6.74	7.74	9.08	10.29	13.18						
Peso Vol. Seco (gr/cc)	2.01	1.96	1.96	1.96	1.91	1.89						
Tarro N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tarro + suelo humedo	105.85	104.61	84.48	84.48	82.16	82.15	88.23	88.23	90.39	90.43	95.02	95.02
Tarro + suelo seco	102.45	101.51	81.00	81.00	78.45	78.15	83.32	83.32	84.65	84.60	87.15	87.15
Peso de Agua	3.40	3.10	3.48	3.48	3.71	4.00	4.91	4.91	5.74	5.83	7.87	7.87
Peso del Tarro	40.16	43.51	29.34	29.34	29.32	27.70	29.22	29.22	29.48	27.28	27.42	27.42
Peso de suelo seco	62.29	58.00	51.66	51.66	49.13	50.45	54.10	54.10	55.17	57.32	59.73	59.73
% humedad	5.46	5.34	6.74	6.74	7.55	7.93	9.08	9.08	10.40	10.17	13.18	13.18
Promedio de Humedad	5.40		6.74		7.74		9.08		10.29		13.18	

PENETRACION C.B.R.										
Penetración (Pulg)	Carga Tipo (Kg/cm ²)	MOLDE 1			MOLDE 2			MOLDE 3		
		Carga Ensayo		C B R (%)	Carga Ensayo		C B R (%)	Carga Ensayo		C B R (%)
		(Kg)	(Kg/cm ²)		(Kg)	(Kg/cm ²)		(Kg)	(Kg/cm ²)	
0.025		118.30	6.11		101.40	5.24		76.05	3.93	
0.050		228.15	11.79		185.90	9.60		135.20	6.99	
0.075		278.85	14.41		245.05	12.66		169.00	8.73	
0.100	70.30	354.90	18.34	26.08	312.65	16.15	22.98	253.50	13.10	18.63
0.200	105.45	549.25	28.38	26.91	481.65	24.89	23.60	405.60	20.96	19.87

EXPANSION												
Molde N°	Fecha	Tiempo	Hora	1			2			3		
				Dial	Expansión		Dial	Expansión		Dial	Expansión	
					mm.	%		mm.	%		mm.	%
	Mar-21	0.0 hrs.	12.00 p.m.	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000	0.00	0.000	0.000
	Mar-21	24.0 hrs.	12.00 p.m.	12.00	0.117	0.077	13.00	0.127	0.084	15.00	0.146	0.097
	Mar-21	48.0 hrs.	12.00 p.m.	16.00	0.156	0.103	18.00	0.176	0.116	18.00	0.176	0.116
	Mar-21	72.0 hrs.	12.00 p.m.	18.00	0.176	0.116	19.00	0.185	0.122	20.00	0.195	0.129
	Mar-21	96.0 hrs.	12.00 p.m.	21.00	0.205	0.135	24.00	0.234	0.154	22.00	0.215	0.142

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.

MATHLAB
Ing. Ruben Darío Aranda Leiva
INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 162939
Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Universidad de Posgrado de la UNASAM
Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com



MATHLAB

INGENIERIA SISMORRESISTENTE E.I.R.L.

Servicios en: Ingeniería Estructural, Ingeniería Sismorresistente, Ingeniería Geotécnica, Gestión de Riesgo, Laboratorio Geotécnico, Ensayo de Materiales, Control de Calidad en Obras Civiles, Supervisión de Obras Civiles
 RUC: 20606746050 PROVEEDOR DE BIENES Y SERVICIOS - RNP - OSCE

ENSAYO DE LA RELACION DE SOPORTE DE CALIFORNIA - CBR

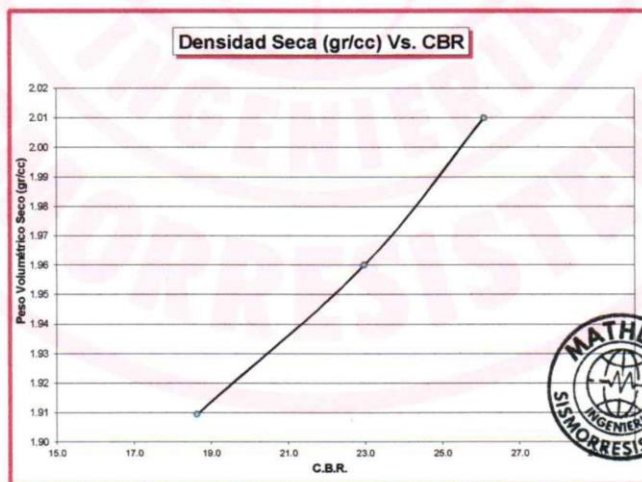
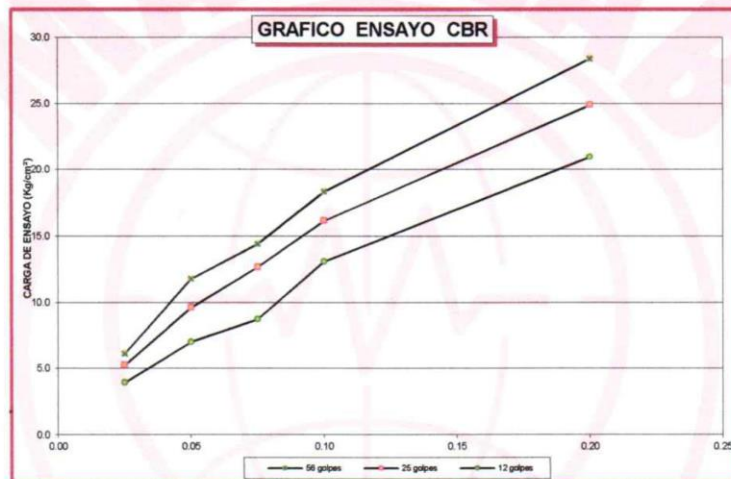
ASTM D1883 - MTC E132

SOLICITA : BACH. VILLACAQUI HENOSTROZA JHONATAN MARINO
 : BACH. HUAYAPA MUÑOZ ANGEL JUNIOR

PROYECTO : "Estabilización de suelos arcillosos adicionando desechos de policloruro de vinilo y cal en el sector vial de Huanchac - Ancash - 2021"

CALICATA : C-01	PROFUNDIDAD : 1.50 m
MUESTRA : Mab .01	FECHA : 04 DE MARZO DEL 2021

CALICATA	Mstra. Patron + Adición del 9% de PVC y 4% de cal.
PROGRESIVA (KM)	-----



Resumen de Resultados	C.B.R. AL 100% P.V.S.M. =	26.08	%
	C.B.R. AL 95% P.V.S.M. =	18.63	%

Nota: La muestra de suelo fue traído por el solicitante, al laboratorio para sus pruebas respectivas.



MSc. Ing. Ruben Dario Aranda Leiva
 INGENIERO CIVIL - Reg. CIP N° 182939
 Especialista en Ensayos y Control de Calidad



Laboratorio y Oficina Principal: Jr. Simón Bolívar N° 1430 - Huaraz, Ref. Antes de la Escuela de Posgrado de la UNASAM
 Sucursal 01: Jr. Francisco Araos N° 123 Of. 102, Barrio Centenario Este - Independencia
 Sucursal 02: Av. Chacra Cerro 137D - Comas - Lima - Lima / Celular: 991 800 796 / Correo: rubenmathlab@gmail.com

Anexo N°6 Ubicación y Planos

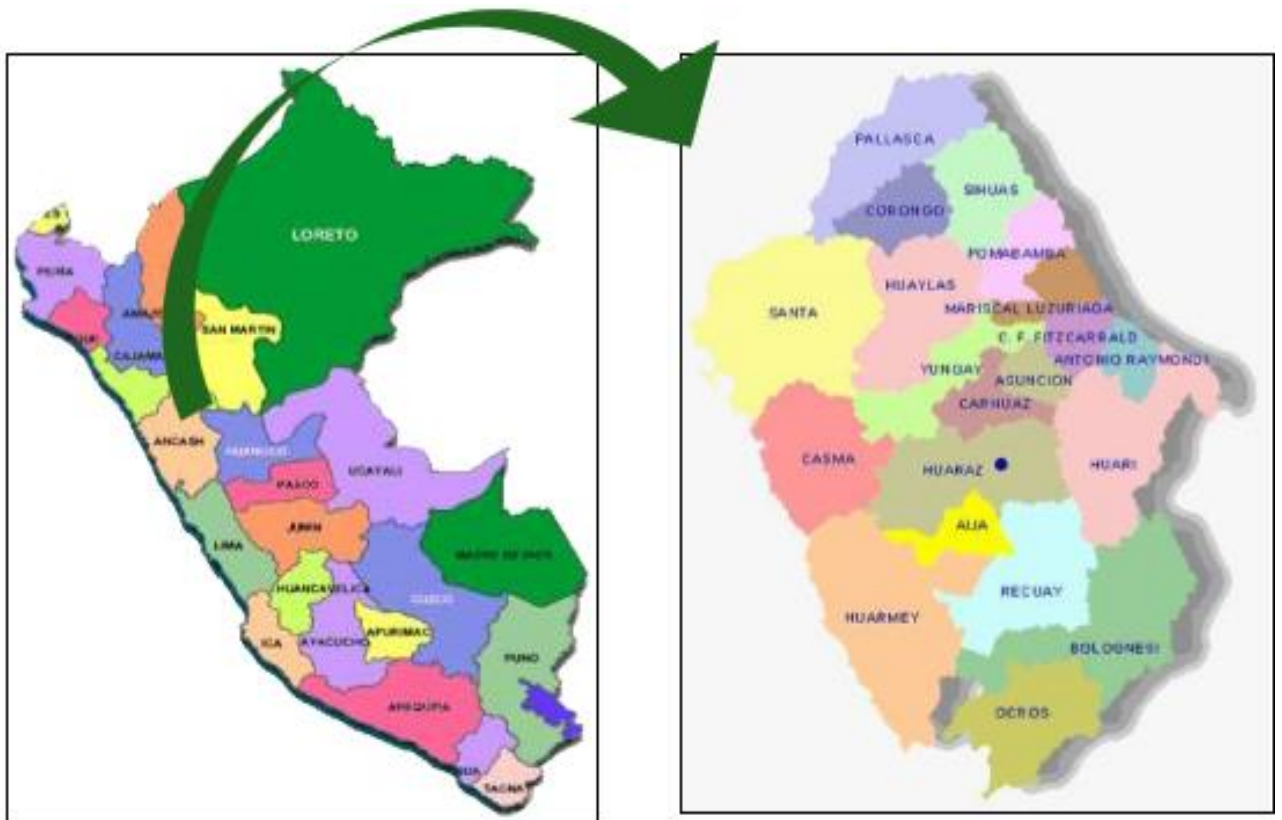
Desde cuando existe o se conoce el problema

El centro poblado de Huanchac fue formada en el año de 1998, desde esa fecha se presentan los problemas de estabilidad por el hecho de que el departamento de Ancash y especialmente el Centro Poblado de Huanchac es una zona de suelos arcillosos, y lo que agrava más aun es que las rutas vehiculares se encuentran ubicadas en zonas propensas a deslizamientos, su topografía es muy accidentada por lo cual podría causar accidentes y hasta muertes.

Este centro poblado, en la actualidad alberga a 350 habitantes y un número promedio de atención a 120 clientes por día, en los diferentes negocios que se pueda presentar; por lo que se hace necesario estudiar y analizar la estabilidad de suelos para determinar la capacidad portante y así mejorarlo mediante la adición de PVC y cal viva para el centro poblado de Huanchac.

UBICACIÓN DEL SITIO DE ESTUDIO

ANCASH EN EL PERÚ



UBICACIÓN GEOGRAFICA DE HUANCHAC

PROVINCIA DE HUARAZ



DISTRITO DE INDEPENDENCIA



COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)
ESTE	NORTE	
222280.00	8947396.00	3,050.00

