



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

**INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y
CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES
GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA
SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA,
EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL
DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE
HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA**

**PRESENTADA POR
EDUARDO MICHEL CARROZZO CHAVARRÍA
DILAN SCOTT SALAZAR MARTINEZ**

ASESOR

**JUAN MANUEL OBLITAS SANTA MARÍA
ERNESTO ANTONIO VILLAR GALLARDO**

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

LIMA – PERÚ

2021



CC BY-NC-SA

Reconocimiento – No comercial – Compartir igual

El autor permite transformar (traducir, adaptar o compilar) a partir de esta obra con fines no comerciales, siempre y cuando se reconozca la autoría y las nuevas creaciones estén bajo una licencia con los mismos términos.

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



USMP
UNIVERSIDAD DE
SAN MARTÍN DE PORRES

FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO
PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE
SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA
CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300
HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN
LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA**

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADA POR

CARROZZO CHAVARRÍA, EDUARDO MICHEL

SALAZAR MARTINEZ, DILAN SCOTT

LIMA - PERÚ

2021

DEDICATORIA

A mi madre María, mi amiga y soporte en este camino y a mi padre Manuel, por darme su apoyo incondicional, y por haberme formado en valores. Muchos de mis logros los he logrado gracias a ustedes. Siempre, me motivaron día con día, para no desistir de mi camino. Los amo mucho.

Carrozzo Chavarría, Eduardo Michel

DEDICATORIA

Desde que nací, e incluso antes, ya buscaban cómo ofrecerme lo mejor. Han trabajado duro, y aun cansados, siempre tenían una sonrisa para mí. El apoyo que me brindaron han formado bases de gran solidez, y soy consciente de ello.

Muchas gracias, mamá y papá.

Salazar Martínez, Dilan Scott

AGRADECIMIENTO

A Dios, por concedernos la dicha de vivir y estar presentes; por bendecirnos para ser personas de bien y ofrecernos familia maravillosa. Agradecer de todo corazón a nuestros formadores, a los docentes, quienes se han esforzado por transmitirnos sus conocimientos y ayudarnos a llegar a esta meta. También reconocer a nuestros familiares y amistades, quienes nos brindaron su apoyo incondicional, a fin de cristalizar nuestros sueños.

Carrozzo Chavarría, Eduardo Michel

Salazar Martínez, Dilan Scott

ÍNDICE

	Página
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
INTRODUCCIÓN	xii
CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
1.1 Situación problemática	1
1.2 Formulación del problema	8
1.3 Objetivos	9
1.4 Justificación e importancia	10
1.5 Limitaciones de estudio	11
1.6 Viabilidad	11
1.7 Impacto potencial	12
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	
2.1 Antecedentes	14
2.2 Bases teóricas	26
2.3 Hipótesis	58
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	
3.1 Diseño	60
3.2 Muestra	63
3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos	67
3.4 Variables	69
CAPÍTULO IV. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	
4.1 Obtención del material a estudiar	71
4.2 Caracterización del material de estudio	72
4.3 Dosificación y mezclado suelo-fibra de polipropileno	79
CAPÍTULO V. RESULTADOS	
5.1 Caracterización de los suelos arcillosos	81
5.2 Curva de compactación Proctor Modificado	84

5.3 Índice de CBR	88
CAPÍTULO VI. DISCUSIÓN	
6.1 Contrastación de hipótesis	93
6.2 Contrastación de antecedentes	96
CONCLUSIONES	101
RECOMENDACIONES	103
FUENTES DE INFORMACIÓN	105
ANEXOS	110

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2-1. Límites de separación de tamaños de suelo	28
Tabla 2-2. Valores de límites de Atterberg para los minerales arcillosos	29
Tabla 2-3. Sistema Unificado de clasificación del suelo	33
Tabla 2-4. Características de las fibras para las necesidades requeridas	41
Tabla 2-5. Relación entre la densidad relativa y el ángulo de fricción en suelos sin cohesión	55
Tabla 3-1. Distribución del volumen de muestra	65
Tabla 3-2. Operacionalización de variables	69
Tabla 4-1. Propiedades físicas y mecánicas de las fibras de polipropileno	71
Tabla 4-2. Ensayos de caracterización del suelo arcilloso	72
Tabla 4-3. Ensayos para determinar las propiedades geotécnicas de las muestras de suelo arcilloso	76
Tabla 5-1. Resultados de la compactación de probetas	85
Tabla 5-2. Resultados de los ensayos CBR con los diferentes porcentajes de fibra	89
Tabla 5-3. Comparativo de las mejoras en el índice de CBR según el porcentaje de fibras y cemento Portland tipo I	90
Tabla 6-1. Categoría de Subrasante	94

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1-1. Carretera Huaral – Acos, Peaje Huataya	2
Figura 1-2. Comunidad de La Florida – Atavillos Bajo	3
Figura 1-3. Asentamiento del suelo arcilloso	4
Figura 1-4. Accidente de tránsito en Pampas, Atavillos Bajo	5
Figura 1-5. Diagrama de Causa – Efecto, Ishikawa	7
Figura 2-1. Variación del asentamiento por consolidación por contenido de fibra (longitud de fibra = 10mm)	15
Figura 2-2. Variación del límite de contracción por longitud y porcentaje de fibra	16
Figura 2-3. Variación del agrietamiento por disecación (a) Muestra no reforzada (b) Muestra reforzada (contenido de fibra 8%, longitud = 10mm)	16
Figura 2-4. Porcentaje de Cemento Portland vs Humedad	23
Figura 2-5. Porcentaje de Cemento Portland vs MDS	23
Figura 2-6. Porcentaje de Cemento Portland vs CBR	23
Figura 2-7. Arcilla Caolinita	30
Figura 2-8. Arcilla Montmorillonita	30
Figura 2-9. Arcilla Illita	31
Figura 2-10. Carta de plasticidad	33
Figura 2-11. Tipos de fibras sintéticas utilizadas para el refuerzo de materiales	39

Figura 2-12. Mecanismos de transferencia de esfuerzos por fricción	43
Figura 2-13. Diagrama esquemático de la interface suelo – fibra	45
Figura 2-14. SEM a) Después de la compactación	46
Figura 2-15. SEM b) Posterior a la prueba de extracción	47
Figura 2-16. Idealización de la relación entre la relación de vacíos y el esfuerzo efectivo para suelos compresibles	49
Figura 2-17. Curvas de compresión correspondientes a diferentes tiempos después de la finalización de la consolidación primaria	50
Figura 2-18. Efecto del incremento de la duración de la carga y la tasa de deformación en las curvas de compresión	50
Figura 2-19. Envolvente de falla de Mohr y criterio de falla de Mohr Coulomb	55
Figura 2-20. Inclinación del plano de falla en el suelo con respecto al plano principal mayor	57
Figura 3-1. Definición de variables	61
Figura 3-2. Diseño Unifactorial de la investigación	61
Figura 3-3. Ubicación de población objetivo	63
Figura 3-4. Centro Poblado La Florida, Atavillos Bajos – Huaral	64
Figura 3-5. Extracción de la muestra de suelo	65
Figura 4-1. Contenido de arcilla que pasa por el tamiz N°4	73
Figura 4-2. Selección de la muestra arcillosa	74
Figura 4 3. Muestra de proctor con adición de fibras al 1% y cemento portland al 3%	78
Figura 5-1. Curva granulométrica obtenida mediante el ensayo por tamizado	81
Figura 5-2. Clasificación SUCS del suelo según la carta de plasticidad de Casagrande	82
Figura 5-3. Relación IP - % cemento Portland Tipo I	83
Figura 5-4. Curva de compactación de la muestra patrón	84
Figura 5-5. Disminución del %W óptimo con los diferentes tipos de muestra	86

Figura 5-6. Aumento de la MDS con los diferentes tipos de muestra	86
Figura 5-7. Gráfico densidad seca – CBR (%)	88
Figura 5-8. Gráfica comparativa de la mejora en el índice de CBR según el porcentaje de fibras y el porcentaje de cemento portland tipo I	89

RESUMEN

En la actualidad, los suelos arcillosos son motivo de estudio por sus peculiares y únicas propiedades geotécnicas que resultan perjudiciales cuando se desea ejecutar un proyecto de Ingeniería Civil. El objetivo de la investigación fue establecer la influencia de la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carrera Pampas, La Florida, Huaral, Lima. La metodología de esta investigación presenta un nivel de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, con un diseño cuantitativo explicativo, que permite describir y comparar las variables brindando resultados numéricos para propósitos prácticos e inmediatos. En la experimentación, se realizaron pruebas de caracterización de las muestras de suelos, obteniéndose que el suelo en cuestión es un suelo arcilloso de baja plasticidad (CL). Se realizaron pruebas mecánicas como la de Proctor Modificado para la obtención de la humedad óptima y la densidad máxima seca, ello con la finalidad de emplear parámetros para el programa experimental. Además, se aplicaron pruebas de CBR al 95% y 100%, en distintas combinaciones porcentuales de cemento Portland Tipo I y fibras de polipropileno. Se emplearon fibras de 20 mm bajo los porcentajes de fibra de 0.5%, 0.75%, 1.0% y 1.5% y porcentaje de cemento Portland Tipo I en 3% y 5%. Como resultados, se evidenció una disminución variable en el índice de plasticidad, de hasta un 33% con la adición de cemento portland tipo I. Por otra parte, la adición de fibras de polipropileno en conjunto del cemento portland tipo I influenció de manera positiva en la mejora de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos, con ello se incrementaron los índices de CBR con un porcentaje del 21% hasta el 237.29%.

Palabras clave: mejoramiento de suelos, fibro reforzamiento, fibras de polipropileno, cemento Portland Tipo I, capacidad portante.

ABSTRACT

In actuality, clay soils are the subject of study due to their peculiar and unique geotechnical properties that are detrimental when you want to carry out a Civil Engineering project. The objective of the research was to establish the influence of the addition of polypropylene fibers and type I portland cement in the improvement of the geotechnical properties of the clay soil of the subgrade of the Pampas race, La Florida, Huaral, Lima. The methodology of this research presents a level of quantitative approach, of an applied type, with an explanatory quantitative design, which allows describing and comparing the variables, providing numerical results for practical and immediate purposes. In the experimentation, the characterization of the soil samples was carried out, obtaining that the soil in question is a clay soil with low plasticity (CL). Mechanical tests such as Modified Proctor were carried out to obtain optimum humidity and maximum dry density, with the purpose of using parameters for the experimental program. In addition, 95% and 100% CBR tests were applied, on different percentage combinations of Type I Portland cement and polypropylene fibers. Fibers of 20 mm were used under the percentages of fiber of 0.5%, 0.75%, 1.0% and 1.5% and percentage of Portland cement Type I in 3% and 5%. As results, a variable decrease in the plasticity index was evidenced, of up to 33% with the addition of type I portland cement. On the other hand, the addition of polypropylene fibers in the type I portland cement as a whole had a positive influence in the improvement of the geotechnical properties of clay soils, thereby increasing the CBR indices with a percentage from 21% to 237.29%.

Keywords: soil improvement, fiber reinforcement, polypropylene fibers, Portland cement Type I, bearing capacity.

INTRODUCCIÓN

Los suelos arcillosos por sus características inherentes como su baja capacidad portante, su variación volumétrica, entre otras, tornan en problemas sus usos dentro del rubro de la construcción civil, pues al ser sensibles a la humedad y al recibir cargas sobre la superficie generan asentamientos de las edificaciones apoyadas en él. Es por ello que, durante décadas, se vienen buscando alternativas de mejoramiento tanto químico como mecánico de estos suelos para otorgarle propiedades que en su estado natural no tendrían.

En los últimos años, una de las metodologías de mejoramiento ha ido adquiriendo relevancia, es la aplicación de fibras a la matriz del suelo. Estas fibras van a actuar como refuerzo permitiendo la adherencia de estas a la matriz del suelo, reduciendo la variación volumétrica y con ello aumentando la resistencia al corte.

Los suelos cumplen un papel importante en toda ejecución de la construcción de la ingeniería civil, sin embargo, no todos los suelos presentan las mejores propiedades que facilitan los trabajos de construcción, unos mejores que otros. Por naturaleza y característica propia de cada suelo, unos son más resistentes que otros, algunos sufren deformaciones y otros se desgastan al pasar los años.

Los suelos arcillosos por sus características inherentes como su baja capacidad portante, su variación volumétrica entre otras, tornan problemáticos sus usos dentro del rubro de la construcción civil, pues al ser sensibles a la humedad y al recibir cargas sobre la superficie generan asentamientos de las edificaciones apoyadas en él. Es por ello por lo que, durante décadas, se vienen buscando alternativas de mejoramiento tanto químico como mecánico de estos suelos para otorgarle propiedades que en su estado natural no tendrían. En los últimos años

una de las metodologías de mejoramiento ha ido adquiriendo relevancia, es la aplicación de fibras a la matriz del suelo. Estas fibras van a actuar como refuerzo permitiendo la adherencia de estas a la matriz del suelo, reduciendo la variación volumétrica y con ello aumentando la resistencia al corte.

Teniendo conocimiento de lo anterior, la presente investigación está dirigida a mejorar las propiedades geotécnicas de un suelo arcilloso de una subrasante, mediante un proceso de adición de dos componentes a su material inicial, con fines de aumentar su estabilización y mejoramiento.

Como objetivo general de esta investigación tenemos en establecer la influencia de la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I para la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas – La Florida, Huaral.

Los objetivos específicos de esta investigación son establecer las medidas del índice de plasticidad con la adición de cemento, determinar el índice de CBR, así como la capacidad portante y el porcentaje de hinchamiento a través de las proporciones de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I, además determinar el diseño del paquete estructural del pavimento con el mejoramiento del índice de CBR, en la subrasante de la carretera Pampas – La Florida, Huaral.

Para el desarrollo de esta investigación inicialmente se realizaron encuestas dirigidas a expertos y especialistas en el dominio de suelos y carreteras, con una amplia experiencia en conocimientos teóricos y prácticas en la rama, para ello se realizaron un total de 10 encuestas que consistían en 6 preguntas claves para obtener un mejor procedimiento y eficacia de la investigación.

Esta investigación es muy importante, ya que nos permitirá coadyuvar a una mejor calidad de vida de los habitantes a través del mejoramiento de la subrasante arcillosa de la vía terrestre que conecta el centro poblado San Salvador de Pampas con el centro poblado de La Florida, ambos localizados en el distrito de Atavillos Bajo, provincia de Huaral, departamento Lima.

La presente investigación está estructurada en seis (6) capítulos. En el primero, se describe la realidad problemática, la formulación del problema general

y específicos; objetivo general y específicos, justificación de la investigación, importancia viabilidad, alcance y limitaciones. En el segundo, se presentan los antecedentes internacionales y nacionales, bases teóricas, desglose de definiciones técnicas; hipótesis general y específicas. En el tercero, se desarrolla el diseño de la investigación, tipo, nivel y diseño, así como la población muestral de estudio; el procedimiento de la investigación y las técnicas de procesamiento de recolección de datos y la identificación, clasificación de las variables de esta investigación. En el cuarto, se explica sobre la muestra y la caracterización de la muestra, clasificación de las mezclas. En el quinto, se reportan los resultados de la investigación, de cada ensayo que se realizaron en cada muestra caracterizada. Y en el sexto capítulo, se exponen las discusiones de los resultados obtenidos, contrastación de la hipótesis general y específicas.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Situación problemática

Uno de los materiales esenciales, en una construcción, es el suelo, pues es en el dónde se apoyan las diferentes estructuras como puentes, canales, carreteras, entre otras. Cabe mencionar, que el suelo es empleado como material de relleno de terraplenes viales, muros de suelo reforzado, rellenos para adecuación de terreno ya sea en relieves o pendientes. Al ser el suelo un material determinante al momento de construir, es necesario estudiarlo previamente considerando las necesidades de uso y las características que debe tener para poder ejecutar un proyecto de construcción civil.

Una de las aplicaciones muy frecuentes del uso de los suelos, es en la disposición del paquete estructural de una carretera, como la conformación de subrasante, para el cual la calidad de suelo existente es uno de los factores que no debemos dejar pasar, ya que con el fin de obtener una subrasante con buena capacidad portante que permita resistir y ser duradera frente a las cargas generadas por el tráfico que esta soportará y a las condiciones ambientales a las que estará expuesto. Lo mencionado toma gran relevancia, ya que el paquete estructural de un pavimento está relacionado de manera directa con el comportamiento de la subrasante (Velásquez, 2018).

Unos de estos tipos de suelos son los suelos arcillosos, que se caracterizan por ser inestables en presencia de humedad. Ello significa que los suelos arcillosos tienden a desmoronarse debido a la presencia de materiales

susceptibles a la presencia de líquidos, especialmente agua. El comportamiento las arcillas dependen de su tipología que se determina mediante la clasificación del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), la clasificación mediante la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) o por medio del tipo de minerales que posee (Caolinita, Illita, etc.).

En el Perú, como lo detalla el Centro de Comercio Exterior (CCEX) de la Cámara de Comercio solo el 16% de la red vial esta pavimentada (con una gran extensión de 15,496 km) y el 84 % se encuentra en estado de afirmado o de trocha (con una prolongada extensión de 80,367 km). (“Revista Perú Construye”, 2018).

Referente al nivel provincial, la provincia de Huaral cuenta con 12 distritos, siendo nueve distritos pertenecientes a la parte media y alta de Huaral, presenta una red vial pavimentada desde el distrito de Huaral hasta el distrito de San Miguel de Acos (ver Figura 1-1).



Figura 1-1. Carretera Huaral – Acos, Peaje Huataya

Fuente: (OSITRAN, 2017)

Por otra parte, dejan de lado las carreteras que unen el resto de los distritos y comunidades, esto incluye al distrito de Atavillos Bajo; camino de acceso a la comunidad de La Florida (ver Figura 1-2), a causa de esto, genera un retraso en la economía de la provincia y adicional a esto, las vías en mal estado exponen en riesgo la seguridad y la vida de quienes lo habitan, así como también los visitantes y turistas, quienes concurren a la comunidad para conocer las ruinas de Rupac.



Figura 1-2. Comunidad de La Florida – Atavillos Bajo

Elaboración: los autores (2021)

Por otro lado, al momento de construir una carretera se debe tomar en cuenta los diferentes factores geotécnicos que pueden interferir, tal es el caso de la estabilidad volumétrica, pues es uno de los factores más relevantes a considerar, ya que tanto el suelo y el agua están estrechamente vinculados.

La ausencia de agua dentro de la estructura del suelo cuando este se encuentre en estado seco, o el exceso del agua hasta la saturación de la muestra influyen sobre el peso del suelo, pues alteran la resistencia del suelo y varía su volumen. Al inducir la dirección de agua sobre el suelo fino saturado, este por la aplicación de cargas se deforma y las estructuras que se encuentran apoyadas

en él sufren asentamientos como se pueden observar en la Figura 1-3. (Duque & Escobar, 2016).



Figura 1-3. Asentamiento del suelo arcilloso

Elaboración: los autores (2021)

Los cambios de volumen en los suelos son importantes porque ellos pueden determinar los asentamientos causados debido a la compresión y contribuyen a las deformaciones causadas por esfuerzos cortantes. Los cambios en el volumen modifican las propiedades de resistencia y deformación que, a su vez, influyen en la estabilidad de suelos. Los cambios de volumen son inducidos por cambios en tensiones aplicadas, ambientes químicos, de humedad, y temperatura.

Por otro lado, el estudio de diferentes variables del comportamiento geotécnico de los suelos como la resistencia al corte, capacidad portante, hinchazón o consolidación y el ángulo de reposo se encuentran en función del tipo de suelo, que en algunos casos tiende a ser desfavorable dependiendo de la ubicación y factores climáticos de la zona de estudio. Del mismo modo, las propiedades físicas de las arcillas como el índice de plasticidad y de contracción se encuentran supeditadas al tipo de minerales arcillosos presentes los suelos de estudio.

En el distrito de Atavillos Bajo predominan suelos de roca sedimentaria, conglomerados, arcillas y areniscas y depósitos aluviales compuestos por arcillas, limos, arenas y gravas. Que se caracterizan por su baja capacidad portante, y que ante situaciones de saturación de suelos desencadena problemas de asentamientos y en algunos casos desprendimientos de masa de tierra. Es por ello que las vías de comunicación que conforman este distrito presentan en su mayoría subrasantes arcillosas, las mismas que se consideran un problema en las estructuras de los pavimentos, del cual es un problema fundamental que al no solucionarse podría generarse una inestabilidad de la carretera arcillosa, por consecuente habrían fallas, asentamientos, deslizamientos del suelo, además de accidentes de tránsito como se puede ver Figura 1-4, un accidente que cobró vidas de 6 personas que iban rumbo a las ruinas de Rupac.



Figura 1-4. Accidente de tránsito en Pampas, Atavillos Bajo

Fuente: Huaralaldía, (2019)

Las características de los suelos arcillosos no son consideradas convenientes para la construcción de edificaciones, por lo que los profesionales buscan constantemente hacer un mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos expansibles con el fin de mejorar su capacidad de carga, su resistencia al corte y sus propiedades físicas. Es por ello, que la adición de materias químicas como cemento, cenizas volantes, cal o una combinación de

estos a menudo favorecen sus propiedades geotécnicas de estos suelos. El uso de aditivos de cal ha demostrado tener un gran potencial como método económico para el mejoramiento geotécnicos de los suelos arcillosos.

De la misma manera, la estabilización con cemento es una de las técnicas que se viene empelando para la construcción de carreteras. Según sostiene (Braja, 2013), el cemento permite disminuir y a su vez mejorar los índices del límite líquido y de plasticidad respectivamente y además obtener una mejor trabajabilidad de los suelos arcillosos, así mismo permite aumentar la resistencia de estos.

Por otro lado, con el avance de los años se ha venido desarrollando e implementando diferentes tecnologías para estabilizar suelos mediante la colocación de materiales de refuerzo que permitan mejorar las propiedades geotécnicas del mismo. Cabe recalcar que el refuerzo tiene como principal objetivo analizar y ver las mejoras del comportamiento mecánico del suelo cuando se utilicen en obras geotécnicas donde este material se compacta bajo determinadas especificaciones técnicas.

Según menciona (Braja, 2013) el concepto de refuerzo de tierra fue desarrollado por primera vez por (Vidal, 1969), quien demostró que, al introducir elementos de refuerzo en el suelo, se logra aumentar la resistencia al corte.

Cabe mencionar que las fibras de polipropileno son derivados del plástico y están compuestas de fibras dispersas. El polipropileno se emplea como refuerzo debido a que es un componente plástico con menor peso específico y además logra alcanzar un mejor balance rigidez/impacto, también presenta una mejor estabilidad dimensional a altas temperaturas y sirve como una barrera al vapor de agua. (Tex Delta, 2019).

En la actualidad, existen pocos estudios que profundicen en la interacción fibra-suelo arcilloso y la adición de cemento portland tipo I como técnicas de mejoramiento de los suelos arcillosos que permitan mejorar su capacidad portante y la estabilización del mismo.

Es por ello que nos basamos en los comentarios de expertos, a través de encuestas con preguntas selectivas, con el fin de indagar y reforzar más esta investigación, partiendo de lo más general a lo más específico, así mismo darnos la idea de plantear correctamente nuestros objetivos. Para aquello estructuramos un diagrama de Ishikawa (ver Figura 1-5), que nos permitió identificar los problemas causales que se originan en la medición, maquinaria, mano de obra, medio ambiente, materia prima y el método de esta investigación, para poder llegar al efecto que causan estos problemas, y con ello identificar nuestro problema principal.

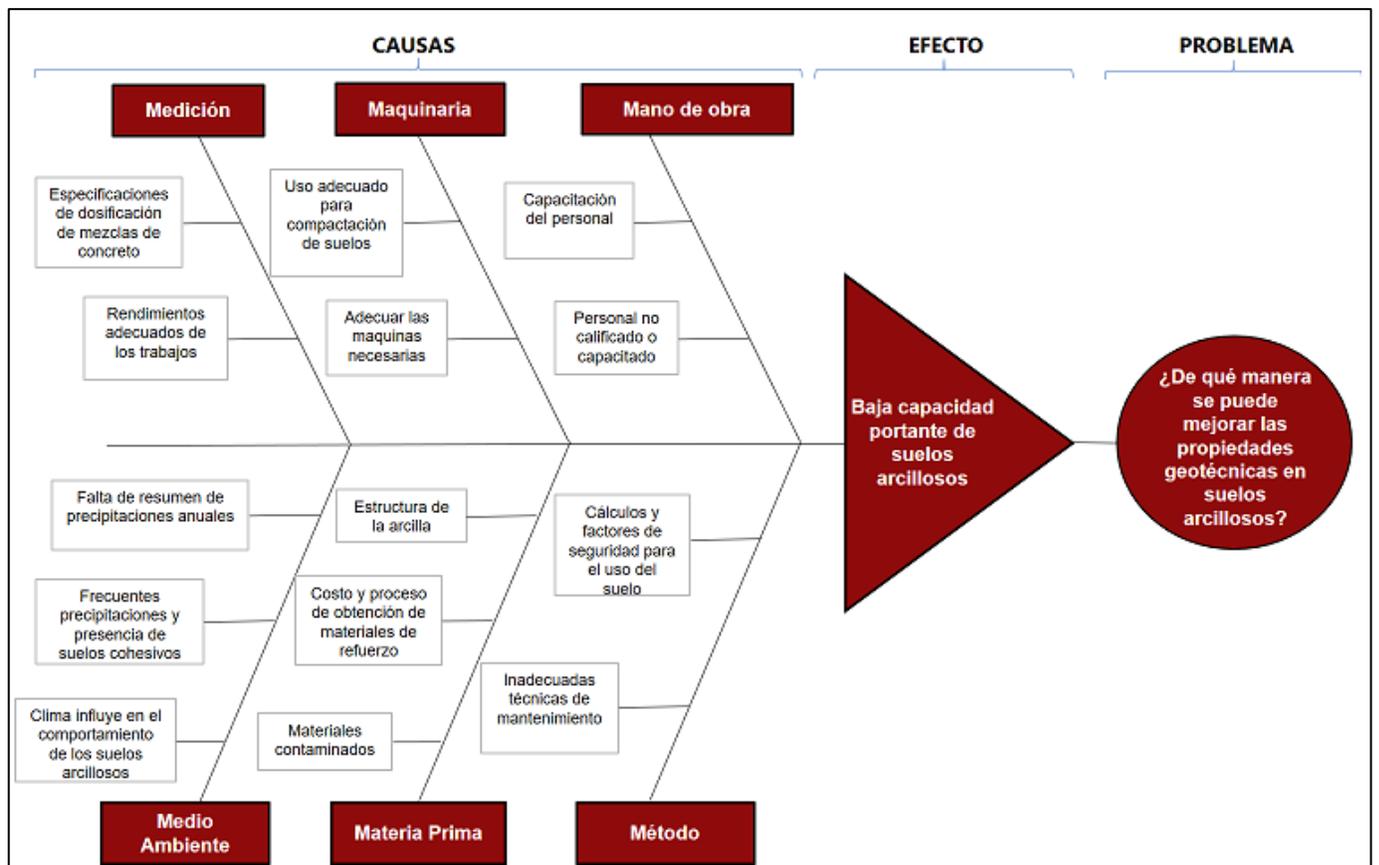


Figura 1-5. Diagrama de Causa – Efecto, Ishikawa

Elaboración: los autores (2021)

La presente investigación busca mitigar los problemas causados por los suelos arcillosos en la construcción de carretera, centrándose en mejorar las propiedades geotécnicas de la subrasante, con el proceso de añadir fibras de

polipropileno y cemento portland tipo I. Ello con la finalidad de crear un refuerzo entre el suelo y las fibras que reduzcan los cambios volumétricos del suelo y con ello permita reforzar las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos. Y de esta manera presentar una alternativa de mejoramiento de suelos arcillosos.

Así, ante lo anteriormente expuesto, la pregunta principal que orienta esta investigación es: *¿Cuál es el efecto de la influencia que genera la adición de fibras de polipropileno y cemento portland I para el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la carretera Pampas – La Florida?*

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Problema general:

¿De qué manera la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I influye en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, Huaral, Lima?

1.2.2 Problemas específicos:

- ¿Cómo se determinará el índice de plasticidad con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida?
- ¿Cómo se determinará el índice de CBR con la adición de las fibras de polipropileno y el cemento portland tipo I en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida?
- ¿En qué medida la capacidad portante y el porcentaje de hinchamiento cambia con la longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I en el

mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida?

- ¿En qué manera el diseño del paquete estructural del pavimento cambia con el mejoramiento del índice de CBR de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida?

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Establecer la influencia de la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, Huaral, Lima.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Determinar el índice de plasticidad con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida.
- Determinar el índice de CBR con la añadidura de las fibras de polipropileno y el cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida.
- Determinar la capacidad portante y el porcentaje de hinchamiento con la longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida.
- Determinar el diseño del paquete estructural del pavimento con el mejoramiento del índice de CBR de las propiedades

geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida.

1.4 Justificación e importancia

Los suelos arcillosos se catalogan como uno de los materiales más inestables al momento de realizar obras de construcción civil, debido a los problemas que pueden generar. Estos suelos pueden provocar asentamientos en las edificaciones como puentes, viviendas o carreteras en lo referente a seguridad de las pendientes y subrasantes, ya que poseen baja resistencia al corte, una alta plasticidad por ende deformaciones, afectando así las estructuras de las obras y vida útil de las mismas. Por ello se vuelve imperativo buscar nuevos mecanismos de mejoramiento de suelos arcillosos.

La subrasante forma parte de la estructura vial que padece la composición pavimentada y se expande sobre una altitud determinada para que no impacte la carga de diseño del tránsito predicho. Es por ello, que al ser la subrasante parte fundamental del paquete estructural es importante que cumpla con las condiciones de resistencia solicitadas para poder soportar las cargas a las que estará expuesto. Al presentarse suelos arcillosos en las zonas de ejecución de carreteras, estos representan uno de los principales problemas.

La presente investigación buscar coadyuvar la calidad de vida de la población mediante el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de la subrasante arcillosa de la vía terrestre que conecta el centro poblado San Salvador de Pampas con el centro poblado de La Florida, ubicado en la provincia de Huaral, distrito de Atavillos Bajo.

Cabe mencionar que la importancia de este estudio también pretende generar información que aporte a las obras de arte como carreteras, terraplenes u otros. Los resultados de la experimentación que se realice pueden ser usadas para indagar sobre nuevas muestras de opciones en volúmenes, mezclas y patrón de fibras derivada de diferentes materiales que se puedan usar para el mejoramiento de los suelos arcillosos, teniendo en cuenta la relación costo-beneficio. Así mismo, buscar porcentajes idóneos de cemento o derivados para lograr las mejoras en los suelos arcillosos.

1.5 Limitaciones de estudio

La presente investigación tiene como finalidad mejorar las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso que se compone en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, ubicado en el centro poblado La Florida perteneciente al distrito de Atavillos Bajo en Huaral., mediante la utilización de nuevas tecnologías como fibras de polipropileno y cemento portland tipo I.

Se puede detallar que la zona en mención actualmente se encuentra en estado de trocha carrozable y dificulta el adecuado transporte de los pobladores hacia la ciudad.

Las limitaciones que presentan son: la escasa información sobre la carretera por parte de la municipalidad del distrito de Atavillos Bajo, así mismo, las visitas constantes al lugar de estudio debido a la distancia entre las regiones de Lima – Huaral que por precaución al Covid-19, el ingreso a la carretera se deberá permitir mediante pases otorgados por la comunidad de la localidad.

1.6 Viabilidad

La presente investigación se considera viable debido a la facilidad de acceder al lugar de la obtención del suelo arcilloso, la muestra se extrae de la subrasante de la carretera Pampas, La Florida ubicado en la ciudad La Florida perteneciente al distrito de Atavillos Bajo, en la provincia de Huaral.

1.6.1 Viabilidad técnica

Referente a la viabilidad técnica se cuenta con el alcance de información de calidad y pertinente de fuentes confiables para el progreso de la presente investigación. Así mismo, para la realización de los ensayos también se cuentan con normas reguladas por el Ministerio de transporte y Comunicaciones (MTC), las normas de la ASTM (American Society for Testing and Materials), y el Manual de Carreteras. Para llevar a cabo la experimentación se cuenta con la disponibilidad del laboratorio de materiales de la empresa Hol Perú Consultores EIRL, del cual es una empresa contratada.

1.6.2 Viabilidad social

No existen impactos socio/ambientales negativos al realizar calicatas en la carretera Pampas - La Florida, Huaral - Lima.

1.6.3 Viabilidad económica

En relación con los recursos financieros llevar a cabo la investigación resulta viable, debido que para la realización del proyecto se cuenta con un presupuesto destinado para los gastos en materiales y transporte del material arcilloso, así como también a los gastos de cada ensayo en el laboratorio contratado. Cabe recalcar que la presente investigación será financiada por los autores.

1.7 Impacto potencial

1.7.1 Impacto potencial teórico

La presente investigación realiza un estudio de la mejora de los suelos arcillosos, que, hasta la actualidad, se han venido desarrollando nuevas tecnologías con el fin de mejorar las propiedades geotécnicas de suelos cohesivos, tal es el caso de la añadidura de cal, o cenizas a la matriz de suelo. Sin embargo, hoy en día las técnicas de mejoramiento han ido mejorando, como es el caso de la añadidura de fibras y cementos a los suelos arcillosos o también llamados fibro reforzados o suelo-cemento respectivamente. Las fibras funcionan como refuerzo para lograr la estabilidad de los suelos arcillosos, debido a que estas permitirán aumentar su capacidad de carga y al adicionar cemento a la matriz de suelo permite mejorar su índice de plasticidad y de contracción y con ello se logrará reducir los asentamientos que puedan sufrir las conformaciones de subrasantes en suelos arcillosos.

Por otro lado, la añadidura de cemento a la subrasante arcillosa se logra mejorar la manejabilidad de estos suelos, así mismo favorece con el aumento de la resistencia de los suelos que se incrementa con la duración de curado (Braja, 2013), obteniendo como resultado un mejoramiento de las propiedades físicas del mismo.

Por ello esta investigación ayudará al lector, a comprender mejor la importancia que genera influenciar refuerzos a los suelos arcillosos mediante fibras de polipropileno y cemento portland en porcentajes óptimos.

1.7.2 Impacto potencial práctico

La presente investigación servirá para poder lidiar con los problemas que acarrear los suelos arcillosos, así mismo, plantear recomendaciones que permitan al investigador preparar nuevas muestras con otros porcentajes de fibras y cemento.

Es importante recalcar que, con la añadidura de fibras a los suelos expansibles, se mejoran sus diferentes propiedades geotécnicas, que en su estado natural los suelos no tendrían. Las fibras al ser adicionadas aleatoriamente en el suelo incrementan la resistencia al corte del mismo, lo cual permite asegurar la estabilidad de las carreteras.

Dentro de las ventajas que ofrecen la añadidura de fibras al mejoramiento de suelos son las siguientes:

- Las fibras permiten realizar la compactación siguiendo los métodos tradicionales sin riesgo de afectar el refuerzo.
- Al ser agregadas las fibras en la masa del suelo estas no serán influenciadas por las condiciones climáticas del lugar.
- Las fibras se pueden emplear para reparar las fallas de taludes, ya que no requieren anclajes y minimizan la necesidad de excavaciones

Finalmente, con el presente estudio se generan nuevas fuentes de conocimientos y conceptos que permitirán fomentar la investigación relacionado al uso de las fibras de polipropileno y al uso del cemento portland tipo I para mejorar los suelos arcillosos. Así mismo, desarrollar una investigación donde se obtenga nuevos resultados que pueden formar parte de los antecedentes de estudios posteriores.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes

2.1.1 Antecedentes Internacionales

(Mahmood, Ali & Mohammad, 2018), en el artículo titulado “*Effects of Random Fiber Inclusion on Consolidation, Hydraulic Conductivity, Swelling, Shrinkage Limit and Desiccation Cracking of Clays*” realizada en Irán, tuvieron como objetivo determinar la influencia en los aspectos mencionados de la inclusión aleatoria de fibras de polipropileno del muestreo de suelo que varía bajo la influencia de partículas de agua.

En su investigación como hipótesis tuvieron que la inclusión de fibras de polipropileno influye en la consolidación, conductividad hidráulica, hinchazón, límite de contracción y agrietamiento en arcillas, optado por el método inductivo – deductivo, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica ya existente. Tuvieron como técnicas y los instrumentos de procesamiento de datos como el análisis documental y la observación directa, que les permitió la recopilación de datos. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional, debido a que las selecciones de las muestras no estaban sujetas a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

El estudio demostró que existe un contenido máximo de fibra y longitud que se puede utilizar para reforzar la muestra las cuales son 8% y 15mm respectivamente. La adición de las fibras de polipropileno resultó en una

disminución del asentamiento por consolidación del suelo arcilloso, se resalta que la longitud de las fibras tuvo nulo impacto en esta característica mientras que el porcentaje fue más influyente para obtener el resultado (Ver Figura 2-1).

La inclusión de fibras de polipropileno disminuyó la hinchazón de la muestra luego de la descarga, se determinó que el porcentaje es más influyente que la longitud de fibra. El límite de contracción del suelo arcilloso reforzado con fibras se incrementó significativamente como resultado del aumento del contenido y la longitud de las fibras (Ver Figura 2-2).

Finalmente, el uso de fibras de polipropileno disminuyó significativamente la extensión y distribución de las grietas debido a desecación (Ver Figura 2-3).

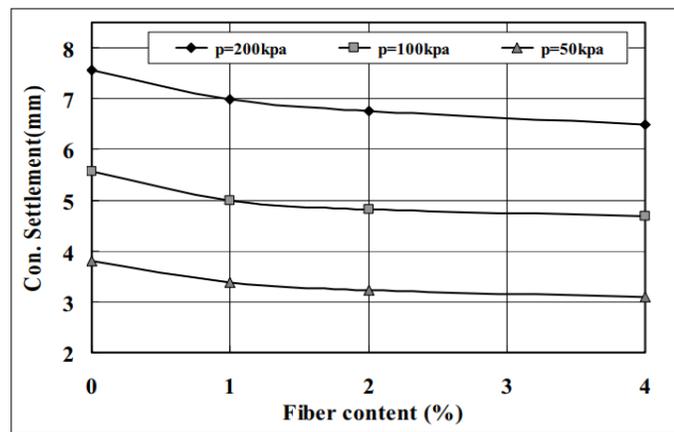


Figura 2-1. Variación del asentamiento por consolidación por contenido de fibra (longitud de fibra = 10mm)

Fuente: (Mahmood, Ali & Mohammad, 2018)

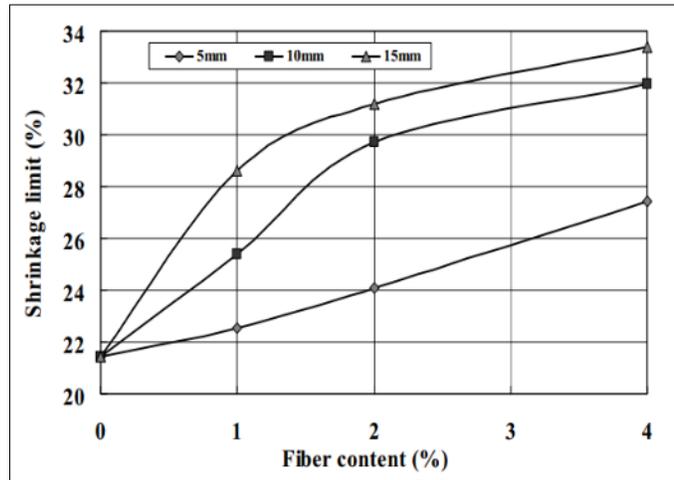


Figura 2-2. Variación del límite de contracción por longitud y porcentaje de fibra

Fuente: (Mahmood, Ali & Mohammad, 2018)

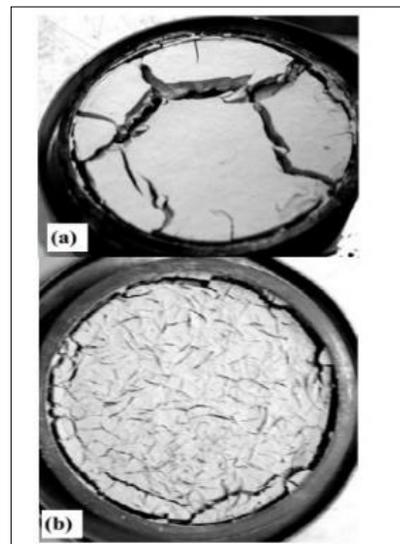


Figura 2-3. Variación del agrietamiento por disecación (a) Muestra no reforzada (b) Muestra reforzada (contenido de fibra 8%, longitud 10mm)

Fuente: (Mahmood, Ali & Mohammad, 2018)

Chamarthy, R. (2019), en la revista internacional de Ingeniería “*The Effect of Polypropylene Fiber in the Stabilization of Expansive Soils*” realizada en la India, cuyo objetivo fue determinar la influencia de las fibras de polipropileno en suelos expansivos por el motivo de que son muy difíciles de trabajar por su baja resistencia al corte y alta compresibilidad.

En la investigación se plantearon la hipótesis de que la añadidura de fibras de polipropileno mejora la baja resistencia al corte y la alta plasticidad, mediante la metodología inductivo – deductivo, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica ya existente. Procesaron y realizaron técnicas de análisis documental, la observación directa y empleo de la norma ASTM, que les permitió visualizar, seleccionar y recopilar datos de acuerdo al problema que estudiaron. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional, debido a que las selecciones de las muestras no estaban sujetas a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

Como resultados finales se detallaron que la resistencia no limitada aumentó de 202 MPa a 285 MPa para muestras de suelo reforzado con 1% de fibra de polipropileno, además la muestra reforzada exhibe más comportamiento dúctil que el suelo no reforzado. Otro gran cambio se dio en la reducción del hinchamiento del suelo que paso de 11.6% a 5.3% con la añadidura de 1% de fibra.

Malekzadeh, M. & Bilsel, H (2018), en la revista titulada por “*Swell and compressibility of fiber reinforced expansive soils*” realizada en Turquía, que con la finalidad de plantearse en determinar las causas de la fibra de polipropileno en la mejora de las propiedades geotécnicas de una muestra de arcilla obtenida de un depósito de arcilla expansiva.

En la investigación, se planteó la hipótesis de que la añadidura de fibras de polipropileno mejorará las propiedades geotécnicas en arcillas

expansivas. Mediante la metodología inductivo – deductivo, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica ya existente.

Se procesaron y realizaron técnicas de análisis documental y la observación directa, que les permitió visualizar, seleccionar y recopilar datos de acuerdo con el problema que estudiaron. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional, debido a que las selecciones de las muestras no estaban sujetas a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

El estudio demostró que la expansibilidad aumentó considerablemente con el aumento de añadidura de fibras (0.5 y 0.75%), sin embargo, al 1% de fibra se vio una reducción marcada del porcentaje de expansibilidad. Los mismos resultados son observados en el índice de compresibilidad. La conductividad hidráulica muestra otro comportamiento errático, aumentando con 0.75% de fibra mientras que con 1% se produce una reducción en hasta tres veces su valor. Al final concluye que existe potencial al usar las fibras para el reforzamiento de suelos expansivos, sin embargo, se requieren investigaciones adicionales para fundamentar estas conclusiones.

Prabakar, J. & Sridhar, R. (2016), en el artículo titulado *“Effect of random inclusion of sisal fibre on strength behaviour of soil”* realizada en la India, tuvo como objetivo demostrar cómo influye la añadidura de fibras de sisal en muestra de arcilla de baja plasticidad en los siguientes aspectos. Compactación, fuerza, CBR y expansión.

En la investigación se plantearon la hipótesis que la añadidura de fibras de sisal mejorará la arcilla de baja plasticidad en los aspectos: compactación, fuerza, CBR y expansión. Mediante la metodología inductivo – deductivo, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica ya existente.

Se procesaron y utilizaron herramientas de procesamiento de datos mediante el análisis documental, la observación directa y uso de la norma ASTM, que les permitió visualizar, seleccionar y recopilar datos de acuerdo con el

problema que estudiaron. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional, debido a que las selecciones de las muestras no estaban sujetas a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

Inicialmente, la introducción de fibra de sisal en el suelo provocó un aumento de la humedad óptima, pero el aumento de la longitud y el porcentaje en la muestra redujo la humedad y la mantuvo entre los valores de 19.2 y 16%. El valor de la cohesión se incrementó debido a la inclusión de fibra de sisal, el valor máximo obtenido fue de 66 Kpa frente a los 18 Kpa del suelo no reforzado. El aumento de la longitud de fibra aumenta el valor de la cohesión y esta variación es lineal.

Yadav, J. S., & Tiwari, S. K. (2017), en el artículo titulado *“Effect of waste rubber fibres on the geotechnical properties of clay stabilized with cement”* realizada en la India, tuvo como objetivo determinar la adición de la inclusión de fibras orientadas al azar para determinar en el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos.

En la investigación, cuya hipótesis fue que las muestras de añadidura de fibras de caucho al azar influenciará en el comportamiento geotécnico de los suelos arcillosos. Mediante la metodología inductivo – deductivo, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica ya existente.

Se procesaron datos y realizaron técnicas para procesar datos mediante el análisis documental y la observación directa, que les permitió visualizar, seleccionar y recopilar datos de acuerdo con el problema que estudiaron. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional, debido a que las selecciones de las muestras no estaban sujetas a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

El estudio demostró que, en general, el caucho de neumático y las fibras sintéticas aumentaron los valores de cohesión, los valores máximos de cohesión obtenidos fueron con la longitud de 10mm de fibra. El valor del ángulo

de reposo interno de cada muestra reforzada aumento de forma no lineal. Las fibras de caucho y polipropileno aumentaron la relación de amortiguación y el módulo de corte. Los valores máximos se observaron para un 2% de fibras de neumático de caucho de 10mm y fibras de polipropileno de 15mm.

2.1.2 Antecedentes nacionales

Gil, E. & Nuñez, I. (2018), en la tesis titulada *“Influencia de la añadidura de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de reposo interna de suelos arcilloso aplicado a la seguridad de las pendientes”* realizada en Perú, tuvo como objetivo representar la determinación de la influencia de la añadidura de PET; una fibra reciclada sobre la resistencia, cohesión y ángulo de reposo interna de suelos arcillosos que se aplican a la seguridad de las pendientes.

De la investigación cuya hipótesis fue que la añadidura de fibras de PET que está reciclado influenciará al crecimiento de la cohesión, y resistencia interna del suelo, lo cual incrementará la seguridad de las pendientes de los terraplenes viales compuestos por los suelos arcilloso. Mediante la metodología inductivo – deductivo, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica.

Se procesaron y utilizaron herramientas de procesamiento de datos mediante el análisis documental y la observación directa, que les permitió visualizar, seleccionar y recopilar datos de acuerdo al problema que estudiaron. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional, debido a que las selecciones de las muestras no estaban sujetas a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador.

Los resultados de esta investigación determinaron que el tanto por ciento de la añadidura de las fibras PET reciclado no están influenciadas en los efectos de la óptima Densidad Seca en este suelo cohesivo, sosteniendo las características físicas y propiedades mecánicas relacionadas a tal parámetro.

Martinez, E. (2019), en la tesis titulada *“Estabilización de suelos expansibles con aditivo organosilanos a nivel de subrasante”* realizada en Perú, tuvo como objetivo principal determinar la influencia del aditivo organosilanos en la estabilización un suelo cohesivo a nivel de subrasante

En la investigación se plantearon la hipótesis que el aditivo organosilanos influye significativamente para una buena estabilización de la subrasante de un suelo cohesivo. Mediante el método científico, con un tipo aplicada debido al uso de la ciencia teórica.

Se procesaron y utilizaron herramientas de procesamiento de datos mediante la observación del terreno para tomar datos generales y de acuerdo a la norma del Ministerio de Transporte y Comunicaciones se realizaron calicatas, de la misma forma para obtener la muestra suelo y proceder con las evaluaciones de los ensayos requeridos en el laboratorio. La muestra que realizaron fue no probabilística e intencional y la población corresponde a todas las calles del Distrito de Chilca, ubicadas en la Provincia de Huancayo - Región Junín

Los resultados de esta investigación determinaron que la añadidura del aditivo organosilanos si influye significativamente en el incremento del % de CBR, la media del % CBR se incrementa a mayor dosis del aditivo organosilanos, además se comprobó que el mejoramiento de suelo con el aditivo organosilanos, aumenta el 14% de su capacidad de soporte, después de haber transcurrido 7 días de ser realizado el ensayo con la misma dosis.

(Castro & Navarro, 2019), en el trabajo de investigación titulado *“Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico”* realizada en Perú, mostró la influencia de la añadidura de cemento Portland en suelos expansibles.

En su investigación se realizó la caracterización geotécnica de la muestra de suelo, se determinó que la muestra es una arcilla de alta plasticidad

según el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS), posee un contenido de humedad del 29.37%, un Limite Liquido a 66.10% y un Limite plástico a 26.90%. El método de la investigación se dirigió en intercambiar porcentajes de la muestra natural por porcentajes de cemento Portland, los porcentajes elegidos fueron 10%,15% y 20%. Se procedió con la realización del Proctor modificado para obtener la humedad optima y además la óptima densidad seca (MDS) de las muestras, tanto natural como adicionadas con cemento Portland. Luego, todas las muestras fueron compactadas con su respectiva humedad óptima hasta alcanzar la máxima densidad seca correspondiente para luego realizar el ensayo CBR que, al pasar cuatro días de saturación, se obtuvo los valores correspondientes a la penetración, y a la vez observando las variaciones en la expansión o hinchazón.

El estudio demostró que al ir incrementando el porcentaje de cemento Portland en la muestra: (1) Aumentaba la humedad optima necesaria para alcanzar la máxima densidad seca, esto se debe a que el cemento necesita cada vez más agua adicional para lograr que los componentes reaccionen y produzcan la fragua. (2) La máxima densidad seca permanece invariable al incrementar los porcentajes de cemento Portland a la mezcla. (3) Refleja un incremento en los datos del CBR en comparación a la muestra sin añadidura (2.3%), 91.9% con 10% de cemento y 129.3% con 20% de cemento; empero, se evidenció un aumento que decrece a medida que se aumenta el porcentaje de cemento agregado. (4) La expansión de las muestras disminuye hasta en un 7.18%, pero, se determina que la disminución de la expansión se ve influenciada por la apariencia del cemento mas no por la cantidad.

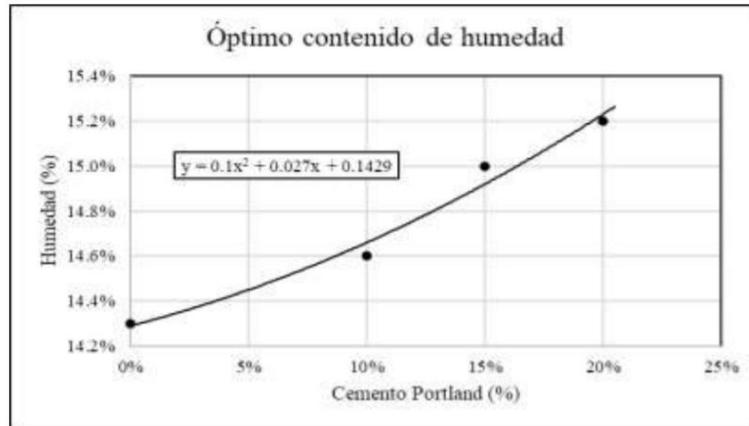


Figura 2-4. Porcentaje de Cemento Portland vs Humedad

Fuente: Castro & Navarro, (2019),

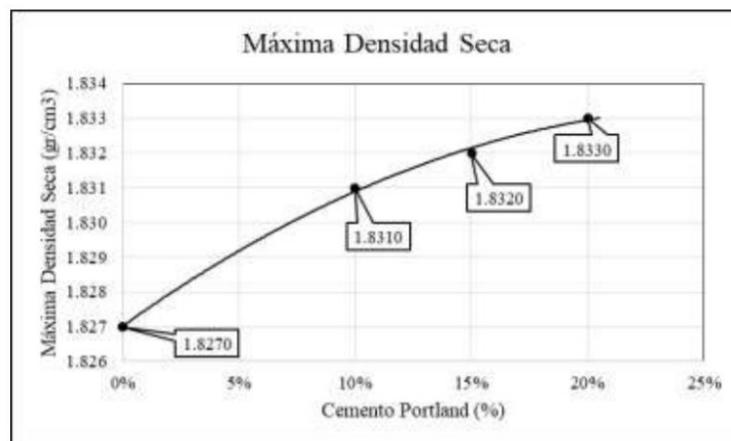


Figura 2-5. Porcentaje de Cemento Portland vs MDS

Fuente: Castro & Navarro, (2019),

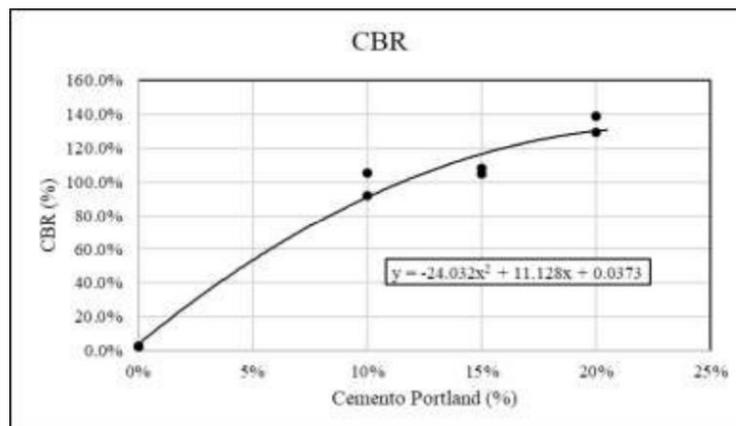


Figura 2-6. Porcentaje de Cemento Portland vs CBR

Fuente: Castro & Navarro, (2019)

Chura, E. & Romero, S. (2017), en la tesis titulada *“Estabilización de suelos expansibles mediante el uso de geomallas, geotextil, cal y cemento con fines de pavimentación en el tramo de acceso del km 00+000 al km 00+750 del campus universitario UPeU Juliaca”* realizada en Perú, tuvo como objetivo principal, estabilizar los suelos expansibles empleando geotextiles, cal y cemento para una pavimentación en el tramo del campus universitario UPeU Juliaca.

En su investigación plantearon que, si es posible estabilizar un suelo cohesivo con el uso de geotextiles como geomallas, además de la añadidura de cal y cemento para una pavimentación, mejorando sus propiedades químicas y físicas, en la ruta de acceso de la universidad UPeU Juliaca.

Esta investigación lo realizaron mediante el método experimental y comparación, con un tipo de investigación cuantitativo, además se procesaron y utilizaron herramientas de procesamiento de datos mediante la observación experimental. Teniendo como medida de la población el campus Universitario UPeU Juliaca

Los resultados de esta investigación demostraron que con la añadidura de cemento y cal hubo un cambio radical en las propiedades de la subrasante existente, produciendo una mejora la capacidad de resistencia a fuerzas normales, mejorando su índice de plasticidad y su aumento del % de CBR.

De la Cruz, L. & Salcedo, K. (2016), en la tesis titulada *“Estabilización de suelos expansibles por medio de aditivos (Eco Road 2000) para pavimentación en Palian - Huancayo - Junín”* realizada en Perú, tuvieron como objetivo fundamental valorar la influencia de este aditivo llamado Eco Road 2000 en las propiedades geotécnicas de los suelos expandibles en Palian - Huancayo - Junín.

En la investigación se plantearon que las añadiduras del aditivo Eco Road 2000 influyen en las propiedades geotecnicas de los suelos expansibles en

Pallan, provincia de Huancayo y departamento de Junín. Mediante el análisis del método científico, con un tipo explicativo.

Se procesaron y utilizaron herramientas de procesamiento de datos mediante la recolección de información, experimentación y análisis de datos. El tipo de muestra es una lista de vías no pavimentadas en Palian, con una población de 10 calicatas del mismo lugar, en la provincia de Huancayo y departamento de Junín.

Como resultados de esta tesis, se determinaron que los aumentos de la muestra de suelo del aditivo en estado primario se produzcan relevantes variaciones en las propiedades geotécnicas, ya que el aditivo mejora el proceso de expansión y de contracción, además se obtuvo que las calicatas con mayor cantidad de suelos finos con un porcentaje de 71.30%, 73.50%, 74.00%. 81.60% y 74.80% reaccionan mejor al aditivo Eco Road 2000, además de los ensayos de CBR en las calicatas se demostró, que siete de ellas arrojan mayor al 40% de CBR, cumpliendo las condiciones de sub-base, como otras tres calicatas que llegaron a tener un CBR de 38.55%, 36.10%, 21.70%, cumpliendo las especificaciones de CBR >30% considerándose como una subrasante extraordinaria.

2.2 Bases teóricas

2.2.1 Definición de Pavimentos

Según lo mencionado por (Torres, 2014) el pavimento es una capa constituida por materiales que son soportados por la superficie de un terreno natural o nivelad, el cual le permitirá soportar las cargas accionantes a la que este está expuesto ya sea de personas o vehículos, entre otros. Los pavimentos pueden ser construidos en zonas rurales, urbanas e industriales.

2.2.2 Estructuras que componen un pavimento

Un pavimento por lo general dentro de su estructura abarca los siguientes elementos: subrasante, sub-base, base y la capa de rodadura que a su vez puede ser asfáltica o concreto.

- **Subrasante:**

El (MTC, 2014) sostiene que la subrasante es el soporte director de todo componente del pavimento, está contenida por suelos seleccionados que cumplan con las condiciones aceptables para la ejecución del pavimento.

- **Subbase:**

Según el (MTC, 2014) menciona que es una capa de material que aguanta el peso de la base y la carpeta de rodadura, funciona como drenaje y controla la permeabilidad del agua. En ocasiones esta capa puede obviarse dependiendo de su clasificación, diseño y dimensionamiento del pavimento.

- **Base:**

Tiene como función principal, resistir, distribuir las cargas producidas por el tránsito, el material empleado para esta capa será granular drenante. (MTC, 2014).

- **Capa de Rodadura**

Es la parte superior de un pavimento, ya sea de asfalto flexible o un asfalto de concreto rígido, teniendo la función de sostener directamente la carga del tráfico vehicular. (MTC, 2014).

2.2.3 Definición de suelos arcillosos

Las arcillas es un material muy fino de cualquier tipo de sedimento o depósito mineral que gana maleabilidad o plasticidad cuando se humedece, además está formado por partículas muy pequeñas como láminas de mica, y otros minerales cuyo tamaño es inferior a 2 micras. En ciertas situaciones, las partículas que oscilan entre 0.002 y 0.005 mm son considerados arcillas. Se da a entender que las partículas de un suelo se clasifican con respecto a su tamaño, ya que no necesariamente pueden acarrear minerales de arcilla. Las arcillas se clasifican en caolinitas, montmorillonita e illitas y también mediante la clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).

Tabla 2-1

Límites de separación de tamaños de suelo

Nombre de la organización	Tamaño de gramo (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto de tecnología de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	<0.002
Departamento de Agricultura de E.U. (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	<0.002
Asociación Americana de Carreteras Estatales y Oficiales del Transporte (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	<0.002
Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (Cuerpo de ingenieros del Ejército de E.U., Oficina de Reclamación de E.U., Sociedad Americana para Pruebas y Materiales)	76.2 a 2	4.75 a 0.075	Finos (p.ej., limos y arcillas) <0.075	

Fuente: (Braja 2013)

2.2.4 Características y propiedades de los suelos arcillosos

Las arcillas al ser plásticas suelen contraerse al secarse. Respecto a su cohesión, esta es significativa según su humedad, además presentan un carácter comprensible y aplicar esfuerzos en su superficie se comprimen lentamente.

Sus características principales son: baja permeabilidad, alto porcentaje de expansión, alta plasticidad, baja consolidación primaria, baja resistencia al esfuerzo cortante.

Los límites de plasticidad para diferentes valores de minerales arcillosos como se muestran en la tabla 2-2, muchos de estos valores son determinados usando muestras compuestas por partículas finas de 2 micras.

Tabla 2-2

Valores de límites de Atterberg para los minerales arcillosos

Mineral	Limite liquido (%)	Limite plástico (%)	Limite de contracción (%)
Montmorillonita	100-900	50-100	8.5-15
Nontronita	37-72	19-27	
Illita	60-120	35-60	15-17
Caolinita	30-110	25-40	25-29
Hallosita hidratada	50-70	47-60	
Hallosita deshidratada	35-55	30-45	
Atapulgita	160-230	100-120	
Clorita	44-47	36-40	
Alófono (sin secar)	200-250	130-140	

Fuente: (Mitchell & Soga, 2005)

2.2.5 Tipos de suelos arcillosos.

La composición de la arcilla está en base a minerales llamados silicatos de aluminio hidratados, los mismos que se compone en forma de láminas: 1 silícica (unidad tetraédrica) y una alumínica (unidad octaédrica). De acuerdo con su arreglo reticular y su capacidad de intercambio estimado en equivalente gramo las arcillas se clasifican en tres principales grupos: Caolinitas (Figura 2-7), Montmorillonitas (Figura 2-8) e illitas (Figura 2-9), (Braja, 2013).

a) Caolinita

Es el conjunto de arcillas que presenta menor volumen de intercambio (10 a 12 miliequivalentes cada 100 gr), están

conformadas por una lámina de silicio y otra de aluminio colocadas una sobre otra de manera no definida, significa que no es expansiva por evitar que moléculas de agua ingresen al interior de la masa de suelo.

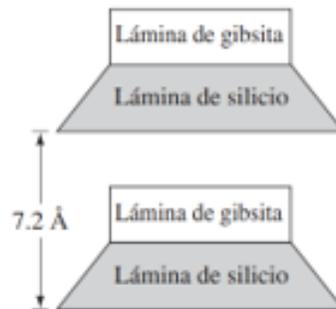


Figura 2-7. Arcilla Caolinita

Fuente: Braja, (2013)

b) Montmorillonita

Es el grupo de arcillas que presenta una mayor capacidad de intercambio (120 miliequivalentes cada 100 gr), están conformadas por la superposición de 2 láminas de silícicas sobre 1 lámina de gibsita o brucita. Su estructura es débil, por ello al contacto con el agua tiende a aumentar su volumen.

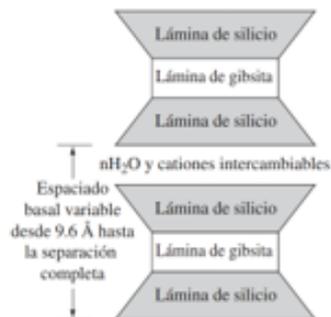


Figura 2-8. Arcilla Montmorillonita

Fuente: Braja, (2013)

c) Illita

Son las arcillas que presenta una capacidad de intercambio media (40 miliequivalentes cada 100gr), están compuestas por la superposición de 2 láminas silícicas sobre una alumínica, y estas a su vez se ligan por iones de potasio. El coeficiente de fricción interno y permeabilidad son menores que una caolinita, pero mayor que en la montmorillonita.

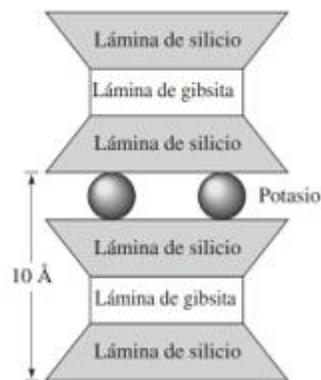


Figura 2-9. Arcilla Illitas

Fuente: Braja, (2013)

2.2.6 Clasificación de suelos arcillosos

Sistema Unificado de clasificación SUCS

Para establecer el tipo de suelo presente en una determinada zona o área de estudio es necesario clasificarla, para ello se puede emplear el método SUCS O AASHTO. Para la presente investigación emplearemos el método SUCS.

Según menciona Braja, (2013). La clasificación de suelos fue una propuesta de Casagrande en 1948, en la actualidad dicha propuesta ha ido siendo mejorada y es ampliamente usada en el rubro de la construcción civil y se encuentra estipulado en las normas de la ASTM D 2487

El sistema unificado presentado por Braja, (2013) clasifica a los suelos en dos grupos los cuales son:

1. Los suelos de partículas más gruesas que son representados por las gravas y las arenas, con un porcentaje que pasa por el tamiz n°200 es menos al 50%. Las siglas que los representan son: G (grava) y S (arena).
2. Los suelos finos representan el 50% que pasan por el tamiz N°200 y los prefijos que simbolizan a los granos finos que son M (limo), C (arcilla inorgánica), O (limo orgánico).

También se emplean los siguientes símbolos para clasificar a los suelos:

W: Bien gradado

P: mal gradado

L: baja plasticidad ($LL < 50$)

H: alta plasticidad ($LL > 50$)

Tabla 2-3

Sistema Unificado de clasificación del suelo

Criterio para la asignación de símbolos de grupo				Símbolos de grupo
Suelos de grano grueso Más de 50% retenido en el tamiz núm. 200	Gravas Más de 50% de fracción gruesa retenida en el tamiz núm. 4	Gravas limpias	$C_u \geq 4$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	GW
		Menos de 5% finos ^a	$C_u < 4$ y/o $1 > C_c > 3^c$	GP
	Arenas 50% o más de la fracción gruesa pasa tamiz núm. 4	Gravas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	GM
		Más de 12% finos ^{a,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	GC
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Arenas limpias	$C_u \geq 6$ y $1 \leq C_c \leq 3^c$	SW
		Menos de 5% finos ^b	$C_u < 6$ y/o $1 > C_c > 3^c$	SP
Suelos de grano fino 50% o más pasa a través del tamiz núm. 200	Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Arenas con finos	$PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2)	SM
		Más de 12% finos ^{b,d}	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2)	SC
	Limos y arcillas Límite líquido menor que 50	Inorgánico	$PI > 7$ y gráficos en o por encima de línea "A" (figura 4.2) ^e $PI < 4$ o gráficos por debajo de línea "A" (figura 4.2) ^e	CL ML
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OL Límite líquido: no secado	OL
Limos y arcillas Límite líquido 50 o más	Orgánico	Inorgánico	Gráficos PI en o por encima de línea "A" (figura 4.2) Gráficos PI por debajo de "A" línea (figura 4.2)	CH MH
		Orgánico	Límite líquido: secado < 0.75 ; vea la figura 4.2; zona OH Límite líquido: no secado	OH
Suelos altamente orgánicos Materia orgánica principalmente, color oscuro y orgánico				Pt

^aGravas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: GW-GM, GW-GC, GP-GM, GP-GC.

^bArenas con 5 a 12% de finos requieren símbolos dobles: SW-SM, SW-SC, SP-SM, SP-SC.

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

^dSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo GC-GM o SC-SM.

^eSi $4 \leq PI \leq 7$ y gráficos en la zona rayada en la figura 4.2, se usa doble símbolo CL-ML.

Fuente: (Braja, 2013)

Como parte del procedimiento para la clasificación de suelos se debe considerar la carta de plasticidad que se representa en la siguiente imagen:

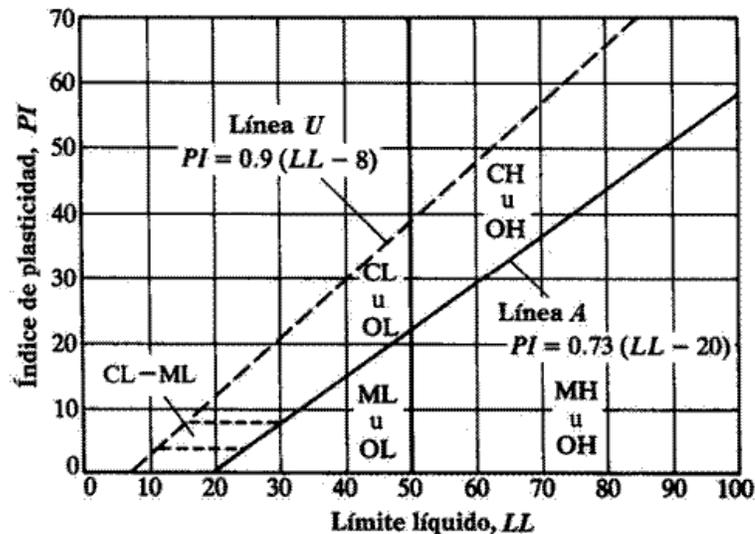


Figura 2-10. Carta de plasticidad

Fuente: Braja, (2013)

2.2.7 Problemas relacionados con los suelos arcillosos

Estos suelos en su mayor totalidad son los materiales más difíciles en su trabajabilidad para el uso de la ingeniería Civil. Son una fuente interminable de problemas, sobre todo en la estabilidad de muchas obras, (Gil & Núñez, 2018).

Los suelos arcillosos son un peligro natural potencial que puede causar daños extensos a estructuras tales como carreteras, autopistas de aterrizaje, diques de tierra y taludes de terraplén sino se tratan adecuadamente, pues pueden ocasionar grandes asentamientos en un largo plazo, debido a su impermeabilidad, hace que la presión del agua trate de fluir dejando libres los vacíos que ocupa la arcilla.

Una de las propiedades de caracterización de suelos es el contenido de humedad y es referido al porcentaje de agua que se presenta en la muestra de un suelo. El contenido de humedad dependerá del tipo de zona geográfica donde se encuentre el suelo a estudiar. Esta propiedad es determinante cuando se presenta la expansión de suelos que presentan en su composición material arcillosos. El fenómeno de la expansión se hace posible debido a la presencia de humedad, ya que se produce una variación de la misma.

A continuación, se mencionan los usuales problemas con los suelos arcillosos:

A) Expansión y contracción

Los suelos arcillosos al poseer una gran cantidad de finos en su composición resultan ser un problema al momento de construir, dado que estos suelos al ser sensibles a la humedad producen incrementos de volumen de manera indistinta y al momento de contraerse los asentamientos que afectan con daños severos a las estructuras.

B) Resistencia al corte

La capacidad de resistencia al cizallamiento de un material está directamente relacionada en el valor de la cohesión de esta. La cohesión en las arcillas, a menos que sean sobre consolidadas, es nula. Esto hace que posean una baja resistencia al corte en su estado natural.

2.2.8 Técnicas de mejoramiento de suelos arcillosos

Como se mencionó anteriormente, los suelos arcillosos al ser problemáticos, a lo largo del tiempo se han ido implementando diferentes técnicas de mejoramiento de suelos arcillosos.

Para hacer uso de este tipo de suelos, por lo general se suelen aplicar dos técnicas. La primera que consiste en quitar la capa de suelo arcilloso y reemplazarla por algún material inerte. Esta forma es conveniente cuando se tiene un pequeño volumen de suelo a reemplazar ya que se hallan recursos disponibles de material para reemplazar al suelo arcilloso. Empero, generando grandes extracciones de material con un creciente movimiento de tierras implicando a su vez una alta inversión para ejecutar dichos trabajos. La otra alternativa que es menos usual es la de realizar mejoramiento químico o mecánico al suelo arcilloso. (Rosales, 2014).

De lo mencionado por Rosales, se puede inferir que existen técnicas comunes para realizar mejoramiento de los suelos arcillosos sin embargo estos generan grandes movimientos de tierra.

A) Estabilización química

- **Estabilización con cemento**

En la actualidad, se han buscado nuevos campos de aplicación al cemento y uno de ellos es en la geotecnia, pues se viene empleando para la estabilización de los

suelos en las estructuras como carreteras y presas de tierra.

La estabilización de suelos arcillosos o arenosos mediante el uso del cemento reduce los límites de consistencia brindándole a los mismos una mayor trabajabilidad y manejabilidad. Por su parte Braja, (2013) menciona que es recomendable emplear el cemento como estabilizador para arcillas que tienen un límite líquido inferior a 45 o 50 y su índice de plasticidad sea menos a 25.

- **Estabilización con cal**

La estabilización del suelo evoluciona considerablemente las propiedades y características del mismo, que mediante esta estabilización produce resistencia y estabilidad en el largo plazo, de una manera permanente en la acción particular del agua.

La cal sola o en conjunto de otros materiales, se puede utilizar para estabilizar una gama de suelos. Las propiedades geotécnicas de los suelos detallarán su grado de compatibilidad con la cal y la resistencia que se obtendrá finalmente en las capas estabilizadas. (Manual de Estabilización de suelo tratado con cal, 2006)

Dentro de los aspectos de mejora de la cal en los suelos arcillosos son:

- ✓ Disminución la cantidad de humedad en el suelo
- ✓ Mejora la trabajabilidad del suelo
- ✓ Reduce el índice de plasticidad
- ✓ Disminuye los cambios de volumen de los suelos

Es importante mencionar que en la actualidad se han ido mejorando las técnicas convencionales de mezclado de cal

y suelo, como inyección de cal mediante perforaciones y mediante la técnica del Deep Low.

- **Estabilización con cenizas volantes**

Las cenizas volantes tienen la característica de tener un alto contenido de sílice con una baja capacidad de cal, en consecuencia, se emplea en los suelos para estabilizarlos ya que necesita de un agente activador con un alto componente.

El activador posee la cal necesaria para producir una reacción, mientras que la ceniza provee los materiales puzolánicos, sílice y alúmina (Misra, 2000).

Por otro lado, para lograr la estabilidad de suelos, es necesario emplear una óptima dosificación de cenizas y cal al suelo.

La mezcla de suelo y cenizas deben estar mezcladas con 10 a 35% de cenizas y de 2 a 10% de cal. Con el fin de obtener una estabilización adecuada del suelo arcillosos se debe de compactar a la muestra de manera controlada, considerando la cantidad de humedad necesaria. (Braja, 2013).

B) Estabilización mecánica

- **Estabilización por compactación dinámica**

Este mecanismo consiste en dejar caer una gran masa repetidamente desde una altura. La compactación dinámica y la energía de impactos hace que cada suelo reaccione dependiendo de estos mecanismos.

Por lo general este método muestra grandes ventajas frente a otros, debido a la accesibilidad de los equipos, de las maquinarias, herramientas y los materiales, teniendo como

resultado un menor costo y una mejor estabilización. (Arriaga, 2006)

- **Pre – compresión**

Esta técnica es empleada por lo general cuando se tiene suelos arcillosos consolidados altamente comprensibles a una profundidad limitada, que tiene como consecuencia los asentamientos del suelo debido a la construcción de carretas, edificios, presas de tierra o diques.

- **Drenes de arena**

Otra de las técnicas de mejoramiento de suelos arcillosos que se han ido implementando en la actualidad son los drenes de arena.

Esta técnica consiste en realizar perforaciones en campo sobre los suelos arcillosos. Seguidamente a ello, se rellenas los agujeros con arena permeable y se ejerce una carga en la superficie del suelo generando un aumento en la presión de poros de la muestra, que posteriormente se disiparan por el drenaje vertical y radial a los drenes de arena. Ello acelerará el asentamiento de las capas de arcilla. (Braja, 2013)

Cabe mencionar que dentro de la estabilización se enmarcan los suelos fibroreforzados, que se desarrollará a detalle en los siguientes ítems, y que son materia de estudio en la presente investigación.

2.2.9 Definición de suelos fibroreforzados

(Hurtado, 2014) sostiene que el término de fibro refuerzo se refiere al mejoramiento del suelo mediante el incremento de su resistencia al corte y su capacidad de carga combinándola con elementos resistentes que se adhieran a

la masa del suelo. Los elementos de refuerzo puede ser fibras sintéticas, tiras de metal, mallas, entre otras (ver Figura 2-11).



Figura 2-11. Tipos de fibras sintéticas utilizadas para el refuerzo de materiales

Fuente: Hurtado, (2014)

Es importante mencionar que las fibras a emplear en el presente trabajo de investigación son las sintéticas, específicamente las fibras de polipropileno.

Las fibras de polipropileno se han venido empleando en el rubro de la construcción tal es el caso de su aplicación para reforzar el concreto y evitar agrietamientos causados por fraguado. “En relación con su uso para los suelos reforzados con fibra son con las que se han efectuado investigaciones, dando resultados favorables en mejoras de la capacidad de reducción de la contracción volumétrica y a la resistencia a la compresión no confinada”. (Hurtado, 2014)

2.2.10 Propiedades de las fibras

a) Propiedades mecánicas y características físicas

Las propiedades más resaltantes de las fibras según (Fernández, Martínez & Thode, s.f.) son las siguientes:

- **Tenacidad (N/tex).** Valor de la tenacidad superior al esfuerzo a soportar
- **Alargamiento (%).** A menor longitud de las fibras se tiene una mejor tenacidad y a mayor elasticidad de las fibras mejor es el refuerzo que transmiten.
- **Densidad de la fibra (g/cm³).** Cuanto más bajo mejor será la adherencia a una matriz de suelo.
- **Forma.** Las fibras se encuentran distribuidas en la naturaleza de diferentes formas y ello dependerá de las características de cada fibra.
- **Superficie (mm²/m).** La superficie de las fibras puede ser lisas o rugosa, es una cualidad importante de las fibras, ya que de ello dependerá su capacidad de fricción con otros materiales.
- **Resistencia a la compresión.** Es la fuerza de rotura en conexión con la sección en un ensayo de compresión.
- **Módulo de cizallamiento.** Es el módulo de elasticidad que se mide en un ensayo de torsión.

b) Propiedades químicas y medioambientales

- **Resistencia a los ácidos**
- **Resistencia a los álcalis**
- **Resistencia a los disolventes**
- **Resistencia a los rayos UV y a la intemperie**
- **Resistencia a microorganismos**
- **Contenido de humedad**
- **Biodegradable**

2.2.11 Elección de fibras adecuadas para el reforzamiento de suelos

Es de suma importancia a elección de fibras adecuadas para el reforzamiento de suelos, ya que de ello dependerá logras las mejoras en los parámetros determinados.

Se debe tomar en cuenta, las características de cada polímero, el proceso de obtención de estas, pues inicialmente según lo mencionado por (Fernández, Martínez & Thode, n.d) fueron destinados para el uso textil, actualmente se vienen empleando para el rubro de la construcción. El factor por considerar para la elección de las fibras debe de ser el coste final de las mismas que cubran las especificaciones para su requerimiento.

Las fibras sintéticas tienen una buena tenacidad para su uso en refuerzo de suelos, sin embargo, se debe de considerar el coste y la factibilidad de obtención en el mercado de las fibras a emplear.

A continuación, se muestran parámetros a tomar en cuenta de acuerdo con las necesidades de uso de las fibras (Tabla 2-4).

Tabla 2-4. *Características de las fibras para las necesidades requeridas.*

USO DE LAS FIBRAS	CARACTERISTICAS DE LAS FIBRAS	OBJETIVO DE LAS FIBRAS
Superficie específica de la fibra elevada	Fibras de pequeño diámetro de sección no circular y rugosa para ofrecer una mayor superficie por unidad de peso	Ofrecer resistencia al deslizamiento
Fibras biodegradables	Fibras naturales animales, vegetales o sintéticas con componentes químicos	Descomponer a la fibra a lo largo de cierto tiempo, ya sea por sí solas o en contacto con sustancias en determinado medio.
Fibras que sujeten o armen tierras, asfalto, etc.	Fibras con buena superficie específica y tenacidad	Ofrecer módulo de rotura adecuado para el sostenimiento de estructuras para evitar que las fibras se rompan o se disgregue el material sujetado

Fuente: (Braja, 2013)

2.2.12 Interacción de suelos y el refuerzo

Los suelos reforzados han ido cobrando notoriedad a lo largo del tiempo, debido a los diferentes beneficios que generan a los suelos, especialmente a los arcillosos que es un material inestable para las construcciones.

A continuación, se presenta los métodos de interacción entre las fibras de refuerzo y el suelo.

A. Mecanismos de interacción suelo – refuerzo tradicional

Según menciona (Hurtado, 2014). “el suelo reforzado tiene una similitud con el concreto reforzado, pues las propiedades mecánicas del suelo se van a mejorar porque los refuerzos que actúan paralelamente a la deformación se compensarán a la tensión del suelo. Producto de la interacción del suelo y el refuerzo es el mejoramiento de las características de resistencia a tensión en las muestras de suelos. Es importante mencionar que el material reforzado posee las siguientes características.

- Los refuerzos se transfieren a lo largo de los esfuerzos generados entre el suelo y el refuerzo
- Los esfuerzos se distribuyen a lo largo de toda la muestra de suelo.

(Hurtado, 2014) en su investigación menciona que la fricción se lleva a cabo en presencia de desplazamientos cortantes pertenecientes al esfuerzo cortante de la superficie del refuerzo y la muestra del suelo. Los elementos de refuerzo deben mantenerse alineados en la dirección relativa al desplazamiento.

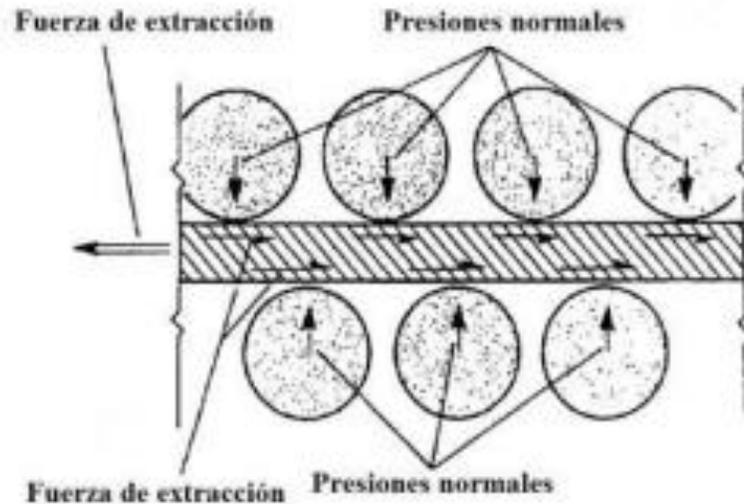


Figura 2-12. Mecanismos de transferencia de esfuerzos por fricción

Fuente: (Hurtado, 2014)

Por otro lado, a partir de lo mencionado por Hurtado, (2014), existe una resistencia pasiva que surge como consecuencia de los esfuerzos aplicados en las secciones transversales del esfuerzo normal, teniendo en cuenta la dirección de los movimientos que este esfuerzo genera. Los refuerzos tienen como objetivo restringir las deformaciones del suelo. Estos, al transferirse hacia los refuerzos, son soportados mediante tensión, corte y flexión.

Los elementos de refuerzo longitudinales son sujetos a grandes trabajos de tensión que cruzan los planos de corte. En el caso de los refuerzos transversales con carácter rígido, tienen la capacidad de resistir momentos flexionantes y esfuerzos cortantes. (Hurtado. 2014).

B. Mecanismo de interacción suelo- fibra

Dentro de la literatura algunos autores comparan los efectos que producen las fibras con el de las raíces, ya que dentro de

su estructura se distribuyen esfuerzos en una superficie mayor de suelo.

Según menciona (Consoli, et al, 2009) mediante ensayos de carga efectuados sobre muestras de suelo con y sin refuerzo de fibras, se pudo apreciar que la adición de las fibras se refleja una mejora positiva con la carga y asentamiento.

Dentro del suelo reforzado, las fibras están bajo la influencia de dos esfuerzos principales: uno de tracción y otro es la contracción de las partículas del suelo sobre la fibra. (Consoli et al., 2009).

Al acomodarse los granos internos en la matriz del suelo, estas fibras comienzan a actuar, pues los granos acomodados permitirán producir la unión de las fibras para contribuir con la resistencia del suelo a medida que el suelo se deforma.

Para este mecanismo se representa fundamentalmente en suelos granulares. En los suelos expansibles, se tiene un vago conocimiento sobre la interrelación entre las fibras y las partículas de suelo.

Se destaca de la investigación que se realizó por (Tang et al., 2007), quienes mediante un microscopio observaron que aumentaba la resistencia y la fricción entre la fibra y la matriz de suelo debido a que la superficie de la fibra se incorporan minerales arcillosos (Ver Figura 2-10).

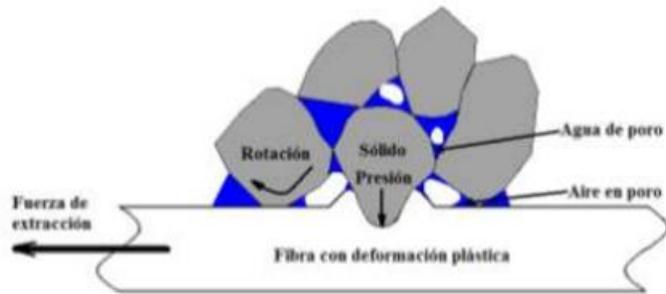


Figura 2-13. Diagrama esquemático de la interface suelo - fibra

Fuente: (Tang, 2007)

(Hurtado, 2014) menciona que los aspectos relevantes a considerar para el correcto funcionamiento de los suelos fibroreforzados. Son los siguientes.

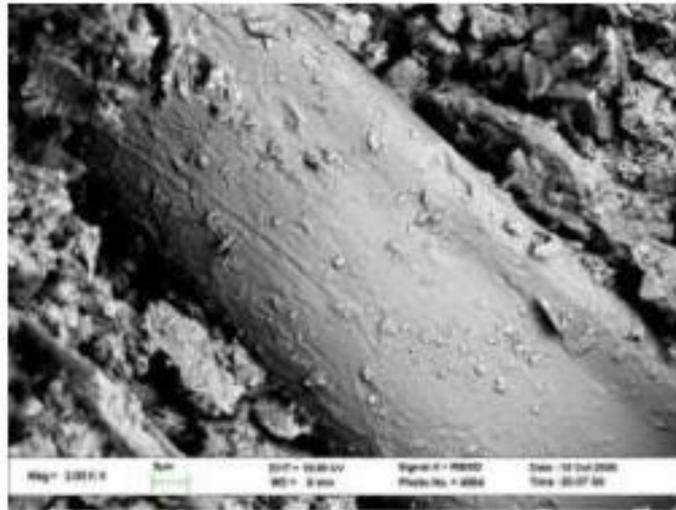
- a) **Contenido de fibra:** A mayor cantidad de fibras a emplear, mayor será el incremento de la resistencia a obtener.
- b) **Nivel de deformación:** Se relaciona con la rigidez del suelo, es decir a la capacidad de este para resistir esfuerzos de compresión.
- c) **Efecto de la unión.** A simple vista es una muestra ensayada que no se puede apreciar la deformación plástica en las fibras, lo que podría producir un deslizamiento en la muestra a pesar de que esta mantenga una unión entre el suelo y las fibras.
- d) **Efecto volumétrico:** Es uno de los aspectos importantes, ya que los suelos arcillosos son sensibles a esta característica. Al adherir fibras dentro de la matriz del suelo se produce un confinamiento mejorando su respuesta a la contracción.

e) **Orientación de la fibra:** Esta característica influye en la resistencia de los suelos reforzados. Dicha orientación puede ser de manera paralela y al azar. Es recomendable que las fibras sean distribuidas en la masa de suelo de forma aleatoria para así cubrir todos los planos de falla. Así mismo, los planos horizontales de las fibras son preferenciales, ello debido a la técnica de compactación mediante apisonado.

C. Análisis de la interfaz suelo – fibra

Previamente a ejecución de sistemas geotécnicos como cimentaciones con pilar, muros de contención y sistemas de muros de suelo reforzado, se debe analizar la interfaz de los materiales de construcción y el suelo.

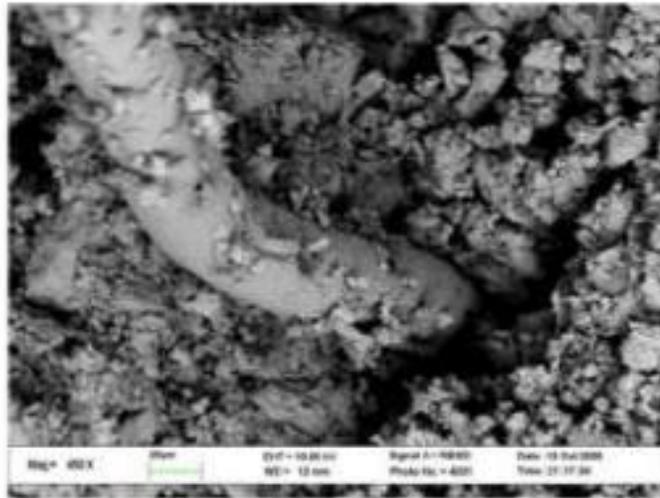
(Tang et al., 2010) citado por (Hurtado, 2014) emplean el microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope).



a)

Figura 2-14. SEM a) Después de compactación.

Fuente: (Tang et al., 2010)



b)

Figura 2-15. SEM b) Posterior a la prueba de extracción.

Fuente: (Tang et al., 2010)

En la imagen 2-14 (a) se muestra que las fibras al pasar por un proceso luego de la compactación, estas son envueltas por el suelo, pero luego que estas fibras se someten a pruebas de extracción, algunas partículas quedan retenidas en la fibra tal como se aprecia en la figura 2-15(b). Ello quiere decir que, durante un proceso de corte, la resistencia al cizallamiento estará sujeta a la adherencia de las fibras a la muestra del suelo. A partir de lo anterior se deduce que mientras un suelo sea más cohesivo tendrá una mayor resistencia al corte al agregarle fibras

A partir de lo investigado por (Tang et al., 2007), es de suma importancia tener un buen vínculo entre las fibras y el suelo para evitar que las fibras se puedan desprender. Es por ello, que la resistencia de la unión se debe tomar en cuenta al momento de elegir las fibras a empelar para el refuerzo de suelos.

Para las propiedades mecánicas de la interfaz del suelo se emplean las siguientes pruebas: la primera prueba es de extracción y la segunda prueba a realizar es de corte directo.

2.2.13 Ventajas y aplicaciones de las fibras

Según (Vettorelo & Clariá,2014) hay abundantes aplicaciones de los suelos fibro-reforzados como, por ejemplo, estabilización de taludes, conformaciones de base de pavimentos, entre otro.

Dentro las ventajas que ofrece el mejoramiento de la añadidura de fibras es que estas al ser resistentes a los cambios climáticos son útiles para reparar falla de taludes existentes y construir nuevos.

2.2.14 Variación Volumétrica en suelos arcillosos

Los cambios de volumen en los suelos son importantes porque determinan los asentamientos debido a la compresión, levantamiento debido a la expansión y contribuyen a las deformaciones causadas por los esfuerzos de corte. Los cambios en el volumen provocan cambios en la resistencia y deformación que, a su vez, influyen en la estabilidad. Los cambios de volumen son inducidos por cambios en las tensiones aplicadas, el ambiente químico y de humedad, y la temperatura. Los efectos del estrés cambiante son generalmente los más importantes y han sido los más estudiados.

El tamaño y forma de las partículas determinan la superficie específica, son los factores que mayor influencia tienen tanto en la relación de vacíos a cualquier presión como en los efectos que tienen los factores fisicoquímicos y mecánicos tienen sobre la consolidación y la hinchazón.

El índice de compresión para la mayoría de las arcillas naturales es inferior a 1.0. El índice de hinchazón es menor al de compresión, generalmente en una cantidad sustancial como resultado de la reorganización de las partículas durante la compresión que no se repite durante la expansión.

Se necesita un conocimiento preciso de la presión de consolidación máxima pasada para predicciones confiables de asentamiento y para ayudar en la interpretación de la historia geológica. Si la curva de pre-compresión A compresión virgen no muestra una ruptura bien definida, como en el punto B en la Figura 2-16, la presión previa a la consolidación es difícil de determinar.

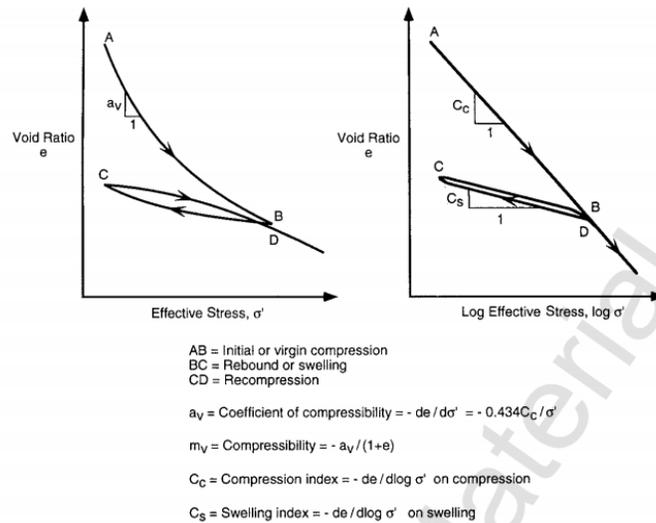


Figura 2-16. Idealización de la relación entre la relación de vacíos y el esfuerzo efectivo para suelos compresibles.

Fuente: (Mitchell & Soga, 2005)

La velocidad de carga y el tiempo tienen efectos significativos en la relación de vacíos – esfuerzo efectivo, especialmente para arcillas estructuradas sensibles como se muestra en la figura 2-17. No es sorprendente, por lo tanto, que la velocidad de carga y el tiempo influyan también en la presión de preconsolidación medida. La presión de preconsolidación disminuye a medida que va en aumento la duración de la aplicación de la carga y a medida que disminuye la velocidad de deformación, como se visualiza en la Figura 2-18.

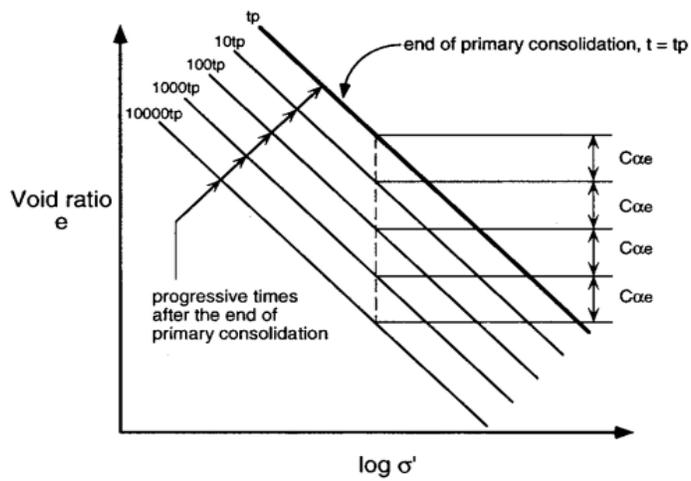


Figura 2-17. Curvas de compresión correspondientes a diferentes tiempos después de la finalización de la consolidación primaria.

Fuente: (Mitchell & Soga, 2005)

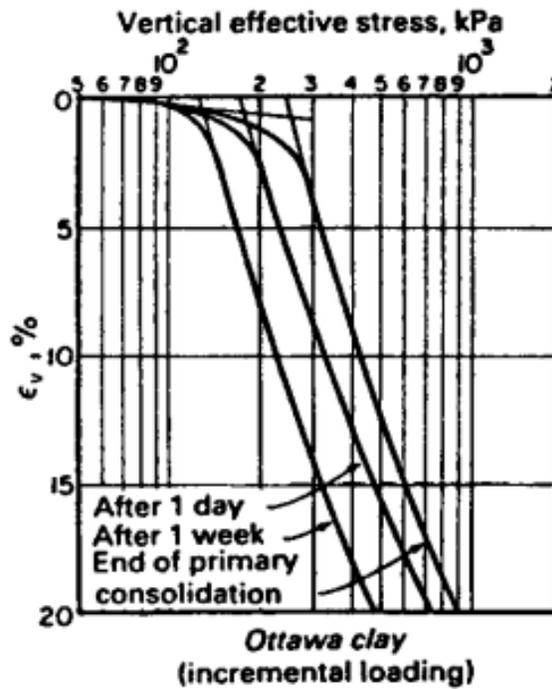


Figura 2-18. Efecto del incremento de la duración de la carga y la tasa de deformación en las curvas de compresión.

Fuente: (Mitchell & Soga, 2005)

2.2.15 Fibras de polipropileno

a) Definición

Las fibras de polipropileno son un material sintético conformado por fibras que están continuas o discontinuas que se encuentran dentro de una matriz plástica, son aislantes térmicos y resiste a los ácidos, álcalis y solventes orgánicos.

Según (Bermúdez, 2016) "el polipropileno (PP) es un "polímero de añadidura " termoplástico hecho de la combinación de monómeros de propileno". Es utilizado para empaques de productos de consumo, piezas para la industria de autos, textiles, etc.

En 1951, el polipropileno fue polimerizado por primera ocasión por dos científicos de la empresa Phillips. Con el pasar del tiempo las técnicas de polimerización fueron mejorando en distintas partes del mundo como en Italia, Alemania y España, generando así mucha expectativa en la población porque su uso era de gran utilidad para las diferentes industrias.

En 1957, las fibras de polipropileno alcanzaron su auge comercial en toda Europa. En la actualidad, es uno de los plásticos más fabricados a nivel mundial.

En su artículo, (Bermúdez, 2016) menciona que "la demanda mundial de mundial de fibras de polipropileno aumentará a aproximadamente 62 millones de toneladas métricas para 2020." Dentro de los principales usuarios de las fibras de polipropileno son: la industria del embalaje (30% de uso), fabricación de equipos electrónicos (13%), la industria automotriz (10%) y el rubro de construcción con el 5% del mercado.

b) Propiedades y características

Las fibras de polipropileno según menciona (Bermúdez, 2016), posee un coeficiente de fricción relativamente alto. Así mismo, posee una baja densidad en relación con otros plásticos que se usan en la industria. El polipropileno es resistente a temperaturas ambientes y relativamente altas. Por otro lado, el polipropileno puede ser fácilmente copolimerizado con otros polímeros como el polietileno. Lo que permite otorgarle mejores propiedades para ser aplicados dentro de la ingeniería. Otras propiedades destacables del polipropileno están:

- **Resistencia química:** Presenta excelente resistencia química a solventes comunes como las bases y los ácidos diluidos.
- **Elasticidad y resistencia:** El polipropileno se caracteriza actuar con elasticidad durante el proceso de deformación adquiriendo una deformación plástica al inicio de este.
- **Resistencia a la fatiga:** El polipropileno conserva su forma después de una torsión o flexión.
- **Beneficios:** Buena relación coste/ beneficio
- **Propiedades mecánicas:** Se obtiene un excelente balance de rigidez e impacto.
- **Otras funciones:** Las fibras de polipropileno funcionan como vapor de agua, pues evitan que la humedad ingrese al suelo.

2.2.16 Fundamentos geotécnicos aplicados

A) Resistencia al corte del suelo

A partir de lo mencionado por Braja, (2013), se puede decir que la resistencia del corte de un suelo es producto de la resistencia por el área del suelo que ofrece a la falla para generar

deslizamientos en cualquier plano interior de la muestra. Por ello es por lo que se vuelve imperativo comprender los fundamentos básicos de la resistencia al corte para brindar solución a varios problemas en el ámbito de la construcción con:

- Capacidad portante de las cimentaciones
- Estabilización de taludes
- Determinar el valor de la presión lateral a la tierra para el fácil diseño de muros de contención.
- Capacidad de carga de pozos perforados y pilotes.

Según menciona (Braja, 2013) la resistencia que se tiene al corte está en relación con los parámetros como la cohesión de las partículas del suelo, el ángulo de reposo, y además la presión del agua intersticial en la muestra del suelo.

B) Criterio de falla de Mohr Coulomb

Mohr mediante su teoría de ruptura de los materiales, explico que estos fallan como consecuencia de una mezcla crítica del esfuerzo normal y el esfuerzo cortante. (Braja, 2013)

La conexión entre el esfuerzo normal y el cortante de un espacio de falla se expresa así:

$$\tau_f = f(\sigma)$$

τ_f = Esfuerzo cortante en el plano de falla.

σ = Esfuerzo normal en el plano de falla.

La envolvente de la falla definida por la fórmula anterior representa una curva. La cual permite aproximarse a la cortante

ejercida en el plano de falla como una función lineal. (Coulomb, 1776). Esta relación puede escribirse como:

$$\tau_f = C + \sigma \tan \emptyset \text{----- A}$$

Donde:

C = Cohesión

\emptyset = ángulo de fricción interna

La ecuación precedente se nombra como el criterio de falla de Mohr y Coulomb.

El suelo que está saturado, además el esfuerzo normal en su totalidad en un punto es la añadidura del esfuerzo y la presión del agua intersticial.

$$\sigma = \sigma' + u \text{----- B}$$

El esfuerzo efectivo σ' , lo desarrollan los sólidos que se conforman en el suelo. Por esta razón, para aplicar la fórmula A en la mecánica de suelos, es imprescindible reformular como:

$$\tau_f = c' + (\sigma - u) \tan \emptyset' = c' + \sigma' \tan \emptyset' \text{-----C}$$

Donde:

c' = Esfuerzo de cohesión efectivo

\emptyset' = Ángulo de fricción efectivo

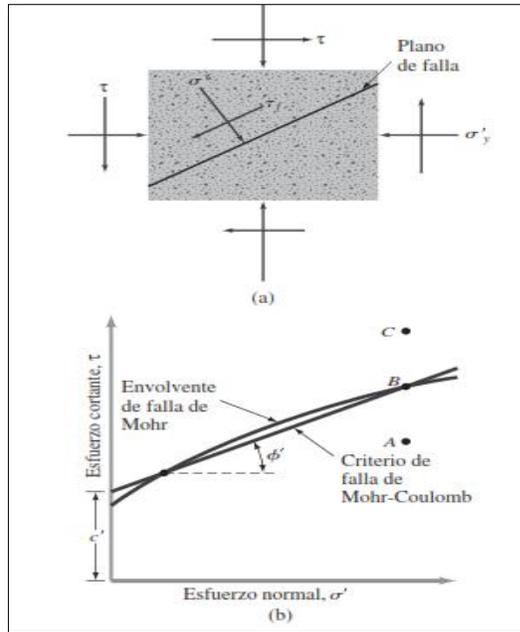


Figura 2-19. Envolvente de falla de Mohr y criterio de falla de Mohr Coulomb

Fuente: Mitchell & Soga, (2005)

Tabla 2-5

Relación entre la densidad relativa y el ángulo de reposo en suelos sin cohesión

Estado de empaquetamiento	Densidad relativa (%)	Ángulo de fricción ϕ' (grados)
Muy suelto	<20	<30
Suelto	20-40	30-35
Compacto	40-60	35-40
Denso	60-80	40-45
Muy denso	>80	>45

Fuente: (Braja, 2013)

Para un mejor entendimiento se definirán las variables que intervienen en la determinación.

1. Ángulo de reposo.

Según menciona (Suarez, s.f) el ángulo de reposo representa matemáticamente al coeficiente de rozamiento y queda expresado como la tangente del ángulo de reposo.

$$\text{Coeficiente de rozamiento} = \text{Tan } \emptyset$$

El ángulo de reposo suele variar dependiendo del tipo de suelos, por ejemplo, en suelos granulares, este es igual al ángulo de reposo. Cabe mencionar que todos los suelos tienen fricción, pero en el caso de las arcillas su fricción es muy baja y en despreciable, por lo que se les conoce como suelos expansibles: $\emptyset = 0^\circ$. (Braja, 2013)

El ángulo de reposo depende principalmente de:

- Tipo de material que conforman las partículas presentes en el suelo.
- Tamaño de granos del suelo, mayor tamaño mayor ángulo de reposo.
- Forma de los granos del suelo, como el ángulo de reposo es mayor en granos de forma angular.
- Densidad, permeabilidad, presión normal y presión de preconsolidación.

Es importante mencionar que el ángulo de reposo se ve influenciado al aumentar la densidad y disminuye en el caso de

tener presiones normales altas. Para las arcillas el ángulo de reposo dependerá de la preconsolidación de la muestra.

2. Cohesión

La cohesión permite determinar la capacidad de adherencia de las partículas que conforman el suelo. En geotecnia este parámetro se emplea para representar la resistencia al corte. (Suarez, s.f)

En los suelos granulares la cohesión suele ser igual a cero, dado que no existe un material de por medio que genere la cohesión entre las partículas del suelo. A este tipo de suelos se les llama como no expansibles. En caso de suelos no saturados, se produce una cohesión aparente debida al fenómeno de adherencia entre partículas por presión o fuerzas capilares, dicha cohesión desaparece con la saturación. (Suarez, s.f)

C) Inclinación del plano de falla causando por cortante

A partir del criterio de falla de Mohr-Coulomb, la falla por cortante será producida cuando el esfuerzo aplicado alcance el valor dado por la ecuación “C” mostrado anteriormente.” (Braja, 2013)

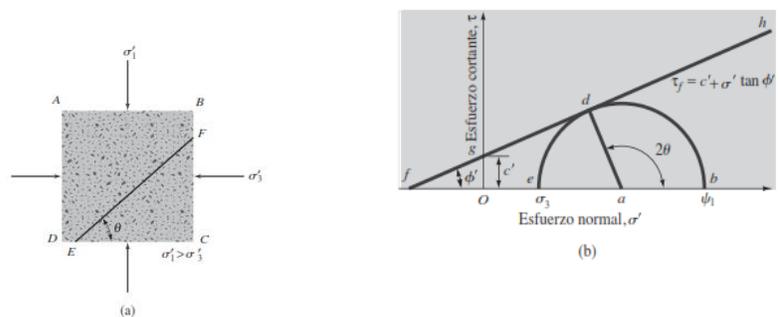


Figura 2-20. Inclinación del plano de falla en el suelo con respecto al plano principal mayor

Fuente: (Braja, 2013)

Para determinar la inclinación del plano de falla en razón al plano principal, ver la figura (a) del gráfico anterior donde los esfuerzos σ'_1 y σ'_3 son los esfuerzos eficaces principales mayor y menor respectivamente. En el plano de falla EF que se identifica en la imagen antes expuesta, generan un ángulo θ con el plano principal mayor. Para decretar este ángulo y la relación entre esfuerzos mencionados como se muestra en la figura (b) que representa el círculo de Mohr para el estado de esfuerzo mostrado.

$$\theta = 45 + \frac{\phi'}{2} \text{ ----- D}$$

Finalmente, la relación que se muestra a continuación es el criterio de falla de Mohr en términos de los esfuerzos de falla.

$$\sigma'_1 = \sigma'_3 \tan^2 \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) + 2c' \tan \left(45 + \frac{\phi'}{2} \right) \text{ ----- E}$$

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis general:

La adición de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I mejorarán significativamente las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, Huaral, Lima.

2.3.2 Hipótesis específicas:

H1: El índice de plasticidad disminuye en más del 20% con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida.

H2: La adición de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I incrementará más del 50% el índice de CBR en las propiedades

geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida.

H3: La longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I mejora la capacidad portante y disminuye el porcentaje de hinchamiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida.

H4: El diseño del paquete estructural del pavimento se optimiza con la mejora del índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida.

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Diseño

3.1.1 Tipo de investigación

El tipo de investigación, según su finalidad, es aplicada, puesto a que se emplean conceptos teóricos ya existentes para aplicarlo en casos prácticos reales. De esta manera, se podrá explicar la interacción suelo-fibra-cemento y su influencia en la mejora de la capacidad portante y estabilización de la subrasante arcillosa aplicando conceptos de la ingeniería geotécnica y pavimentos.

Según su carácter, esta investigación se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, ya que es secuencial y probatoria, por ende, cada etapa precede a la siguiente. Asimismo, se caracteriza por ser objetiva y porque somete a prueba las hipótesis inicialmente planteadas.

3.1.2 Diseño de investigación

Para el presente trabajo de investigación se empleó el método científico: Inductivo – deductivo y experimental.

Mediante el método científico se estableció la hipótesis: La añadidura de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I mejorarán las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas, La Florida, Huaral – Lima.

Diseño experimental

La investigación fue realizada bajo la manipulación de variables en el laboratorio, teniendo un escenario de control donde se manipulan intencionalmente dos variables independientes para analizar la influencia de estas sobre la variable dependiente. Se consideró el siguiente diseño experimental se muestra en la figura 3-1.

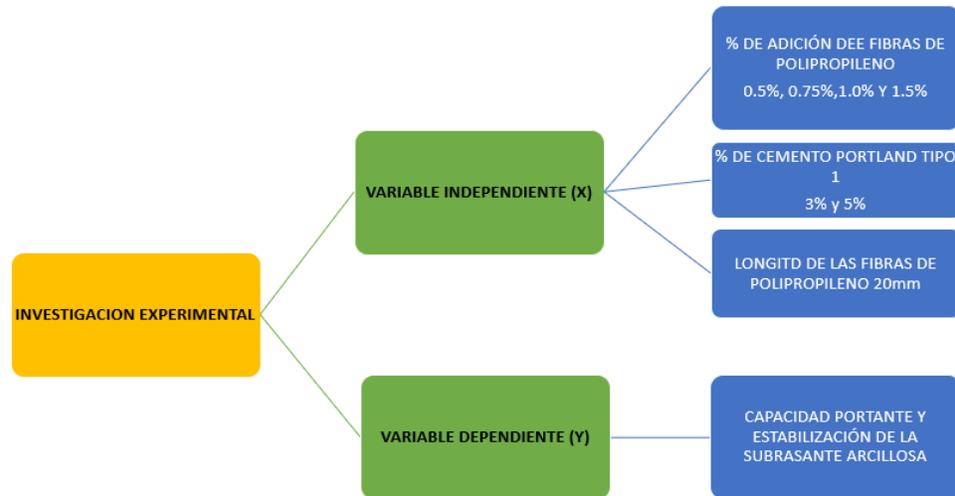


Figura 3-1. Definición de variables

Elaboración: los autores (2021)

El diseño de esta investigación será unifactorial debido a que se manipularan tres variables independientes en un mismo experimento: el porcentaje y longitud de las fibras de polipropileno y porcentaje de cemento para analizar su influencia sobre la variable dependiente.

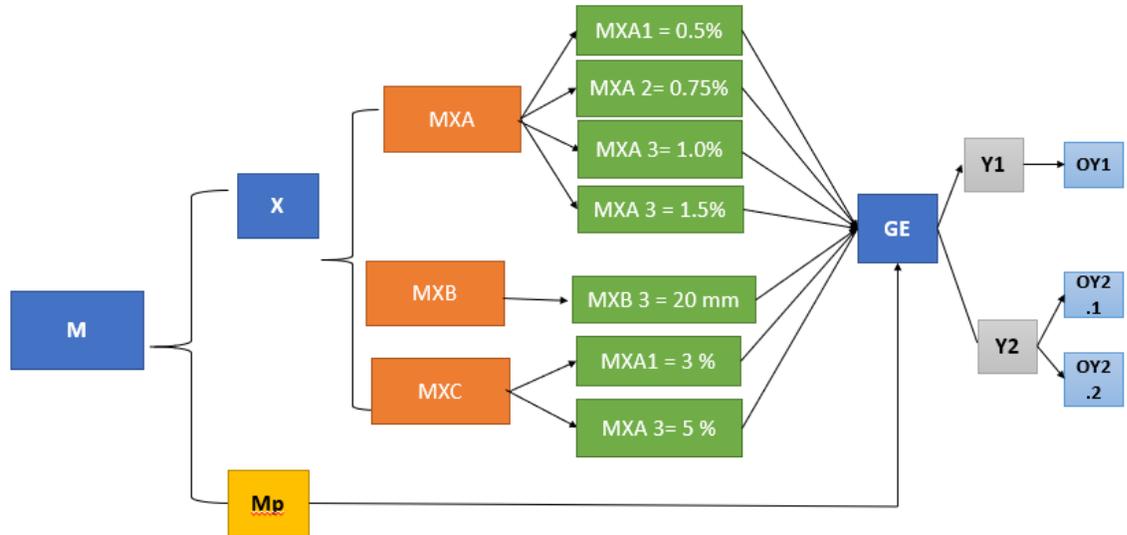


Figura 3-2. Diseño Unifactorial de la investigación

Elaboración: los autores (2021)

Donde:

- Muestra inicial (M): Suelo arcilloso
- Variables independientes (X): % de adición de fibras de polipropileno, longitud de las fibras de polipropileno y % de adición de cemento.
- Niveles de estudio.
(MXA): 0.5%, 0.75%, 1.0% Y 1.5% de fibras de polipropileno.
(MXB): 20 mm de longitud de fibras de polipropileno
(MXC): 3% y 5% de cemento portland tipo I
- Muestra del patrón (Mp): Es la muestra arcillosa sin fibra de polipropileno ni cemento añadido.
- Grupo del estudio (GE): Un número universal de muestras de arcilla compactada para pruebas CBR, con y sin fibra de polipropileno y cemento Portland Tipo I.
- Variables dependientes
(Y1): Capacidad portante de la subrasante arcillosa mejorada
(OY1): Medición del índice de CBR (%)
(Y2): Estabilización de la subrasante arcillosa mejorada

(OY2.1): Medición del índice de plasticidad

(OY2.2): Medición del índice de cohesión

Resumiendo, lo que se muestra en la figura 3-3, se tiene una muestra no alterada de suelo arcilloso, de esta muestra se analizará mediante las variables independientes (longitud y porcentaje de fibras de polipropileno y porcentaje de cemento portland tipo 1. Las variables mencionadas, serán evaluadas en cuatro porcentajes variables de fibras (0.5%, 0.75%, 1.0% y 1.5%) y en una longitud de fibra (20 mm), así mismo, la añadidura de porcentajes variados de cemento (3% y 5%). Dichos parámetros permitirán analizar el grupo de estudio que serán las probetas cilíndricas con cemento más las fibras de polipropileno, tomando en cuenta la muestra patrón que son las muestras de suelo arcilloso sin añadidura de fibras ni cemento.

3.1.3 Nivel de la investigación

El presente estudio tiene un nivel explicativo, ya que los resultados fueron obtenidos a partir de la experimentación realizada con las variables establecidas. A partir de ello se han detallado las características iniciales y finales de la muestra de suelo arcillosos a reforzar teniendo en cuenta los porcentajes y longitud de esta a emplear.

3.2 Muestra

3.2.1 Población

La población de esta investigación son los suelos de una subrasante de tipo arcillosa.

Suelo arcilloso existente en la subrasante de la carretera Pampas, La Florida ubicado en el centro poblado La Florida perteneciente al distrito de Atavillos Bajo, provincia de Huaral – Lima.



Figura 3-3. Ubicación de población objetivo

Fuente: (Google Earth Pro, 2021)



Figura 3-4. Centro Poblado La Florida, Atavillos Bajos – Huaral

Elaboración: los autores (2021)

3.2.2 Muestra

La muestra de esta investigación es no probabilística, debido a que la selección de las muestras no está sujeta a la probabilidad, sino de los objetivos del investigador. Cabe mencionar que este tipo de muestra no tiene un procedimiento secuencial único, ni se basa en las probabilidades, pues está sujeta a los objetivos de estudio de los investigadores. (Hernández, Fernández & Baptista, 2014).

Tamaño de la muestra:

Se extrajo mediante calicatas de 241.75 kg de suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas La Florida, esto con el fin de obtener el número necesario de muestras de suelo con las características requeridas. La porción de suelo extraído inicialmente será caracterizado y reforzado con fibras de polipropileno de 20mm a 0.50%, 0.75%, 1.00% y 1.50% de su peso seco y con cemento portland a 3% y 5% de su peso seco. La extracción de la muestra se empleó para el desarrollo experimental de la presente investigación tal como se describe en la siguiente tabla 3.1.



Figura 3-5. Extracción de la muestra de suelo

Elaboración: los autores (2021)

Tabla 3-1

Distribución del volumen de muestra

Ensayos	Norma	N° de ensayos	Cantidad de muestra por Ensayo (Kg)	Tamaño de Muestra Total (Kg)
PROPIEDADES FÍSICAS				
Granulometría por Tamizado	MTC E 107	1	0.5	0.5
Límite Líquido	MTC E 110	9	0.2	1.8
Límite Plástico e índice de plasticidad	MTC E 111	9	0.2	1.8
Contenido de Humedad	MTC E 108	1	0.05	0.05
PROPIEDADES MECÁNICAS				
Proctor Modificado	MTC E 115	9	20	180
Prueba de CBR	ASTM D 1883 MTC E 132	9	5	45
TOTAL				230.24
Factor de corrección por desperdicio				1.05
TOTAL, REQUERIDO				241.75

Elaboración: los autores (2021)

3.3 Técnicas, instrumentos y procedimientos de recolección de datos

3.3.1 Técnicas

- La revisión bibliográfica permitió la recolección de información referentes al tema de investigación.
- Se realizó los ensayos en el laboratorio de materiales de la empresa Hol Perú Consultores EIRL, del cual es una empresa contratada, para estudiar la influencia de las fibras de polipropileno y cemento sobre los suelos arcillosos aplicado al mejoramiento de subrasante.
- Se seguirán las técnicas indicadas por las normas ASTM D 2850.

3.3.2 Ensayos de laboratorio a realizar

A) Granulometría por tamizado (ASTM D 422)

El análisis granulométrico permite determinar la distribución de los diferentes tamaños de los granos que constituyen un suelo. Para ello se emplean tamices de distintos tamaños de tamices.

B) Limite Liquido (ASTM D 4318)

Se refiere al contenido de humedad entre el límite de los estados semilíquido y plástico, lo que le permitirá al suelo fluir al momento de ser accionado por una cantidad de golpes determinado y así cerrar y ranura hecha en la muestra del suelo.

C) Limite plástico (ASTM D 4319)

Es el más bajo porcentaje de agua que corresponde a un límite entre los estados plástico y semisólido, el suelo no admite deformaciones sin rotura, en el cual el suelo puede enrollarse en bastones de hasta 3 mm o 1/8" de diámetro.

D) Contenido de humedad (ASTM D 2216)

El contenido de humedad es una de las características muy importantes a tomar en cuenta en el momento de caracterizar a

la muestra de suelo ya que mediante este ensayo se determinará el porcentaje de agua presente en los poros del suelo.

E) Ensayo de compactación de Proctor Modificado (ASTM D 1557)

Mediante el ensayo de Proctor modificado se logra determinar el porcentaje de humedad óptima, donde se alcanza su máxima densidad seca en una muestra de suelo compactada.

F) Índice de CBR (California Bearing Ratio)

La prueba comúnmente conocida como índice de CBR, incluye la determinación de la curva – deformación del suelo con el uso del equipo de prueba estándar CBR. Inicialmente, esta prueba se desarrolló antes la Segunda Guerra Mundial y se empleó para el diseño de algunos pavimentos de carretera. Actualmente, esta prueba se ha ido modificando y estandarizando bajo la designación AASHTO y SUCS. (Garber y Hoel, 2005).

3.3.3 Análisis de datos

A) Estadístico descriptivo

Los procesamientos de los datos a obtener a partir de los ensayos de laboratorio se realizarán mediante la esquematización por tablas y/o gráficas, las que a su vez serán descritas para facilitar su entendimiento. Y los resultados serán mostrados de manera estadística para una mejor comprensión de estos.

3.3.4 Presentación de los datos

Los datos se procesaron de la siguiente manera:

- Gráficas para visualizar como la variable independiente actúa sobre la variable dependiendo

- Estadísticas descriptivas para cada variable
- Tablas con resultados estadísticos que permita evidenciar las mejoras en la variable dependiente.

3.4 Variables

3.4.1 Variables Independientes

- Porcentaje óptimo de fibras de polipropileno.
- Porcentaje óptimo de Cemento Portland tipo I.

3.4.2 Variables Dependientes

- Propiedades geotécnicas del suelo arcilloso.

3.4.3 Operacionalización de variables

Tabla 3-2.

Operacionalización de variables

HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	EQUIPOS E INSTRUMENTOS	TÉCNICAS
Hipótesis principal	Variable independiente.				
La adición de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I mejorarán significativamente las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso aplicado en la subrasante de la carretera Pampas, La Florida, Huaral – Lima.	FIBRAS DE POLIPROPILENO	REFUERZO MECÁNICO	% de Adición de Fibras de Polipropileno Longitud de las Fibras de Polipropileno	Balanza electrónica / Regla	Normas del ASTM D 2850 American Society for Testing and Materials
	CEMENTO PORTLAND TIPO I	REFUERZO QUÍMICO	% de Adición de Cemento		
Hipótesis Específicos	Variable dependiente.				
El índice de plasticidad disminuye en más del 20% con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida	PROPIEDADES GEOTÉCNICAS	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO	ENSAYOS EN LABORATORIO DE MATERIALES	Trabajabilidad
La adición las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I incrementará más del 50% el índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida			LÍMITE LÍQUIDO		
			LÍMITE PLÁSTICO		
La longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I mejora la capacidad portante y disminuye el porcentaje de hinchamiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida			CONTENIDO DE HUMEDAD		
El diseño del paquete estructural del pavimento se optimiza con la mejora del índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida		CAPACIDAD PORTANTE	ENSAYO DE COMPACTACIÓN POR PROCTOR MODIFICADO ÍNDICE %CBR		

Elaboración: los autores (2021)

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

4.1 Obtención del material a estudiar

A. Obtención del suelo arcilloso

La muestra de suelo arcilloso empleado para el desarrollo experimental de la presente investigación se llevó a cabo por medio de la extracción de 241.75 kg de suelo arcilloso de un talud presente en la carretera Pampas - La Florida, Huaral - Lima, localizado en la comunidad de Atavillos bajos. El sector se seleccionó debido a la alta presencia de arcilla en lugar. Asimismo, esta muestra de arcilla es explotada por los pobladores para la fabricación de ollas y tejas artesanales.

Para desarrollar adecuadamente los ensayos, fue indispensable realizar un desarrollo de trituration manual de la arcilla, puesto a que estas tenían forma de terrones, lo cual dificultaría la realización de los ensayos posteriores.

B. Adquisición de las fibras de Polipropileno

Las fibras de polipropileno de 0.33 mm fueron adquiridas de la empresa SIKA PERÚ, mediante previo pedido a esta empresa. Cabe mencionar, que las fibras empleadas son las Sika Fiber Force PP-48, que se caracteriza por ser macro sintética estructural.

Las fibras de polipropileno buscadas se cortaron a tamaño de 20mm, ello con el motivo de realizarse con los objetivos establecidos en esta investigación.

4.2 Caracterización del material de estudio

A) Fibras de polipropileno

Las diferentes propiedades físicas y espesor de las fibras de polipropileno se encuentran estipulados en la ficha técnica del producto (empresa SIKA FIBER PERU).

En la tabla 4-1, se recopilan los valores de las propiedades geotécnicas de las fibras de polipropileno, en la parte de anexos, se adjunta ficha técnica del producto brindada por el proveedor.

Tabla 4-1

Propiedades intrínsecas de las fibras de polipropileno

PROPIEDADES - FIBRAS DE POLIPROPILENO		VALORES
FISICAS	Densidad	0.92 gr/cm ²
	Espesor de fibra	0.3325 mm
MECANICAS	Módulo de elasticidad	4217 MPa
	Resistencia a la rotura	620 MPa

Fuente: (Mendoza, Aire & Dávila; 2011) y (SIKA FIBER PERÚ, 2019)

B) Suelo arcilloso

Luego del preparar los 241.75 kg de suelo arcillosos, se procedió a efectuar la caracterización geotécnica en función a la norma del ASTM (American Society of testing Materiales).

Estos ensayos se realizaron para la caracterización del suelo, que se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 4-2

Ensayos de caracterización del suelo arcilloso

Ensayos	Norma
Granulometría por Tamizado	ASTM D-422
Límite Líquido	ASTM D 4318
Límite Plástico e índice de plasticidad	ASTM D 4319
Contenido de Humedad	ASTM D-2216

Elaboración: los autores (2021)

Con los ensayos antes mencionados, se determinaron las características propias de los suelos arcillosos, al obtener los resultados producto de la caracterización, se procede a definir el patrón de suelo que le corresponde según la clasificación SUCS.

4.2.1 Procedimiento de ensayos de caracterización

a. Granulometría por Tamizado (ASTM D-422)

1. Se pesó 500 gr de la muestra de suelo a ensayar.
2. Se colocó la muestra en un tamiz N°200 para lavar cuidadosamente la muestra de suelo arcillosos con agua común hasta lograr que el agua que pasa por el tamiz se muestre transparente.
3. Se vertió cuidadosamente el residuo de suelo que queda retenido en el tamiz N°200 en un recipiente, se añade agua en el mismo y se deja sedimentar hasta lograr que el agua superficial este transparente. Se desechó cierto contenido de agua del recipiente y finalmente se colocó el recipiente con la muestra de suelo y agua en el horno para secarlo por 24h.

4. Se ordenan la serie de tamices a emplear para el procedimiento de granulometría (N° 4, 8, 16, 30, 50,100 y 200).
5. Se coloca la muestra de suelo secado al horno en la serie de tamices y lo colocamos en la tamizadora mecánica por alrededor de 10 minutos.
6. Se determinó el peso de cada fracción de la muestra retenida en los tamices. Al finalizar se debe de sumar todos los pesos antes obtenidos y el peso de la muestra que se pesó inicialmente, además el resultado no debe pasarse en más de 2%.
7. Se realizaron los cálculos pertinentes para la realización de la curva granulométrica.



Figura 4-1. Contenido de arcilla que pasa por el tamiz N°4

Elaboración: los autores (2021)



Figura 4-2. Selección de la muestra arcillosa

Elaboración: los autores (2021)

Como se observa en la Figura 4-1 y la Figura 4-2. Se tuvo que separar el material orgánico de las muestras de suelo, así como las rocas que no representan el suelo del lugar pero que están presentes por traslado de los vehículos.

b. Límite líquido (ASTM D 4318)

Se refiere al contenido de humedad entre el límite de los estados semilíquido y plástico, lo que le permitirá al suelo fluir al momento de ser accionado por una cantidad de golpes determinado y así cerrar y ranura hecha en la muestra del suelo.

1. Colocamos 250 gr de suelo arcillosos en una porcelana, se le añade agua para ser mezclados en conjunto hasta obtener una pasta uniforme.
2. Al tener la pasta formada, se va incorporando en el equipo de Casagrande nivelándolo con una espátula hasta obtener 1 cm de espesor.
3. Con el acanalador se hace un corte a la muestra en el equipo de Casagrande, dividiendo a la misma en 2 mitades.

4. Se pone en funcionamiento el equipo de Casagrande, con la manivela se realiza los golpes a la muestra hasta que las dos mitades se junten en la parte inferior.
5. Se retira el material colocado en el equipo de Casagrande y se contiene en un recipiente que será llevado al horno para obtener el contenido de humedad.
6. Se apartó la muestra del suelo del equipo de Casagrande y se procede a limpiar dicho equipo,
7. El procedimiento mencionando se realiza 2 veces más.

c. Límite plástico (ASTM D 4319)

Es el más bajo porcentaje de agua que corresponde a un límite entre los estados plástico y semisólido, el suelo no admite deformaciones sin rotura, en el cual el suelo puede enrollarse en bastones de hasta 3 mm o 1/8" de diámetro.

1. De la muestra que se preparó para el anterior ensayo del límite líquido se divide en varias porciones.
2. Se toma unas porciones pequeñas de la masa del suelo, sobre una placa de vidrio se va moldeando las porciones de suelo en forma de cilindros de 3 mm de diámetro aproximadamente, al llegar a esta medida los cilindros se van cuarteando o fisurando, lo que indica que es una condición satisfactoria del límite plástico.
3. Se debe pesar la muestra con los cilindros formados, y posteriormente colocarlos al horno.
4. Realizar los cálculos permitentes.

d. Contenido de humedad (ASTM D-2216)

Una de las características muy importantes a tomar en cuenta en el momento de caracterizar a la muestra de suelo es el contenido de humedad, ya que mediante este ensayo se

determinará el porcentaje de agua presente en los poros del suelo.

1. Se registró el peso de un recipiente limpio y seco.
2. En el recipiente pesado anteriormente se coloca una porción del suelo a analizar y conjuntamente se toma el peso empleando la balanza electrónica.
3. Se coloca el recipiente con la muestra húmeda en el horno para dejar secar el material a una temperatura de 110 ± 5 °C en un periodo de tiempo de 12 a 16 horas según lo recomendado por la ASTM D2216.
4. Luego que el material se haya secado, retiramos el recipiente del horno.
5. Se pesa el recipiente con la muestra seca al horno.
6. Se hallan los cálculos pertinentes para hallar el contenido humedad de las muestras ensayadas.

Para determinar las propiedades geotécnicas de las muestras de suelo arcillosas, tanto de la muestra patrón como de las muestras reforzadas con fibras de polipropileno y cemento portland Tipo I, se realizó los siguientes ensayos:

Tabla 4-3

Ensayos para determinar las propiedades geotécnicas de las muestras de suelo arcilloso

PROPIEDADES GEOTECNICAS	
Ensayos	Norma
Proctor Modificado	ASTM D1557
Prueba de CBR	ASTM D-1883

Elaboración: los autores (2021)

4.2.2 Procedimientos de ensayos de propiedades geotécnicas

a. Proctor Modificado (ASTM D-1557)

Mediante el ensayo de Proctor modificado se logra obtener el porcentaje de humedad óptima, donde el suelo compactado alcanza su máxima densidad seca.

1. Mediante la granulometría obtenida previamente, se designó el método de compactación a emplear según la norma ASTM D 1557(MÉTODO A)
2. Se acondiciono la cantidad de material necesario para 36 pruebas de Proctor modificado (9 muestras)
3. Para la conformación de cada probeta se empleó 5 Kg de suelo arcilloso.
4. En una bandeja se añade los 5kg de suelo y se le agrega progresivamente agua hasta obtener una mezcla uniforme.
5. En el molde que se usa para el Proctor modificado se incorpora la muestra de suelo preparada en el punto anterior mediante capas (5capas) y en cada capa se aplica 25 golpes.
6. Al final del proceso de compactación se retira el collarín del molde y se enrasa la muestra con una regla metálica.
7. Se determina el peso del molde con la muestra de suelo compactada.
8. Se retiró el suelo compactado y se extrajo una muestra del centro de la probeta.
9. Se colocó la muestra en un recipiente de peso conocido
10. Se pesó la muestra con el recipiente y luego se llevó al horno durante un día,
11. Pasado 24 h se pesó el recipiente con la muestra seca
12. El procedimiento se debe repetir para las demás muestras.
13. Con el porcentaje de humedad, se calculó la densidad seca en cada punto.



Figura 4-3. Muestra de proctor con adición de fibras al 1% y cemento portland al 3%

Elaboración: los autores (2021)

Como se puede observar en la Figura 4-3. Luego de compactar la muestra con adición de fibras al 1% y cemento al 3%, se extrajo del molde la probeta compactada para proceder a sacar una muestra del centro y proceder a llevar al horno durante 24 horas.

4.3 Dosificación y mezclado suelo-fibra de polipropileno

Según menciona (Gil & Nuñez,2018) el refuerzo por medio de fibras, en el caso de la presente investigación, fibras de polipropileno, deberán encontrarse distribuidas de manera aleatoria en la muestra de suelo para evitar planos de debilidad y de esta manera puedan absorber la fuerza que se aplica al suelo bajo las distintas condiciones de carga, aumentando la estabilidad de los componentes térreos conformados por los suelos reforzados.

Para determinar las dosificaciones porcentuales de las fibras del peso seco de la muestra fueron basadas en la recisión de antecedentes, los cuales, a partir

de un análisis de sus variables, se interpretó que para las arcillas una añadidura mayor al 1.5% dificultará el mezclado de suelo-fibra, ello a su vez podría afectar los resultados esperados en relación al corte directo y estabilidad. Del mismo modo, la longitud de las fibras son una de las variables a tomar en consideración ya que a una dimensión mayor a 25 mm la cohesión del suelo puede verse afectada, reduciéndola, lo que es desfavorable para la resistencia al corte.

Es por ello, que a partir de lo antes mencionado, en esta investigación se consideró los siguientes porcentajes de: 0.5%, 0.75%, 1.0% y 1.5% de fibra de polipropileno y 3%, 5% de cemento portland respectivamente, y en relación con las longitudes las que se empleará serán de 20 mm con la finalidad de analizar cuál es la combinación adecuada para lograr la mejora de las propiedades geotécnicas que son objeto de la investigación.

Para el proceso de mezclado se seguirá el siguiente procedimiento:

1. Mezcla de agua con suelo, seguidamente se agrega las fibras de polipropileno y cemento portland. Se realiza el mezclado total de los componentes mencionados por aproximadamente una hora, logrando así el porcentaje de humedad óptima. Cabe recalcar que las fibras deben distribuirse de manera correcta y tratando de que estas se adhieran a la masa del suelo. Esto se verificó mediante la realización de probetas cilíndricas con cinco capas, considerando que cada capa tuviera cantidades proporcionales de suelo, fibra y agua. Para que de esta manera los resultados en el Proctor modificado no se vean afectadas. A partir de ello, se puede decir que la uniformización de la distribución de las fibras en la probeta permitirá realizar un mezclado de suelo y fibra, por lo que el campo se traducirá como resultado de la compactación bajos espesores a las tradicionales, según lo mencionado por (Gil & Núñez, 2018)

CAPÍTULO V

RESULTADOS

5.1 Caracterización del suelo arcilloso.

El suelo arcilloso se sacó del talud lateral izquierdo de la carretera Pampas - La Florida, localizada en el distrito de Atavillos bajos perteneciente a la provincia de Huaral. El método de excavación fue vertical a cielo abierto.

Se trata de una arcilla con baja plasticidad, color cobrizo con un porcentaje de humedad de 21.27%. En la tabla 5-1 se muestran los resultados de la caracterización de la muestra de suelo arcilloso en estado natural, cabe mencionar que el detalle de los ensayos y resultados obtenidos se encuentran adjunto en la sección anexos.

5.1.1 Determinación de la granulometría del suelo

El ensayo se realizó empleando la norma ASTM D 422 (2007). Para los análisis granulométricos se emplearon procedimientos mecánicos, llevando a cabo el proceso de tamizado para partículas cuyo diámetro son mayores a 75 μm (Malla N°200). La curva granulométrica por tamizado se muestra a continuación en la figura 5-1.

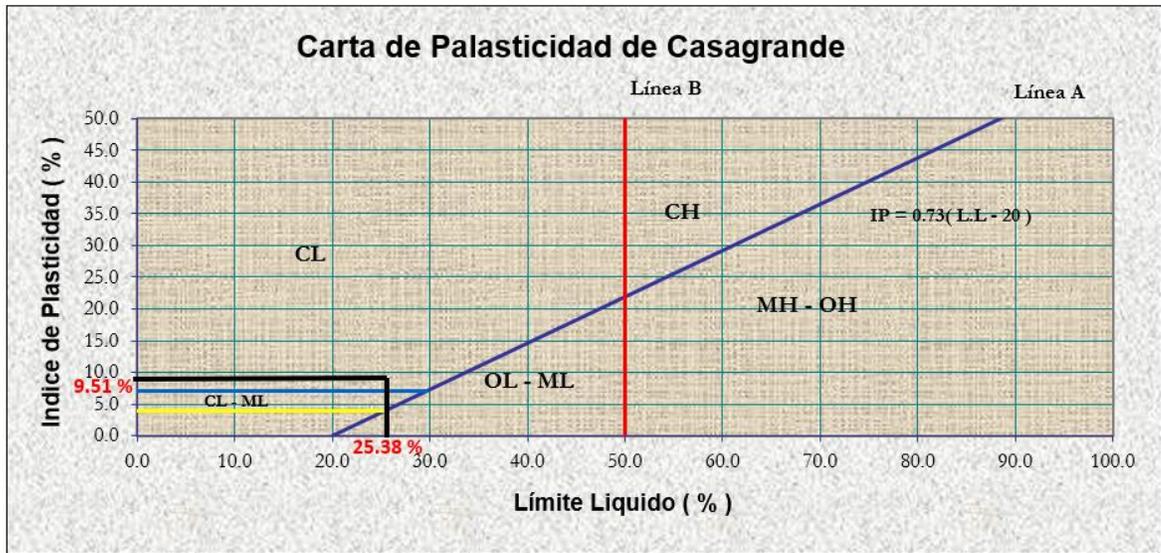


Figura 5-2. Clasificación SUCS del suelo según la carta de plasticidad de Casagrande

Elaboración: los autores (2021)

De la caracterización realizada de las muestras de suelo se corroboró la existencia del tipo de material presente a la zona de extracción del material, que, si bien se tenía conocimiento previo sobre la existencia de material arcilloso en la zona, fue necesario validarlo para desarrollar adecuadamente la presente investigación. Cabe recalcar que en su totalidad los ensayos de caracterización se realizaron bajo las normas del ASTM y Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Se añadió cemento portland a la muestra de suelo en porcentajes 3 y 5% y se observó que el índice de plasticidad se reducía significativamente lográndose a obtener hasta una variación del 31% (Ver Figura 5-3).

% de cemento Portland	Índice de Plasticidad (IP)	% de variación
0.00%	13.02	
3.00%	11.00	16.00%
5.00%	9.00	31.00%

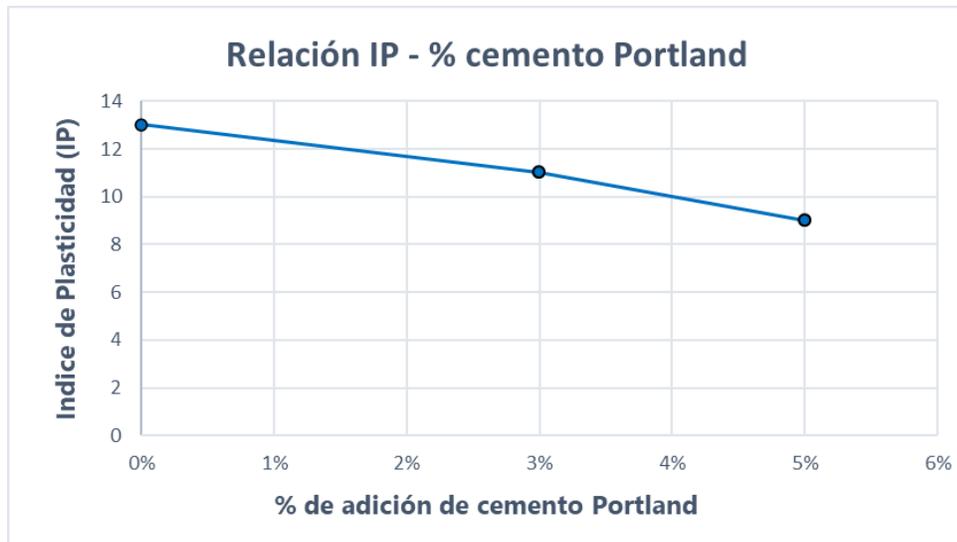


Figura 5-3. *Relación IP - % cemento Portland Tipo I*

Elaboración: los autores (2021)

5.2 Curva de compactación Proctor modificado

Inicialmente, se compactó la muestra patrón de suelo arcilloso, es decir, sin la inclusión de fibras de polipropileno y cemento Portland Tipo I. Para dicha compactación se empleó la prueba Proctor Modificado (ASTM D 1557), para la obtención de la óptima densidad seca y el contenido de humedad óptimo (w%).

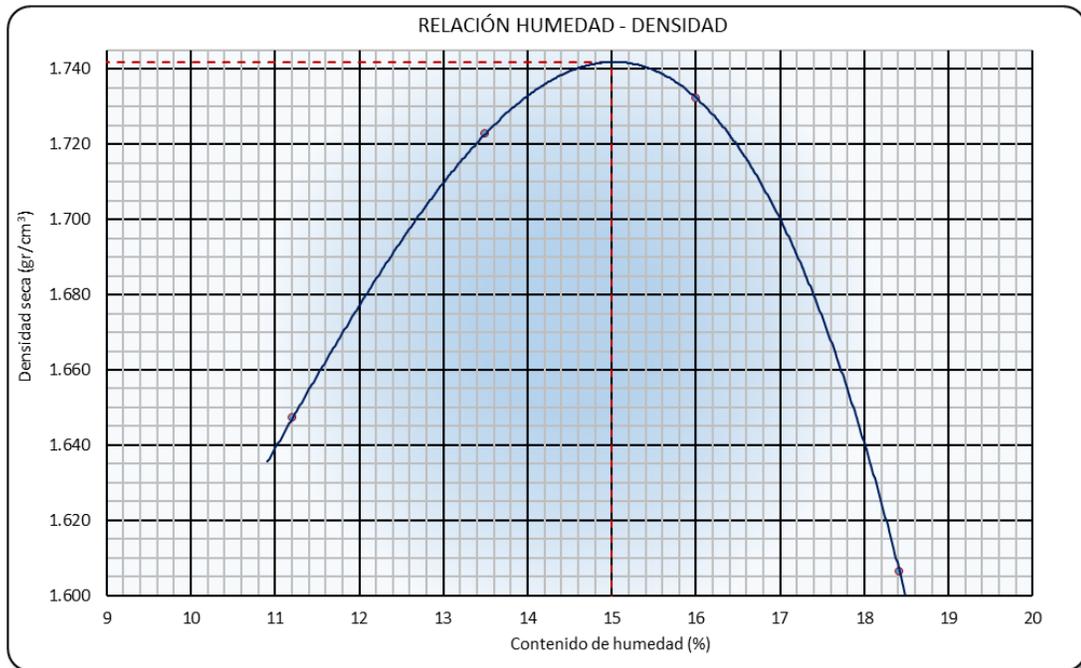


Figura 5-4. Curva de compactación de la muestra patrón

Elaboración: los autores (2021)

A partir de la figura 5-4 se puede observar que la densidad máxima seca es igual a 1.742 gr/cm³ y un contenido de humedad óptimo de 15 %.

Con los parámetros obtenidos en la curva de compactación que se interpreta que los granos del suelo fino, con la cantidad óptima de agua, se distribuyen de manera eficiente en la compactación de la muestra, ya que genera una buena cohesión interna y baja permeabilidad. Ello le adiciona importancia como parámetros de compactación a ser controlados cuando se agregue las fibras de polipropileno y cemento Portland Tipo I. Según menciona (Gil & Núñez, 2018) los parámetros de densidad máxima seca pueden tender a aumentar o disminuir, en el caso se reduzca, la conductividad hidráulica aumenta y con ello la exposición de filtraciones, lo que lo haría más inestable al material de estudio.

En la tabla 5-1 que se muestra a continuación, se observan los resultados promedios de la compactación de las probetas elaboradas con suelo arcilloso

para el ensayo de CBR, siendo analizadas 4 probetas para cada número de repeticiones.

Tabla 5-1.

Resultados de la compactación de probetas

% de cemento Portland tipo I	% de Adición de Fibras de polipropileno	Muestra	W optima	MDS optima
0.00%	0.00%	M1	15.50%	1.687
3.00%	0.50%	M2	15.30%	1.737
	0.75%	M3	15.20%	1.740
	1.00%	M4	15.00%	1.742
	1.50%	M5	14.70%	1.755
5.00%	0.50%	M6	14.60%	1.777
	0.75%	M7	14.80%	1.781
	1.00%	M8	14.30%	1.886
	1.50%	M9	13.50%	2.003

Elaboración: los autores (2021)

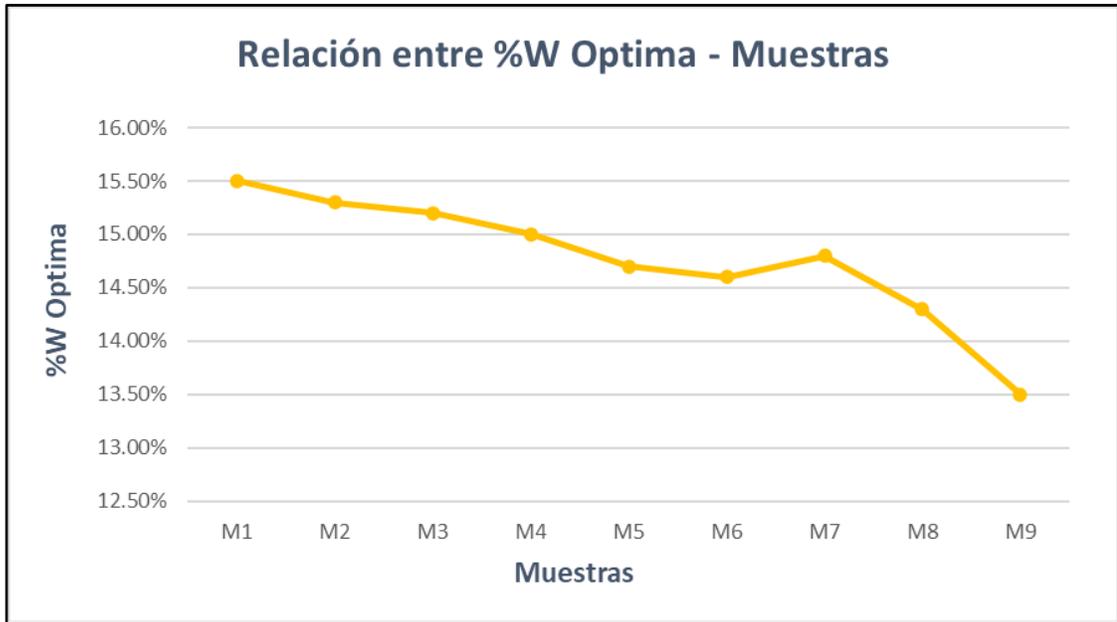


Figura 5-5. Disminución del %W óptimo con los diferentes tipos de muestra
Elaboración: los autores (2021)

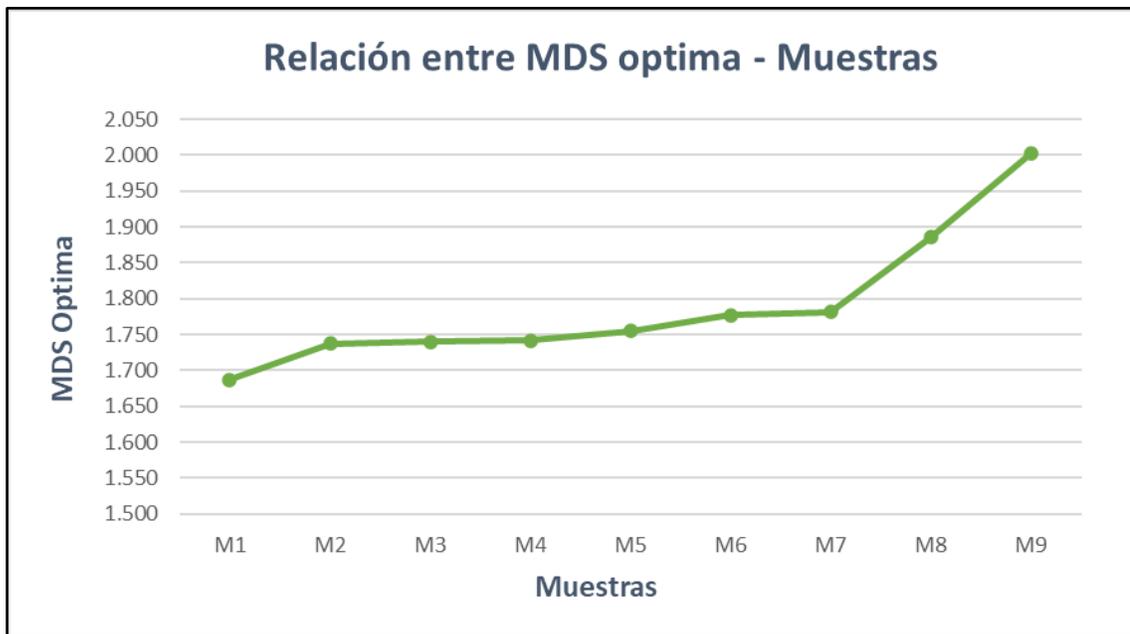


Figura 5-6. Aumento de la MDS con los diferentes tipos de muestra
Elaboración: los autores (2021)

En la tabla anterior se puede observar que el porcentaje de añadidura de fibras de polipropileno y cemento Portland tipo I está influyendo sobre la máxima densidad seca, así como también a la humedad óptima del suelo arcilloso, debido a que las fibras de polipropileno al ser un material sintético no le permiten absorber agua en sus vacíos generando una reducción en la humedad óptima, así mismo se produce una disminución en la densidad seca a medida que se aumenta el porcentaje de fibras. Ya que estas fibras son livianas con un peso específico bajo, pero se compensa con la añadidura de cemento portland tipo I. Lo antes mencionado, les proporciona una mayor resistencia a los métodos de compactación usuales mejorando así las propiedades físico-mecánicas del suelo. En la Figura 5-5 y Figura 5-6, se muestra la relación entre el %W Óptimo y la MDS Óptimo con las diferentes muestras desarrolladas.

Parámetros de resistencia

5.3 Índice de CBR

Mediante el ensayo de CBR (ASTM D 3080) se determinó el índice de CBR al 95% y 100% de la muestra patrón sin refuerzo aplicando 3 diferentes cantidades de golpes (56, 25, 12). Se tomaron los valores de penetración y compactación y mediante operaciones matemáticas se calculó el índice de CBR, se procedió a dibujar las gráficas penetración-carga y densidad seca-CBR con los puntos obtenidos para finalmente obtener los valores de CBR al 95% y 100%.

DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³):		1.742	
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%):		15.0	
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³):		1.65	
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%)		4.339	
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.0	0.2"	8.4
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	8.4	0.2"	10.0

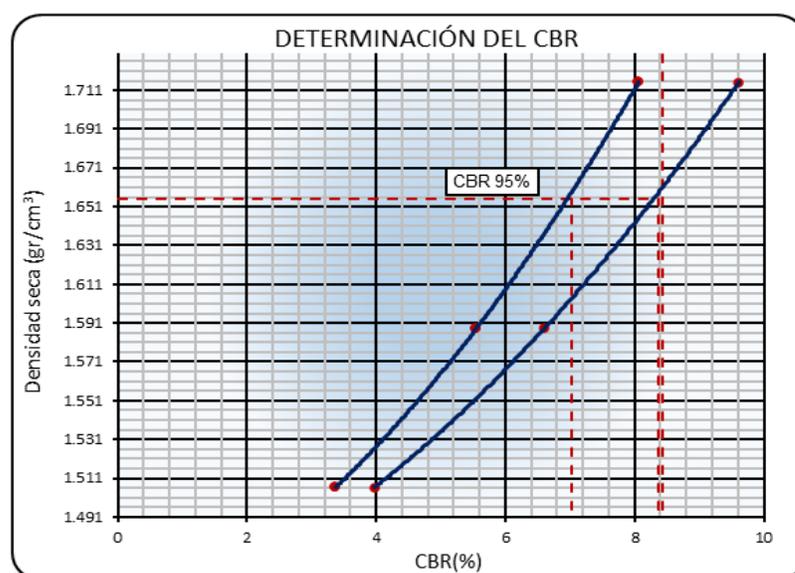


Figura 5-7. Gráfico densidad seca – CBR (%)

Elaboración: los autores (2021)

Tabla 5-2

Resultados de los ensayos CBR con los diferentes porcentajes de fibra.

	Descripción	CBR al 95%	CBR al 100%	HINCHAMIENTO PROMEDIO
M1	Inalterada	5.90	7.60	4.34
M2	3% CP y 0.50% FP	5.80	9.20	4.28
M3	3% CP y 0.75% FP	5.90	9.60	4.21
M4	3% CP y 1.00% FP	7.70	11.20	4.06
M5	3% CP y 1.50% FP	7.90	11.30	4.08
M6	5% CP y 0.50% FP	8.10	12.70	4.29
M7	5% CP y 0.75% FP	11.00	16.50	4.12
M8	5% CP y 1.00% FP	14.90	16.90	4.02
M9	5% CP y 1.50% FP	19.90	23.20	3.99

Elaboración: los autores (2021)

En la tabla 5-2 se muestra los resultados de los ensayos de CBR en el cual se aprecia el incremento tanto del índice de CBR al 95 y 100 % como una disminución del hinchamiento promedio.

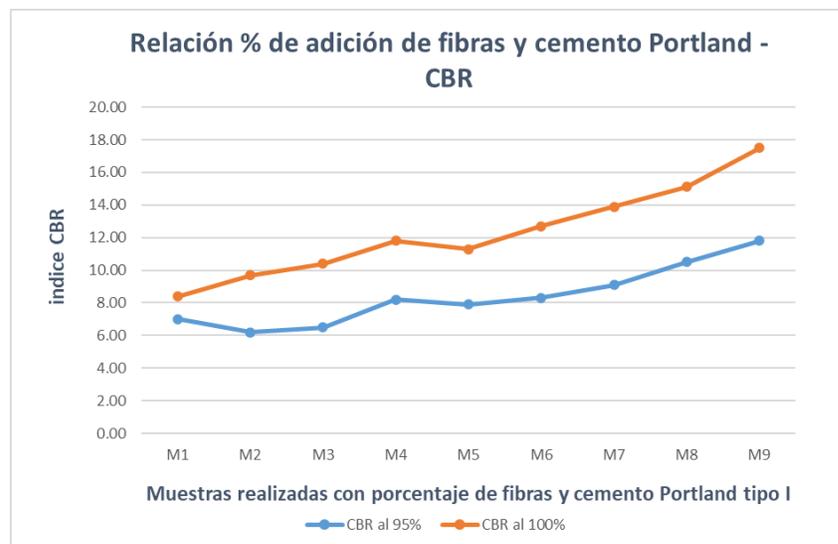


Figura 5-8. Gráfica comparativa de la mejora en el índice de CBR según el porcentaje de fibras y el porcentaje de cemento portland tipo I

Elaboración: los autores (2021)

Tabla 5-3

Comparativo de las mejoras en el índice de CBR según el porcentaje de fibras y cemento Portland tipo I.

%ADICION CP y FP	INDICE DE CBR E HINCHAMIENTO		
	CBR 95%	CBR 100%	HINCH. PROM
0.00%	5.90	7.60	4.34
3% CP y 0.5% FP	5.80	9.20	4.28
MEJORA (kg/cm2)	-0.10	1.60	-0.06
MEJORA (%)	-1.69%	21.05%	-1.31%
0.00%	5.90	7.60	4.34
3% CP y 0.75% FP	5.90	9.60	4.28
MEJORA (kg/cm2)	0.00	2.00	-0.06
MEJORA (%)	0.00%	26.32%	-1.31%
0.00%	5.90	7.60	4.34
3% CP y 1.00% FP	7.70	11.20	4.06
MEJORA (kg/cm2)	1.80	3.60	-0.28
MEJORA (%)	30.51%	47.37%	-6.43%
0.00%	5.90	7.60	4.34
3% CP y 1.50% FP	7.90	11.30	4.08
MEJORA (kg/cm2)	2.00	3.70	-0.26
MEJORA (%)	33.90%	48.68%	-5.90%
0.00%	5.90	7.60	4.34
5% CP y 0.5% FP	8.10	12.70	4.29
MEJORA (kg/cm2)	2.20	5.10	-0.05
MEJORA (%)	37.29%	67.11%	-1.11%
0.00%	5.90	7.60	4.34
5% CP y 0.75% FP	11.00	16.50	4.12
MEJORA (kg/cm2)	5.10	8.90	-0.22
MEJORA (%)	86.44%	117.11%	-4.98%
0.00%	5.90	7.60	4.34
5% CP y 1.00% FP	14.90	16.90	4.02
MEJORA (kg/cm2)	9.00	9.30	-0.32
MEJORA (%)	152.54%	122.37%	-7.35%
0.00%	5.90	7.60	4.34
5% CP y 1.50% FP	19.90	23.20	3.99
MEJORA (kg/cm2)	14.00	15.60	-0.35
MEJORA (%)	237.29%	205.26%	-8.07%

Fuente: (Elaboración Propia)

La Figura 5-8 y la Tabla 5-3 nos muestra que las diferentes adiciones de fibra de polipropileno y cemento Portland tipo I mejoran el índice CBR del suelo arcilloso. Los porcentajes de mejora van desde 21% hasta 237.29%, siendo el 1.5% de añadidura de fibras de polipropileno y 5% de cemento Portland la que mejores resultados ha presentado. Sin embargo, los resultados más desfavorables se presentaron con la añadidura de 0.5% de fibra de polipropileno y 3% de cemento Portland, debido a la poca adherencia entre fibra-suelo por la escasa cantidad de fibra en la muestra. Se recalca que los mayores porcentajes de mejora se dan en el CBR al 100%. Lo observado aquí responde a las investigaciones anteriores realizadas con diferentes porcentajes de fibras como refuerzo físico y cemento portland como estabilizador.

En función de lo estudiado por Li (2005), el instrumento de transferencia de esfuerzos de la matriz de suelo arcilloso a las fibras está sujeto en gran medida de la adherencia que se logra entre suelo-fibra, debido a que ello se relaciona directamente proporcional con la resistencia al corte y capacidad portante, es decir a mayor adherencia entre los actuantes, mejor es la resistencia en los suelos arcillosos. Ello va relacionado con el incremento progresivo del porcentaje de fibras de polipropileno en la muestra. Sin embargo, la adherencia entre la fibra y el suelo va a depender del equilibrio que se tenga entre la interacción de la matriz de ambas. Por consiguiente, pese a su propiedad cohesiva, la excesiva añadidura de fibras obstaculiza la correcta interrelación entre las partículas del suelo, lo cual ocasiona una separación en la mezcla y de modo que se pierde validez en el mecanismo de transferencia de esfuerzos. Por esto, en la presente investigación se complementó la añadidura de fibras con el apoyo de un estabilizador como lo es el cemento Portland que complementa la pérdida de cohesión de la matriz del suelo por causa de la añadidura de fibras.

CAPÍTULO VI

DISCUSIÓN

6.1 Contrastación de la hipótesis

Luego de haber obtenido los resultados de la investigación respecto a la influencia de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I, resulta evidente evidenciar mejoras positivas en el índice del CBR desde un 21% hasta un 237.29% de la subrasante de la carretera arcillosa Pampas – La Florida, con una disminución significativa del porcentaje de hinchamiento de hasta un 8.07%.

De la añadidura de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I mejorarán las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso en la subrasante de la carretera Pampas, La Florida, se pudieron obtener de los resultados que existe una mejora significativa en las propiedades del suelo, que se pueden evidenciar en el índice del CBR, así como una disminución del hinchamiento del suelo, por lo tanto, esta hipótesis es **Válida**.

6.1.1 Contrastación de las hipótesis específicas

Contratación de la primera hipótesis

H1: El índice de plasticidad disminuye en más del 20% con la añadidura de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida.

De los resultados obtenidos en los ensayos de suelos, el índice de plasticidad va en disminución a medida que se adiciona el cemento

portland tipo I en proporción de 3% y 5%, con una variación de hasta 33%, lo cual esta hipótesis se **valida**, puesto que se logró una disminución significativa mayor al 20% en el índice de plasticidad.

Contrastación de la segunda hipótesis

H2: La añadidura de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I incrementará más del 50% el índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida.

De la obtención de los resultados en los ensayos del índice de CBR, se pudo demostrar que a medida que se iban adicionando los porcentajes de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I, el índice de CBR se incrementaba significativamente de acuerdo a la muestra natural sin añadidura, con un valor aumentado hasta un 237.29%; con cantidades de 1.5% de fibra de polipropileno y 5% en cemento portland tipo I, lo cual esta hipótesis se **valida**, puesto que se logró un aumento positivo mayor al 50% en el índice de CBR según se indicaba en la segunda hipótesis planteada.

Contrastación de la tercera hipótesis

H3: La longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I mejora la capacidad portante y disminuye el porcentaje de hinchamiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida.

Según la Tabla 5-2 de añadidura de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I, se visualizaron que ha medida de un incremento de añadidura de fibras y cementos, el hinchamiento disminuía, y el índice de CBR aumentaba, puesto a que se tomaron 9 ensayos, una con una muestra inalterada, y las otras restantes con muestras adicionadas con fibras de polipropileno en proporciones de 0.5%, 0.75%, 1.00% y 1.5%, con una medida de

20mm y cemento portland tipo I en proporciones de 3% y 5%, mediante estos resultados se puede inferir que se puede contrastar esta hipótesis, ya que al disminuir el hinchamiento hace que la capacidad portante de la carretera aumente y con la mejora del índice de CBR, mejora la estabilización de la subrasante en la carretera, por tanto esta hipótesis se **valida**.

Contrastación de la cuarta hipótesis

H4: El diseño del paquete estructural del pavimento se optimiza con la mejora del índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida.

De acuerdo a los valores obtenidos del CBR, se tiene una estructura de soporte apta para el diseño del paquete estructural, debido a ser una carretera de bajos volúmenes de tránsito y de tipo trocha carrozable, como además de tener una categoría de sub rasante buena, según la Tabla 6-1, que, mediante los ensayos obtenidos de la añadidura de fibras y cemento, se obtuvo un CBR en esos límites, por lo tanto, esta hipótesis se **valida**.

Tabla 6-1.

Categoría de Subrasante

Categorías de Sub rasante	CBR
S0 : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S1 : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S2 : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S3 : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S4 : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S5 : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Fuente: MTC

6.2 Contrastación de antecedentes

6.2.1 Contrastación de antecedentes internacionales

AI1: Effect of random inclusion of sisal fiber on strength behavior of soils

El artículo tiene como resultados que la añadidura de fibras de sisal provocó la disminución de la humedad óptima, aumento de la cohesión y el índice de CBR; además, las mejoras están directamente relacionadas con el aumento del % de fibra y su longitud. Estos resultados coinciden con los de la presente investigación, se sabe que la añadidura de fibras en los suelos genera una mejor adherencia entre las partículas influyendo directamente en el valor de cohesión del suelo, a su vez, este genera un mayor esfuerzo cortante, un mayor esfuerzo a la compresión y un mayor índice de CBR al estar directamente relacionado.

Tanto el artículo como la investigación concluye que si bien la añadidura de fibras mejora las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos existe un porcentaje máximo de % de fibra con la que se puede realizar los experimentos por la trabajabilidad de las muestras; además, estas mejoras en las propiedades deben tomarse con cautela por ser resultado de evaluaciones con muestras preparadas en laboratorios que pueden diferir de las condiciones reales in situ.

AI2: The Effect of Polypropylene Fiber in the Stabilization of Expansive Soils. International Journal of Geological and Environmental Engineering.

El presente artículo realizado en la India en el que se evaluaba como la fibra de polipropileno influía en la resistencia al corte y la alta plasticidad tuvo resultados como una mejora en la resistencia no confinada, una mejor ductilidad y el hinchamiento del suelo. Estos resultados son similares a los de esta presente investigación, las fibras al mejorar la interacción entre partículas por su rugosidad influye positivamente en la cohesión que es un parámetro de la resistencia al corte y a su vez está directamente relacionada con la capacidad portante y el índice de CBR; además, una mejor interacción entre fibra y suelo disminuye el hinchamiento del suelo ya que las partículas se encuentran más compactas y si adicionalmente se añade un estabilizador como lo es el cemento portland esta variación en los suelos arcillosos se reduce aún más.

AI3: Swell and compressibility of fiber reinforced expansive soils

El artículo realizado en Turquía se obtuvieron resultados que la añadidura de fibras de polipropileno aumento la expansibilidad del suelo con ciertos porcentajes menores de fibra, pero los redujo con porcentajes mayores; el índice de compresibilidad tuvo los mismos resultados que la expansibilidad del suelo teniendo resultados erráticos. Estos resultados erráticos no son similares a los de la presente investigación en el hecho que al utilizar cemento portland se reduce la probabilidad de un aumento considerable de la expansibilidad del suelo. Las conclusiones del artículo y las de la presente investigación coinciden en que existe un gran potencial en

el uso de fibra de polipropileno para el reforzamiento de suelos expansivos sin embargo se requiere muchas más investigaciones con diferentes condiciones del material, porcentajes y longitud de fibras.

6.2.2 Contratación de antecedentes nacionales

AN1: “Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de reposo interna de suelos arcilloso aplicado a la estabilidad de taludes”

En la tesis se desarrolló como la añadidura de fibras PET reciclado influía sobre la resistencia al corte que está bajo los parámetros del ángulo de reposo y la cohesión. Los resultados son similares a los de esta investigación, teniendo que la añadidura de fibras mejora en mayor cantidad el ángulo de reposo y la cohesión (pro consiguiente se mejora la resistencia al corte), esto se debe a las fibras PET mejora la adherencia entre partículas, esto apoyó nuestra hipótesis de que la añadidura de fibras en el suelo mejora la resistencia al corte y esto a su vez mejora la resistencia a la compresión y el índice de CBR. Observamos que se tiene una conclusión de que las fibras mejoran en mayor parte el ángulo de reposo y no tanto la cohesión, esto apoya la decisión de usar cemento portland tipo I como estabilizador y sirve para mejorar este parámetro. Ambas investigaciones concluyen en que se deben buscar valores máximos de uso de fibra para determinar con exactitud a que porcentaje la añadidura ya resulta desfavorable y empieza a dificultar la trabajabilidad de las muestras.

AN2: “Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico”

En la tesis se desarrolló cómo la añadidura de cemento portland influye en suelos expansibles principalmente sobre el CBR y la hinchazón. Los resultados son favorables en esta tesis como en la

presente investigación, se refleja un aumento entre 91.9% con 10.0% y 129.30% con 20.0% de añadidura de cemento Portland, sin embargo, al aumentar los porcentajes el ritmo de mejora empieza a disminuir. Además, la hinchazón o expansión de las muestras se redujo en un 7.18%, un valor cercano a lo que se obtuvo (8.00%). Se observa que los resultados de ambas investigaciones son favorables; no obstante, al formular la hipótesis de la presente investigación, se propuso lograr mejores resultados dejando de lado el gran porcentaje de cemento portland y apoyarnos en el uso de fibras de polipropileno, es así como se disminuyó de 10% a 3% y de 20% a 5%, la añadidura de fibras juega un rol importante ya que mejora la dispersión de los esfuerzos a través de toda la muestra y produce que se obtengan mejores valores comparado a solo utilizar cemento portland. Se concluye que solo utilizar cemento portland tiene un límite en el cual la mejora ya no es tan significativa por el hecho de que la muestra pierde una de sus propiedades geotécnicas la cual es el ángulo de reposo a consta de ganar cohesión, esto vuelve a la muestra muy rígida pero susceptible a fallar en un plano agudo; esto nos demuestra que la combinación de fibras de polipropileno y cemento portland es una mejor opción para lidiar con suelos expansibles.

CONCLUSIONES

1. La adición de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I hasta un porcentaje de 1.50% y 5.00% respectivamente, mejoraron significativamente las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso aplicado en la subrasante de la carretera Pampas – La Florida, debido a que hubo mejoras en sus propiedades mecánicas y resultados positivos en los ensayos aumentando los índices de CBR y disminuyendo el hinchamiento.
2. El índice de plasticidad disminuye hasta un 33% de la muestra original sin adición de cemento Portland tipo I, esto se debe a la variación significativa del límite líquido y plástico con relación a la añadidura de cemento Portland.
3. El índice de CBR del suelo arcilloso presenta una mejora directamente proporcional a la añadidura de fibras de polipropileno y cemento Portland tipo I. Los porcentajes de mejora van desde el 21% hasta un 237.29%, siendo la añadidura del 1.5% de fibras de polipropileno y 5% de cemento Portland tipo I el que mejores resultados ha brindado con los diferentes esfuerzos de confinamiento.

4. La capacidad portante mejora significativamente en los suelos arcillosos, puesto que su mejora es proporcional a los resultados del índice de CBR, con ellos se determina que la añadidura de las fibras de polipropileno y cemento portland mejoraron el índice de CBR y con ello la capacidad portante.
5. El porcentaje de hinchamiento disminuyó hasta en un 8% en comparación a la muestra patrón al adicionar 1.50% de fibra de polipropileno y 5% de cemento Portland, esto se debe a la reducción del índice de vacíos en consecuencia de una mejor distribución entre fibra y suelo y por la propiedad química del cemento que brinda una mayor cohesión.
6. Se logró determinar el índice de CBR y porcentaje de hinchazón de la muestra natural y muestras con adición de 0.5%, 0.75%, 1% y 1.5% de fibra de polipropileno y 3% y 5% de cemento Portland, realizando ensayos de CBR bajo la norma ASTM D 1883.
7. El diseño del paquete estructural del pavimento se optimiza con la mejora del índice de CBR, ya que pasa de ser una subrasante de categoría “insuficiente” a “buena”, disminuyendo los posibles trabajos y volúmenes de reemplazo de material, además por los bajos IMD (Intensidad Media Diaria) de la vía se tiene que se debe conservar como una trocha carrozable a nivel de subrasante.
8. El uso de fibras de polipropileno y cemento portland tiene potencial para lidiar con los suelos expansivos sin embargo se requiere aún más investigaciones con diferentes tipos de suelos arcillosos y una mayor variedad de porcentajes y longitudes de fibra y porcentajes de cemento portland tipo I.

RECOMENDACIONES

1. Analizar mayores porcentajes de cemento Portland tipo I y fibras de polipropileno para determinar en qué punto estos ya no generan las mejoras en las propiedades geotecnias de los suelos arcillosos, ya que a mayor porcentaje de fibras la muestra tiende a perder trabajabilidad y no se logra la adherencia requerida entre suelo y fibra aun cuando se use cemento Portland, por ende, el índice CBR disminuye.
2. Tomar con precaución y cautela los resultados obtenidos mediante el ensayo CBR cautela ya que presentan cierta dispersión de resultados y este no refleja las condiciones reales a las que estará sometido el suelo y es poco fiable cuando se trata de suelos con índice de CBR elevados.
3. Considerar el material de estudio suelos arcillosos para futuras investigaciones con porcentajes de finos mayores al 50 % del total de la muestra y un índice de plasticidad superior al 12% para ser considerados como tal y de esta manera realizar efectivamente los ensayos para cumplir con los objetivos de las investigaciones.
4. Analizar la relación costo beneficio de la utilización de las fibras de polipropileno y cemento Portland tipo I como solución alterna a las realizadas comúnmente.

5. Investigar sobre otros campos de acción aplicando una adición de fibras de polipropileno como un mejoramiento de subrasante, estabilización de taludes, muros de suelo reforzado entre otros.
6. Estudiar en qué medida las fibras de polipropileno y cemento Portland tipo I influyen en otras propiedades geotécnicas como la resistencia al corte mediante el ensayo de corte directo o la relación entre capacidad portante y corte directo mediante el ensayo de compresión no confinada.
7. Realizar más ensayos de límite líquido y plástico con la adición de cemento portland y ver si la influencia de este tiene un punto de mejora máximo, y si lo tiene, determinar como el aumento de este porcentaje influencia en las otras propiedades geotécnicas.
8. Determinar mediante estudios de tráfico si es conveniente realizar un proyecto de mejora de la estructura de la carretera, y reemplazar la presente trocha carrozable, con la implementación de una carpeta asfáltica; y si lo es, proponer el espesor de la estructura del pavimento.

FUENTES DE INFORMACIÓN

Bibliográficas:

Braja, M. (2013). Fundamentos de ingeniería geotécnica. (4ta Ed). México, D.F: Cengage Learning

Castro, M & Navarro, J. (2019). *Análisis de mejora de suelos arcillosos de alta plasticidad a nivel de subrasante mediante la adición de cemento Portland para disminuir el cambio volumétrico* (Tesis de Pregrado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima.

Consoli, N.; Vendruscolo, *a wide cementation range*". Geotextiles and Geomembranes. Vol. 27, pp. 196-203.

Consoli, N.; Thome, A.; Rosa, D & Fahey, M. (2009), "*Effect of relative density on plate loading tests on fiber-reinforced sand*". Geotechnique, Vol. 59, No 5, pp. 471-476.

Duque, G., & Escobar, C. (2016). *Geomecánica*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Garber, N & Hoel, L. (2005). Ingeniería de Tránsito y Carretera, México DF, México: International Thomson Editores

- Hernández, R; Fernández, C & Baptista, M. 2014. Metodología de la investigación. McGrawHill, México
- Misra, A., Utilization of Western Coal Fly Ash in Construction of Highways in the Midwest, Mid-America Transportation Center, Lincoln, Nebraska, 2000.
- Mitchell, J & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*. United States: Khon Wiley & Sons, Inc.
- Tang, C.; Shi, B.; Gao, W.; Chen, F. & Cai, Y. (2007). *Strength and mechanical behavior of short polypropylene fibre reinforced and cement stabilized clayey soil*. *Geotextiles and Geomembranes* 25: 194-202
- Torres, J. (2014). *Diseño Racional del Pavimento aplicado a caminos de acceso con el uso de paneles sintéticos* (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
- Vettorelo, P., & Clariá, J. (2014). Suelos Reforzados con Fibras: Estado de Arte y Aplicaciones. *Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 1(1), 27-34
- Velásquez, C (2018). *Influencia del cemento portland tipo I en la estabilización del suelo arcilloso de la subrasante de la avenida Dinamarca, sector La Molina* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Perú.

Hemerográficas (artículos):

- Mahmood, R; Parsapajouh, A; Mohammad A, (2008). Effects of Random Fiber Inclusion on Consolidation, Hydraulic Conductivity, Swelling, Shrinkage Limit and Desiccation Cracking of Clays. *International Journal of Geological and Environmental Engineering* (Vol n° 6). Pag. 284-292.
- Prabakar, J. & Sridhar, R. (2008). *Effect of random inclusion of sisal fiber on strength behavior of soil*. *Construction and Building Materials*, 123-131.

Soğancı, A. (2015). The Effect of Polypropylene Fiber in the Stabilization of Expansive Soils. *International Journal of Geological and Environmental Engineering* (Vol n° 9). Pag. 994-997.

Electrónicas:

Arriaga, D. (2006). *Aspectos constructivos de la técnica de compactación dinámica para mejoramiento masivo de suelos*. (Tesis de Maestría).

Universidad Nacional Autónoma de México: Recuperado de:
<http://132.248.9.195/pd2006/0607811/0607811.pdf>

Bermudez, R. (2016). *Everything you need to know about polypropylene (PP) plastic*. Recuperado de: <https://www.creativemechanisms.com/blog/all-about-polypropylene-pp-plastic>

Chang, L. (2014). *California Bearing Ratio*. Recuperado de:
<https://es.slideshare.net/chininx100pre/cbr-ensayos>

Eddie, H. (2002). *Estabilización de suelos expansivos*. Recuperado de:
<http://notasdepavimentos.blogspot.com/2011/04/estabilizacion-de-suelos-expansivos.html>

Fernández, C. (2006). *Estudio experimental de refuerzo de suelos con fibras sintéticas*. Geogaceta, 40, pp 303-306. Recuperado de:
<http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/8602/Estudio-experimental.pdf?sequence=2>

Fernández, C; Martínez, J & Thode, J. (n.d). *Refuerzo de suelos con fibras sintéticas*. Recuperado de <https://studylib.es/doc/353194/articulo-refuerzo-de-suelos-con-fibras>

Gil, E & Nuñez, I. (2018). *Influencia de la adición de fibras de PET reciclado sobre la resistencia, cohesión y ángulo de reposo interna de suelos arcillosos aplicado a la seguridad de las pendientes* (Tesis de titulación).

Universidad Nacional de Trujillo. Recuperado de:
<http://dspace.unitru.edu.pe/handle/UNITRU/11114>

Hurtado, D. (2014). *Mejoramiento de suelos expansivos mediante la inclusión de fibras* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro. México. Recuperado de:
<http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1811/1/RI001427.pdf>

Lopez, J. (2013). *Suelos arcillosos reforzados con materiales de plástico reciclado*. Recuperado de:
https://repository.eia.edu.co/bitstream/11190/265/7/LopezJose_2013_SuelosArcillososReforzados.pdf

Mendoza, C; Aire, C & Dávila, P. (2011). *Influencia de las fibras de polipropileno en las propiedades del concreto en estados plástico y endurecido*. Recuperado de:
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000100003

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2018). Red Vial Existente del Sistema Nacional de Carreteras, según departamento: 2012-2018.
Recuperado de: <https://portal.mtc.gob.pe/estadisticas/transportes.html>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Recuperado de:
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/MC-05-14%20Seccion%20Suelos%20y%20Pavimentos_Manual_de_Carreteras_OK.pdf

Qué porcentaje de la red vial no está pavimentada. (2018). Recuperado de:
<https://peruconstruye.net/2018/11/16/peru-que-porcentaje-de-la-red-vial-no-esta-pavimentada/>

Rosales, D. (2014). *Mejoramiento de suelos expansivos mediante inclusiones de fibra* (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma de Querétaro.

Recuperado de:

<http://ri.uaq.mx/bitstream/123456789/1811/1/RI001427.pdf>

Sika fiber Perú. (2019). *Fibras para concreto*. Recuperado de:

https://per.sika.com/content/peru/main/es/solutions_products/mercados_sika/sika-aditivos-concreto/02a001/02a001sa01/02a001sa01102.html

Suarez, J. (n.d). *Deslizamientos: análisis geotécnico*. Recuperado de: www.erosion.com.co

Tex Delta. (2019). *Aplicaciones y ventajas del uso de fibras de polipropileno*.

Recuperado de: <https://texdelta.com/blog/aplicaciones-y-ventajas-del-uso-de-fibras-de-polipropileno/>

UMACON. (2017). *¿Qué es el cemento Portland?* Recuperado de:

<http://www.umacon.com/noticia.php/es/que-es-el-cemento-portland-tipos-y-caracteristicas/413>

ANEXOS

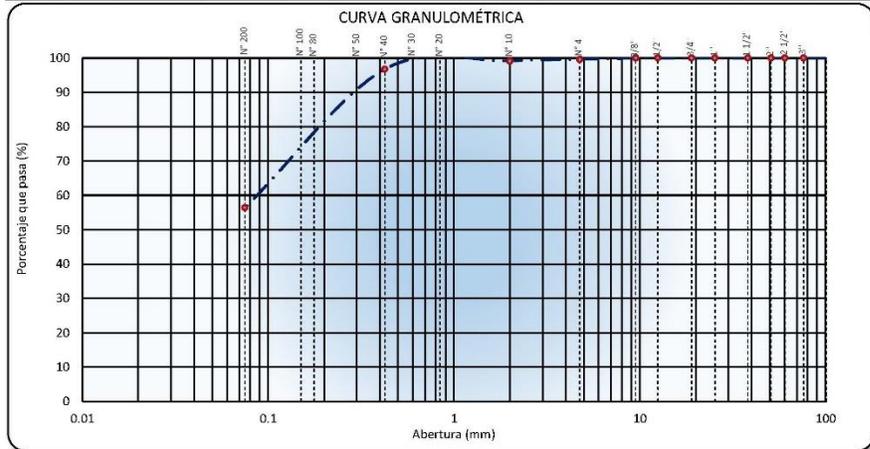
ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

 USMP FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA MATRIZ DE CONSISTENCIA						
Título de investigación	INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA 13+310 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA					
Elaborado por	CARROZZO CHAVARRIA, EDUARDO MICHEL SALAZAR MARTINEZ, DILAN SCOTT					
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES			METODOLOGÍA
Problema Principal	Objetivo Principal	Hipótesis principal	Variable independiente.	DIMENSIÓN	INDICADORES	
¿De qué manera la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I influye en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, Huaral, Lima?	Establecer la influencia de la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la mejora de las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso de la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, Huaral, Lima	La adición de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I mejorarán significativamente las propiedades geotécnicas del suelo arcilloso aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida, Huaral, Lima	FIBRAS DE POLIPROPILENO	REFUERZO MECÁNICO	% de Adición de Fibras de Polipropileno	DISEÑO
			CEMENTO PORTLAND TIPO I	REFUERZO QUÍMICO	Longitud de las Fibras de Polipropileno	
					% de Adición de Cemento	EL TIPO DE INVESTIGACIÓN ES APLICADA, DEBIDO A QUE SE EMPLEA CONCEPTOS TEÓRICOS YA EXISTENTES. EL NIVEL DE ESTA INVESTIGACIÓN ES EXPLICATIVO - CUANTITATIVO, YA QUE TIENE UN ENFOQUE SECUENCIAL Y PROBATORIA, ADEMÁS SE CARACTERIZA POR SER OBJETIVA.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicos	Variable dependiente.	INDICADORES		MUESTRA
¿Cómo se determinará el índice de plasticidad con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida?	Determinar el índice de plasticidad con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida	El índice de plasticidad disminuye en más del 20% con la adición de cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos aplicado en la subrasante de la carretera Pampas - La Florida	PROPIEDADES GEOTÉCNICAS	CARACTERIZACIÓN DEL SUELO	GRANULOMETRÍA POR TAMIZADO	LA MUESTRA ES DE TIPO NO PROBABILÍSTICA, DEBIDO A QUE LA SELECCIÓN DE LAS MUESTRAS NO ESTÁ SUJETO A LA PROBABILIDAD. EL TAMAÑO DE LA MUESTRA QUE SE EXTRAJO MEDIANTE CALICATAS ES DE 242 KG DE SUELO ARCILLOSO DE LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA
¿Cómo se determinará el índice de CBR con la adición de las fibras de polipropileno y el cemento portland tipo I en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida?	Determinar el índice de CBR con la adición de las fibras de polipropileno y el cemento portland tipo I en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida	La adición las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I incrementará más del 50% el índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos en comparación al suelo en estado natural de la carretera Pampas - La Florida			LÍMITE LÍQUIDO	* REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA DE TESIS Y REVISTAS * MANUAL DE ENSAYO DE MATERIALES * ENTREVISTAS A EXPERTOS SOBRE LA INVESTIGACIÓN
					LÍMITE PLÁSTICO	* ENSAYOS EN LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS POR LAS NORMAS ASTM D2850
¿En qué medida la capacidad portante y el porcentaje de hinchamiento cambia con la longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida?	Determinar la capacidad portante y el porcentaje de hinchamiento con la longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I en el mejoramiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida	La longitud y la variación de porcentajes de las fibras y cemento portland tipo I mejora la capacidad portante y disminuye el porcentaje de hinchamiento de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida			CONTENIDO DE HUMEDAD	PROCEDIMIENTO
					* SE PROCEDERÁ A EXPLORAR LA ZONA DE INVESTIGACIÓN CON EL FIN DE VISUALIZAR LOS PROBLEMAS IN SITU. * SE OBTENDRÁ MATERIAL DE MUESTRA PARA EL ESTUDIO, COMO LA OBTENCIÓN DE MUESTRA DE ARCILLA. ADEMÁS SE CONSEGUIRÁ LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO PARA PREPARAR LA CARACTERIZACIÓN DE LAS MEZCLAS DE ESTUDIO. * LUEGO DETERMINAR MEDIANTE LOS ENSAYOS LOS RESULTADOS PARA HACER LAS COMPARACIONES DE LAS DOSIFICACIONES DEL COMPORTAMIENTO DE LAS MEZCLAS DE SUELO FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I.	
¿En qué manera el diseño del paquete estructural del pavimento cambia con el mejoramiento del índice de CBR de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida?	Determinar el diseño del paquete estructural del pavimento con el mejoramiento del índice de CBR de las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida	El diseño del paquete estructural del pavimento se optimiza con la mejora del índice de CBR en las propiedades geotécnicas de los suelos arcillosos de la carretera Pampas - La Florida		CAPACIDAD PORTANTE	ENSAYO DE COMPACTACIÓN POR PROCTOR MODIFICADO	
					ÍNDICE %CBR	

ANEXO 2. ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA MUESTRA BASE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO							
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO							
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 107, ASTM D 422, AASHTO T 88							
DATOS DE LA MUESTRA							
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA							
TRAMO :	KM 8+400			RUTA : 1			
COORDENADAS :	N 9077027 / E 807574			PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00			
CALICATA :	C - 1			HECHO POR: LAB HOL			
MUESTRA :	M- 1			FECHA: 7/05/2021			
TAMIZ	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	ESPECIFIC.	DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
4"	101.600						Peso de la Muestra
3"	76.200						Peso Total de la Muestra (gr.): 153
2 1/2"	60.350						Material Fino < N°4 (gr.): 152
2"	50.800				100.0		Material Grueso > N°4 (gr.): 0.60
1 1/2"	38.100		0.0	0.0	100.0		Fracción Material < N°4 (gr.): 152.2
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0		Límites de Consistencia
3/4"	19.000	0.0	0.0	0.0	100.0		Límite Líquido (%): 33
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0		Límite Plástico (%): 20
3/8"	9.500	0.0	0.0	0.0	100.0		Índice Plástico (%): 13
N°4	4.750	0.6	0.4	0.4	99.6		Clasificación de Suelo
N°8	2.380	0.0	0.0	0.4	99.6		Clasificación SUCS : CL
N°10	2.000	0.7	0.5	0.9	99.1		Clasificación AASHTO : A-6 (B)
N°16	1.190	0.0	0.0	0.9	99.1		
N°20	0.840	0.7	0.4	1.3	98.7		
N°30	0.600	0.0	0.0	1.3	98.7		
N°40	0.425	3.0	2.0	3.2	96.8		Humedad Natural (%): 21.3
N°50	0.300	7.6	5.0	8.2	91.8		
N°80	0.177	0.0	0.0	8.2	91.8		Máxima dens. Seca (gr/cm ³): 1.742
N°100	0.150	37.8	24.8	33.0	67.0		Óptimo Cont. Humedad (%): 15.0
N°200	0.075	16.3	10.7	43.6	56.4		CBR 0.1" al 95% MDS (%): 7.0
< N°200	FONDO	86.2	56.4	100.0	0.0		CBR 0.1" al 100% MDS (%): 8.4



Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Samiento Morpis

ANEXO 3. LÍMITES DE CONSISTENCIA (LIQUIDO Y PLASTICO) DE LA MUESTRA BASE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO				
LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40				
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90				
DATOS DE LA MUESTRA				
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA				
TRAMO :	KM 8+400	RUTA :	1	
COORDENADAS :	N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD :	0.20 - 1.00	
CALICATA :	C - 1	HECHO POR :	LAB HOL	
MUESTRA :	M - 1	FECHA :	7/05/2021	
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)				
N° DE TARA		T-10	T-34	T-23
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)		56.03	70.15	64.15
PSO TARA + SUELO SECO (gr)		52.84	67.16	61.36
PESO DEL AGUA (gr)		3.19	2.99	2.79
PESO DE LA TARA (gr)		43.78	58.16	52.42
PESO DE L SUELO SECO (gr)		9.06	9.00	8.94
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		35.21	33.22	31.21
NÚMERO DE GOLPES		17	24	35
LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 80)				
N° DE TARA		T-35	T-04	
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)		52.61	58.01	
PSO TARA + SUELO SECO (gr)		51.47	56.91	
PESO DE LA TARA (gr)		45.78	51.39	
PESO DEL AGUA (gr)		1.14	1.10	
PESO DE L SUELO SECO (gr)		5.69	5.52	
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)		20.04	19.93	
CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES				
CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		OBSERVACIONES		
LÍMITE LÍQUIDO (%)	33.00			
LÍMITE PLÁSTICO (%)	19.98			
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	13.02			

Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 4. HUMEDAD NATURAL DE LA MUESTRA BASE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO			
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD NATURAL NORMAS TÉCNICAS: MTC E 108, ASTM D 2216			
DATOS DE LA MUESTRA			
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA			
TRAMO	: KM 8+400	RUTA:	1
COORDENADAS	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD:	0.20 - 1.00
CALICATA	: C - 1	HECHO POR:	LAB HOL
MUESTRA	: M- 1	FECHA:	7/05/2021
ENSAYO N°	1		
N° DE TARA	T-57	T-57	T-57
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	622.8	158.5	127.84
PESO TARA + SUELO SECO (gr)	529.9	139.7	112.16
PESO DE LA TARA (gr)	88.8	48.8	41.32
PESO DEL AGUA (gr)	92.9	18.8	15.68
PESO DE L SUELO SECO (gr)	441.1	90.9	70.84
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	21.05	20.62	22.13
HUMEDAD NATURAL (%)	21.3		

Observaciones:


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morúa

ANEXO 5. LÍMITES DE CONSISTENCIA (LIQUIDO Y PLASTICO) DE LA MUESTRA CON 3% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: SAR. J.
 MUESTRA : M - 1 FECHA: 15/05/2021

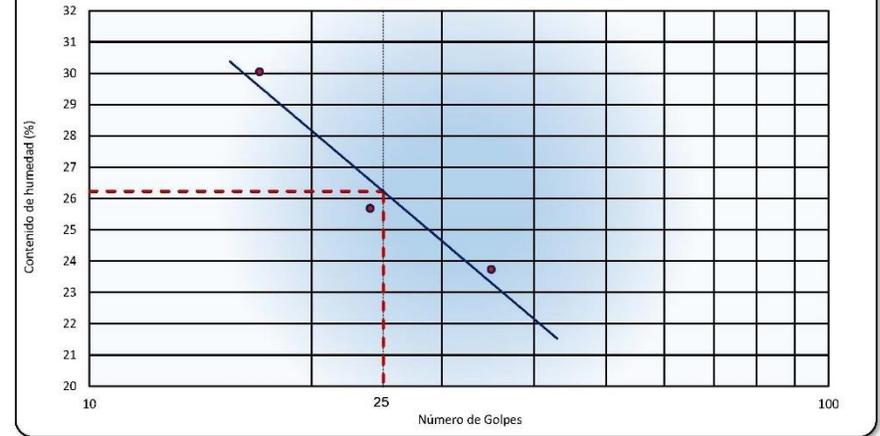
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA	T-10	T-34	T-23
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	56.03	70.15	64.15
PSO TARA + SUELO SECO (gr)	53.20	67.70	61.90
PESO DEL AGUA (gr)	2.83	2.45	2.25
PESO DE LA TARA (gr)	43.78	58.16	52.42
PESO DE L SUELO SECO (gr)	9.42	9.54	9.48
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	30.04	25.68	23.73
NÚMERO DE GOLPES	17	24	35

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA	T-35	T-04
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	52.61	58.01
PSO TARA + SUELO SECO (gr)	51.80	57.10
PESO DE LA TARA (gr)	45.78	51.39
PESO DEL AGUA (gr)	0.81	0.91
PESO DE L SUELO SECO (gr)	6.02	5.71
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	13.46	15.94

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	26
LÍMITE PLÁSTICO (%)	15
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	11

OBSERVACIONES


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 6. LÍMITES DE CONSISTENCIA (LIQUIDO Y PLASTICO) DE LA MUESTRA CON 5% DE CEMENTO PORTLAND TIPO I



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

LÍMITES DE CONSISTENCIA - MALLA N°40
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 110 - MTC E 111, ASTM D 4318, AASHTO T 89 - T 90

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0,20 - 1,00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: SAR. J.
 MUESTRA : M - 1 FECHA: 15/05/2021

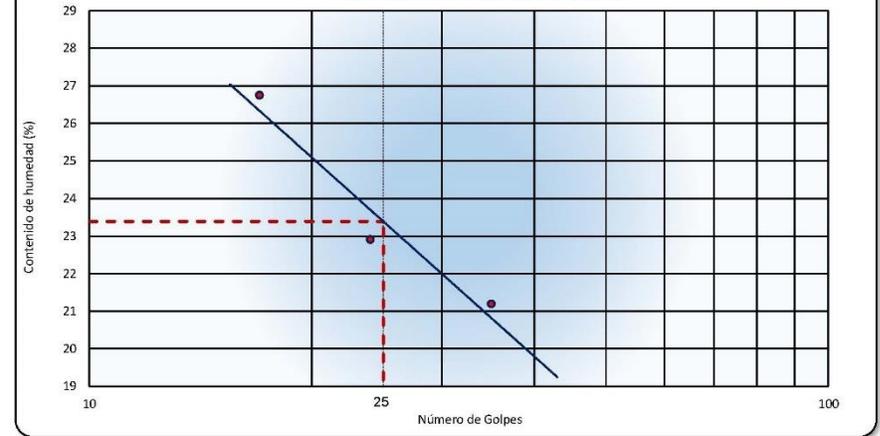
LÍMITE LÍQUIDO (MTC E 110, AASHTO T 89)

N° DE TARA	T-10	T-34	T-23
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	56.10	70.50	65.00
PSO TARA + SUELO SECO (gr)	53.50	68.20	62.80
PESO DEL AGUA (gr)	2.60	2.30	2.20
PESO DE LA TARA (gr)	43.78	58.16	52.42
PESO DE L SUELO SECO (gr)	9.72	10.04	10.38
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	26.75	22.91	21.19
NÚMERO DE GOLPES	17	24	35

LÍMITE PLÁSTICO (MTC E 111, AASHTO T 90)

N° DE TARA	T-35	T-04
PESO TARA + SUELO HÚMEDO (gr)	52.81	60.01
PSO TARA + SUELO SECO (gr)	51.90	59.00
PESO DE LA TARA (gr)	45.78	51.39
PESO DEL AGUA (gr)	0.91	1.01
PESO DE L SUELO SECO (gr)	6.12	7.61
CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	14.87	13.27

CONTENIDO DE HUMEDAD A 25 GOLPES



CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA	
LÍMITE LÍQUIDO (%)	23
LÍMITE PLÁSTICO (%)	14
ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	9

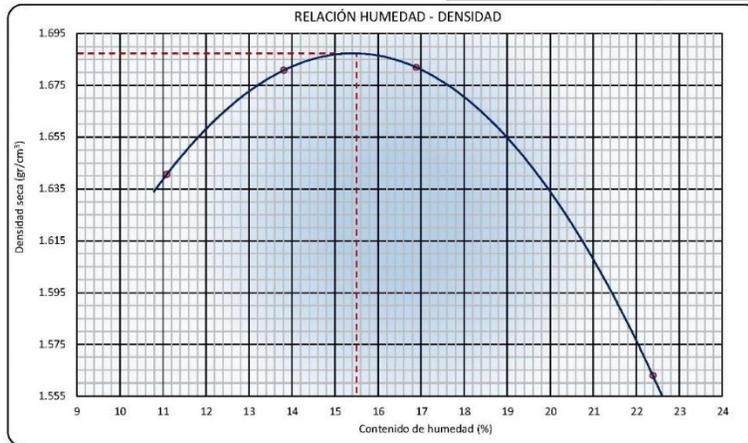
OBSERVACIONES


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morjis

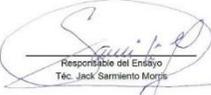
ANEXO 7. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA BASE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
PROCTOR MODIFICADO					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180					
DATOS DE LA MUESTRA					
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA					
TRAMO :	KM 8+400			RUTA : 1	
COORDENADAS :	N 9077027 / E 807574			PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00	
CALICATA :	C - 1			HECHO POR: LAB HOL	
MUESTRA :	M-1			FECHA: 7/05/2021	
Ensayo N°	1	2	3	4	
Número de Capas	5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5957	6003	6054	5953	
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163	
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1715	1800	1850	1800	
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941	
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.823	1.913	1.966	1.913	
Tara N°	T-01	T-02	T-04	T-05	
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	98.3	96.5	96.5	
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.5	95.7	93.5	92.6	
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	45.5	45.0	
Peso de agua (gr)	6.0	2.6	3.0	3.9	
Peso del suelo seco (gr)	54.1	18.5	16.0	17.6	
Contenido de agua (%)	11.1	13.8	16.9	22.4	
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.641	1.681	1.682	1.563	
				Densidad máxima (gr/cm ³)	1.687
				Húmedad óptima (%)	15.5



Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmento Morúa

ANEXO 8. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.5% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

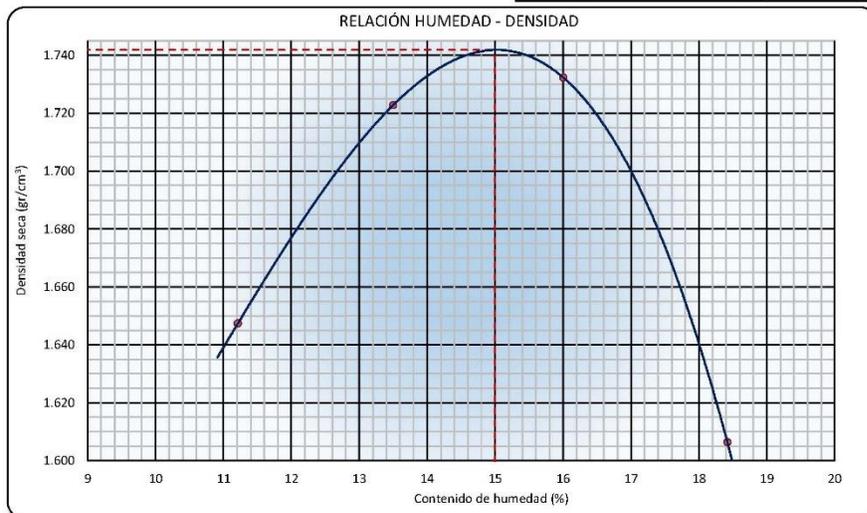
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

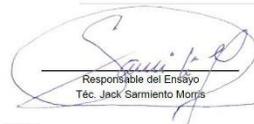
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400	RUTA : 1
COORDENADAS : N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
CALICATA : C - 1	HECHO POR: LAB HOL
MUESTRA : M-1	FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Número de Capas	5	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953	
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163	
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1724	1840	1891	1790	
Volumen del molde (cm³)	941	941	941	941	
Peso volumétrico húmedo (gr/cm³)	1.832	1.955	2.010	1.902	
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65	
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5	
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.4	55.8	63.4	63.0	
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8	
Peso de agua (gr)	6.1	2.5	3.1	3.5	
Peso del suelo seco (gr)	54.1	18.5	19.6	19.2	
Contenido de agua (%)	11.2	13.5	16.0	18.4	
Peso volumétrico seco (gr/cm³)	1.647	1.723	1.732	1.806	
				Densidad máxima (gr/cm³)	1.742
				Húmedad óptima (%)	15.0



Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morpis

ANEXO 9. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.75% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

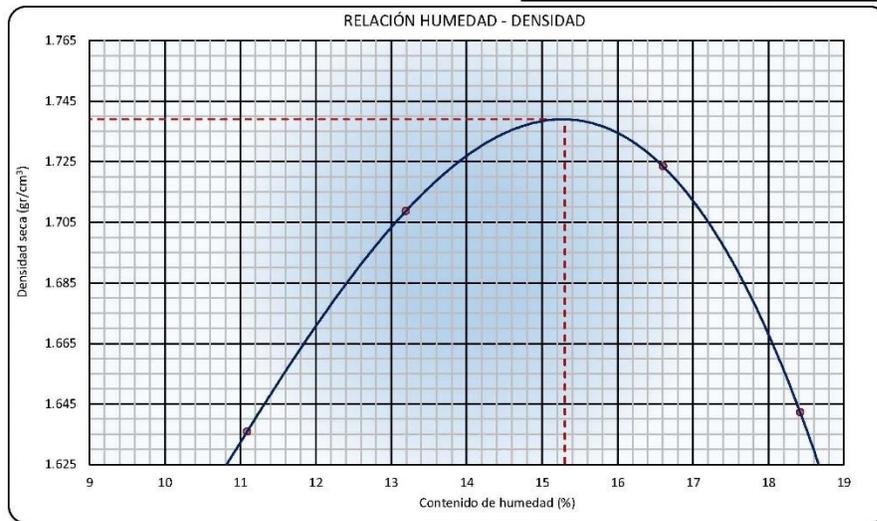
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400	RUTA : 1
COORDENADAS : N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
CALICATA : C - 1	HECHO POR: LAB HOL
MUESTRA : M-1	FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4	5
Número de Capas	5	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953	
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163	
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1710	1820	1891	1830	
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941	
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.817	1.934	2.010	1.945	
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65	
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5	
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.5	55.8	63.3	63.0	
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8	
Peso de agua (gr)	6.0	2.5	3.2	3.5	
Peso del suelo seco (gr)	54.1	18.6	19.5	19.2	
Contenido de agua (%)	11.1	13.2	16.8	18.4	
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.636	1.709	1.723	1.642	
Densidad máxima (gr/cm³)					1.739
Húmedad óptima (%)					15.3



Observaciones :

 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morón

ANEXO 10. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.00% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

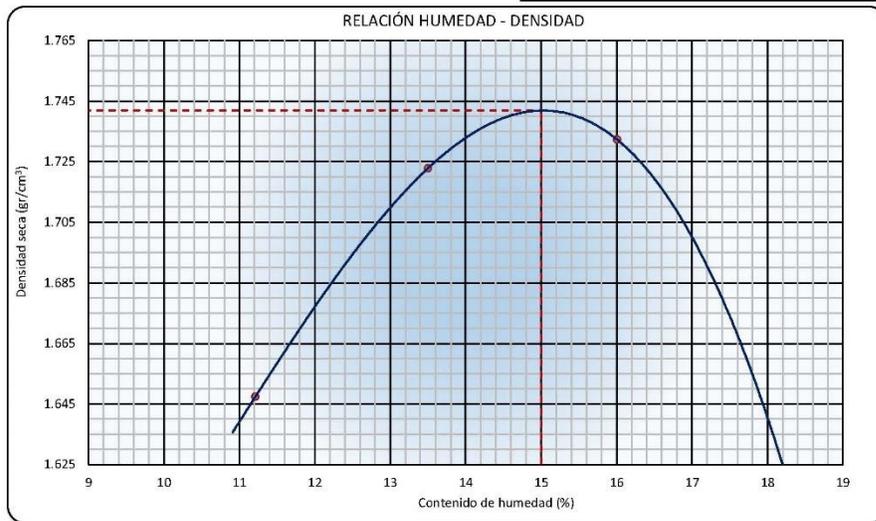
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400	RUTA : 1
COORDENADAS : N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
CALICATA : C - 1	HECHO POR: LAB HOL
MUESTRA : M-1	FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4	
Número de Capas	5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953	
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163	
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1724	1840	1891	1790	
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941	
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.832	1.955	2.010	1.902	
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65	
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5	
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.4	55.8	63.4	63.0	
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8	
Peso de agua (gr)	6.1	2.5	3.1	3.5	
Peso del suelo seco (gr)	54.1	18.5	19.6	19.2	
Contenido de agua (%)	11.2	13.5	16.0	18.4	
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.647	1.723	1.732	1.606	
Densidad máxima (gr/cm³)					1.742
Húmedad óptima (%)					15.0



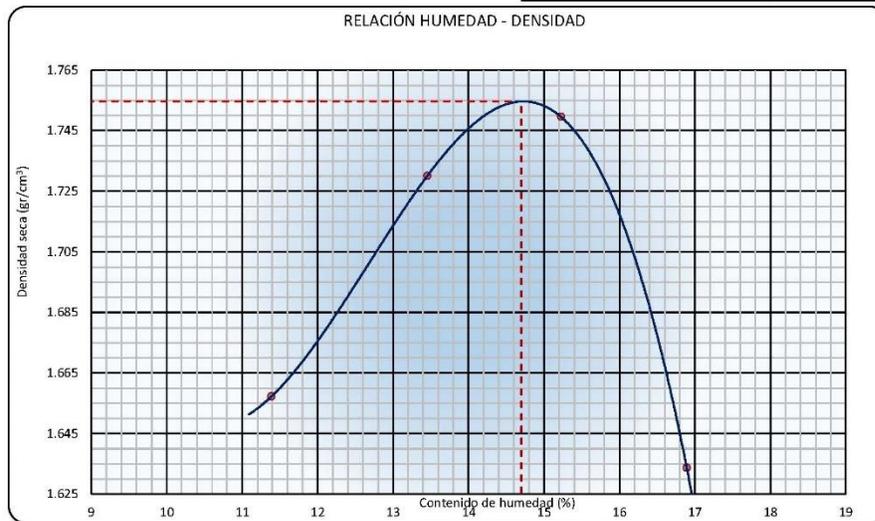
Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morjis

ANEXO 11. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.50% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO					
PROCTOR MODIFICADO					
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180					
DATOS DE LA MUESTRA					
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA					
TRAMO :	KM 3+400			RUTA : 1	
COORDENADAS :	N 9077027 / E 807574			PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00	
CALICATA :	C - 1			HECHO POR: LAB HOL	
MUESTRA :	M-1			FECHA: 7/05/2021	
Ensayo N°	1	2	3	4	
Número de Capas	5	5	5	5	
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25	
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5900	6010	6060	5960	
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163	
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1737	1847	1897	1797	
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941	
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.846	1.963	2.016	1.910	
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65	
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	100.0	60.0	66.0	66.0	
Peso del suelo seco + tara (gr)	93.6	57.3	64.8	64.5	
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8	
Peso de agua (gr)	6.4	2.7	3.2	3.5	
Peso del suelo seco (gr)	56.2	20.1	21.0	20.7	
Contenido de agua (%)	11.4	13.5	15.2	16.9	
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.657	1.730	1.750	1.634	
				Densidad máxima (gr/cm ³)	1.755
				Húmedad óptima (%)	14.7



Observaciones :

Jack Sarmiento
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morán

ANEXO 12. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.5% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

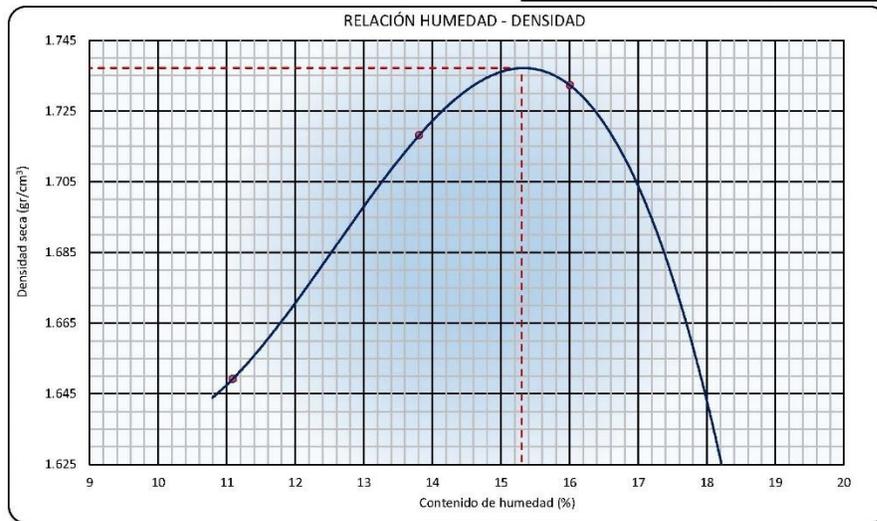
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400	RUTA : 1
COORDENADAS : N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
CALICATA : C - 1	HECHO POR: LAB HOL
MUESTRA : M-1	FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1724	1840	1891	1790
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.832	1.955	2.010	1.902
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.5	55.7	63.4	63.0
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8
Peso de agua (gr)	6.0	2.6	3.1	3.5
Peso del suelo seco (gr)	54.1	18.5	19.6	19.2
Contenido de agua (%)	11.1	13.8	16.0	18.4
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.649	1.718	1.732	1.606
Densidad máxima (gr/cm³)				1.737
Húmedad óptima (%)				15.3



Observaciones :

Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 13. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.75% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

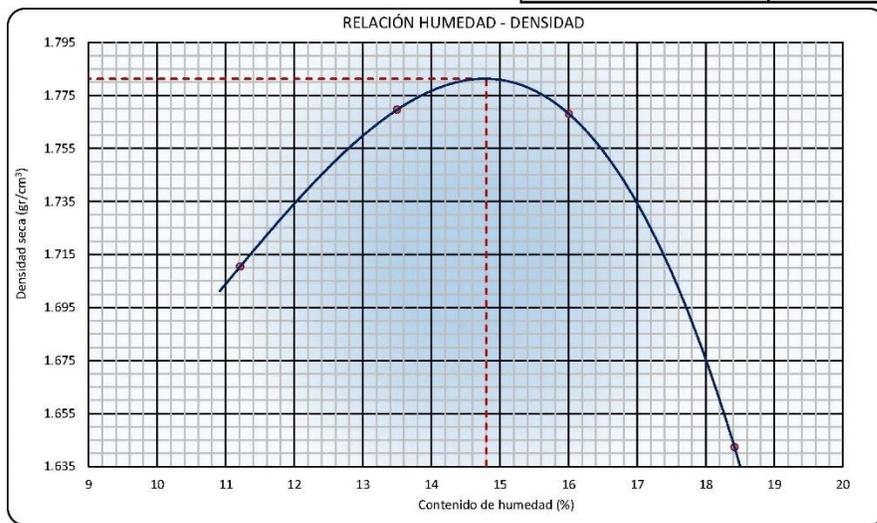
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400	RUTA : 1
COORDENADAS : N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
CALICATA : C - 1	HECHO POR: LAB HOL
MUESTRA : M-1	FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1790	1890	1930	1830
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.902	2.009	2.051	1.945
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.4	55.8	63.4	63.0
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8
Peso de agua (gr)	6.1	2.5	3.1	3.5
Peso del suelo seco (gr)	54.1	18.5	19.6	19.2
Contenido de agua (%)	11.2	13.5	16.0	18.4
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.710	1.770	1.768	1.642
Densidad máxima (gr/cm³)				1.781
Húmedad óptima (%)				14.8



Observaciones :

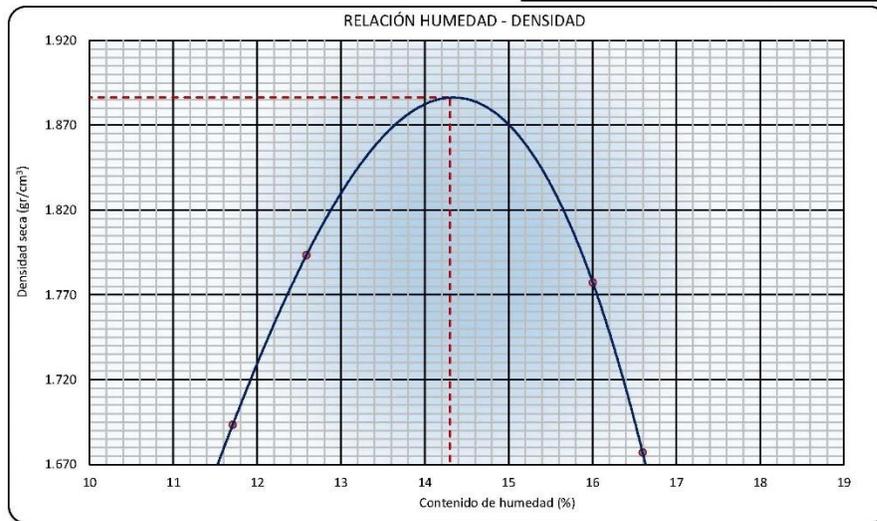

 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 14. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.00% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO

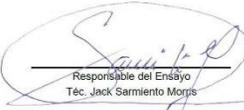


LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO	
PROCTOR MODIFICADO	
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180	
DATOS DE LA MUESTRA	
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA	
TRAMO : KM 8+400	RUTA : 1
COORDENADAS : N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
CALICATA : C - 1	HECHO POR: LAB HOL
MUESTRA : M-1	FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Coques de Prisión por Capa	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1780	1900	1940	1840
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.892	2.019	2.062	1.955
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.2	55.9	63.4	63.3
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	43.8	43.8
Peso de agua (gr)	6.3	2.4	3.1	3.2
Peso del suelo seco (gr)	53.8	18.7	19.6	19.5
Contenido de agua (%)	11.7	12.8	16.0	16.6
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.683	1.793	1.777	1.677
Densidad máxima (gr/cm³)				1.886
Húmedad óptima (%)				14.3



Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Moris

ANEXO 15. ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO DE LA MUESTRA CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.50% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

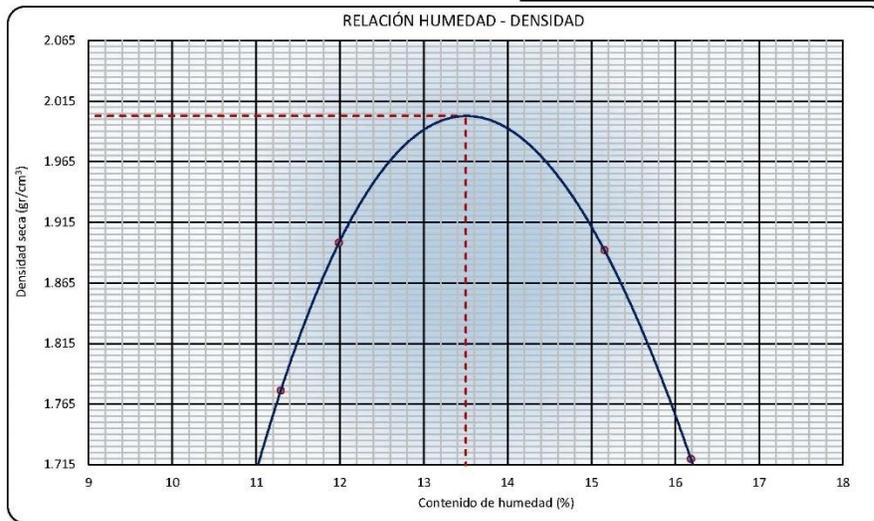
PROCTOR MODIFICADO
NORMAS TÉCNICAS: MTC E115, ASTM D 1557, AASHTO T 180

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021

Ensayo N°	1	2	3	4
Número de Capas	5	5	5	5
Golpes de Pisón por Capa	25	25	25	25
Peso suelo húmedo + molde (gr)	5887	6003	6054	5953
Peso molde + base (gr)	4163	4163	4163	4163
Peso suelo húmedo compactado (gr)	1860	2000	2050	1880
Volumen del molde (cm ³)	941	941	941	941
Peso volumétrico húmedo (gr/cm ³)	1.977	2.125	2.179	1.998
Tara N°	T-61	T-62	T-64	T-65
Peso del suelo húmedo + tara (gr)	97.5	58.3	66.5	66.5
Peso del suelo seco + tara (gr)	91.4	56.0	63.6	63.4
Peso de Tara (gr)	37.4	37.2	44.2	44.0
Peso de agua (gr)	6.1	2.3	2.9	3.1
Peso del suelo seco (gr)	54.0	18.8	19.4	19.4
Contenido de agua (%)	11.3	12.0	15.2	16.2
Peso volumétrico seco (gr/cm ³)	1.776	1.898	1.892	1.720
Densidad máxima (gr/cm ³)				2.003
Húmedad óptima (%)				13.5



Observaciones :

[Firma manuscrita]
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 16. ENSAYO DE CBR DE LA MUESTRA BASE



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACION SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA.

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 8077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	264		285		286	
	5		5		5	
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	95		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12085	12294	12355	12067	12105
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8498
Peso del suelo húmedo (gr)	4270	4454	3800	4149	3676	4028
Volumen del molde (cm³)	2146	2146	2118	2118	2106	2109
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.990	2.075	1.784	1.959	1.743	1.910
N° Tara	1-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.4	78.5	87.0	91.0	82.7
Peso suelo seco + tara (gr)	75.7	75.1	73.9	81.8	85.4	74.6
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.3	4.3	4.6	5.1	5.6	8.1
Peso de suelo seco (gr)	26.7	24.2	35.7	28.6	35.6	23.0
Contenido de humedad (%)	16.0	17.9	13.0	18.0	15.7	35.2
Densidad seca (gr/cm³)	1.715	1.780	1.588	1.661	1.508	1.413
	102	94	89	89	89	89

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	620	6.200	5.30	460	4.600	3.93	342	3.420	2.92
9/05/2021	04:30	48	13	0.130	0.11	63	0.530	0.45	8	0.080	0.07
10/05/2021	04:30	72	9	0.090	0.08	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTANDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 284				MOLDE N° 285				MOLDE N° 286			
		Dial (div)	CARGA kg	CORRECCIÓN		Dial (div)	CARGA kg	CORRECCIÓN		Dial (div)	CARGA kg	CORRECCIÓN	
				kg	%			kg	%			kg	%
0.000		0				0				0			
0.635		31				35				14			
1.270		60				49				29			
1.905		85				70				42			
2.540	70.5	115	111.5	8.1		89	76.8	6.6		54	46.6	3.4	
3.610		159				120				73			
5.080	105.7	200	199.4	9.6		144	137.1	6.6		86	82.3	4.0	
6.350		234				165				96			
7.620		258				184				104			

Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Samiento Morúa

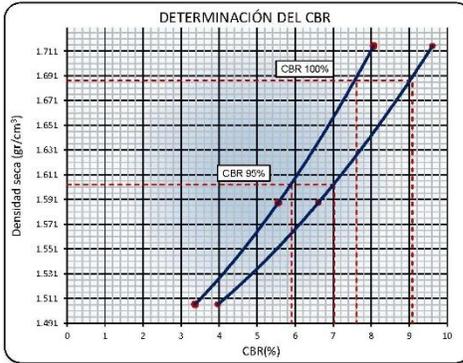
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

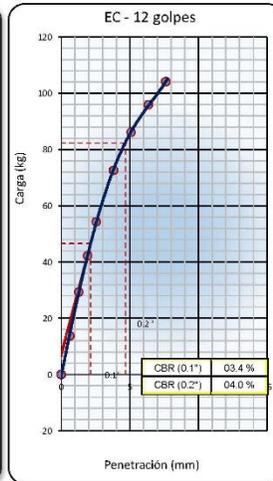
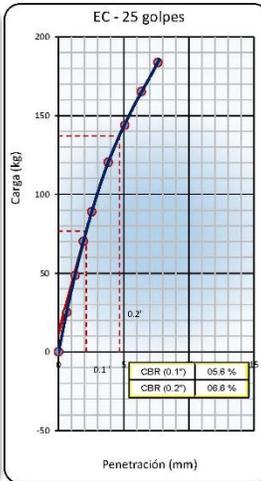
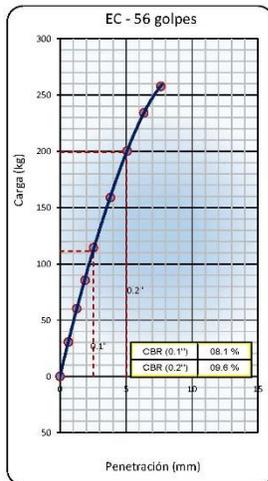
DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO	: KM 8+400	RUTA	: 1
UBICACIÓN	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.00
GALICATA	: C - 1	HECHO POR:	LAB HOL
MUESTRA	: M-1	FECHA:	7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³)		1.687	
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)		15.5	
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³)		1.600	
MINCHAMIENTO PROMEDIO	(%)		4.339	
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 90% DE M.D.S. (%)	0.1"	5.9	0.2"	7.0
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.8	0.2"	9.1



Observaciones :

[Firma]
Responsable del Ensayo
Téc. Jack Sarmiento Morúa

ANEXO 17. ENSAYO DE CBR CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.5% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

CANTERA : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12165
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8498
Peso del suelo húmedo (gr)	4275	4460	3610	4160	3660	4030
Volumen del molde (cm³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.992	2.078	1.799	1.984	1.745	1.911
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	79.2	81.5	77.0	86.9	91.3	83.0
Peso suelo seco + tara (gr)	75.2	78.1	73.8	81.8	87.5	77.2
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.0	3.4	3.2	5.1	3.8	5.8
Peso de suelo seco (gr)	26.2	24.2	35.7	28.6	37.7	25.7
Contenido de humedad (%)	15.3	14.2	8.9	17.7	10.1	22.6
Densidad seca (gr/cm³)	1.728	1.819	1.652	1.668	1.585	1.558
	99		95		91	

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2019	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2019	04:30	24	610	6.100	5.21	455	4.550	3.89	340	3.400	2.91
9/05/2019	04:30	48	12	0.120	0.10	52	0.520	0.44	7	0.070	0.06
10/05/2019	04:30	72	9	0.090	0.08	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2019	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286					
		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			32				26				15		
1.270			62				52				30		
1.905			86				72				44		
2.540	70.5		130	118.8	8.6		92	78.5	5.7		55	47.6	3.4
3.810			170				122				74		
5.080	105.7		215	210.8	10.2		148	139.3	6.7		88	83.9	4.0
6.350			240				167				96		
7.620			270				186				106		

Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Tsc. Jack Sarmiento Mejía

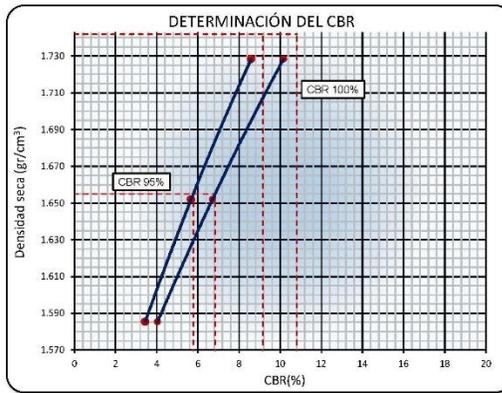
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

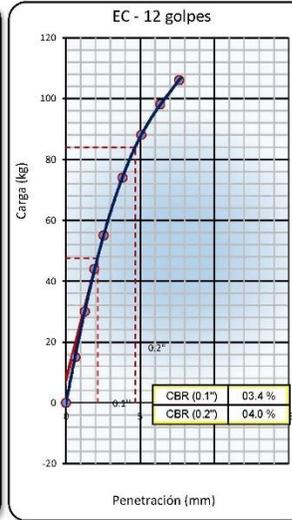
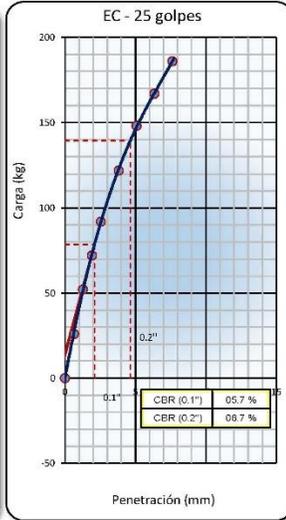
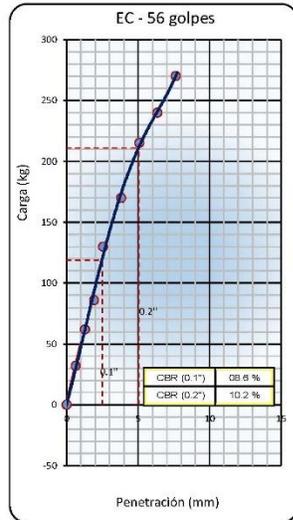
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807674 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM			1557	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):		1.742	
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)		15.0	
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):		1.656	
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%)		4.282	
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	5.8	0.2"	6.8
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	9.2	0.2"	10.8

Observaciones: _____



Observaciones :

Jack Sarmiento Morúa
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morúa

ANEXO 18. ENSAYO DE CBR CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.75% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO	: KM 8+400	RUTA	: 1
COORDENADAS	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.00
CALICATA	: C - 1	HECHO POR	: LAB HOL
MUESTRA	: M-1	FECHA	: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
	5		5		5	
N° Capas	56		26		12	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12185
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8488
Peso del suelo húmedo (gr)	4280	4462	3812	4162	3682	4032
Volumen del molde (cm³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.994	2.079	1.800	1.965	1.746	1.912
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	79.3	81.7	77.1	86.9	91.3	83.0
Peso suelo seco + tara (gr)	75.4	78.3	73.9	81.8	87.5	77.2
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	3.8	3.4	3.2	5.0	3.7	5.7
Peso de suelo seco (gr)	26.4	24.4	35.8	28.6	37.7	25.7
Contenido de humedad (%)	14.4	13.9	8.9	17.5	9.8	22.2
Densidad seca (gr/cm³)	1.743	1.825	1.652	1.673	1.590	1.564
	100		95		91	

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	600	6.000	5.13	460	4.500	3.85	335	3.350	2.86
9/05/2021	04:30	48	11	0.110	0.09	50	0.500	0.43	6	0.060	0.05
10/05/2021	04:30	72	8	0.080	0.07	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286					
		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			32				28				18		
1.270			80				55				35		
1.905			100				74				47		
2.540	70.5		150	135.8	9.8		94	81.3	5.9		58	50.8	3.7
3.810			190				125				78		
5.080	105.7		230	228.4	11.0		165	143.7	6.9		95	88.5	4.3
6.350			255				170				102		
7.620			270				190				110		

Observaciones :

Responsable del Ensayo
Téc. Jack Sarmiento Morjis

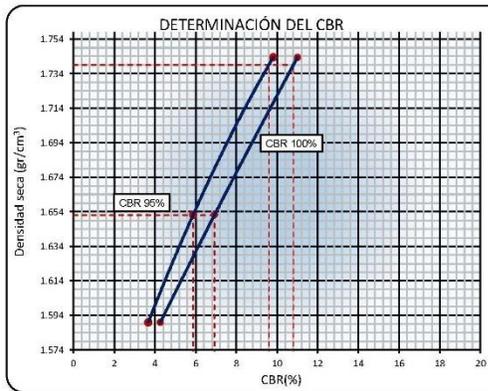
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

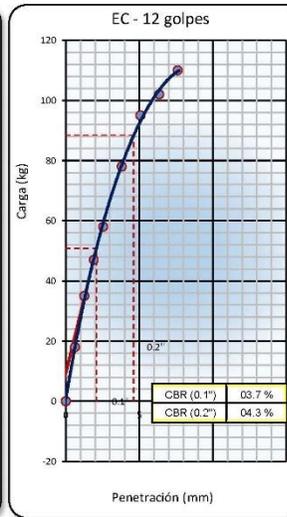
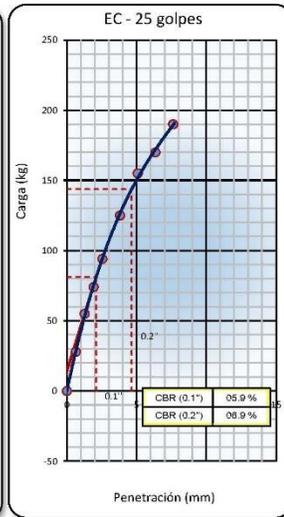
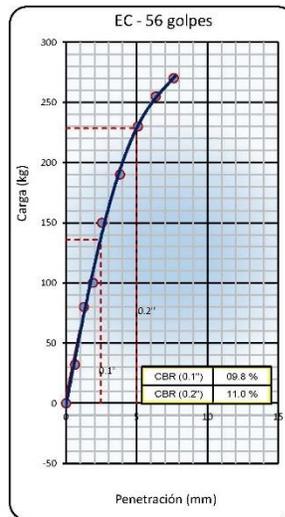
TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO			
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):		1.739
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%):		15.3
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):		1.652
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%):		4.211

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	5.9	0.2"	6.9
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	9.6	0.2"	10.8

Observaciones:



Observaciones :

Samir Morjis
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Samiento Morjis

ANEXO 19. ENSAYO DE CBR CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.00% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO	: KM 8+400	RUTA	: 1
COORDENADAS	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.00
CALICATA	: C - 1	HECHO POR	: LAB HOL
MUESTRA	: M-1	FECHA	: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12185
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8488
Peso del suelo húmedo (gr)	4290	4480	3760	4180	3650	4050
Volumen del molde (cm ³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.999	2.088	1.775	1.974	1.731	1.920
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.0	77.4	87.2	91.6	83.3
Peso suelo seco + tara (gr)	76.0	78.6	74.3	82.1	87.8	77.5
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.0	3.4	3.2	5.0	3.7	5.7
Peso de suelo seco (gr)	27.0	24.7	36.2	28.9	38.0	26.0
Contenido de humedad (%)	14.8	13.8	8.6	17.3	9.7	22.0
Densidad seca (gr/cm ³)	1.741	1.835	1.631	1.683	1.577	1.574
	100		94		91	

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	580	6.600	4.79	420	4.200	3.59	320	3.200	2.74
9/05/2021	04:30	48	11	0.110	0.09	50	0.500	0.43	6	0.060	0.05
10/05/2021	04:30	72	8	0.080	0.07	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286			
		Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	
0.000			0			0			0		
0.635			50			50			42		
1.270			98			77			60		
1.905			118			96			70		
2.540	70.5		165	155.0	11.2	116	93.1	6.7	90	63.3	4.6
3.810			208			147			105		
5.080	105.7		246	242.7	11.7	177	160.2	7.7	120	110.7	5.3
6.350			270			192			130		
7.620			288			212			140		

Observaciones :

Responsable del Ensayo
Téc. Jack Sarmiento Morjis

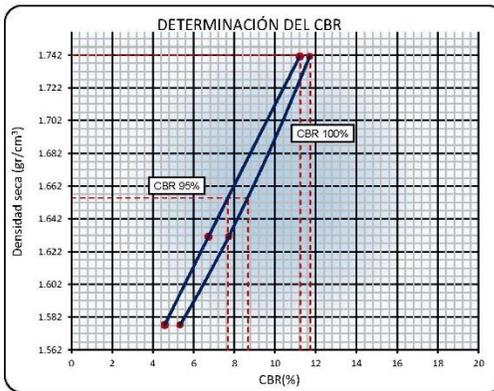
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

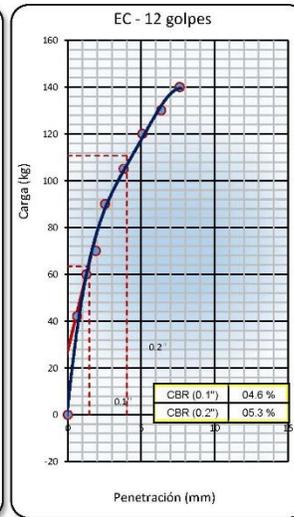
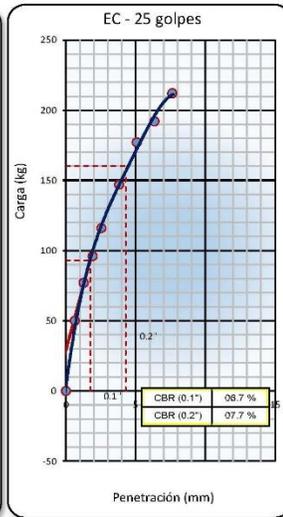
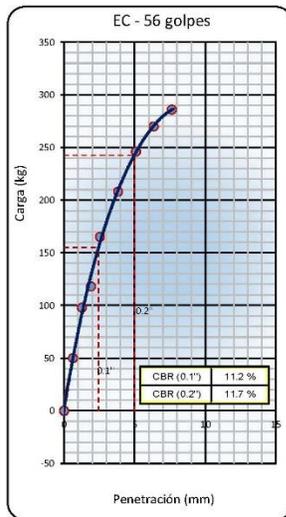
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³)		1.742	
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%)		15.0	
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³)		1.655	
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%)		3.969	
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.7	0.2"	8.7
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	11.2	0.2"	11.7

Observaciones: _____



Observaciones : _____

[Firma]
 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 20. ENSAYO DE CBR CON 3% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.50% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
	5		5		5	
N° Capas	56		26		12	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12185
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8488
Peso del suelo húmedo (gr)	4300	4480	3780	4180	3700	4060
Volumen del molde (cm ³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm ³)	2.004	2.088	1.785	1.974	1.754	1.925
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.0	77.4	87.2	91.6	83.3
Peso suelo seco + tara (gr)	76.0	78.6	74.3	82.1	87.8	77.5
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.0	3.4	3.2	5.0	3.7	5.7
Peso de suelo seco (gr)	27.0	24.7	36.2	28.9	38.0	26.0
Contenido de humedad (%)	14.8	13.8	8.6	17.3	9.7	22.0
Densidad seca (gr/cm ³)	1.745	1.835	1.640	1.683	1.599	1.578
	99		93		91	

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	580	6.800	4.96	440	4.400	3.76	320	3.200	2.74
9/05/2021	04:30	48	11	0.110	0.09	50	0.500	0.43	6	0.060	0.05
10/05/2021	04:30	72	8	0.080	0.07	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286					
		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			43				48				35		
1.270			95				75				52		
1.905			115				95				65		
2.540	70.5		165	151.7	11.0		115	91.8	6.6		78	61.6	4.5
3.810			205				144				98		
5.080	105.7		245	242.2	11.7		175	158.1	7.6		116	105.2	5.1
6.350			270				190				122		
7.620			285				210				130		

Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morúa

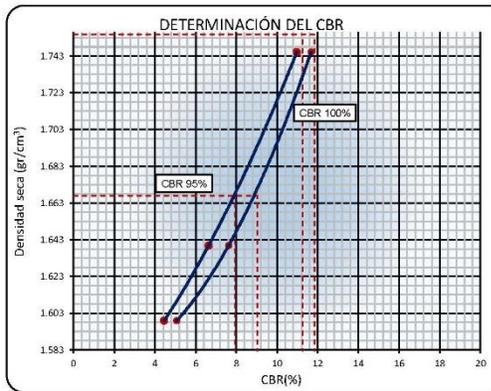
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

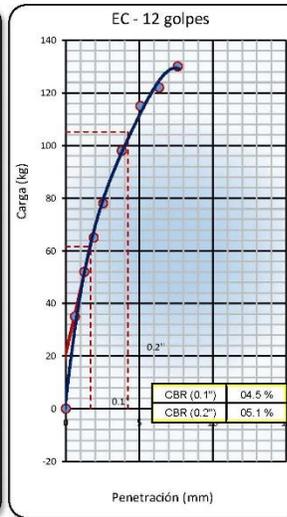
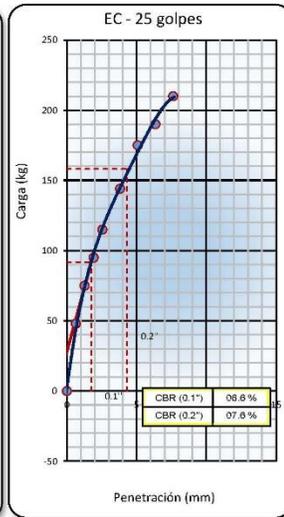
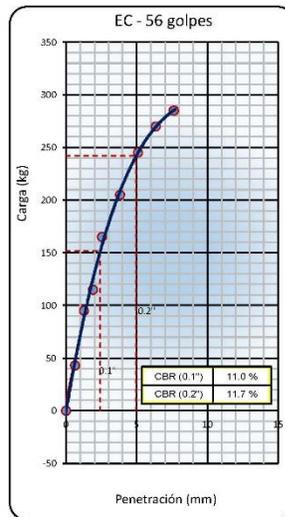
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:	1557		
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):	1.755		
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%):	14.7		
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):	1.687		
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%):	4.083		
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	7.9	0.2"	9.0
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	11.3	0.2"	11.8

Observaciones: _____



Observaciones : _____

Sarmiento
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Moris

ANEXO 21. ENSAYO DE CBR CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.50% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO	: KM 8+400	RUTA	: 1
COORDENADAS	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.00
CALICATA	: C - 1	HECHO POR	: LAB HOL
MUESTRA	: M-1	FECHA	: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12185
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8488
Peso del suelo húmedo (gr)	4144	4454	3800	4149	3623	4028
Volumen del molde (cm³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.931	2.075	1.794	1.959	1.718	1.910
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.4	78.5	87.0	91.0	82.7
Peso suelo seco + tara (gr)	75.7	78.1	73.8	81.8	85.4	74.6
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.3	4.3	4.6	5.1	5.6	8.1
Peso de suelo seco (gr)	26.7	24.2	35.7	28.6	35.6	23.0
Contenido de humedad (%)	16.0	17.9	13.0	18.0	15.7	35.2
Densidad seca (gr/cm³)	1.664	1.760	1.588	1.661	1.484	1.413
	96		91		85	

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	615	6.160	5.26	465	4.660	3.89	335	3.360	2.86
9/05/2021	04:30	48	13	0.130	0.11	53	0.530	0.45	8	0.080	0.07
10/05/2021	04:30	72	9	0.090	0.08	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286					
		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN		CARGA	CORRECCIÓN				
		Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%	Dial (div)	kg	kg	%
0.000			0				0				0		
0.635			35				34				23		
1.270			69				58				38		
1.905			94				79				51		
2.540	70.5		124	120.3	8.7		98	81.8	5.9		63	51.5	3.7
3.810			168				129				82		
5.080	105.7		209	207.5	10.0		163	143.2	6.9		96	88.8	4.3
6.350			243				174				105		
7.620			267				193				113		

Observaciones :

Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Samiento Morjis

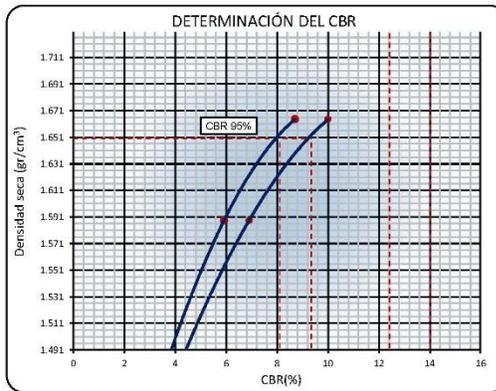
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

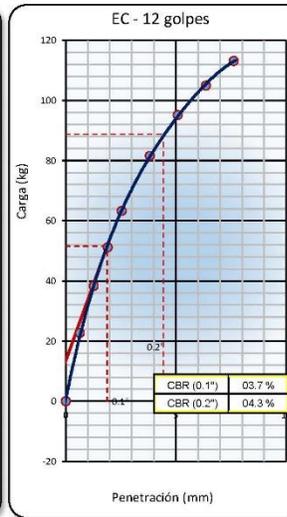
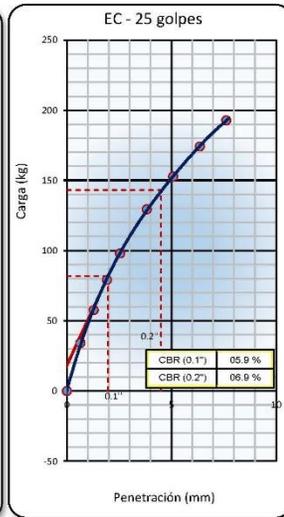
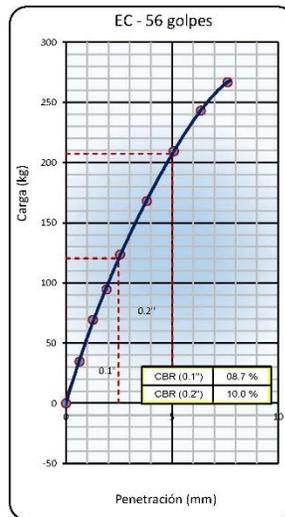
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):		1.737	
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%):		15.3	
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm³):		1.650	
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%):		4.201	
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	8.1	0.2"	9.3
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	12.4	0.2"	14.0

Observaciones:



Observaciones :

Sarmiento
 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morúa

ANEXO 22. ENSAYO DE CBR CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 0.75% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO	: KM 8+400	RUTA	: 1
COORDENADAS	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.00
CALICATA	: C - 1	HECHO POR	: LAB HOL
MUESTRA	: M-1	FECHA	: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12165
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8498
Peso del suelo húmedo (gr)	4146	4454	3787	4149	3676	4028
Volumen del molde (cm³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.932	2.075	1.788	1.959	1.743	1.910
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.4	78.5	87.0	91.0	82.7
Peso suelo seco + tara (gr)	75.7	78.1	73.8	81.8	85.4	74.6
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.3	4.3	4.6	5.1	5.6	8.1
Peso de suelo seco (gr)	26.7	24.2	35.7	28.6	35.6	23.0
Contenido de humedad (%)	16.0	17.9	13.0	18.0	15.7	35.2
Densidad seca (gr/cm³)	1.665	1.760	1.533	1.661	1.506	1.413

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	590	5.900	5.04	435	4.350	3.72	325	3.250	2.78
9/05/2021	04:30	48	12	0.120	0.10	51	0.510	0.44	7	0.070	0.06
10/05/2021	04:30	72	9	0.090	0.08	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286			
		CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg %	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg %	CARGA Dial (div)	kg	CORRECCIÓN kg %	
0.000			0			0				0	
0.635			50			40				29	
1.270			79			64				44	
1.905			104			85				57	
2.540	70.5		134	132.5	9.6	104	85.1	6.2		69	54.6 3.9
3.810			178			135				88	
5.080	105.7		219	215.9	10.4	159	147.6	7.1		101	93.7 4.5
6.350			253			180				111	
7.620			277			199				119	

Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morjis

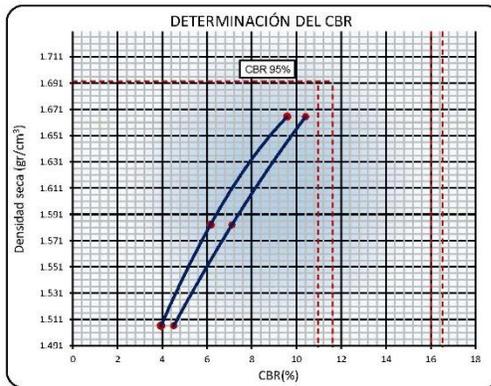
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

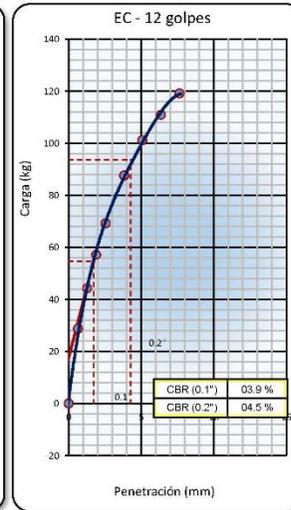
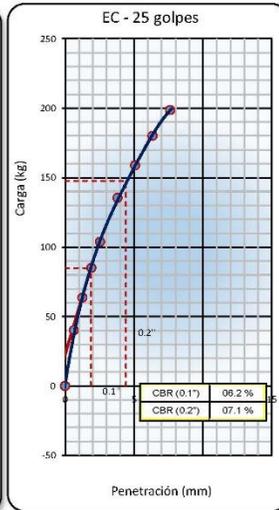
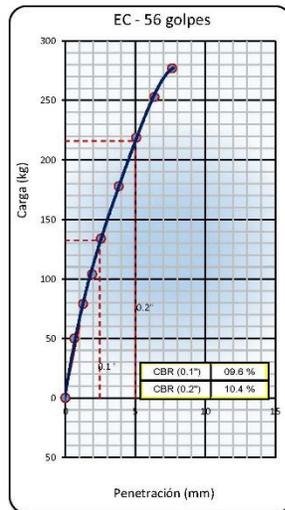
INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALIGATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO				
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557	
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³):	1.781		
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%):	14.8		
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³):	1.692		
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%):	4.123		
PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	11.0	0.2"	11.6
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	16.5	0.2"	16.0

Observaciones:



Observaciones :

[Firma]
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Morúa

ANEXO 23. ENSAYO DE CBR CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.00% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO	: KM 8+400	RUTA	: 1
COORDENADAS	: N 9077027 / E 807574	PROFUNDIDAD	: 0.20 - 1.00
CALICATA	: C - 1	HECHO POR	: LAB HOL
MUESTRA	: M-1	FECHA	: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

	284		285		286	
	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Molde N°	284		285		286	
N° Capas	5		5		5	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12165
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8498
Peso del suelo húmedo (gr)	4120	4454	3715	4149	3668	4028
Volumen del molde (cm³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm³)	1.920	2.075	1.754	1.959	1.739	1.910
N° Tara	T-44	T-46	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.4	78.5	87.0	91.0	82.7
Peso suelo seco + tara (gr)	75.7	78.1	73.8	81.8	85.4	74.6
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.3	4.3	4.6	5.1	5.6	8.1
Peso de suelo seco (gr)	26.7	24.2	35.7	28.6	35.6	23.0
Contenido de humedad (%)	16.0	17.9	13.0	18.0	15.7	35.2
Densidad seca (gr/cm³)	1.655	1.760	1.553	1.661	1.503	1.413
	88		82		80	

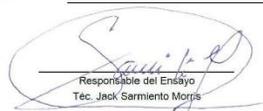
EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	620	6.200	5.30	460	4.600	3.93	342	3.420	2.92
9/05/2021	04:30	48	13	0.130	0.11	53	0.530	0.45	8	0.080	0.07
10/05/2021	04:30	72	9	0.090	0.08	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286			
		Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	
0.000			0			0			0		
0.635			63			50			59		
1.270			92			80			74		
1.905			117			100			87		
2.540	70.5		147	147.5	10.7	120	94.0	6.8	99	65.4	4.7
3.810			192			150			118		
5.080	105.7		233	229.4	11.1	180	163.4	7.9	131	122.5	5.9
6.350			268			205			141		
7.620			290			230			149		

Observaciones :


 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morris

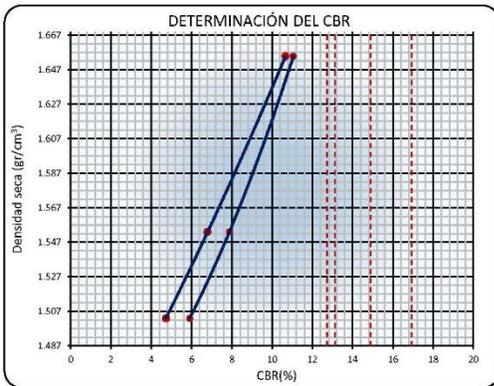
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

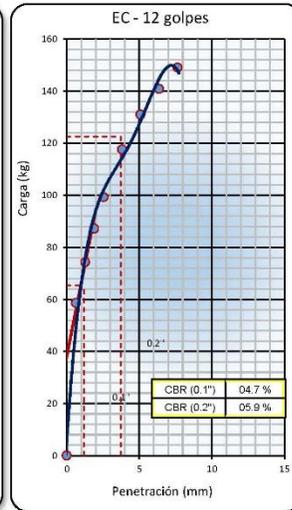
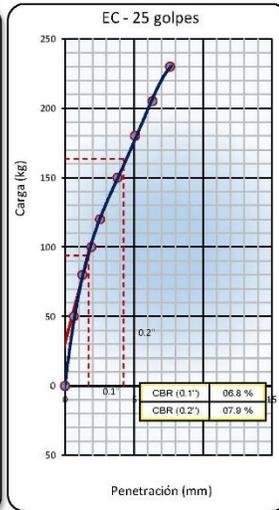
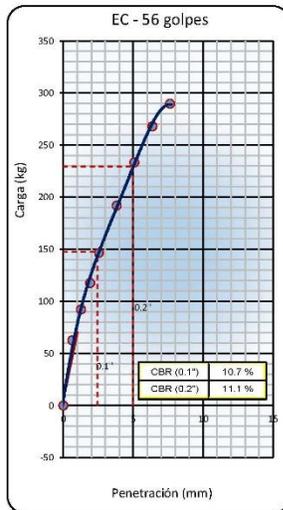
TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0,20 - 1,00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO	
PROCTOR MODIFICADO ASTM	: 1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	: 1.889
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	: 14.3
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA (gr/cm³)	: 1.792

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	14.9	0.2"	13.1
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	18.9	0.2"	12.7

Observaciones:



Observaciones :

[Firma]
 Responsable del Ensayo
 Tec. Jack Sarmiento Moris

ANEXO 24. ENSAYO DE CBR CON 5% DE CEMENTO PORTLAND Y 1.50% DE FIBRAS DE POLIPROPILENO



LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C. B. R.) NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 COORDENADAS : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021

COMPACTACIÓN

Molde N°	284		285		286	
	5		5		5	
N° Capas	56		26		12	
N° golpes por capa	56		26		12	
Condición de la muestra	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO	NO SATURADO	SATURADO
Peso de molde + Suelo húmedo (gr)	12771	12955	12294	12355	12067	12165
Peso de molde + base (gr)	8501	8501	8699	8699	8498	8498
Peso del suelo húmedo (gr)	4120	4454	3715	4149	3868	4028
Volumen del molde (cm ³)	2146	2146	2118	2118	2109	2109
Densidad húmeda (gr/cm ³)	1.920	2.075	1.754	1.959	1.739	1.910
N° Tara	T-44	T-48	T-47	T-48	T-57	T-59
Peso suelo húmedo + tara (gr)	80.0	82.4	78.5	87.0	91.0	82.7
Peso suelo seco + tara (gr)	75.7	78.1	73.8	81.8	85.4	74.6
Peso de tara (gr)	49.0	53.9	38.1	53.2	49.8	51.6
Peso de agua (gr)	4.3	4.3	4.6	5.1	5.6	8.1
Peso de suelo seco (gr)	26.7	24.2	35.7	28.6	35.6	23.0
Contenido de humedad (%)	16.0	17.9	13.0	18.0	15.7	35.2
Densidad seca (gr/cm ³)	1.655	1.760	1.553	1.661	1.503	1.413
	83		78		75	

EXPANSIÓN

FECHA	HORA	TIEMPO	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				mm	%		mm	%		mm	%
7/05/2021	04:30	0	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00	0	0.000	0.00
8/05/2021	04:30	24	580	5.800	4.96	420	4.200	3.59	310	3.100	2.65
9/05/2021	04:30	48	10	0.100	0.09	45	0.450	0.38	8	0.080	0.07
10/05/2021	04:30	72	9	0.090	0.08	5	0.050	0.04	5	0.050	0.04
11/05/2021	04:30	96	4	0.040	0.03	2	0.020	0.02	2	0.020	0.02

PENETRACIÓN

PENETRACIÓN (mm)	CARGA ESTÁNDAR (kg/cm ²)	MOLDE N° 284			MOLDE N° 285			MOLDE N° 286				
		Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%	Dial (div)	kg	%		
0.000			0			0				0		
0.635			63			56				59		
1.270			92			80				74		
1.905			117			101				87		
2.540	70.5		147	147.5	10.7	120	92.4	6.7		99	65.4	4.7
3.810			192			151				118		
5.080	105.7		233	229.4	11.1	174	160.0	7.7		131	122.5	5.9
6.350			268			196				141		
7.620			290			215				149		

Observaciones :

Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morris

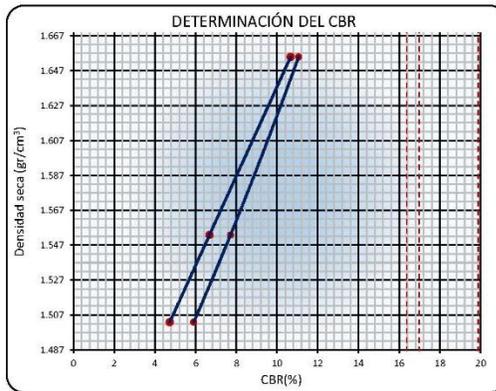
LABORATORIO DE MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO

RELACIÓN SOPORTE DE CALIFORNIA (C.B.R.)
 NORMAS TÉCNICAS: MTC E 132, ASTM D 1883, AASHTO T 193

DATOS DE LA MUESTRA

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

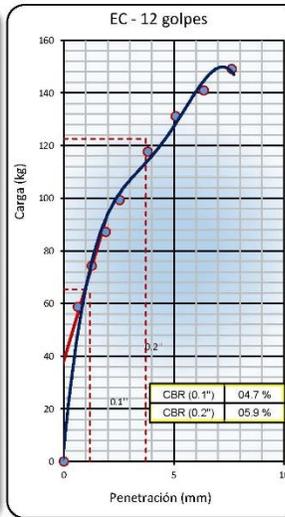
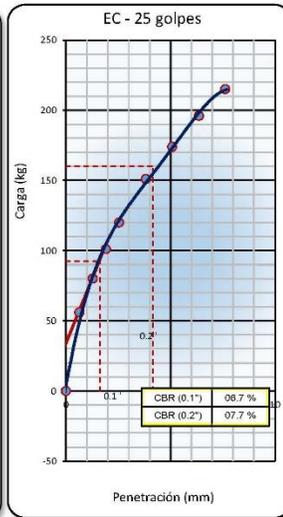
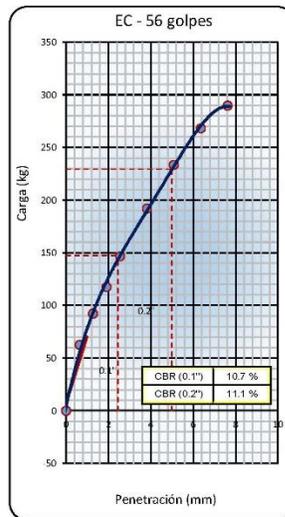
TRAMO : KM 8+400 RUTA : 1
 UBICACIÓN : N 9077027 / E 807574 PROFUNDIDAD : 0.20 - 1.00
 CALICATA : C - 1 HECHO POR: LAB HOL
 MUESTRA : M-1 FECHA: 7/05/2021



DATOS DEL PROCTOR MODIFICADO			
PROCTOR MODIFICADO ASTM	:		1557
MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³):		2.003
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	(%):		13.5
95% DE LA MÁXIMA DENSIDAD SECA	(gr/cm ³):		1.903
HINCHAMIENTO PROMEDIO	(%):		3.989

PORCENTAJE DEL CBR				
C.B.R. AL 95% DE M.D.S. (%)	0.1"	19.9	0.2"	16.4
C.B.R. AL 100% DE M.D.S. (%)	0.1"	23.2	0.2"	17.0

Observaciones: _____



Observaciones :

Sarmiento
 Responsable del Ensayo
 Téc. Jack Sarmiento Morris

ANEXO 25. ENCUESTA DIRIGIDA A EXPERTOS

 USMP UNIVERSIDAD DE SAN MARTÍN DE PORRÉS		FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ENCUESTA Nro. 01		
ENCUESTA DE EXPERTOS SOBRE TEMA DE TESIS ENFOCADA AL TEMA DE SUELOS Y CARRETERAS		
TESIS:	INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA	
PRESENTADO POR:	Bach. Carozzo Chavarría Eduardo Michel Bach. Salazar Martinez Dilan Scott	
ENCUESTADO:	ING.	
CIP		
AÑOS DE EXPERIENCIA		
EMAIL		
<p><i>Esta es una encuesta dirigida a expertos y especialistas en el dominio de suelos y carreteras, la cual será un sustento práctico en la validez, importancia, coherencia y viabilidad del desarrollo de nuestra tesis. Agradecemos de antemano el aporte generado tras esta encuesta para el desarrollo de nuestro estudio.</i></p>		
I. SOBRE EL TÍTULO		
1. ¿Qué propuesta sugiere para mejorar el título de la investigación?		
2. ¿Cuál es la importancia de la influencia de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la capacidad portante de suelos arcillosos?		

3. ¿Qué objetivos se podrían plantear en esta investigación?
4. ¿Qué aspectos se deben de tener en cuenta en el estudio para la utilización de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I?
5. ¿Cuáles serían los beneficios o aportes que se espera de esta investigación?
6. ¿Cuál es el problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos?

Mano de Obra: (Influencia del personal involucrado)	
	Nota: Si cree que no influye, déjelo en blanco
Maquinaria: (Influencia de las herramientas y softwares utilizados en el diseño)	
	Nota: Si cree que no influye, déjelo en blanco
Medición: (norma a tener en cuenta)	
	Nota: Si cree que no influye, déjelo en blanco
Medio Ambiente: (influencia de factores ambientales)	
	Nota: Si cree que no influye, déjelo en blanco
Materia Prima	
	Nota: Si cree que no influye, déjelo en blanco
Método: (cuál es el factor crítico en el diseño)	
	Nota: Si cree que no influye, déjelo en blanco

ANEXO 26. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS



FACULTAD DE
INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

PRESENTADA POR:
CARROZZO CHAVARRIA, EDUARDO MICHEL
SALAZAR MARTINEZ, DILAN SCOTT

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

Encuesta	Propuesta de mejora
Encuesta 1	Efecto de la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la capacidad portante de suelos cohesivos
Encuesta 2	Mejoramiento de las propiedades geotécnicas de suelos arcillosos mediante la adición de cemento portland tipo I y fibras de polipropileno
Encuesta 3	Análisis de la influencia de las fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la capacidad portante de suelos arcillosos aplicado a la subrasante de la carretera Pampas La Florida Huaral
Encuesta 4	El título está bien.
Encuesta 5	El título está bien.
Encuesta 6	Efecto de la adición de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I en la capacidad portante de suelos cohesivos aplicado a la subrasante
Encuesta 7	Reiterar la aplicación de una tercera fibra en el suelo y hacer una comparación entre las tres fibras
Encuesta 8	Influencia del cemento portland tipo I en la capacidad portante de suelos arcillosos aplicado a la subrasante de la carretera Pampas La Florida Huaral

Encuesta	Aspectos a tener en cuenta en el estudio de la utilización de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I
Encuesta 1	Las fibras de polipropileno sumarían al esfuerzo al corte del suelo, mientras que el cemento actualmente se usa de estabilizador de suelos cohesivos
Encuesta 2	Tener una opción más a considerar para dar solución al tema de suelos cohesivos.
Encuesta 3	El aumento de la resistencia a la flexión
Encuesta 4	Los ensayos que se realizan con y sin fibra, para ver las comparaciones y la estimación en la mejora de la capacidad portante del suelo arcilloso
Encuesta 5	Mejorar la resistencia al suelo arcilloso.
Encuesta 6	Demostrar la mejora de las propiedades de estos suelos, a través de un armado adicional en el suelo
Encuesta 7	Aumenta la capacidad portante del suelo y permite disminuir el espesor de las otras capas.
Encuesta 8	Para la capacidad portante se debe considerar la búsqueda de la resistencia de la subrasante, y sobretodo en suelos arcillosos que son suelos que requieren de mayor estabilidad.



PRESENTADA POR:

CARROZZO CHAVARRIA, EDUARDO MICHEL

SALAZAR MARTINEZ, DILAN SCOTT

INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

Encuesta	Objetivos para esta investigación
Encuesta 1	Hallar la relación óptima entre fibra y cemento para lograr valores considerables
Encuesta 2	1. Porcentaje óptimo de adición de fibras de polipropileno 2. Porcentaje óptimo de adición de cemento portland tipo I 3. Evaluar la capacidad portante de la muestra adicionada con fibras y cemento mediante el ensayo 4. Comparar los resultados de una muestra inalterada contra una muestra adicionada con fibras y cemento portland
Encuesta 3	1. Conocer la influencia de las fibras 2. Conocer la influencia del cemento portland tipo I
Encuesta 4	Buscar la variación de las curvas en las gráficas de fibras-cemento con la capacidad portante del suelo.
Encuesta 5	La dosificación de las muestras y forma de trabajo
Encuesta 6	1. Porcentaje óptimo de adición de fibras de polipropileno 2. Analizar las curvas de compactación entre la muestra inalterada y la muestra adicionada 3. Comparar los resultados del ensayo CBR de la muestra inalterada y la muestra adicionada
Encuesta 7	Determinar la mejora en la calidad del suelo arcilloso con cada tipo de fibra
Encuesta 8	Buscar el beneficio del menor costo que puede resultar este estudio.

Encuesta	Aspectos a tener en cuenta en el estudio de la utilización de fibras de polipropileno y cemento portland tipo I
Encuesta 1	El tipo de ensayo que se realizará, la preparación de las muestras y la cantidad de pruebas que se realizará
Encuesta 2	Tener en cuenta el % de fibra, geotextil, geomalla, cemento portland con respecto al volumen de suelo, así también la longitud y diámetro de las fibras.
Encuesta 3	Evitar la reducción de la compresión en el suelo
Encuesta 4	Considerar el porcentaje de muestra, dimensión de la muestra y resistencia esperada por cada muestra
Encuesta 5	La metodología constructiva y desempeño de la mezcla que se incorpora
Encuesta 6	La cantidad porcentual de las fibras que se adicionan al suelo, y evitar los excesos ya que afectarían a otras propiedades
Encuesta 7	Las condiciones climáticas y el nivel de tráfico de la zona
Encuesta 8	La cantidad de fibras de polipropileno que van a intervenir y qué materiales se deben reducir para llegar a la resistencia



INFLUENCIA DE LAS FIBRAS DE POLIPROPILENO Y CEMENTO PORTLAND TIPO I EN LAS PROPIEDADES GEOTÉCNICAS DE SUELOS ARCILLOSOS APLICADO EN LA SUBRASANTE DE LA CARRETERA PAMPAS - LA FLORIDA, EN EL TRAMO KM 3+300 HASTA KM 13+050 UBICADO EN EL DISTRITO ATAVILLOS BAJOS EN LA PROVINCIA DE HUARAL Y DEPARTAMENTO DE LIMA

Encuesta	Beneficios o aportes que se espera de la investigación
Encuesta 1	Descubrir nuevas formas de lidiar con los suelos cohesivos
Encuesta 2	Tener antecedentes de investigación sobre el mejoramiento de suelos con la adición de fibras y cemento portland.
Encuesta 3	A través de la utilización de los desechos de fibras, se protege el medio ambiente
Encuesta 4	Beneficia a la estabilización de los suelos arcillosos, evitando averías en las carreteras y constantes mantenimientos
Encuesta 5	Los costos bajarían y los procesos en la cuantificación de mezclas mejoraría
Encuesta 6	Serviría para futuras investigaciones y expedientes técnicos que se deseen desarrollar.
Encuesta 7	Se podría determinar el tipo de fibra ideal para un suelo arcilloso
Encuesta 8	Se garantizaría el uso del concreto en suelos arcillosos.

Encuesta	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos
Encuesta 1	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es su estructura y tipo de arcilla, así como también el contacto entre ellas que tienden a aumentar su volumen y desestabilizar su estructura.
Encuesta 2	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es la parte geográfica.
Encuesta 3	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es la compactación.
Encuesta 4	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es la alta porosidad de estos suelos, del cual el agente principal que interviene es el agua.
Encuesta 5	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es la deformación de las capas de rodaduras y la inestabilidad del suelo para su transitación vehicular.
Encuesta 6	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es debido principalmente al clima y al tipo de suelo que presenta la zona de estudio.
Encuesta 7	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es el hundimiento y el ahuellamiento de estos suelos por factores climáticos.
Encuesta 8	Problema principal que genera la baja capacidad portante en suelos arcillosos es la baja resistencia en la subrasante del mismo.

	ENCUESTAS							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Mano de Obra: (Influencia del personal involucrado)	X	X	Capacitación de los personales	Personal no experimentado o no capacitado para trabajos en suelos arcillosos	Capacitación a los trabajadores para este trabajo	X	X	X
Maquinaria: (Influencia de las herramientas y softwares utilizados en el diseño)	El uso adecuado de maquinarias para la compactación de los suelos	X	Adecuar las maquinarias necesarias	Uso de maquinarias inadecuadas para los procesos de compactación	Standarizar maquinaria para el trabajo de esta metodología	X	El mal uso de maquinarias influye en la compactación de los suelos	X
Medición: (norma a tener en cuenta)	Especificaciones requeridas para las dosificaciones de mezclas en concreto	X	X	X	Rendimientos reales para el desarrollo coherente de los trabajos	X	X	X
Medio Ambiente: (influencia de factores ambientales)	Hacer un resumen en valorativo de las estaciones del año y cantidad de lluvia que se genera en la localidad.	Frecuentes precipitaciones y cantidad de suelos cohesivos	Preever los climas que acontecen a la ciudad, para evitar fallas en el proceso de influencia	Lluvias torrenciales y sobreesfuerzos de cargas por vehiculos	Desventajas de los cambios al colocar fibras	Clima influye en las propiedades del suelo, la excesiva precipitación provoca que el suelo sea inestable y presente variaciones volumétricas	Influye tanto la humedad ocasionados por lluvias y calor	Falta de aprovechamiento de materiales desechables
Materia Prima	La estructura y composición de la arcilla	X	Optar por tener una medida patrón para las fibras y las proporciones de cemento	X	Costo y proceso para obtención de fibras a usar	De acuerdo al tipo de arcilla que se presente, el comportamiento de sus propiedades físicas de este variará frente a la presenica de agua	Material contaminado	X
Método: (cuál es el factor crítico en el diseño)	X	X	X	Mantenimiento constante en las carreteras	Cálculos y tipos de métodos que utilizarán para tener certeza de su uso	X	X	X