

UNIVERSIDAD SAN PEDRO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**Resistencia al Corte de un Suelo arcilloso, adicionando el 3%
de Polietileno Tereftalato (PET) a nivel de subrasante en el
C.P. Rataquenua – Huaraz – Ancash.**

Tesis para obtener el título profesional de ingeniero civil

Autor

Villanueva Maya Robert Baressi

Asesor

Ing. Rigoberto Cerna Chávez

Chimbote – Perú

2019

PALABRAS CLAVES:

TEMA	Estabilización de Suelos
ESPECIALIDAD	Mecánica de Suelos

KEY WORDS:

Topic	Soil Stabilization
Specialization	Soil Mechanics

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Programa	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la Construcción
OCDE	2. Ingeniería y Tecnología 2.1. Ingeniería Civil Ingeniería de la Construcción
Sub-Líneas o Campos de la Investigación	Materiales de la Construcción Tecnología de la construcción y Procesos constructivos

TITULO:

“RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO ARCILLOSO, ADICIONANDO EL
3% DE POLIETILENO TEREFTALATO (PET) A NIVEL DE SUBRASANTE EN
EL C.P RATAQUENUA-HUARAZ-ANCASH”

Resumen

Uno de los grandes problemas que hizo frente el ingeniero civil en su trabajo de campo, fue toparse con suelos con características mecánica impropias para su elaboración de carreteras. En muchas oportunidades se hizo necesario remover grandes porciones de material para reemplazarlo por otro que presente notables características mecánicas, lo que implicó un elevado costo en la ejecución del proyecto.

El principal objetivo del proyecto de investigación fue incrementar la resistencia al corte (CBR) de un suelo arcilloso adicionándole el 3% de Polietileno Tereftalato (PET).

Por tal motivo se llevó a cabo ensayos de laboratorio al suelo en estado natural y otro adicionándole Polietileno Tereftalato (PET), a través de la recolección de las muestras del suelo, realizando las calicatas respectivas del tramo Rataquenua – Huaraz (Progresiva 0+000 – 1+000 km)

Los resultados que se alcanzaron muestran la resistencia al corte (CBR) del suelo estudiado, de la muestra patrón al 100% de la M.D.S un promedio de (11.10%) y de la muestra experimental al 100% de la M.D.S un promedio de (25.30%), se llegó a la conclusión que se logró aumentar en un (14.20 %) mejorando la resistencia al Corte del Suelo estudiado.

Abstract

One of the great problems faced by the civil engineer in his field work was to run into soils with mechanical characteristics improper for his roads. On many occasions it was necessary to remove large portions of material to replace it with another one that presents remarkable mechanical characteristics, which implied a high cost in the execution of the project.

The main objective of the research project was to increase the shear resistance (CBR) of a clay soil by adding 3% Polyethylene Terephthalate (PET).

For this reason, laboratory tests were carried out on the soil in the natural state and another by adding Polyethylene Terephthalate (PET), through the collection of soil samples, making the respective calicatas of the Rataquenua - Huaraz section (Progressive 0 + 000 - 1 + 000 km).

The results that were achieved show the shear resistance (CBR) of the soil studied, of the standard sample at 100% of the MDS an average of (11.10%) and of the experimental sample at 100% of the MDS an average of (25.30 %), it was concluded that it was possible to increase by (14.20%) by improving the resistance to the Soil Cut studied.

Índice General

Contenido	
Palabras clave	i
Título	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
Índice General	v
Apéndice	vi
Figuras y Gráficos	vii
Introducción	1
Metodología Del Trabajo	44
Resultados	65
Análisis y Discusión	80
Conclusiones	86
Recomendaciones	87
Agradecimientos	88
Referencias Bibliográficas	89
Anexos	91

Apéndice

Tablas

Tabla 1. Límites de tamaño de suelos separados	7
Tabla 2. Clasificación de Aditivos estabilizadores	17
Tabla 3. Numero de Calicatas para exploración de Suelos	18
Tabla 4. Requisitos Mínimos según tipos de Pavimentos	21
Tabla 5. Espesores Mínimos de Concreto Asfáltico, mezcla en caliente para vías locales transitadas por camiones	21
Tabla 6. Características Representativas de fibras para distintos usos	30
Tabla 7. Clasificación de suelos según índice de Plasticidad	34
Tabla 8. Categorías de Subrasantes	36
Tabla 9. Correlación de Tipos de Suelos AASHTO – SUCS	37
Tabla 10. Diseño Muestral	39
Tabla 11. Resultados de Límites de Atterberg	41
Tabla 12. Clasificación del Suelo Natural según AASHTO – SUCS	42
Tabla 13. Datos para el cálculo del Próctor Patrón (C-1)	42
Tabla 14. Datos para el cálculo del Próctor Patrón (C-2)	43
Tabla 15. Datos para el cálculo del Próctor Experimental (C-1)	44
Tabla 16. Datos para el cálculo del Próctor Experimental (C-2)	45
Tabla 17. Humedad Optima (%) expresada en porcentaje de adición al suelo	46
Tabla 18. Densidad Seca Máxima (g/cm ³) expresadas en porcentajes de adición al suelo	46
Tabla 19. Lecturas Diales para la obtención del CBR Patrón (C-1)	47
Tabla 20. Lecturas Diales para la obtención del CBR Patrón (C-2)	48
Tabla 21. Lecturas Diales para la obtención del CBR Experimental (C-1)	49
Tabla 22. Lecturas Diales para la obtención del CBR Experimental (C-2)	50
Tabla 23. CBR al (95% M.D.S) expresada en porcentajes de adición al suelo	51
Tabla 24. CBR al (95% M.D.S) según adición y de la mezcla del 3% de Polietileno Tereftalato (PET)	51

Tabla 25: CBR al (100% M.D.S) expresada en porcentajes de adición al suelo	52
Tabla 26: CBR al (100% M.D.S) según adición de la mezcla del 3% de Polietileno Tereftalato (PET)	52
Tabla 27: Matriz de consistencia	63

Figuras

Figura 1. (a) Tetraedro de sílice; (b) lámina de sílice; (c) octaedro de alúmina (óxido de aluminio); (d) lámina octaédrica (gibbsita); (lámina elemental de sílice-gibbsita (según GRIM, 1959)	9
Figura 2. Arcilla caolinita	10
Figura 3. Arcilla montmorilonita	10
Figura 4. Arcilla illita	11
Figura 5. Sección Transversal	14
Figura 6. Escalonamiento, Agrietamiento en esquina, agrietamiento transversal y longitudinal	14
Figura 7. Controles en la Subrasante	20
Figura 8. Secciones	22
Figura 9. Códigos de identificación de resinas de plástico	23
Figura 10. Características de las fibras (PET)	28
Figura 11. Tamaño de las partículas del Suelo	32

Gráficos

Gráfico 1. Diagrama de Holtz and Kovacs – Casagrande – (C-1)	41
Gráfico 2. Diagrama de Holtz and Kovacs – Casagrande – (C-2)	41
Gráfico 3. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor Patrón (C-1)	43
Gráfico 4. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor Patrón (C-2)	44
Gráfico 5. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor	45

Experimental (C-1)	
Gráfico 6. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor	46
Experimental (C-2)	
Gráfico 7. CBR Patrón (C-1) a 2.5mm de Penetración (%)	47
Gráfico 8. CBR Patrón (C-2) a 2.5mm de Penetración (%)	48
Gráfico 9. CBR Experimental (C-1) a 2.5mm de Penetración (%)	49
Gráfica 10 CBR Experimental (C-2) a 2.5mm de Penetración (%)	50
Gráfico 11. Variación de la Humedad Óptima de la Muestra Patrón con la de la Muestra Experimental	54
Gráfico 12. Densidad Seca Máxima (g/cm ³)de Próctor Modificado Patrón vs Experimental	55
Gráfico 13. Variación del CBR al (95% MDS) de la muestra patrón con la de la Muestra Experimental	56
Gráfico 14. Variación del CBR al (100% M.D.S) de la muestra patrón con la de la muestra Experimental	57

INTRODUCCION

De los antecedentes encontrados se ha abordado los trabajos más relevantes a esta investigación, como el de **Espinoza, M. (2016)**, en esta investigación titulada Suelos Arcillosos Reforzados Con Materiales De Plástico Reciclado, tuvo como objetivo principal de Analizar el cambio a la resistencia al corte de un suelo arcilloso al adicionar fibras de materiales de plástico reciclado, para ello mediante ensayos de laboratorio determino el porcentaje de material que se debe agregar para mejorar las propiedades mecánicas del suelo.

La metodología que utilizo fue de agregar de manera aleatoria, la cantidad de fibra plástica en un 0,2%, 3,0% y 5,0% del peso total de la muestra y estableció fibras de 3,0 y 5,0 cm de longitud y un diámetro de 1,0 cm. En el cual obtuvo como resultado los siguientes datos : 4,5% , 18 % , 12% respectivamente.

El nivel de dicha investigación fue experimental, la cual llego a las siguientes conclusiones:

- La cohesión como parámetro de medida a la resistencia al corte presenta un aumento en su valor, demostrando que las fibras de plástico reciclado pueden mejorar las propiedades mecánicas del suelo.
- Es demostrado que a medida que la cantidad de porcentaje de fibra aumenta la resistencia del suelo también aumenta al igual que la deformación, por tal razón los esfuerzos a cortante son mayores y la ductilidad crece.
- Para la aplicación en proyectos de ingeniería se puede tener en cuenta que los suelos pueden ser reforzados con plástico reciclado, para mejorar las propiedades mecánicas de suelos arcillosos. Porcentajes ideales entre 0.2 y 3.0%.

Así mismo se revisó la investigación de Muños, L. (2014), en su investigación titulada **Estudio Del Uso Del Polietileno Tereftalato (Pet) Como Material De Restitución En Suelos De Baja Capacidad De Carga**, tuvo como objetivo principal la comprensión del comportamiento mecánico del Polietileno Tereftalato PET bajo esfuerzos de compresión estáticos, así como de conocer la influencia que ejercen la densidad del material, la velocidad de desplazamiento y el confinamiento sobre dicho comportamiento, para ello durante la investigación se recolectaron botellas de PET con la finalidad de realizarles distintas pruebas y así conocer el comportamiento mecánico del polietileno Tereftalato bajo esfuerzos de compresión estáticos.

La metodología que utilizó fue realizar pruebas de un envase vacío y de un envase relleno con bolsas plásticas (de reciclaje) se utilizó una Máquina de Ensayos Universales MTS Test System. Las pruebas que se le realizaron fueron de compresión bajo carga estática con deformación controlada y sin confinamiento, y también se utilizó una prensa de velocidad controlada tipo Toledo modificada con una placa metálica para distribuir uniformemente la carga. Se probaron en promedio de 8 a 10 muestras de cada tipo de envase.

De cada ensaye se obtuvo la gráfica carga-deformación de la botella en cuestión. La parte elástica-lineal de dicha gráfica es la que se considera relevante en este estudio.

El nivel de dicha investigación fue experimental, la cual llegó a las siguientes conclusiones:

- La clasificación muestra que los envases para bebidas carbonatadas y agua mineral poseen una mayor resistencia que aquellos utilizados para el envasado de agua.
- Se demostró que los envases incrementan su resistencia de manera importante (hasta 140%), aunque su peso aumenta de manera drástica (hasta 570%). En aplicaciones donde el peso de la estructura no sea una limitante, la utilización de envases rellenos puede resultar interesante ya que, además de tener una mayor resistencia, se asigna

un sitio de disposición final a una mayor cantidad de residuos sin afectar el ambiente.

- Se observó que para botellas del mismo tipo, aquellas que poseían un mayor gramaje (y por lo tanto una mayor densidad) presentaron una mayor resistencia
- Las botellas mostraron tener un buen comportamiento en grupo, siempre y cuando la carga sea uniformemente repartida y se cuide mantener la verticalidad de los envases.

En la investigación de Brajesh, M. (2016). Estudio sobre el uso de polietileno Fibra de Tereftalato (PET) para la Estabilización De Suelo de Carretera, aplicada de carácter experimental, en la cual se muestran los resultados de la prueba CBR.

- Indican que con Adición de fibras de PET, el valor de CBR aumenta. Los valores de CBR aumentan por factores 1.16, 1.60, 1.67 y 1.65 Respectivamente para el contenido de fibra de 0,2%, 0,4%, 0,6% y 0,8% en comparación con el suelo no reforzado. En el valor de CBR es responsable de la mejora en la resistencia del suelo y por lo tanto un espesor de corteza reducida para la carretera Pavimento servirá el propósito y en última instancia resultará en economía en el costo de construcción. El valor más alto De CBR se observó en la adición de 0,6% de contenido de fibra de PET en peso de suelo.
- El examen de las muestras después de la aridez demostró que, al aumentar el contenido de fibra, la extensión y la profundidad de las grietas eran Significativamente reducido. Estas características se muestran para la comparación de muestras entre muestras reforzadas con 0,6% de fibra de PET y suelo no reforzado.

La presente investigación se justifica porque en la actualidad nuestro país padece de una infraestructura Vial inadecuada y debido a este se presentan innumerables suelos con características mecánicas inapropiadas para la construcción de carreteras por lo cual es necesario el empleo de materiales de préstamo para sustituir a aquellos suelos deficientes, lo que implica un elevado costo en la construcción por el transporte de estos materiales de mejor calidad. En este caso se propone recurrir a la estabilización del suelo natural propio de la zona. Para ello se necesita utilizar materiales nuevos e innovadores con propiedades mecánicas y físicas óptimas para lograr mejoras en los suelos que buscamos trabajar.

El presente trabajo de investigación tiene el interés de mejorar las características mecánicas y evaluar el comportamiento de un suelo arcilloso a través del Polietileno Tereftalato (PET) para obtener un suelo más resistente, así mismo a través de estos insumos se espera obtener una capa subrasante mejorada y resistente ante el paso del tiempo o el peso propio que esta pueda soportar, dándole una mayor estabilidad y seguridad a la estructura; de este modo generar un aporte al suelo arcilloso del Tramo Rataquenua – Huaraz (Progresiva 0+000 – 1+000 km), Provincia de Huaraz.

Por tal motivo se realizaron ensayos de laboratorio, a las unidades de suelo del tramo Rataquenua – Huaraz para luego determinar si este porcentaje de adición del 3% de Polietileno Tereftalato (PET) es óptimo para su resistencia obteniendo unidades de suelo mejoradas que garanticen una mayor resistencia y duración a la estructura del pavimento, cumpliendo los estándares mínimos de las normas establecidas.

La problemática de la presente investigación es que algunos suelos arcillosos, debido a su baja capacidad portante (CBR) y mala calidad no siempre cumplen con los requerimientos necesarios para ser empleados en la construcción de carreteras y proyectos de pavimentación.

Los pavimentos de carreteras que se construyen sobre suelo de baja capacidad de soporte; presentan un elevado costo porque su diseño demanda mayores espesores.

Por lo tanto, el suelo deberá ser sustituido por otro material de mejor calidad o en su defecto, emplear alternativas de estabilización para el mejoramiento de las características mecánicas del suelo para ser utilizado como capa subrasante.

Es por ello que planteamos el siguiente problema de investigación:

¿En qué medida se mejorará la Resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, al adicionarle un 3% de Polietileno Tereftalato (PET), en el tramo de la carretera Rataquenua-Huaraz (progresiva 0+000 - 1+000 km)?

Las variables del estudio de tesis a Conceptualizar y Operacionalizar son: Ingeniería de Suelos y Diseño de un CBR.

En el sentido general de ingeniería, suelo se define como el agregado no cementado de granos minerales y materia orgánica descompuesta (partículas sólidas) junto con el líquido y gas que ocupan los espacios vacíos entre partículas sólidas (Braja M.Das, 2004).

Se trata de un conjunto de partículas con organización definida y propiedades que varían “vectorialmente”. En la dirección vertical generalmente sus propiedades cambian muchas más rápidamente que en la horizontal (Juárez, 2007)

Algunos ingenieros civiles (A. Rico y H. del castillo) definen al suelo como el conjunto de partículas minerales, producto de la desintegración mecánica o de la descomposición química de rocas preexistentes.

El origen del suelo es producido por intemperismo, es decir por la fractura y rompimiento de varios tipos de rocas en piezas más pequeñas mediante procesos mecánicos y químicos (Braja M. Das, 2004).

Algunos suelos permanecen donde se forman y cubren la superficie rocosa de la que se derivan y se llaman suelos residuales. En contraste, algunos productos

intemperados son transportados. Según el agente de transporte, se subdividen en tres categorías principales:

1. Aluviales o fluviales: Depositados por agua en movimiento.
2. Glaciales: Depositados por acción glaciaria.
3. Eólicos: Depositados por acción del viento.

Así mismo se revisó la investigación de Morales, A. (2017), en su investigación Resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante sustituyendo 10% por cenizas de carbón mineral en el tramo cabana - huandoval, tuvo como objetivo principal determinar la Resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, sustituyéndole un 10% por cenizas activada de carbón mineral y como objetivos específicos los siguientes:

- ✓ Determinar los límites de atterberg de la muestra de suelo obtenido de Cabana– Huandoval.
- ✓ Determinar el ensayo de Análisis Térmico Diferencial del carbón mineral pulverizado.
- ✓ Determinar la composición química de la ceniza de carbón mineral activada térmicamente, si es un material cementante.
- ✓ Determinar la relación: (agua/suelo) muestra patrón; y (agua /suelo/cenizas de carbón mineral) muestra experimental.
- ✓ Determinar los ensayos de Próctor modificado y CBR ,de la muestra patrón y experimental.

La presente investigación tiene como formulación de problema la siguiente: ¿En qué medida se mejorará la resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, sustituyendo un 10% de cenizas de carbón mineral en el tramo de la carretera Cabana – Huandoval (Progresiva 0+000 – 1+000 km)

Llego a las siguientes recomendaciones y conclusiones:

- El tipo de suelo con el que se llevó a cabo la investigación, de acuerdo con la SUCS indica un suelo (GC) siendo este tipo grava y arena arcillosa.

- El índice de plasticidad encontrada luego de realizar los ensayos de Límites de Atterberg indica un suelo de Media plasticidad.
- La ceniza de carbón mineral tiene buenos comportamientos puzolánicos ya que su composición química expresada como óxidos (Óxido de Calcio + Dióxido de Silicio + Trióxido de Aluminio, Trióxido de Hierro) es igual a 86.341 %, los cuales son semejantes a los 95 % del cemento, lo cual concluimos que esta combinación tiene propiedades para ser un material cementante.
- La resistencia al corte (CBR) del suelo estudiado nos da como resultado de la muestra patrón al 100% de la M.D.S un promedio de (18.25%) y con la muestra experimental al 100% de la M.D.S un promedio de (52.90%), por lo tanto, concluimos que se logró aumentar en un 34.65 % mejorando la resistencia al Corte del suelo estudiado.
- La ceniza de carbón mineral utilizado como estabilizado de suelo es una alternativa innovadora para incrementar la resistencia al corte (CBR) para suelos tipo GC estudiados en esta investigación.

En la investigación de Saldaña, J. (2018). Capacidad de soporte del suelo al adicionar 10 % de cenizas cáscara de huevo y pet en la trocha chepén – chaparral, la libertad, aplicada de carácter experimental, en la cual se muestran los resultados de la prueba CBR.

La presente investigación se justifica porque en la actualidad el lugar de estudio está ubicado en la Provincia de Chepén, La libertad, la cual presenta suelos arenosos y a la vez está rodeada por campos de cultivo por lo que se puede prever que el suelo tiene propiedades físicas inadecuadas. Se analizó la trocha Chepén – Chaparral, puesto que es la conexión entre la ciudad y los campos de cultivos aledaños.

Esta trocha debido al constante tránsito de vehículos ligeros y pesados se ve seriamente afectada constantemente, debido a que el suelo de la subrasante no permite el correcto funcionamiento de la carpeta de afirmada que posa sobre ella, presentándose hundimientos severos sobre la superficie. Por tal motivo se busca

mejorar la capacidad de soporte del suelo de la subrasante en la trocha Chepén – Chaparral.

La problemática de la presente investigación es la baja capacidad de soporte del suelo de la zona, así como el difícil acceso a estabilizadores químicos industriales, por lo cual usar la cáscara de huevo y pet es una alternativa adecuada, ya que son un material de origen orgánico común, y su uso podría mejorar en gran medida la Capacidad de Soporte del Suelo del lugar de análisis. Los pavimentos de carreteras que se construyen sobre suelo de baja capacidad de soporte; presentan un elevado costo porque su diseño demanda mayores espesores.

Es por ello que planteamos el siguiente problema de investigación:

¿Qué resultados se producirían en la capacidad de soporte del suelo al adicionar 10 % de cenizas de cáscara de huevo y pet, en La trocha Chepén – Chaparral, La Libertad?

Las variables del estudio de tesis a Conceptualizar y Operacionalizar son: Capacidad de Soporte del Suelo y Adición de 10 % de cenizas de cáscara de huevo y pet.

Sus recomendaciones fueron las siguientes:

- Limpiar con mayor cuidado las cascara de huevo y pet, para obtener aún mejores resultados en la composición química.
- Calcinar a fuego natural la cascara de huevo para reducir su volumen, puesto que si se lleva a la mufla sin previo quemado, despide demasiada cantidad de humo toxico y a la vez conlleva un mayor trabajo.

Sus conclusiones fueron las siguientes:

- El PH del suelo pasó de ser ligeramente alcalino a ser muy fuertemente alcalino al adicionarle las cenizas de cascara de Huevo y pet.

- Con la adición de las cenizas de cascara de huevo y pet , se obtuvo mejores densidades en dos calicatas, mientras que en una, bajo levemente la densidad.
- La adición de las cenizas de cascara de huevo y pet, reduce la cantidad de agua para la compactación, es decir el contenido óptimo de agua, disminuye en gran medida.
- La adición de las cenizas de cascara de huevo y pet, resulto favorable, puesto que incrementó el CBR del suelo en gran medida. Aumentó el CBR de 13.5 % a 60.2 % en la C-01, de 16.0 % a 69.0 % en la C-02 y de 12.8 % a 72.7 % en la C-03.
- La adición logró conglomerar efectivamente al suelo, con lo cual aumento drásticamente el valor del CBR.
- Es viable económicamente usar la adición de cenizas de cascara de huevo y pet, ya que se puede conseguir un ahorro de 53.19 %.

En la investigación de Jara, M. (2018). Resistencia a la compresión del concreto de $f'c=210$ kg/cm² laborado con material de reciclaje plástico - Huaraz – 2017, aplicada de carácter experimental.

El propósito de la presente investigación fue determinar la resistencia a la compresión del concreto de $F'c = 210$ kg/cm² con la sustitución del agregado grueso en un 10 y 15% por material de reciclaje; plástico en la ciudad de Huaraz – 2017, investigación que se realizó en la ciudad de Huaraz en el año 2017, utilizando agregados de la cantera de Tacllán ubicado en las riveras del rio Santa, el plástico de las distintas tiendas comerciales de la ciudad de Huaraz, el cemento utilizado fue

portland tipo I, con la finalidad de encontrar diferentes alternativas de materiales para ser aplicados en el campo de la construcción e ingeniería civil.

La hipótesis planteada es la sustitución del agregado grueso en un 10 y 15% por material de reciclaje plástico, mejoraría la resistencia a compresión del concreto $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Tuvo Como objetivo general se busca determinar la resistencia a la compresión del concreto de $F'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución del agregado grueso en un 10 y 15% por material de reciclaje: plástico en la ciudad de Huaraz - 2017.

Los objetivos específicos son los siguientes:

Identificar el tipo de polímero a través de la espectroscopia infrarroja FTIR al plástico (PET).

Determinar el PH del material de reciclaje: plástico (PET).

Determinar la relación agua-cemento de la muestra patrón y experimental.

Evaluar la resistencia a la compresión del concreto patrón con la sustitución del agregado grueso en un 10 y 15% por material de reciclaje: plástico en la ciudad de Huaraz, y comparar sus resultados.

Determinar el grado de relación y varianza de los resultados.

En la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

El material de reciclaje: plástico, corresponde al compuesto PET: Tereftalato de polietileno.

El pH del material de reciclaje: plástico, indica que es un material ácido, lo cual en cuanto a su uso en el concreto es perjudicial; ya que al producirse la reacción química entre el cemento que tiene un pH de 13 en promedio, se ve afectado en las características del concreto.

La relación agua – cemento, para el concreto patrón y experimentales teniendo en cuenta la resistencia es de 0.56, este valor no varía debido a que se obtiene mezclas de consistencia fluida tanto en el concreto patrón y experimentales.

Las resistencias a la compresión evaluadas en los días correspondientes, se obtuvo que el concreto patrón tiene mayor resistencia que los concretos experimentales, así

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas estadísticamente en las resistencias del concreto patrón y experimentales debido a la sustitución del agregado grueso por material de reciclaje: plástico y a los días de curado, ya que el valor de la probabilidad es igual a 0.00 y que el valor de la $F_{cal} > F_{teórico}$; los cuales indican que las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales son diferentes entre sí.

Se considera las siguientes recomendaciones:

Se puede mejorar los resultados de las resistencias del concreto con la sustitución del agregado grueso por material de reciclaje: plástico tomando en cuenta porcentajes menores a los tomados en la presente investigación.

Seguir utilizando los agregados de la cantera de Tacllan, debido que producen concretos que alcanzan resistencias a la compresión proyectada.

Realizar la sustitución del agregado fino por material de reciclaje; ya que al tener sus partículas de menor dimensión podrían mejorar la resistencia a la compresión del concreto.

TIPOS DE SUELOS

Los suelos en general son llamados gravas, arena, limo o arcilla, dependiendo del tamaño predominante de las partículas. Las gravas y arenas se encuentran dentro de los suelos denominados suelos granulares, mientras que los limos y arcillas se denominan suelos cohesivos. (Braja M. Das, 2004).

Las propiedades físicas y químicas del suelo son importantes para el ecosistema. El suelo realiza funciones de descomposición, filtración y almacenamiento de nutrientes. El suelo básicamente se compone de rocas en partículas agrupadas con otros materiales como arena o arcilla. La agrupación de estos materiales en determinadas proporciones determina el tipo de suelo. Cada componente del suelo tienen su importancia, por eso hay suelos que son más fértiles que otros. (Braja M. Das, 2004).

La tabla 1. Muestra los límites de tamaño de suelo separados desarrollados por el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), la Asociación Americana de Funcionarios de Carreteras Estatales y del Transporte (ASSHTO), el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de Estados Unidos, y la Oficina de Restauración de Estados Unidos (Braja M. Das, 2002).

Tabla 01 límites de tamaño de suelos separados.

Nombre de la Organización.	Tamaño del gramo (mm)			
	Grava	Arena	Limo	Arcilla
Instituto tecnológico de Massachusetts (MIT)	>2	2 a 0.06	0.06 a 0.002	< 0.002
Departamento de agricultura de estados unidos (USDA)	>2	2 a 0.05	0.05 a 0.002	< 0.002
Asociación América de funcionarios del transporte y carretera estatales (AASHTO)	76.2 a 2	2 a 0.075	0.075 a 0.002	< 0.002
Sistema unificado de clasificación de suelos (U.S. Army Corps of Engineers; U.S. Bureau of Reclamation; American Society for Testing and Materials)	76.2 a 4.75	4.75 a 0.075	Finos (es decir, limos y arcilla) < 0.075	

Fuente: Braja M. Das, (2004), Fundamentos de ingeniería Geotécnica

- **Gravas**

Las gravas son acumulaciones sueltas de fragmentos de rocas y que tienen más de dos milímetros de diámetro. Dado el origen, cuando son acarreadas por las aguas sufren desgaste en sus aristas y son, por lo tanto, redondeadas. Como material suelto, suele encontrarse en los lechos, en los márgenes y en los conos de deyección de los ríos, también en muchas depresiones de terrenos rellenadas por el acarreo de los ríos y en muchos otros lugares a los cuales las gravas han sido re transportadas. Las gravas ocupan grandes extensiones, pero casi siempre se encuentran con mayor o menor proporción de cantos rodados, arenas, limos y arcillas. Sus partículas varían desde 7.62cm (3”) hasta 2.0 mm. (Crespo Villalaz C, 2004).

- **Arenas**

La arena es el nombre que se le da a los materiales de granos finos procedentes de la denudación de las rocas o de su trituración artificial, y

cuyas partículas varían entre 2mm y 0.005 mm de diámetro. El origen y la existencia de las arenas es análoga a la de las gravas: Las 2 suelen encontrarse juntas en el mismo depósito. La arena de Río contiene muy a menudo proporciones relativamente grandes de grava y arcilla. (Crespo Villalaz C, 2005)

Las arenas estando limpias no se contraen al secarse, no son plásticas, son mucho menos compresibles que la arcilla y si se aplica una carga en sus superficies, se comprimen casi de manera instantánea. (Crespo Villalaz C, 2005).

- Limos

Los limos son suelos de granos finos con poca o ninguna plasticidad, pudiendo ser limo inorgánico como el producido en canteras, o limo orgánico como el que suele encontrarse en los ríos, siendo en este último caso de características plásticas. (Crespo Villalaz C, 2005).

Los limos sueltos y saturados son completamente inadecuados para soportar cargas por medio de zapatas. Su color varía desde gris claro a muy poco oscuro. La permeabilidad de los limos orgánicos es muy baja y su compresibilidad muy alta. Los limos, de no encontrarse en estado denso, a menudo son considerados como suelos pobres para cimentar. (Crespo Villalaz C, 2005).

- Arcillas

Se da el nombre de arcilla a las partículas sólidas con diámetro menor de 0.005mm y cuya masa tiene la propiedad de volverse plástica al ser mezclada con agua.

Químicamente es un silicato de alúmina hidratado, aunque en no pocas ocasiones contiene también silicatos de hierro o de magnesio hidratados. (Crespo Villalaz C, 2005).

MINERALES ARCILLOSOS

Los minerales arcillosos están compuestos de una o dos unidades básicas: 1) Tetraedro de sílice y 2) Octaedro de alúmina. Cada tetraedro consiste en cuatro átomos de oxígeno que rodean un átomo de silicio (figura 1a). La combinación de unidades de tetraedros de sílice de una lámina de sílice (figura 1b). Tres átomos de oxígeno en la base de cada tetraedro son compartidos por tetraedros vecinos.

Las unidades octaédricas consisten en seis hidroxilos que rodean un átomo de aluminio (figura 1c), y la combinación de las unidades octaédricas de hidroxilos de aluminio dan una lámina octaédrica, también llamada lámina de gibbsita (figura 1d). En ocasiones el magnesio reemplaza los átomos de aluminio en las unidades octaédricas; en tal caso, la lámina octaédrica se llama lámina de brucita (Braja M. Das, 2004).

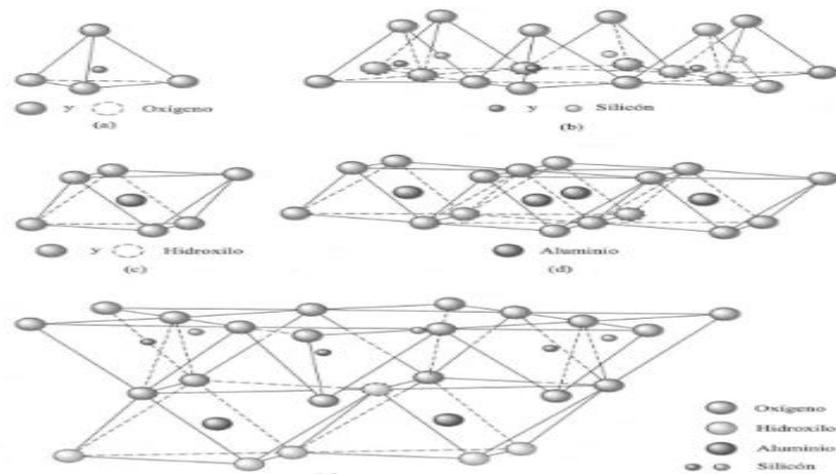


Figura 1: (a) Tetraedro de sílice; (b) lámina de sílice; (c) octaedro de aluminio (óxido de aluminio); (d) lámina octaédrica (gibbsita); (e) lámina elemental de sílice-gibbsita (según Grim, 1959), (Fuente: Braja M, Das. Fundamentos de Ingeniería Geotécnica)

Fuente: Braja M. Das, (2004), Fundamentos de ingeniería Geotécnica.

De acuerdo con su arreglo reticular los minerales de arcilla se pueden clasificar en tres grupos básicos: caolinitas, montmorilonitas e illitas.

- Caolinitas (Del nombre chino Kau-Ling), que procede de la carbonatación de la ortoclasa (feldespato potásico). Las arcillas caolínicas (Figura 2) están formadas por una lámina sílica y una lámina alumínica superpuestas de manera indefinida y con una unión tal entre sus retículas que no permiten la penetración de moléculas de agua entre ellas, pues producen una capa electrónicamente neutral, lo que induce, desde luego, a que estas arcillas sean bastantes estables en presencia del agua.

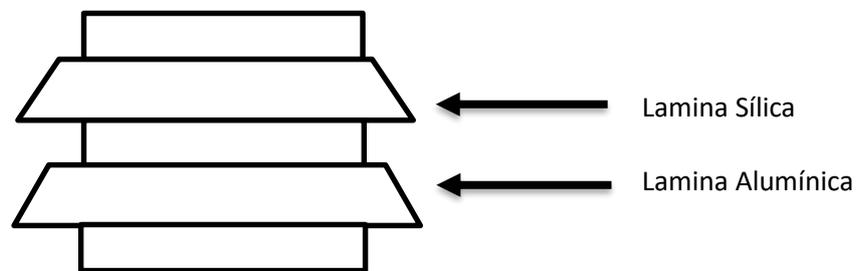


Figura 2. Arcilla caolinica

Fuente: Braja M. Das, (2004), Fundamentos de ingeniería Geotécnica.

- Montmorilonita (que debe su nombre a Montmorrillón, Francia), al cual pertenecen las bentonitas, se forman por la superposición indefinida de una lámina alumínica entre dos láminas silícicas, pero con una unión débil en sus retículas, lo que hace que el agua puede penetrar en su estructura con facilidad. Estas arcillas sufren fuerte expansión (Figura 3) en contacto con el agua, lo que provoca inestabilidad en ellas.

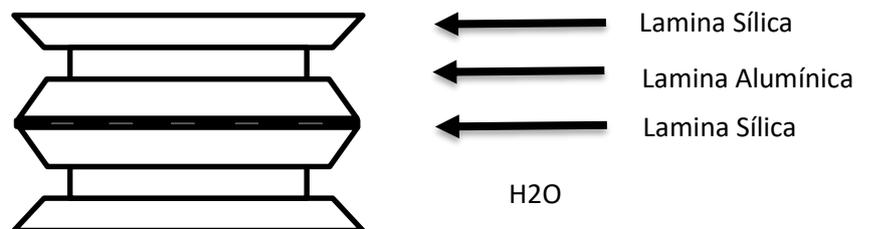


Figura 3. Arcilla montmorilonita

Fuente: Braja M. Das, (2004), Fundamentos de ingeniería Geotécnica.

- Illitas (que debe su nombre a Illinois E.U.A.), producto de la hidratación de las micas y que presentan un arreglo reticular similar al de las montmoriloníticas, pero con la tendencia a formar gramos por la presencia de Iones de potasio, lo que reduce el área expuesta al agua, razón por la cual no son tan expansivas como las arcillas montmoriloníticas.

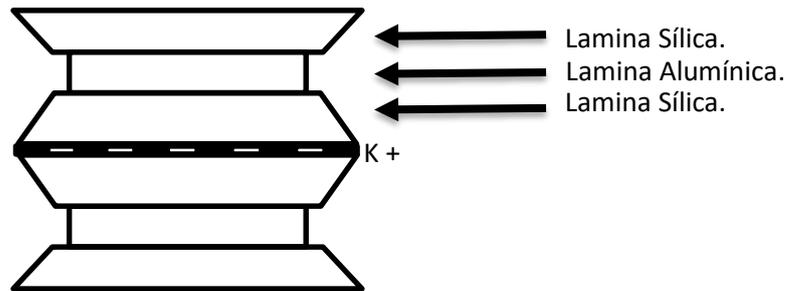


Figura 4. Arcilla Illita

Fuente: Braja M. Das, (2004), Fundamentos de ingeniería Geotécnica.

PAVIMENTOS.

El Pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la sub rasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito.

❖ Conformación:

Un pavimento típicamente está conformado usualmente por cuatro capas para resistir las cargas provenientes del paso de los vehículos. Por lo general está conformada por las siguientes capas:

CAPA DE RODADURA: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland (rígido) o de adoquines, cuya función es sostener directamente el tránsito.

BASE: Es la capa inferior a la capa de rodadura, que tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

SUB BASE: Es una capa de material especificado y con un espesor de diseño, el cual soporta a la base y a la carpeta. Además se utiliza como capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Dependiendo del tipo, diseño y dimensionamiento del pavimento, esta capa puede obviarse. Esta capa puede ser de material granular ($\text{CBR} \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.

SUB RASANTE: o capa más interna que es la base del pavimento

❖ **Tipos de Pavimentos:**

• **PAVIMENTOS FLEXIBLES.**

El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (sub base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente.

CARACTERÍSTICAS:

Resistencia estructural: Debe soportar las cargas impuestas por el tránsito que producen esfuerzos normales y cortantes en la estructura.

DURABILIDAD: Está ligada a factores económicos y sociales.

REQUERIMIENTOS DE CONSERVACIÓN: Los factores climáticos influyen de gran manera en la vida útil de un pavimento. Otro factor es la intensidad del tránsito.

COMODIDAD: Para grandes autopistas y caminos, los métodos de diseño se ven afectados por la comodidad que el usuario requiere para transitar a la velocidad de proyecto.

BASE Y SUB-BASE: Aunque tienen características semejantes, las sub-bases son de menor calidad.

- **PAVIMENTOS SEMIRRÍGIDOS.**

El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso; también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal.

- **PAVIMENTOS RÍGIDOS.**

El pavimento rígido es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso, aditivos. Dentro de los pavimentos rígidos existen tres categorías:

- Pavimento de concreto simple con juntas
- Pavimento de concreto con juntas y refuerzo de acero en forma de fibras o mallas
- Pavimento de concreto con refuerzo continuo.
- **La capa de rodadura de concreto de cemento Portland (PCC) puede ser:**
 - Normal o convencional
 - Reforzado (acero)
- **Subbase**
 - Estabilizada con cemento
 - No estabilizada
- **Subrasante compactada y natural**

TIPOS DE FALLAS:

ESCALONAMIENTO: Debido a la erosión de la base por flujo de agua en la proximidad de las juntas o grietas. También puede ocasionarlo un asentamiento diferencial en la capa de subrasante.

AGRIETAMIENTO DE ESQUINA: Se origina por la erosión de la base, lo que ocasiona una falta de apoyo de la losa; así como por sobrecargas en las esquinas o una deficiente transmisión de carga entre juntas.

AGRIETAMIENTO TRANSVERSAL Y LONGITUDINAL: En el sentido transversal es debido a una longitud excesiva en la losa y en la longitudinal un ancho excesivo; además de que carezca de una junta longitudinal. También es debido en ambos casos a un diseño deficiente (menor espesor del requerido).

Otro aspecto a considerar es la recuperación de la rugosidad, obtener la rugosidad inicial de la losa de concreto después de un periodo de puesta en servicio se torna más difícil y costoso, por lo que implica el rayado de las losas con discos de diamante.



FIG.5: Escalonamiento, agrietamiento en esquina, agrietamiento transversal y longitudinal

Fuente: US Army Corps of Engineers

ESTABILIZACIÓN DE SUELOS

La estabilización de un suelo es el proceso mediante el cual, se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento de modo que podamos aprovechar sus mejores cualidades, obteniéndose una capa de asiento suelo estable y durable, capaz de soportar los efectos del tránsito y las condiciones del clima más severas y por ende geotécnicamente el comportamiento de la explanada (Valle, 2011).

La estabilización del suelo también es la corrección de una deficiencia, para darle una mayor resistencia al terreno o bien, disminuir su índice de plasticidad. Las tres formas de lograrlo son: estabilización in situ, estabilización mecánica y estabilización química. Para el proceso de estabilización del suelo existen dos opciones de ejecución, mezcla en central o planta móviles y mezclas in situ (Valle, 2011).

Se define un suelo estabilizado “in situ” a la mezcla homogénea y uniforme de un suelo con cal o con cemento y eventualmente agua, en la propia traza de la carretera, al cual convenientemente compactada, tiene por objeto disminuir la susceptibilidad al agua del suelo o aumentar su resistencia, para su uso en la formación de explanadas (Valle, 2011).

La estabilización mecánica es una técnica de mejora, basada en la mezcla de diversos materiales con propiedades complementarias, de forma que se obtenga un nuevo material de mayor calidad y que cumpla las exigencias requeridas.

Las propiedades a mejorar mediante este tratamiento, son generalmente la plasticidad y/o granulometría; la plasticidad afecta a la susceptibilidad del material al agua y a su capacidad drenante; la granulometría incide en la resistencia, trabajabilidad y compacidad final de la capa del suelo.

La estabilización química es un método basado en la mezcla del suelo natural con agentes químicos de manera que se produzca el mejoramiento deseado acorde a las necesidades de la estructura (carretera).

Dentro de este grupo de estabilización, las sustancias químicas más comunes son: cal y cemento (Valle, 2012).

Cal: Disminuye la plasticidad de los suelos arcillosos y es muy económica.

Cemento Portland: Aumenta la resistencia de los suelos y se usa principalmente para arenas o gravas finas.

Los agentes más utilizados son el cemento Portland, los ligantes asfálticos y la cal. Es necesario en este punto definir algunos de los términos usados comúnmente en el campo de la estabilización de los suelos.

1. Cement – Stabilized Soil (Suelo Estabilizado con Cemento), es una mezcla de agua, suelo y cantidades medidas de cemento Portland, mezclado a fondo y compactado a una alta densidad, seguido de un proceso de curado durante un periodo determinado, durante el cual se protege de la pérdida de humedad.
2. Soil cement (Suelo cementado), es un material endurecido obtenido mediante la compactación mecánica de una mezcla de suelo finalmente triturado, agua y una cantidad de cemento Portland que hará a la mezcla cumplir con ciertos requerimientos de durabilidad.
3. Cement – modified Soil (Suelo – Cementado modificado), es una mezcla semiendurecida o sin endurecer que contiene agua, cemento Portland y suelo finamente triturado. Esta mezcla contiene menos cemento que la mezcla de suelo cementado (soil cement).
4. Plastic soil cement (suelo cementado plástico), es un material endurecido que se obtiene al mezclar suelo finamente triturado, cemento Portland y una cantidad de agua, de tal manera que en el momento de la mezcla y la colocación, se obtiene una consistencia similar a la de un mortero.
5. Soil – lime (suelo con cal), es una mezcla de cal, agua y suelo de grano fino. Si el suelo contiene sílice y alúmina, ocurre una reacción puzolánica, resultando la formación de un material tipo cementante. Los minerales de arcilla, cuarzo, feldespato, son todas las posibles fuentes de sílice y alúmina en suelos típicos de grano fino (Garber y Lester, 2010).

LOS ADITIVOS ESTABILIZADORES SE PUEDEN AGRUPAR DE LA SIGUIENTE MANERA:

Tabla 2: Clasificación de aditivos estabilizadores

Absorbentes de agua	Cloruro de calcio Cloruro de sodio Cloruro de magnesio
Derivados del petróleo	Emulsión asfáltica Líquidos asfálticos Emulsiones de asfalto modificado
No derivados del petróleo	Grasa de animales Lignosulfatos Melaza -azúcar de beterraga Emulsiones de aceite de tallos Aceites vegetales
Electroquímicos	Enzimas Productos iónicos Aceite sulfonatos
Polímeros sintéticos	Acetato polivinílico Vinil acrílico
Aditivos de arcilla	Bentonita Montmorillonita
Cementantes	

Fuente MTC-Dirección de Estudios Especiales.

CARACTERIZACIÓN DE LA SUBRRASANTE

Con la finalidad de determinar las características físico-mecánicas de los materiales de la subrasante se realizó la investigación, a través de la ejecución de calicatas respectivas del tramo Rataquenua – Huaraz (Progresiva 0+000 – 1+000 km).

Siendo para el presente estudio un tipo de carretera de Tercera Clase, de una calzada de dos carriles se realizó 2 calicatas por km, tal como se mencionan en la Tabla 2. De número de calicatas para exploración de suelos.

Tabla 3. Número de Calicatas para Exploración de Suelos

Tipo de carretera)	Profundidad (m)	Número mínimo de calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	- calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido. - Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido. - Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido.	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada.
Carreteras duales o multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	- calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido. - Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido. - Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido.	
Carretera de primera clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	- 4 calicatas x km	
Carreteras de segunda clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	- 3 calicatas x km	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carretera de tercera clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	- 2 calicatas x km	
Carreteras de bajo volumen de tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 Veh/día, de una calzada..	1.50 m respecto al nivel de subrasante del proyecto	- 1 calicatas x km	

Fuente: Manual de Carreteras, MTC (2013); Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

MATERIALES EMPLEADOS HASTA EL NIVEL DE SUB-RASANTE

a) Los suelos en la Capa de Sub-rasante podrán ser cualquiera de los suelos naturales que puedan ser compactados mediante procedimientos normales de compactación. Deberán estar libres de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales en cantidades tales que

impidan o restrinjan su compactación para cumplir con los requisitos establecidos en el Proyecto. Cuando esto no sea posible se procederá al Mejoramiento de Suelos.

b) El Mejoramiento de Suelos consiste en excavar el terreno en el espesor involucrado por el diseño y su remplazo parcial o total con materiales aprobados debidamente conformados y compactados, de acuerdo con el Proyecto.

c) El mejoramiento de suelos también se puede realizar a través del uso de Estabilizadores Químicos, acorde a lo que establezca el Proyecto.

d) Del mismo modo el mejoramiento de suelos puede también ejecutarse mediante el uso de Geo sintéticos.

e) Los materiales que se empleen en la construcción de terraplenes deberán provenir de las excavaciones para la explanación, de préstamos laterales o de fuentes aprobadas (canteras). Deberán estar libres de materia orgánica, raíces y otros elementos perjudiciales en cantidades tales que impidan o restrinjan su compactación para cumplir con los requisitos establecidos en el Proyecto.

CONTROLES EN LA SUB-RASANTE:

PROYECTO DE NORMA CE.010 “PAVIMENTOS URBANOS” sostiene que:

a) La humedad de compactación no deberá variar en $\pm 2\%$ del Optimo Contenido de Humedad a fin de lograr los porcentajes de compactación especificados.

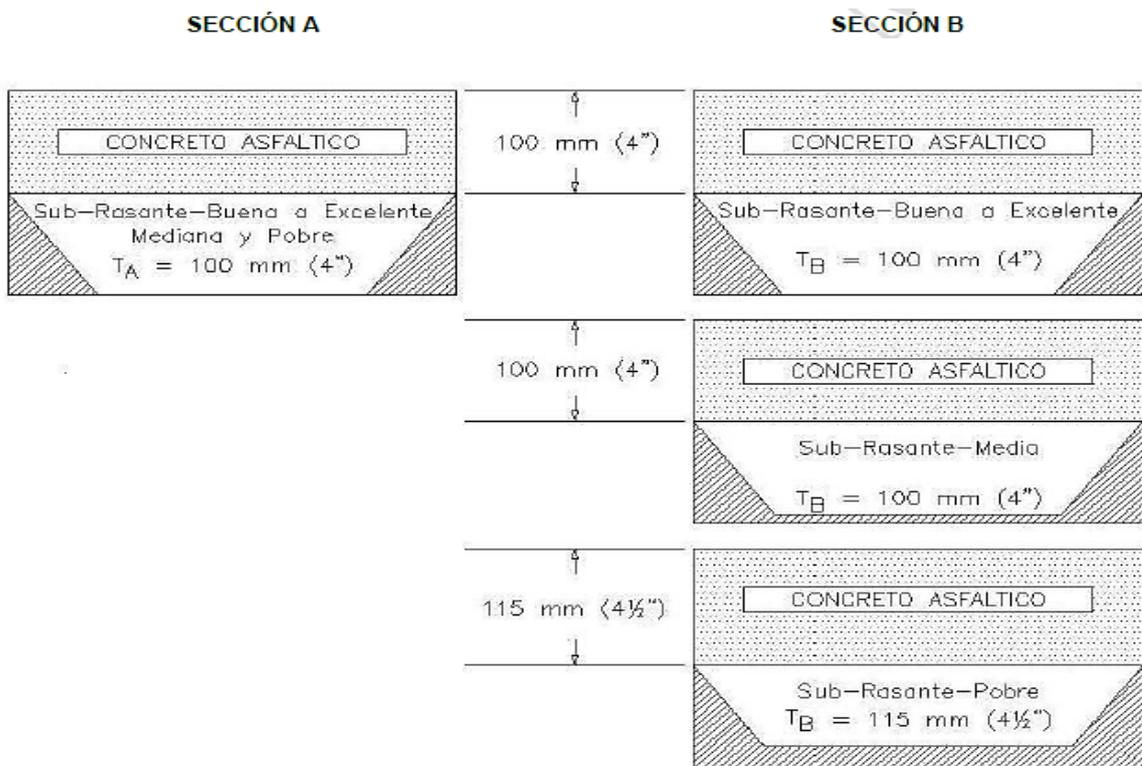
b) Se comprobará la compactación cada 500 m² de la capa de subrasante. El grado de compactación requerido será del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica Próctor Modificado (NTP 339.141:1999) en suelos granulares y del 95% de su Máxima Densidad Seca Teórica Próctor Estándar (NTP 339.142:1999) en suelos cohesivos. Se tolerará hasta dos puntos porcentuales menos en cualquier caso aislado, siempre que la media aritmética de 6 puntos de la misma compactación sea igual o superior al especificado.

c) Cuando lo exija el Proyecto, se verificará el CBR de diseño usando cualquiera de los métodos señalados en la Tabla 1.

d) Se permitirá una tolerancia de ± 10 mm respecto de las cotas del proyecto.

- e) La tolerancia por exceso en el bombeo será de hasta 20% del valor especificado. No se tolerarán errores por defecto en la flecha del bombeo.
- f) En el caso de la sub-rasantes estabilizada químicamente, se verificarán los valores propuestos por el *PR* en el Proyecto para el agente estabilizador utilizado, con un mínimo de tres verificaciones por cada tipo de agente empleado.
- g) En el caso de sub-rasantes estabilizadas con geo sintéticos, se verificará el módulo de diseño de la sub-rasante propuesto por el *PR*.

FIG.7: Controles de la Sub Rasante



Fuente: Manual de Carreteras, MTC (2013); Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

Tabla 4: Requisitos Mínimos Según Tipos de Pavimentos

Elemento	Tipo de pavimento	Flexible	Rígido	Adoquines
Copa de subrasante		95% de compactación: Suelos granulares - Próctor modificado Suelos cohesivos – Próctor Estándar		
		Espesor compactado: ≥ 250 mm – vías locales y colectoras ≥ 300 mm – vías arteriales y expresas		

Fuente: Manual de Carreteras, MTC (2013); Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

Tabla 5: Espesores mínimos de concreto asfáltico mezcla en caliente para vías locales transmitidas por camiones

Sección A Hasta 20 camiones pesados* por día		Sección B De 21 a 400 camiones pesados* por día
<ul style="list-style-type: none"> - Playas de estacionamiento - Estaciones de servicio - Vías colectoras - Entradas y carriles de tráfico usadas por camiones pesados* 		<ul style="list-style-type: none"> - Playas de estacionamiento (Incluyendo Paraderos de camiones) - Entradas y carriles de tráfico usadas por camiones pesados * - Vías colectoras
Subrasante	Espesor, T _A	Espesor, T _B
Bueno a excelente	100 mm (4")	215 mm (8 ½")
Mediana	140 mm (5 ½")	265 mm (10 ½")
Pobre	190 mm (7½")	320 mm (12½")

Fuente: Manual de Carreteras, MTC (2013); Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

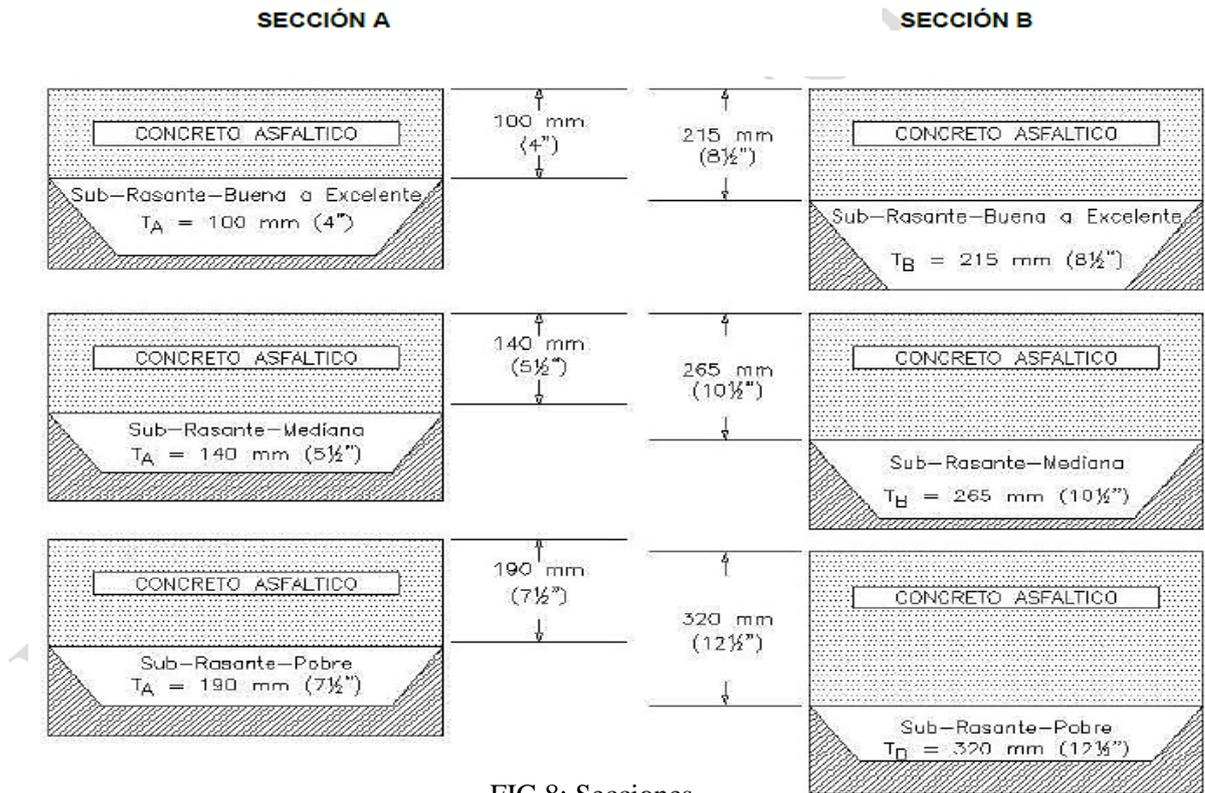


FIG.8: Secciones

NOTA: Espesor mínimo de Carpeta Asfáltica = 50 mm.

Fuente: Manual de Carreteras, MTC (2013); Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

NORMA CE.020 SUELOS Y TALUDES

1. GENERALIDADES

Los suelos con poca capacidad de carga o susceptibles a los asentamientos, requieren ser estabilizados, ya sea cuando se realizan excavaciones o cuando se alteran las condiciones de equilibrio de los taludes, puesto que se produce inestabilidad, poniendo en riesgo la vida humana, los bienes materiales y el ambiente.

1. OBJETIVO

Establecer las consideraciones técnicas mínimas, para el mejoramiento requerido de la resistencia de los suelos y de la estabilidad de taludes, mediante métodos químicos, mecánicos o de modificación topográfica.

EL PLASTICO

Según en el informe final de estudio base es el ámbito de los polímeros, que son un grupo de compuestos orgánicos del cual los plásticos hacen parte.

Los polímeros están constituidos por macromoléculas de peso molecular alto, las cuales son series repetitivas de unidades estructurales más pequeñas, llamadas meros. Los polímeros pueden ser de origen natural y derivarse de las plantas, animales o sustancias minerales, como la celulosa, la lana y el asbesto, o también se pueden crear artificialmente a partir de productos petroquímicos.

Generalmente se producen a partir de recursos no renovables como el gas y el petróleo. “Sólo el 5% del petróleo extraído se utiliza para la fabricación de plásticos, lo que representa una mínima cantidad de recursos no renovables, comparado con las ventajas y beneficios que se derivan de su transformación en incontables productos útiles.

Los plásticos se pueden dividir y clasificar de acuerdo a la estructura molecular, el estado físico, la composición química, el uso final o la reacción en el ambiente.

El uso final hace que a veces los polímeros (resinas) se denominen como fibras, adhesivos, cauchos, plásticos o recubrimientos, aunque el material pueda ser adaptable a todas esas aplicaciones.

CODIGO DE LOS PLÁSTICOS

Hoy en día, casi todos conocemos el símbolo formado por un número rodeado por un triángulo de flechas que a menudo vemos en el fondo de los recipientes plásticos, aunque quizás no siempre sepamos el significado detrás de los símbolos.



FIG.9: Códigos de identificación de resinas de plástico

Fuente: Dirección de Estudios Especiales.

POLIETILENO TEREFTALATO (PET)

Desde la antigüedad se han utilizado fibras naturales para la mejora de las propiedades de los materiales que intervienen en la construcción.

En la actualidad se están empezando a emplear fibras artificiales que se obtienen como excedente de procesos industriales y son susceptibles de ser utilizadas como mejora de diferentes materiales, entre otros el suelo.

El PET o también conocido como polietileno de tereftalato, es un polímero (material construido por moléculas), que es obtenido mediante la reacción de ácido tereftálico y el etilenglicol, Ello da lugar a la formación de gránulos blancos que se utilizan para fabricar principalmente envases.

El tereftalato de polietileno o más conocido por sus siglas PET es un tipo de plástico derivado del petróleo, se obtiene de la reacción de petroquímicos secundarios como el ácido tereftálico y monoetilenglicol, formando pequeños cilindros de color blanco transparente.

Características:

Actúa como barrera para los gases, como el CO₂, humedad y el O₂, liviano e impermeable, resistente a esfuerzos permanentes y al desgaste, ya que presenta alta rigidez y dureza, alta resistencia química y buenas propiedades térmicas, posee una gran indeformabilidad al calor, estabilidad a la intemperie.

Degradación:

El (PET) puede ser degradado mediante diferentes métodos: proceso químico y el proceso natural. Siendo el químico, el método que puede “hacer un reusó del material para un nuevo producto. Esto es debido a que puede ser modificada su estructura molecular

El proceso natural, puede tardar una gran cantidad de tiempo debido al tiempo de vida del PET, puede llegar a degradarse en un aproximado de 500 años o más.

ESTRUCTURA DEL PET

El PET es un tipo de materia prima plástica derivada del petróleo, correspondiendo su fórmula a la de un poliéster aromático.

- PET

El PET es una resina poliéster de glicol etilénico y ácido tereftálico. Dicho plástico se clasifica en función de la viscosidad intrínseca, la cual es directamente proporcional a su peso molecular, y de la modificación polimérica que reduce la velocidad de cristalización y el punto de fusión.¹⁵

- Grado PET

En la industria de plásticos este tipo de material se identifica por su grado y aplicación que están en función de la cristalinidad y peso molecular, se puede encontrar en un estado amorfo o también conocido como (A-PET), semicristalino (C-PET) este con un 30-40% de cristalinidad y los de menor peso molecular llamados grado fibra, posteriormente los grado película de peso molecular medio y los de peso molecular alto grado ingeniería, el grado envase esta intermedio entre los grados película y grado ingeniería, es decir a mayor peso molecular mejor son las propiedades mecánicas.

OBTENCIÓN DEL POLIETILENO TEREFALATO (PET) POR MEDIO DEL RECICLADO

En Huaraz existen varios locales recolectores de botellas de plástico usado PET y lo realizan de la siguiente manera:

Recogida selectiva: Tiene como único objetivo obtener un producto más limpio, mediante la eliminación de impurezas de otros materiales.

La selección se hace de manera automática o manual, está basada en una serie de criterios: color (por ejemplo, eliminar colores críticos como amarillo, café, rojo y negro, solo son permitidos los azules e incoloros), materiales plásticos (eliminación de PE, PP, PVC) son seleccionados solo las botellas de refrescos y agua, también son eliminados los materiales metálicos. En función de las propiedades de los materiales se utilizan diferentes sistemas de separación: separadores colorimétricos, de infrarrojo cercano (INR), ultravioletas.

Su efectividad dependerá totalmente de las características de los elementos a separar: grado de suciedad, humedad, etc.

Fraccionado: Consiste en dividir, fragmentar en diferentes partes el pet. El tamaño final puede variar de una instalación a otra, aunque lo habitual partes de 3 a 5cm y 0.5 cm.

Lavado: Existe la opción de hacer un lavado previo sobre el envase. Para el lavado se puede usar agua a una temperatura que puede ser variable (frío, temperatura ambiente, lavado medio a 40°C o lavado en caliente a una temperatura de 70°C a 90°C). Al realizar el lavado se estarán eliminando contaminantes de tipo orgánico entre ellos tierra y arena, presentes en la superficie de la escama.

Los residuos de tensos activos usados en el lavado son eliminados mediante una serie de lavados posteriores.

Pueden emplearse adicionalmente métodos de fricción y centrifugación; de esta manera, aumentará el porcentaje de efectividad de lavado y la eliminación de elementos indeseables.

PROPIEDADES BIOLÓGICAS

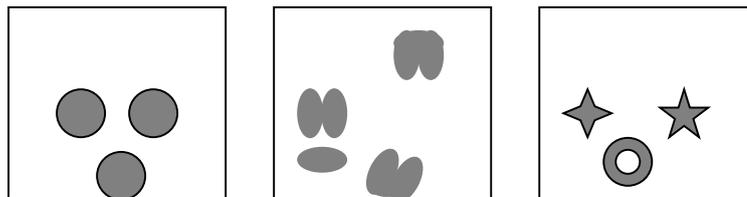
El PET al no ser un elemento biodegradable se mantiene con en el tiempo, esto hace que tenga una larga vida útil, además otra de sus propiedades más relevantes es su resistencia a la degradación causada por microbios y bacterias lo que es conocido también como biodegradación, ya que éstos microorganismo no tienen mecanismos para atacar estos polímeros. Debido a estas particularidades no representa un contorno adecuado para la propagación de hongos, parásitos o ** bacterias de putrefacción. El PET es inodoro, reciclable y no contiene componentes tóxicos como otros plásticos.

CARACTERÍSTICAS DE LAS FIBRAS (PET)

a. Propiedades mecánicas y características físicas

- ❑ Tenacidad (N/tex). Deben tener una tenacidad suficiente y siempre mayor que el esfuerzo que deben soportar.
- ❑ Alargamiento (%). Para una misma tenacidad, cuanto menos alargamiento mejor, o lo que es lo mismo, a mayor módulo de elasticidad (N/tex), mejor es la fibra para refuerzo.
- ❑ Densidad o peso específico de la fibra (g/cm^3). Cuanto menor sea, mayor será la superficie de fibra para un mismo peso dado.
- ❑ Diámetro (μm). Cuanto menor sea el diámetro mayor será la superficie específica para un mismo peso.
- ❑ Título (dtex). Peso en gramos de 10.000 m lineales de fibra o filamento.
- ❑ Forma. Debido a las características de cada polímero y a la forma de obtención de las fibras y los dispositivos empleados, las fibras pueden tener diferentes formas:

FIG.10: Características de las fibras (PET)



Cilíndricas

Arriñonadas

Otras formas

Fuente: Dirección de Estudios Especiales.

- ❑ Superficie (mm^2/m). También en función del polímero y de su forma de obtención, la superficie puede ser lisa o rugosa, con lo cual la superficie específica será superior en este segundo caso y por tanto mayor el rozamiento con otros materiales.

- ❑ Resistencia a la compresión. Es la fuerza de rotura en relación con la sección en un ensayo de compresión.
 - ❑ Módulo de cizallamiento. Es el módulo de elasticidad medido en un ensayo de torsión.
 - ❑ Rizado (ondas/cm y amplitud de las ondas). Las fibras sin rizado no “enlazan” entre ellas. Las fibras con rizado pueden quedar retenidas unas con otras.
- 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 los microorganismos
 - ❑ Tasa de humedad
 - ❑ Biodegradabilidad

FIBRAS PARA EL REFUERZO DE TIERRAS

Como se ha visto en el apartado anterior, se deben elegir las fibras en función de sus características técnicas y también en función de su facilidad de servicio y su coste.

Hoy por hoy, las fibras sintéticas de mayor producción en el mercado, las más utilizadas y también las de menor coste (posiblemente por ser las que se producen a mayor escala) son PAN, PA 6.6, PA 6, PES, PE, PP.

Sus precios no varían mucho de unas a otras, son fáciles de encontrar en el mercado en grandes cantidades y se pueden conseguir también reprocesadas. Por todo ello, se muestra a continuación la siguiente **Tabla con las características representativas de estas fibras para estos usos:**

TABLA6:

Fibra	P	Ten	A	Fo	Resistencia a				
g/cm ³	S	g	N/te	%	Se	Á	Álc	U	Micr
Poliacrilonitrilo	P	1	0,2-	1	Ri	+	++	+	+++
Poliamida	P	1	0,4-	1	Cir	+	++	+	+++
Poliamida	P	1	0,4-	1	Cir	+	++	+	+++
Poliéster	P	1	0,37	1	Cir	+	++	+	+++
Polietileno	P	0	0,5	1	Cir	+	++	+	+++
Polipropileno	P	0	0,4	2	Cir	+	++	+	+++

Fuente: Dirección de Estudios Especiales.

*Nota: Las mismas fibras en alta tenacidad (HT ó AT) aumentan su tenacidad un 70-80 %.

PROPIEDADES DE UN SUELO ESTABILIZADO

Las propiedades más importantes que se deben mejorar con estabilización son:

- Estabilidad del volumen

Muchos suelos se expanden y se contraen ocasionado por los cambios de humedad, los cuales se pueden presentar en forma rápida o acompañado a las variaciones estacionales o con la actividad del ingeniero. Por tanto, si las expansiones que se desarrollan debido a un incremento de humedad no se controlan en alguna forma, estas presiones pueden ocasionar graves deformaciones y rupturas en el pavimento y, en general en cualquier obra.

Es por ello que resulta necesario detectar los suelos expansivos, su composición y el tratamiento más adecuado.

Actualmente, las soluciones para evitar cambios volumétricos en suelos expansivos consisten en introducir humedad al suelo en forma periódica, aplicar cargas que equilibren la presión de expansión, utilizar membranas impermeables y apoyar la estructura a profundidades tales, que no se registre variación estacional en la humedad. Otro medio podría consistir en modificar la arcilla

expansiva transformándola en una masa rígida o granular cuyas partículas estén lo suficientemente ligadas para resistir la presión expansiva interna de la arcilla, lo cual puede lograrse por medios químicos o térmicos.

- Resistencia

La falta de resistencia ocurre con la mayor frecuencia en los suelos orgánicos. La influencia de la materia orgánica suele tratarse en forma equivocada, pues se recurre a la compactación como una forma de estabilización mecánica para incrementar la resistencia del suelo en algunos casos. Sin embargo, puede obtenerse el resultado requerido mediante la compactación, solo por un corto tiempo, ya que el efecto de degradación de la materia orgánica provocará nuevamente la pérdida de resistencia del suelo en cuestión.

Algunos de los procedimientos más utilizados para elevar la resistencia del suelo son:

- La compactación
- La vibro flotación
- La precarga
- El drenaje
- Estabilización mecánica con mezcla de otros suelos.
- Estabilización química con cemento, cal o aditivos líquidos que funcionan como cementantes.

- Permeabilidad

No se suele ser muy difícil modificar substancialmente la permeabilidad de formaciones de suelo por métodos tales como la compactación, la inyección, etc. En materiales arcillosos, el uso de floculantes (por ejemplo, poli fosfatos), puede reducir la permeabilidad también significativamente; el uso de floculantes (muchas veces hidróxido de cal o yeso) aumenta correspondientemente el valor de la permeabilidad.

Si se compacta un suelo con humedades muy bajas o prácticamente en seco, se obtendrá finalmente una alta permeabilidad en el suelo debido a los gramos que no se disgregan, resistiendo el esfuerzo de compactación y permitiendo con ello que se forme una gran cantidad de vacíos intersticiales.

Mientras más alta sea la humedad de compactación se producirán menores permeabilidades en el suelo compactado, ya que este tiene mayores oportunidades de deformarse, eliminándose así grandes vacíos.

Ensayos De Suelos:

- Granulometría

Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado, mediante el tamizado, según especificaciones técnicas (Ensayo MTC, EM 107). A partir de la cual se puede estimar, con mayor o menor aproximación, las demás propiedades que pudieran interesar.

El análisis granulométrico de un suelo tiene por finalidad determinar la proporción de sus diferentes elementos constituyentes, clasificados en función de su tamaño.

De acuerdo al tamaño de las partículas de suelo, se definen los siguientes términos:

FIG.11: Tamaño de las Partículas del Suelo

Grava	Mayor de 4.75
Arena gruesa	De 4.75 a 2.00
Arena media	De 2.00 a 0.425
Arena fina	De 0.425 a 0.075
Finos (mezclas de limo y arcilla)	Menores de 0.075

Fuente: Manual de Carreteras MTC, (2013), Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

- Límites de Atterberg

Los límites de Atterberg establecen cuán sensible es el comportamiento de un suelo en relación con su contenido de humedad (agua), definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: Líquido, plástico o sólido.

Estos límites de Atterberg que miden la cohesión del suelo son: El límite líquido (LL) el límite plástico (LP) y el límite de contracción (LC). ASTM D-4318

Límite Líquido (LL), cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y puede moldearse.

Límite plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y se rompe.

Límite Contracción (LC), cuando el suelo pasa de un estado semisólido a un estado sólido y deja de contraerse al perder humedad.

Además del LL y del LP, una característica a obtener es el índice de plasticidad IP (ensayo MTC Em 111) que se define como la diferencia entre LL y LP:

$$IP = LL - LP$$

El índice de plasticidad indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bastante bien un suelo. Un IP grande corresponde a un suelo muy arcilloso; por el contrario, un IP pequeño es característico de un suelo poco arcilloso.

En tal sentido, el suelo en relación a su índice de plasticidad puede clasificarse según lo siguiente.

Tabla 7: Clasificación de suelos según índice de plasticidad

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

Fuente: Manual de Carreteras MTC. (2013). Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos

Se debe tener en cuenta que, en un suelo el contenido de arcilla, de acuerdo a su magnitud puede ser un elemento riesgoso en un suelo de subrasante y en una estructura de pavimento, debido sobre todo a su gran sensibilidad al agua.

- Humedad natural

Otra característica importante de los suelos es su humedad; puesto que la resistencia de los suelos de subrasante, en especial de los finos, se encuentra directamente asociada con las condiciones de humedad y densidad que estos suelos presenten.

La determinación de la humedad natural (ensayo ASTM D-2216), permitirá comparar con la humedad óptima que se obtendrá en los ensayos Próctor para obtener el CBR del suelo (ensayo ASTM D-1883) .Si la humedad natural resulta igual o inferior a la humedad óptima, el Proyectista propondrá la compactación normal del suelo y el aporte de la cantidad conveniente de agua. Si la humedad natural es superior a la humedad óptima y según la saturación del suelo, propondrá aumentar la energía de la compactación, airear el suelo o reemplazar el material saturado.

- Próctor modificado

Se realiza para determinar la humedad óptima a la cual un suelo alcanzará su máxima compactación. La humedad es importante pues aumentando o disminuyendo su contenido en el suelo, se pueden alcanzar mayores o menores densidades del mismo, la razón de esto es que el agua llena los espacios del suelo ocupados por aire (recordemos que el suelo está compuesto de aire, agua y material sólido), permitiendo una mejor acomodación de las partículas, lo que a su vez aumenta la compactación. Sin embargo un exceso de agua podría provocar el efecto contrario, es decir separar las partículas disminuyendo su compactación.

Es por eso que el ensayo de Próctor tiene una real importancia en la construcción, ya que las carreteras y las estructuras necesitan de una base resistente donde apoyarse y un suelo mal compactado podría significar el colapso de una estructura bien diseñada, en algunos casos, como por ejemplo en caminos de poco tráfico o de zonas rurales, el suelo constituye la carpeta de rodado, por lo que la importancia de la compactación se hace evidente. (ASTM D-1557)

- Ensayos CBR

El CBR (Ensayo ASTM D-1883), que es el valor soporte o resistencia del suelo, estará referido al 95% de la MDS (Máxima Densidad Seca) y a una penetración de carga de 2.54 cm.

Para la obtención del valor CBR de diseño de la subrasante, se debe considerar lo siguiente.

1. En los sectores con 6 o más valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinará el valor de CBR de diseño de la subrasante considerando el promedio del total de los valores analizados por sector de características homogéneas.

2. En los sectores con menos de 6 valores de CBR realizados por tipo de suelo representativo o por sección de características homogéneas de suelos, se determinan el valor de CBR de diseño de la subrasante en función a los siguientes criterios:

- Si los valores son parecidos o similares, tomar el valor promedio.
- Si los valores no son parecidos o no son similares, tomar el valor crítico (el más bajo) o en todo caso subdividir la sección a fin de agrupar subsectores con valores de CBR parecidos o similares y definir el valor promedio. La longitud de los subsectores no será menor a 100m.

Son valores de CBR parecidos o similares los que se encuentran dentro de un determinado rango de categoría de subrasante, según tabla 7.

3. Una vez definido el valor del CBR de diseño, para cada sector de características homogéneas, se clasificará a que categoría de subrasante pertenece el sector o subtramo, según lo siguiente:

Tabla 8: Categorías de Subrasante

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3 %
S1: Subrasante pobre	De CBR ≥ 3 % A CBR < 6 %
S2: subrasante Regular	De CBR ≥ 6 % A CBR < 10 %
S3: subrasante Buena	De CBR ≥ 10 % A CBR < 20 %
S4: Subrasante muy Buena	De CBR ≥ 20 % A CBR < 30 %
S5: Subrasante excelente	CBR ≥ 30 %

Fuente: US Army Corps of Engineers

- **CLASIFICACIÓN DE LOS SUELOS**

Determinadas las características de los suelos, según los acápites anteriores, se podrá estimar con suficiente aproximación el comportamiento de los suelos, especialmente con el conocimiento de la Granulometría, plasticidad e índice de grupo y luego clasificar los suelos.

La clasificación de los suelos se efectuará bajo el sistema mostrado en la tabla 4.

Esta clasificación permite predecir el comportamiento aproximado de los suelos, que contribuirá a delimitar los sectores homogéneos desde el punto de vista geotécnico. A continuación se presenta una correlación de los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO Y ASTM (SUCS):

Tabla 9: Correlación de Tipos de Suelos AASHTO - SUCS

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

Fuente: US Army Corps of Engineers

En la investigación se realizó la operacionalización de variables, en primer lugar tengo la variable dependiente que desempeña directamente a la resistencia al corte (CBR), del suelo que es la carga por unidad de área, para una superficie de forma y dimensiones determinadas, su unidad de medida es Kg/cm² y en segundo lugar tengo las variables independientes que consta del 3% de polietileno tereftalato (PET), esta combinación al adicionar al suelo en estudio, permitirá obtener nuevo diseño con otras características mejorando la resistencia al corte, en comparación al diseño patrón.

En la presente tesis se formuló la siguiente hipótesis: La adición de un 3% de polietileno tereftalato, incrementaría la resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante en el tramo Rataquenua - Huaraz.

El objetivo general de la presente investigación es: Determinar la resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de subrasante, adicionándole un 3% de polietileno tereftalato (PET). Y como objetivos específicos:

- Caracterizar al suelo, la subrasante de la carretera en estudio.
- Determinar la densidad del suelo patrón y experimental.
- Determinar el efecto del PET en la resistencia al corte del suelo patrón y del suelo experimental.
- Determinar la composición química del pet mediante la Fluorescencia de rayos X.
- Determinar el pH del suelo natural, del pet su combinación

METODOLOGÍA

El tipo de investigación es aplicada y explicativa, porque los resultados obtenidos sirvieron para la solución de problemas relacionados a la construcción, específicamente a la estabilización de suelos, explicando cómo se comporta la resistencia al corte de un suelo arcilloso cuando se adicionan un porcentaje de polietileno tereftalato.

Cuantitativo porque se estudió las variables y sus indicadores objetivamente midiendo y registrando sus valores respuesta en los instrumentos de recolección de datos (guías de observación).

El diseño de la investigación es experimental, porque es un proceso en el cual estudiamos la resistencia al corte de un diseño de suelo arcilloso en estado natural (Grupo Patrón), en comparación con el nuevo diseño elaborado con la adición de un porcentaje de polietileno tereftalato (Grupo experimental). El estudio en su mayor parte se concentró en las pruebas realizadas en el Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro, donde como investigador estuve en contacto con los ensayos a realizar, obteniendo resultados de acuerdo a lo planeado en los objetivos. Siendo su diseño de investigación lo siguiente:

Tabla 10: Diseño Muestral

Tratamientos	Proporción En Peso
T1. Grupo patrón	Suelo arcilloso (A)
T2. Grupo Experimental	¾ Suelo Arcilloso + 3% De Polietileno Tereftalato (PET)

Fuente: Elaboración Propia

Se tuvo como población de estudio al conjunto de suelo natural tipo arcilloso del tramo Rataquenúa – Huaraz, progresiva 0+000 – 1+000 km.

La muestra estuvo constituida por 4 especímenes de CBR: 2 especímenes patrones y 2 especímenes con la adición de 3% de Polietileno Tereftalato.

Para la elaboración de las unidades de estudio (CBR) se utilizó el suelo natural del tramo Rataquenua – Huaraz y la siguiente adición: El Polietileno Tereftalato se encuentra en el ámbito de los polímeros, que son un grupo de compuestos orgánicos del cual los plásticos hacen parte, están constituidos por macromoléculas de peso molecular alto, las cuales son series repetitivas de unidades estructurales más pequeñas llamadas meros, pueden ser de origen natural y derivarse de las plantas, animales o sustancias minerales, como la celulosa, la lana y el asbesto, también se pueden crear artificialmente a partir de productos petroquímicos.

El uso final hace que a veces los polímeros de resinas se denominen como fibras adhesivos, cauchos, plásticos o recubrimientos, aunque el material pueda ser adaptable a todas las aplicaciones, el Polietileno Tereftalato es llevado al Laboratorio de Mecánica de Suelos de la Universidad San Pedro.

Se aplicó como técnica de investigación la observación, ya que la percepción del material debe ser registrada en forma cuidadosa y experta. Todo lo observado se puso por escrito lo antes posible, para esto utilicé como instrumento una guía de observación resumen que me permita elaborar un sistema de organización y clasificación de la información de los diversos ensayos y de la resistencia al corte (ver anexo).

El procesamiento de datos fue posterior a los ensayos respectivos apoyados en una hoja de cálculo Excel y con el SPSS v21- Al realizar el análisis de los datos se tuvo presente:

- El cálculo del valor CBR para hallar la resistencia al corte de un suelo arcilloso con la adición del 3% de Polietileno Tereftalato (PET).
- La representación se hizo con tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas y una prueba de hipótesis en este caso (t-student).

2.1. PROCESO Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

Se tuvo en cuenta los siguientes pasos, para el proceso y análisis de los datos:

1. Se tomaron muestras de suelos en la trocha Rataquena - Huaraz, cada 500 m, a una profundidad de 1.50 m. Debido al constante tránsito de vehículos, las 2 calicatas se realizaron al borde de la trocha.



(Toma de muestras de suelo natural en

las calicatas 01, 02)

2. Se realizó el cuarteo del suelo de cada calicata, para uniformizarlo y poder realizar la Prueba de la botella. Las muestras ya cuarteadas se llevaron al laboratorio de la Universidad San Pedro, donde se realizó la Prueba mencionada.

Primero se llenó 3 cm de suelo en cada botella y luego se introdujo agua llenando las botellas casi en su totalidad. Luego se mezcló el agua con el suelo agitando con una varilla, hasta lograr uniformizar la mezcla de agua y suelo.

Se dejó reposar por 24 horas hasta poder observar las tres capas de suelo por cada botella (arena, limo y arcilla en ese orden) y luego se tomó las lecturas respectivas.



(Cuarteo de las muestras de suelo)



(Botellas con suelo correspondiente a cada calicata, 3 cm de altura)



(Botellas con agua y suelo reposando por 24 horas)



(Botella de agua después de reposar 24 horas, donde se observa las 3 capas)

3. Se procedió a realizar el ensayo de contenido de humedad natural. Se pesó la muestra húmeda y se las llevó al horno por 24 horas a 110 ± 5 °C y luego se pesó la muestra seca.



Peso inicial de la tara.



Pesando la muestra de suelo húmedo.



FOTO: N° 08: Secando la muestra de suelo en el horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$.



Pesando la muestra de suelo seca.

3. Se hizo el Análisis granulométrico por lavado. Para lo cual, primero se cuartea la muestra extraída de la calicata, una porción de la muestra cuarteada 600 gr de suelo por calicata, se coloca en un recipiente y es colocado en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ por 24h aproximadamente para secarla. Luego se lavó por la malla N° 200 hasta que logre eliminar las impurezas y alcance un color cristalino. Se llevó al horno las muestras a una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ por 24h aproximadamente. Pasado el tiempo se retira la muestra del horno, se pesa para obtener el contenido de finos y pasamos a realizar el ensayo con los tamices correspondientes.



Lavando la muestra hasta que alcance un color cristalino



(Muestras de la humedad y granulometrías)



(Tamices por el cual pasará el material)



**(AGITAMOS LA MUESTRA PARA DETERMINAR LOS PESOS
RETENIDOS POR CADA MALLA)**

4. Seguidamente se pasó a realizar los ensayos para Límites de Attenberg. Se cuartea para obtener una cantidad mayor a 200g de sufracción fina y se coloca en una bandeja, se introduce al horno a una temperatura menor a 60° para su secado, una vez seca se coloca a un recipiente más amplio para pulverizarla con una masa de goma suavemente hasta tener un producto que se tamizó por la malla N° 40 que retiran las partículas hasta obtener 200g. Esta fracción se humecta para realizar el ensayo, se añade agua destilada y se amasa con ayuda de una espátula luego se tapa para obtener una homogeneidad, se reposa por 2 horas.
Con la cuchara de casa grande y con la ayuda de una espátula se compacta en su interior una porción del suelo preparado formando una superficie liza, luego se hace un surco lineal con el acalanador de casa grande, se golpea la cuchara hasta que el surco se junte.

Luego al realizarse los ensayos, se dedujo que los suelos de las 2 calicatas, presentan plasticidad media esto es debido a ser un suelo limoso.



(Tamizado por la malla N° 40)



(Muestras de suelo Tamizadas por la malla N° 40)



(Copa Casa Grande)



(Se añade agua destilada a la muestra)

5. Se Recolectó el pet de las calles de la ciudad de Huaraz.



(Pet recolectado)

6. Posteriormente se realizó el Ensayo PH del suelo. Para lo cual se pesaron 20 gr de suelo por cada calicata y se las llevó al laboratorio de química del COLECBI en la ciudad de Chimbote.



(Balanza con 20 gr de suelo)

6. El siguiente paso fue realizar el Ensayo Próctor por una energía modificada para el suelo patrón.

Luego se procedió a realizar el ensayo en el Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro.

Se secó el material al aire libre y se golpeó con el martillo de goma, una vez seca y suelta se tamizo por la malla N°4.

Por cada calicata se pesaron 4 muestras de suelo de 3.180 kg. Para cada muestra se le agrego porcentajes de agua de 6%, 8%,10% y 12% respectivamente según la norma.

Se moldea bien las muestras hasta que el agua cubra toda la muestra, luego se agrega en un molde por 5capas, por cada capa se dan 25 golpes.

Luego se saca el collar para enrasar y nivelar la muestra para pesarlo. Una vez pesado se calculan las humedades.



(Suelo en la bandeja)



(Adición de agua al suelo)



(Compactación en los moldes)



(Peso de la muestra compactada)



(Peso de muestras húmedas)

7. Teniendo los resultados de los ensayos de paso anterior se procedió a realizar el Ensayo CBR del suelo patrón.

Se procedió a realizar el ensayo en el Laboratorio de mecánica de suelos de la Universidad San Pedro.

Se secó el material al aire libre y se golpeó con el martillo de goma, una vez seca y suelta se tamizo por la malla N°4.

Por cada calicata se pesaron 3 muestras de suelo de 6.0 kg. Para cada muestra se le agrego la humedad óptima.

Se moldea bien las muestras hasta que el agua cubra toda la muestra, luego se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco esparcidor y sobre este un disco de papel del filtro grueso del mismo diámetro, luego se agrega en un molde por 5 capas, por cada capa se dan 12,25 y 56 golpes respectivamente para cada muestra.

Se pesan las muestras, se colocan los filtros y se deja reposar por 96 horas sobre agua, dejando libre la parte superior.

Pasado los 4 días se pesan las muestras y se colocan a la prensa CBR para calcular los diales.



(SE PESA 6.0 KG DE MUESTRA)
EL % DE HUMEDAD ÓPTIMA)



(SE LE AGREGA AGUA SEGÚN



(MUESTRA MEZCLADA DE MANERA PAREJA)



(COMPRIMIENDO LA MUESTRA POR CADA)



(Vista de una capa compactada)



(Rasando y nivelando)



(MOLDES PASADO LAS 96 HORAS)



(Saturación de los moldes)



(Muestra pesada después de la saturación)



(Realizando el ensayo de CBR de la muestra de suelo patrón)

8. Se realizó el ensayo de Fluorescencia de Rayos X en la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Para lo cual se pesó 20 gr de pet y se guardó en una bolsa hermética para su posterior traslado a Lima.
9. El siguiente paso fue realizar el Ensayo Próctor por una Energía modificada. Se secó el material al aire libre y se golpeó con el martillo de goma, una vez seca y suelta se tamizo por la malla N°4. Por cada calicata se pesaron 4 muestras de suelo de 3.095 kg. Para cada muestra se le agrego porcentajes de agua de 6, 8,10 y 12 respectivamente según la norma.

Se procedió a realizar el ensayo Próctor, con la única diferencia que antes de añadir el agua, se le añade primero la adición del 3 % de pet.

Se moldea bien las muestras con 45gramos de pet hasta que el agua cubra toda la muestra, luego se agrega en un molde por 5 capas, por cada capa se dan 25 golpes.

Luego se saca el collar para enrasar y nivelar la muestra para pesarlo. Una vez pesado se calculan las humedades.



(Elaboración de 4 muestras de suelo de 3.090 kg cada una).



(4 muestras de PET)



(3 % pet equivalente a 45gramos)



(Mezcla de suelo con su 3 % de adición)



(Suelo homogeneizado con 3 % de pet)



(Compactando la muestra con adición)





(Peso de las humedades de las 4 muestras)

12. Se secó el material al aire libre y se golpeó con el martillo de goma, una vez seca y suelta se tamizo por la malla N°4.

Por cada calicata se pesaron 3 muestras de suelo de 6.0 kg. Para cada muestra se le agrego la humedad óptima.

Se moldea bien las muestras con 90gramos de pet hasta que el agua cubra toda la muestra, luego se pesa el molde con su base, se coloca el collar y el disco esparcidor y sobre este un disco de papel del filtro grueso del mismo diámetro, luego se agrega

en un molde por 5capas, por cada capa se dan 12,25 y 56 golpes respectivamente para cada muestra.

Se pesan las muestras, se colocan los filtros y se deja reposar por 96 horas sobre agua, dejando libre la parte superior.

Pasado los 4 días se pesan las muestras y se colocan a la prensa CBR para calcular los diales.



(Peso de la muestra 6kg para el ensayo de CBR)



(Peso de la muestra 90g para adicionarlo a la muestra)



(Muestra más la adición en un 3% de Polietileno Tereftalato (PET))



(Cantidad óptima de agua para mezclar una muestra de suelo con la adición).



(Mezclando de manera pareja el suelo con 3% de pet)



(Comprimiendo la muestra)



(Rasando y Nivelando la muestra)



(Colocación de los moldes CBR experimentales al agua, durante 96 horas.



(Retiramos los moldes del recipiente, esperamos 1 min para pesarlos)



(Moldes puestos en la maquina CBR)



(Realizando el ensayo de CBR de la muestra de suelo experimental)

RESULTADOS

Caracterización Del Suelo Arcilloso

- **Contenido De Humedad**

El cuadro a continuación muestra los resultados del ensayo de contenido de humedad, realizados en el laboratorio de la Universidad San Pedro:

CONTENIDO DE HUMEDAD		
Calicata	1	2
Tara + suelo húmedo	670	685
Tara + suelo seco	665	680
Peso del agua	5.00	5.00
Peso de la tara	70	65
Peso del suelo seco	595	615
Contenido de Humedad	0.84	0.81
Prom. Contenido de Humedad	0.83	

Fuente: Elaboración Propia

- **Análisis Granulométrico**

El cuadro a continuación muestra los resultados del ensayo de granulometría de las Calicatas 1 y 2, realizados en el laboratorio de la Universidad San Pedro

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
Nº	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.520	0.0	0.0	0.0	100.0
# 4	4.760	15.0	1.3	1.3	98.7
# 8	2.360	150.0	13.2	14.5	85.5
# 16	1.180	300.0	26.3	40.8	59.2
# 30	0.600	250.0	21.9	62.7	37.3
# 50	0.300	210.0	18.4	81.1	18.9
# 100	0.150	155.0	13.6	94.7	5.3
# 200	0.080	55.0	0.4	99.6	0.4
PLATO	ASTM C-117-04	5.0	0.0	100	0.0
TOTAL		1,140.0			

Fuente: Elaboración Propia

TAMIZ	AASHTO T-27	PESO	PORCENTAJE	RETENIDO	PORCENTAJE
Nº	(mm)	RETENIDO	RETENIDO	ACUMULADO	% QUE PASA
3"	76.200	0.0	0.0	0.0	100.0
2 1/2"	63.500	0.0	0.0	0.0	100.0
2"	50.800	0.0	0.0	0.0	100.0
1 1/2"	38.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1"	25.400	0.0	0.0	0.0	100.0
3/4"	19.100	0.0	0.0	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	0.0	0.0	100.0
3/8"	9.520	0.0	0.0	0.0	100.0
# 4	4.760	0.0	0.0	0.0	100.0
# 8	2.360	167.8	13.6	13.6	86.4
# 16	1.180	242.0	19.7	33.3	66.7
# 30	0.600	330.3	26.9	60.2	39.8
# 50	0.300	273.0	22.2	82.4	17.6
# 100	0.150	126.0	10.2	92.6	7.4
# 200	0.080	33.8	2.7	95.4	4.6
PLATO	ASTM C-117-04	56.8	4.6	100	0.0
TOTAL		1,229.7			

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 12: Clasificación del suelo natural Según AASHTO – SUCS.

Calicata	Clasificación AASHTO	Clasificación SUCS
Calicata 01	A -2 -4	SC
Calicata 02	A -2 -6	SC

Fuente: Elaboración propia

- **Ensayos De Límites De Atterberg Del Suelo**

Tabla 11: Resultados de Límites de Atterberg

Calicata	Límite Líquido (%)	Límite Plástico (%)	Índice Plasticidad
Calicata 01	25.50	15.64	9.86
Calicata 02	28.70	18.26	10.44

Fuente: Elaboración propia

Identificación Del Mineral Arcilloso (C-1):

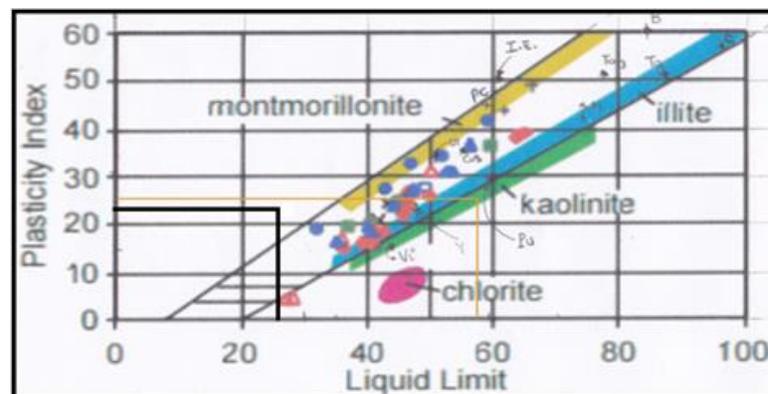


Gráfico 1: Kovacs – Casa Grande

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

Identificación Del Mineral Arcilloso (C-2)

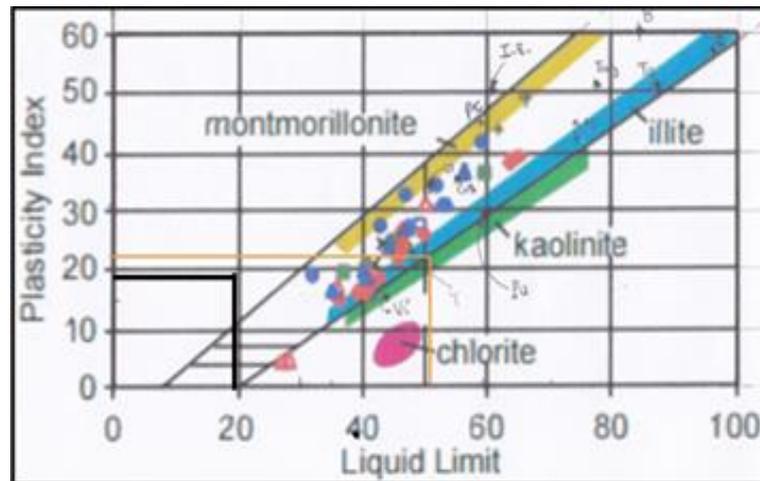


Gráfico 2: Diagrama de Holtz and Kovacs – Casa Grande

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

Determinación del CBR de la muestra Patrón y de la muestra Experimental

• Próctor Modificado Patrón

Tabla 13: Datos para el cálculo Del Próctor Patrón (C-1)

Método Compactación:	“A”	Número de Golpes		
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm / cm³		
01 - Peso Suelo Húmedo + Molde (g)	3684	3820	3962	3901
02 - Peso del Molde (g)	1981.0	1981.0	1981.0	1981.0
03 - Peso Suelo Húmedo (g)	1703.0	1839.0	1981.0	1920.0
04 - Volumen del Molde (cm ³)	989.0	989.0	989.0	989.0
05 - Densidad Suelo Húmedo (g/cm ³)	1.722	1.859	2.003	1.941
06 - Tarro N°	21	11	40	20
07 - Peso suelo húmedo + tarro (g)	588.4	656.5	662.5	652.5
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	572.6	626.0	617.5	596.0
09 - Peso del agua (g)	15.8	30.5	45.0	56.5
10 - Peso del tarro (g)	205.5	206.5	166.5	202.5

11 - Peso suelo seco (g)	367.1	419.5	451.0	393.5
12 - Contenido de Humedad (%)	4.3	7.3	10.0	14.4
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³)	1.791	1.863	1.798	1.883

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP).

Contenido Óptimo Humedad = **11.2 %** Densidad Seca Máxima= **1.834 g/cm³**

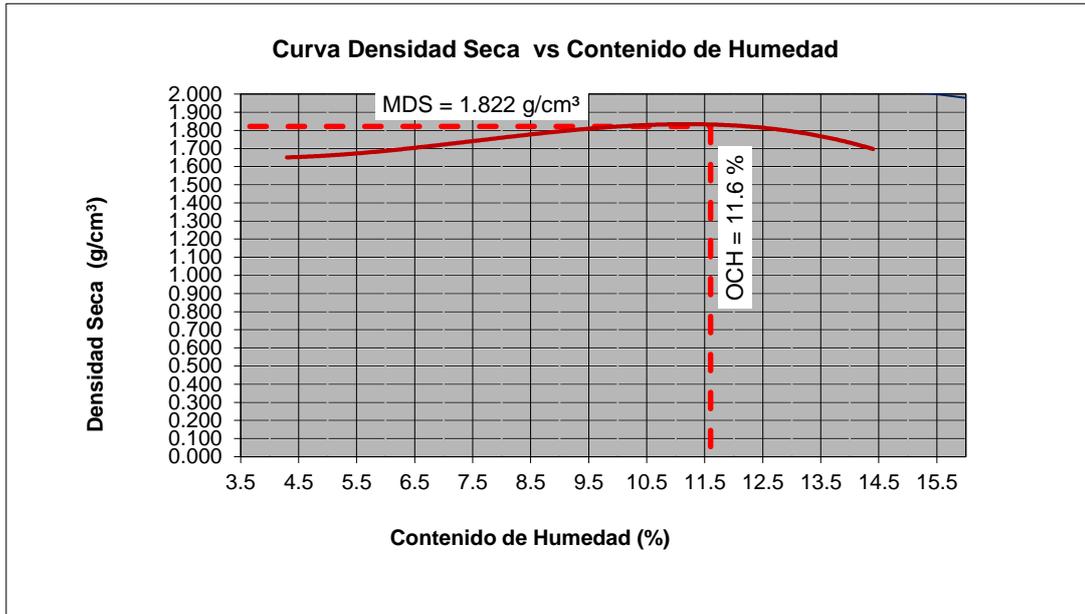


Gráfico 3. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor Patrón (C-1)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

Tabla 14: Datos para el cálculo Del Próctor Patrón (C-2)

Método Compactación:	“A”	Número de Golpes	56	
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm / cm ³		
01 - Peso Suelo Húmedo + Molde (g)	3684	3915	4016	3958
02 - Peso del Molde (g)	1981.0	1981.0	1981.0	1981.0
03 - Peso Suelo Húmedo (g)	1703.0	1934.0	2035.0	1977.0
04 - Volumen del Molde (cm ³)	989.0	989.0	989.0	989.0
05 - Densidad Suelo Húmedo (g/cm ³)	1.722	1.956	2.058	1.999
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo húmedo + tarro (g)	656.5	657.5	652.0	592.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	632.0	619.5	605.5	543.0

09 - Peso del agua (g)	24.5	38.0	46.5	49.0
10 - Peso del tarro (g)	205.5	166.5	202.5	201.0
11 - Peso suelo seco (g)	426.5	453.0	403.0	342.0
12 - Contenido de Humedad (%)	5.7	8.4	11.5	14.3
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³)	1.809	1.874	1.785	1.759

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP).

Contenido Óptimo Humedad= **10.9 %** Densidad Seca Máxima= **1.807 g/cm³**

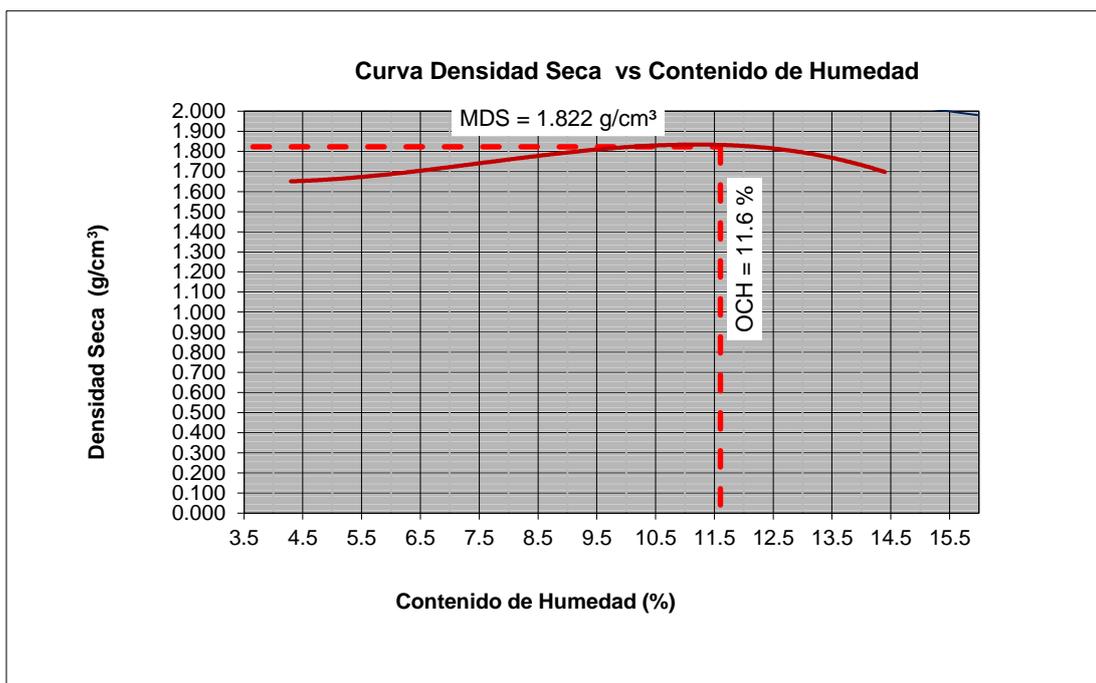


Gráfico 4. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor Patrón (C-2)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

• Próctor Modificado Experimental

Tabla 15: Datos para el cálculo del Próctor Experimental (C-1)

Método Compactación:	“A”	Número de Golpes	56
Energía de Compactación Estándar		27.7 Kg.cm / cm ³	
01 - Peso Suelo Húmedo + Molde (g)	3815	4005	4010
02 - Peso del Molde (g)	1981.0	1981.0	1981.0
03 - Peso Suelo Húmedo (g)	1834.0	2024.0	2029.0

04 - Volumen del Molde (cm ³)	989.0	989.0	989.0	989.0
05 - Densidad Suelo Húmedo (g/cm ³)	1.854	2.047	2.138	2.052
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo húmedo + tarro (g)	620.0	684.5	662.0	578.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	594.9	642.3	612.2	510.7
09 - Peso del agua (g)	25.1	42.2	49.8	67.3
10 - Peso del tarro (g)	210.6	177.9	205.2	110.5
11 - Peso suelo seco (g)	384.3	464.4	407.0	400.2
12 - Contenido de Humedad (%)	6.5	9.1	12.2	16.8
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³)	1.741	1.874	1.905	1.883

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

Contenido Optimo Humedad= **11.5 %** Densidad Seca Máxima= **1.851 g/cm³**

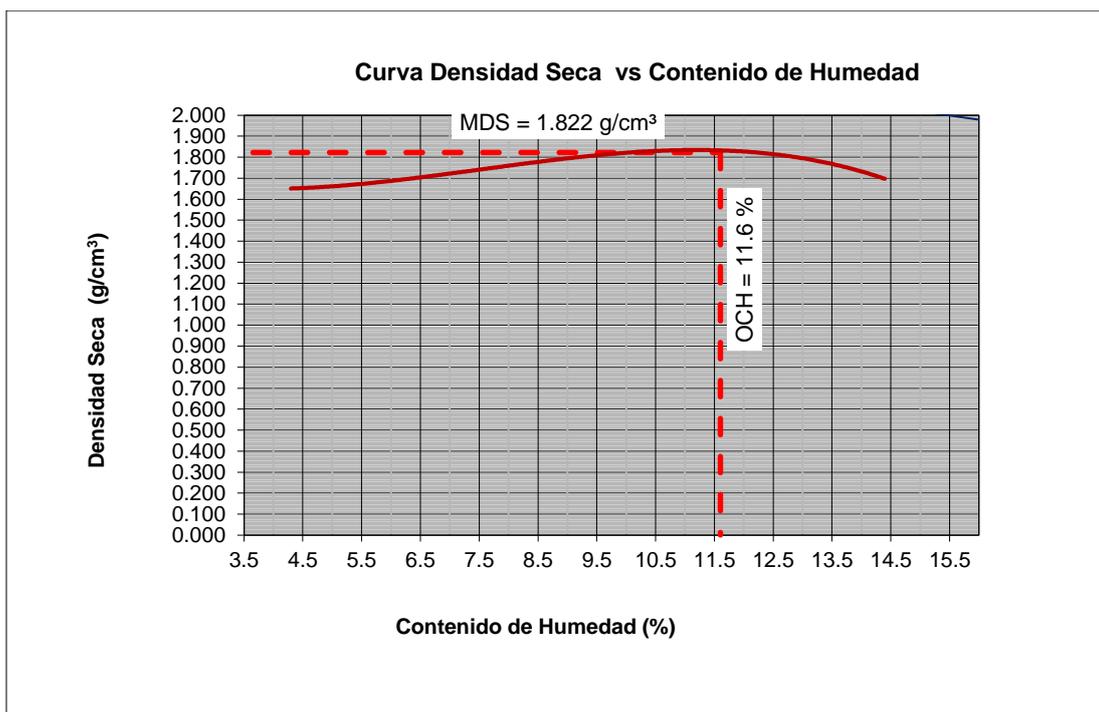


Gráfico5. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor Experimental (C-1)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

Tabla 16: Datos para el cálculo del Próctor Experimental (C-2)

Método Compactación:	“A”			
Energía de Compactación Estándar	Número de Golpes			
				56
		27.7 Kg.cm / cm³		
01 - Peso Suelo Húmedo + Molde (g)	3710	3940	4071	3925
02 - Peso del Molde (g)	1981.0	1981.0	1981.0	1981.0
03 - Peso Suelo Húmedo (g)	1729.0	1959.0	2090.0	1944.0
04 - Volumen del Molde (cm ³)	989.0	989.0	989.0	989.0
05 - Densidad Suelo Húmedo (g/cm ³)	1.748	1.981	2.113	1.966
06 - Tarro N°	01	02	03	04
07 - Peso suelo húmedo + tarro (g)	618.0	675.0	660.0	580.0
08 - Peso suelo seco + tarro (g)	592.5	634.0	606.0	514.0
09 - Peso del agua (g)	25.5	41.0	54.0	66.0
10 - Peso del tarro (g)	206.0	175.0	201.0	109.0
11 - Peso suelo seco (g)	386.5	459.0	405.0	405.0
12 - Contenido de Humedad (%)	6.6	8.9	13.3	16.3
13 - Densidad del Suelo Seco (g/cm ³)	1.640	1.819	1.865	1.690

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

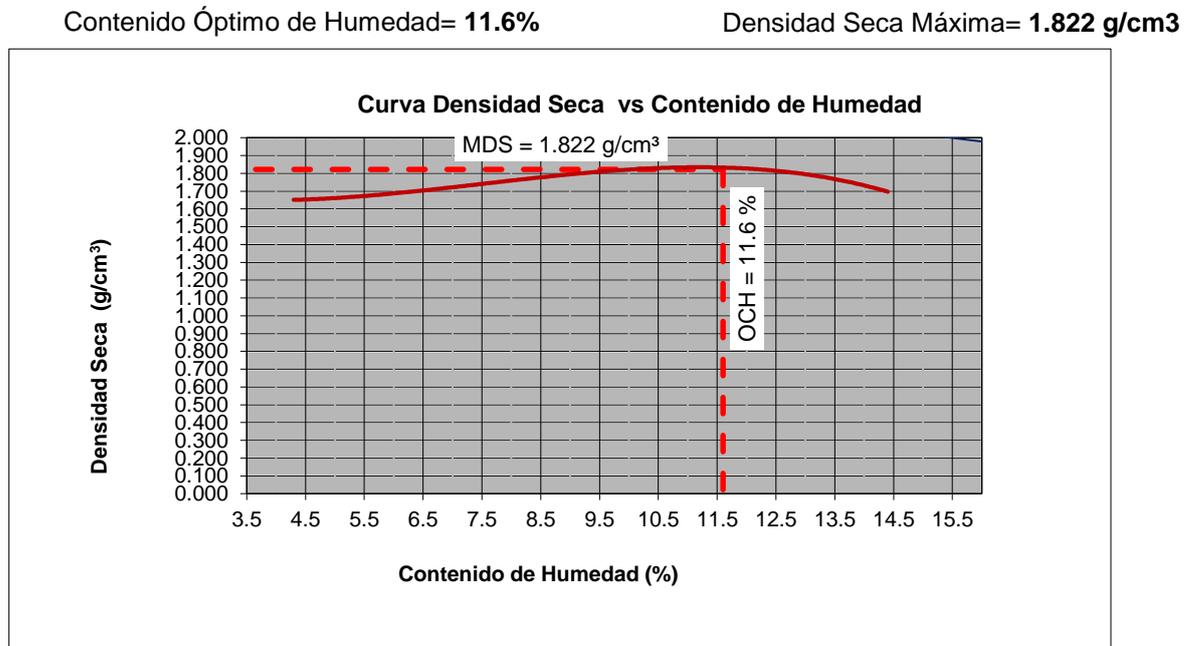


Gráfico 6. Curva Densidad Seca vs Contenido de Humedad, Próctor Experimental (C2)

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

Tabla 17: Humedad Óptima (%) expresada en porcentaje de adición al suelo.

Calicata	Patrón	Experimental (3%de PET)
Calicata 01	11.2	11.5
Calicata 02	10.9	11.6

Fuente: Elaboración propia

Tabla 18: Densidad Seca Máxima (g/cm³) expresadas en porcentajes de adición al suelo.

Calicata	Patrón	Experimental (3%de PET)
Calicata 01	1.834	1.851
Calicata 02	1.807	1.822

Fuente: Elaboración propia

- **Determinación de la Relación De Soporte – CBR Patrón**

Tabla 19: Lecturas Diales para la obtención del CBR Patrón (C-1)

Penetración
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018

Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	4.0	44.9	2.0	36.4	3.0	40.7
1.3	10.0	70.4	6.0	53.4	5.0	49.2
1.9	18.0	104.4	11.0	74.7	8.0	61.9
2.5	26.0	138.40	17.0	100.16	10.0	70.41
3.2	37.0	185.1	21.0	117.2	16.0	95.9
3.8	45.0	219.1	28.0	146.9	19.0	108.7
5.08	53.0	253.1	32.0	163.9	20.0	112.9
7.6	74.0	342.4	47.0	227.6	30.0	155.4
10.16	87.0	397.6	56.0	265.9	34.0	172.4
12.7	93.0	423.1	60.0	282.9	36.0	180.9
Carga [%]	138.4 kgf. [%]		100.16 kgf. [%]		70.41 kgf. [%]	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

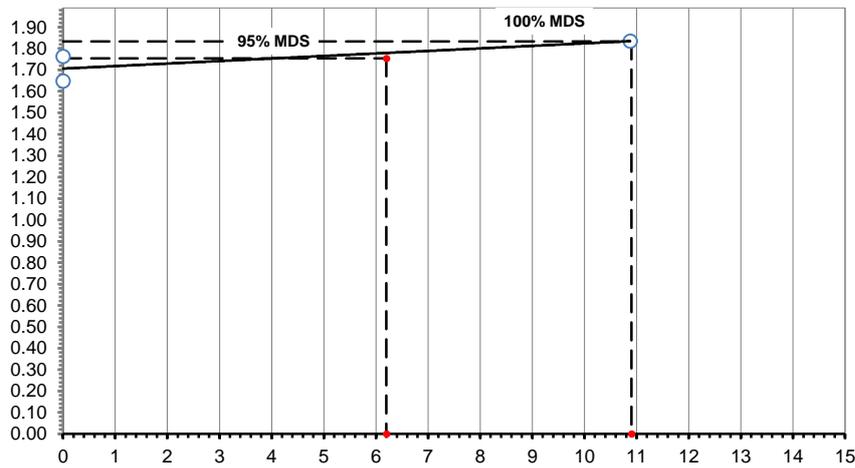


Gráfico 7. CBR Patrón (C-1) a 2.5mm de Penetración (%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Lecturas Diales para obtención del CBR Patrón (C-2)

Penetración
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018

Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	3.0	40.7	2.0	36.4	2.0	36.4
1.3	5.0	49.2	6.0	53.4	4.0	44.9
1.9	15.0	91.7	11.0	74.7	7.0	57.7
2.5	19.0	108.65	16.0	95.91	11.0	74.66
3.2	34.0	172.4	18.0	104.4	13.0	83.2
3.8	36.0	180.9	26.0	138.4	17.0	100.2
5.08	45.0	219.1	29.0	151.1	20.0	112.9
7.6	63.0	295.6	42.0	206.4	29.0	151.1
10.16	74.0	342.4	50.0	240.4	32.0	163.9
12.7	79.0	363.6	54.0	257.4	34.0	172.4
Carga [%]	108.65 kgf. [%]		95.91 kgf. [%]		74.66 kgf. [%]	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

CBR a 2.5 mm DE PENETRACIÓN (%)

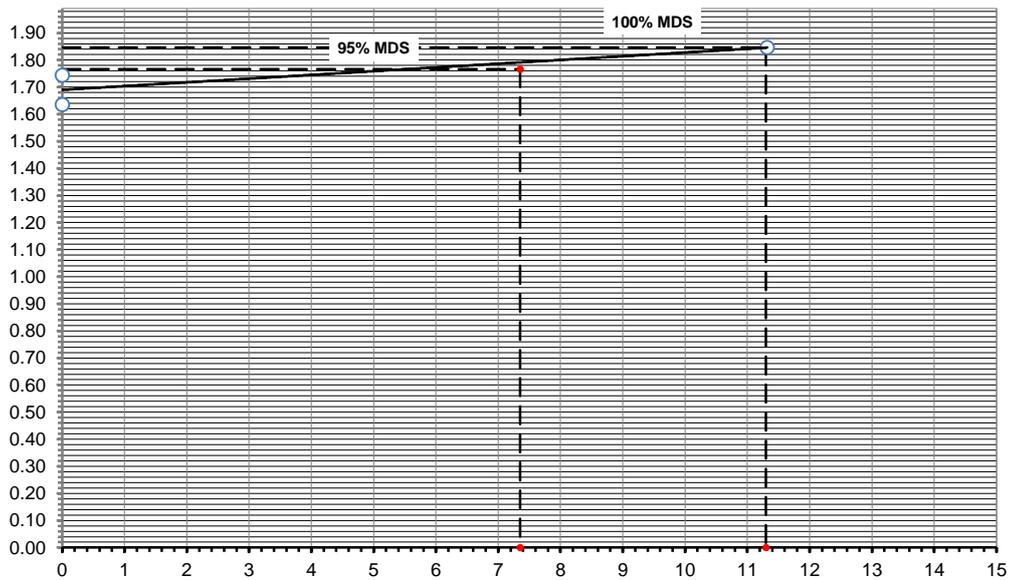


Gráfico 8. CBR Patrón (C-2) a 2.5mm de Penetración (%)

Fuente: Elaboración propia

- Determinación de la Relación De Soporte – CBR Experimental

Tabla 21. Lecturas Diales para obtención del CBR Experimental (C-1)

Penetración
Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018

Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	7.0	57.7	5.0	49.2	4.0	44.9
1.3	14.0	87.4	10.0	70.4	5.0	49.2
1.9	23.0	125.7	15.0	91.7	10.0	70.4
2.5	34.0	172.39	22.0	121.40	15.0	91.66
3.2	45.0	219.1	28.0	146.9	19.0	108.7
3.8	56.0	265.9	38.0	189.4	23.0	125.7
5.08	67.0	312.6	40.0	197.9	26.0	138.4
7.6	93.0	423.1	58.0	274.4	37.0	185.1
10.16	108.0	486.8	67.0	312.6	42.0	206.4
12.7	117.0	525.1	72.0	333.9	45.0	219.1
Carga [%]	172.39 kgf. [%]		121.4 kgf. [%]		91.66 kgf. [%]	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

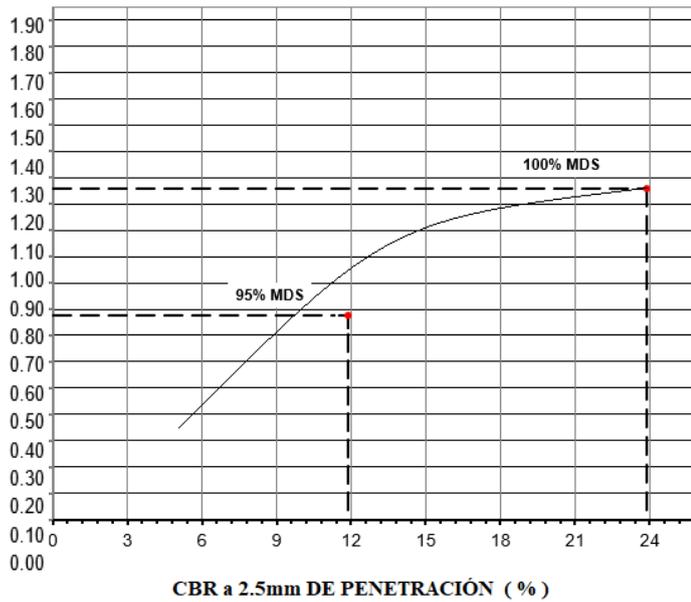


Gráfico 9. CBR Experimental (C-1) a 2.5mm de Penetración (%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22. Lecturas Diales para obtención del CBR Experimental (C-2)

Penetración

Factor Anillo: Carga [kgf.] = Lectura Dial * 4.2491345 + 27.92018

Molde	1 [56 Golpes]		2 [25 Golpes]		3 [12 Golpes]	
PEN. (mm)	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]	Lec. Dial	Carga [Kgf.]
0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0.63	6.0	53.4	6.0	53.4	3.0	40.7
1.3	10.0	70.4	11.0	74.7	8.0	61.9
1.9	22.0	121.4	16.0	95.9	11.0	74.7
2.5	36.0	180.89	25.0	134.15	17.0	100.16
3.2	48.0	231.9	31.0	159.6	23.0	125.7
3.8	59.0	278.6	36.0	180.9	27.0	142.6
5.08	69.0	321.1	43.0	210.6	30.0	155.4
7.6	91.0	414.6	59.0	278.6	41.0	202.1
10.16	103.0	465.6	68.0	316.9	46.0	223.4
12.7	108.0	486.8	73.0	338.1	49.0	236.1
Carga [%]	180.89 kgf. [%]		134.15 kgf. [%]		100.16 kgf. [%]	

Fuente: Laboratorio de Mecánica de Suelos (USP)

CBR a 2.5mm DE PENETRACIÓN (%)

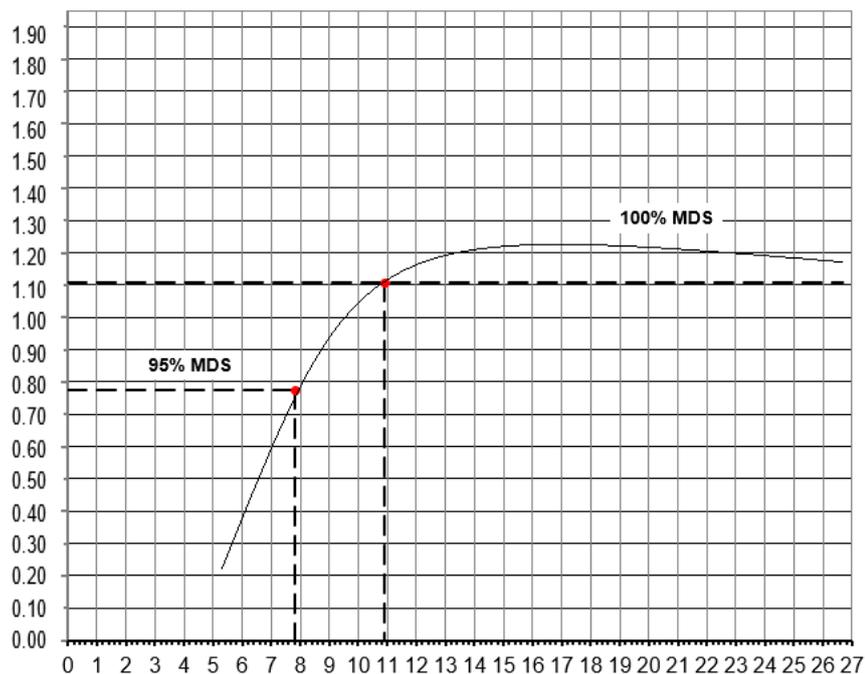


Gráfico 10. CBR Experimental (C-2) a 2.5mm de Penetración (%)

Fuente: Elaboración propia

Tabla 23: CBR al (95% M.D.S) expresada en porcentaje de adición al suelo.

Calicata	Patrón (0 %).	Experimental (3%de PET)
Calicata 01	9.6	22.4
Calicata 02	10.5	25.3

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: CBR al (95% M.D.S) según adición de la mezcla del 3% de Polietileno Tereftalato (PET).

Calicata	Patrón (0 %).	Experimental (3%de PET)
Calicata 01	9.6	22.4
Calicata 02	10.5	25.3
Media	10.05	23.85

Fuente: Elaboración propia

T= -6.414

P= 0.023

p menor a 0.05

Después de aplicar la prueba de hipótesis t-Student para muestras independientes y siendo “p” menor que 0.05, podemos decir que existe una diferencia significativa entre la media de la resistencia patrón (0% de adición) y la media de la resistencia experimental (3% de adición) a un 95% de la máxima densidad seca (M.D.S).

Tabla 25: CBR al (100% M.D.S) expresada en porcentaje de adición al suelo.

Calicata	Patrón (0 %).	Experimental (3%de PET)
Calicata 01	10.9	23.9
Calicata 02	11.3	26.7

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26: CBR al (100% M.D.S) según adición de la mezcla del 3% de Polietileno Tereftalato (PET).

Calicata	Patrón (0 %).	Experimental (3%de PET)
Calicata 01	10.9	23.9
Calicata 02	11.3	26.7
Media	11.1	25.3

Fuente: Elaboración propia

T= -7.862

P=0.016

p menor a 0.05

Después de aplicar la prueba de hipótesis t-Student para muestras independientes y siendo “p” menor que 0.05, podemos decir que existe una diferencia significativa entre la media de la resistencia patrón (0% de adición) y la media de la resistencia experimental (3% de adición) a un 100% de la máxima densidad seca (M.D.S).

PH DEL SUELO NATURAL

El siguiente cuadro presenta los resultados del ensayo de PH del suelo natural.

Muestra	PH
Suelo Natural	12.85

Fuente: Elaboración propia

PET

El siguiente cuadro presenta los resultados del ensayo de PH del pet

Muestra	PH
Pet	6.72

Fuente: Elaboración propia

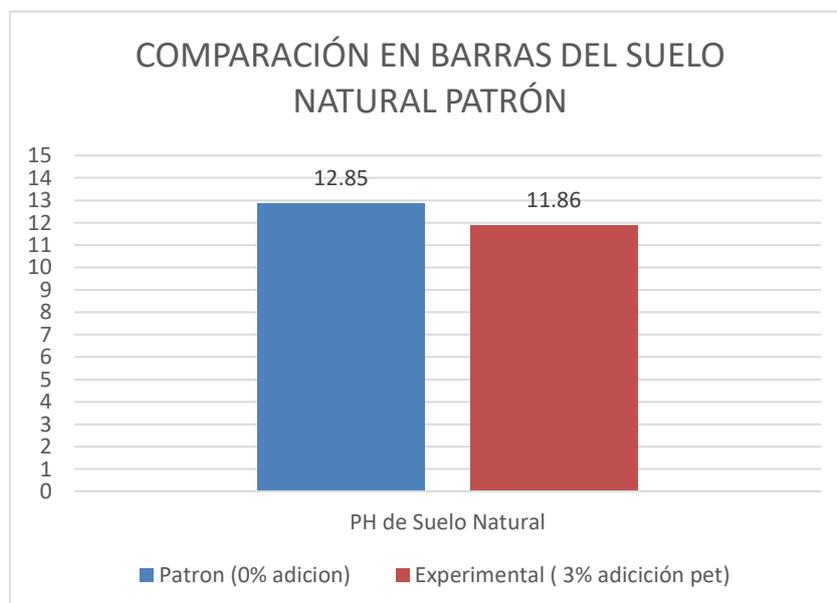
PH DEL SUELO ADICIONADO

Los resultados mostrados a continuación, son producto del ensayo PH del suelo natural adicionado con 3 % de pet

Muestra	PH
Mezcla Suelo Natural 100% + 3 % pet	11.86

Fuente: Elaboración propia

A continuación se muestra gráficamente los resultados del ensayo PH tanto para suelos natural, como para el adicionado con cenizas:



Fuente: Elaboración propia

COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL PET

Óxido	Concentración % masa	Normalizado al 100%
He	5.628	5.586
C	80.433	79.378
SO ₂	0.487	0.490
ClO ₂	0.694	0.586
H	9.054	9.007
Fe ₂ O ₃	0.187	0.185
O	3.694	3.586
SrO	0.240	0.226
ZnO	0.019	0.019
CuO	1.009	1.008
TiO ₂	0.016	0.016
Total	101.461	100.00

Fuente: Elaboración propia

ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

El contenido de humedad para la calicata C-1 es 0.84, mientras que en la calicata 2 obtuvo un contenido de humedad igual a 0.81, obteniendo como promedio de las 2 calicatas 0.83, dado que mi suelo al ser un tipo de suelo SC, es decir, arena arcillosa es un material altamente poroso. Según la siguiente tabla 10 se puede deducir que el promedio del contenido de humedad del suelo en la calicata C-1 y C-2 fue 0.83, fueron realizados según la norma ASTM D-2216.

La granulometría según la tabla 11 presentan los resultados de la clasificación de suelos SUCS. En la calicata C-1 nos indica un suelo (SC), de igual manera en la calicata C-2 (SC), por lo tanto, coinciden en el tipo de suelo, siendo este tipo (SC), arena arcillosa, , porque la arena pasa más del 12 % la malla n° 200, y en la clasificación de suelos ASSHTO en la calicata C-1 su resultado fue A-2-4 porque que más 35 % de suelo es retenida por la malla # 200, y en la calicata C-2 fue A-2-6, porque mas del 35 % pasa por la malla # 40.

Los límites de Atterberg según la tabla 12 y el diagrama de Holtz and Kovacs, se presentan los resultados del ensayo de los límites de atterberg, donde muestran los ensayos para determinar el Límite Líquido (LL), el Límite Plástico (LP) y el índice de Plasticidad, que fueron realizados conforme a la Norma ASTM D 4318. De la calicata C-1, en el gráfico 1. Diagrama de Holtz and Kovacs se observa los resultados del Límite líquido 25.50%, e índice de plasticidad encontrada es de 9.86%, que al proyectarlo da como resultado un tipo de arcilla illita, por lo cual según la tabla 6 donde se aprecian la clasificación de los suelos según el índice de Plasticidad indica un suelo de Media Plasticidad es decir un suelo arcilloso. De la calicata C-2, en el gráfico 2. Diagrama de Holtz and Kovacs se observa los resultados del Límite líquido 28.70%, e índice de plasticidad es de 10.44%, que al proyectarlo da como resultado un tipo de arcilla illita. El índice de plasticidad encontrada por lo cual según la tabla 6 donde se aprecia la clasificación de los suelos según el índice de Plasticidad, indica un suelo de Media Plasticidad.

El Proctor modificado según la tabla 18, se presentan los resultados de Proctor modificado de la humedad óptima y la densidad seca máxima. Los resultados la humedad óptima la cual podemos determinar que tanto en la Calicata 1 y la Calicata 2, la adición del 3 % de pet, superan al patrón. Los resultados densidad seca máxima la cual podemos determinar que tanto en la Calicata 1 y la Calicata 2, la adición del 3 % de pet, supera notablemente al patrón. De los resultados de la C-1 se incrementó 0.30 y C-2 se incrementó 0.70 según el gráfico N°11, nos muestran un incremento de la Humedad Óptima en la muestra Experimental con respecto a la muestra Patrón. En la Calicata C-1 la Densidad Seca Máxima de la muestra Patrón es de 1.834% utilizando el método A debido a que mi tipo de suelo es SC arena arcillosa, y de la muestra Experimental es de 1.851%, lo cual indica un aumento de 0.017 de su Densidad Seca Máxima con relación a la muestra Patrón, dado que el pet es un material con optimas condiciones como la dureza , durabilidad y resistencia al corte.

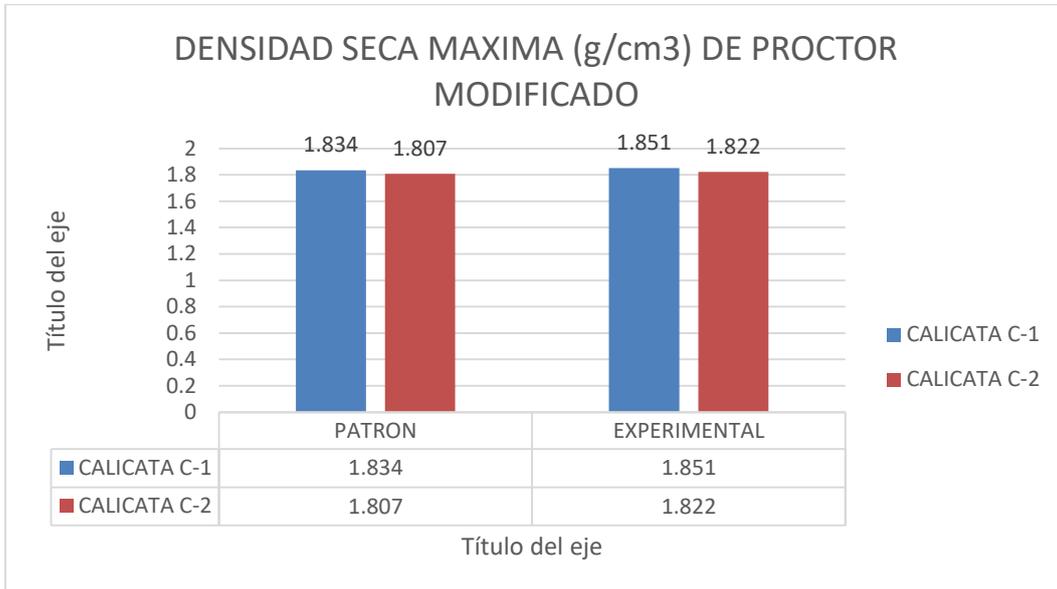
El CBR según la tabla 19, la cual podemos establecer que tanto en la Calicata 1 y la Calicata 2, la adición del 3 % de pet, aumentó notablemente. En la Calicata C-1, se aprecia el CBR al (95% M.D.S) de la muestra Patrón un porcentaje de 9.6% y con la adición en la muestra Experimental se nota un incremento en su resistencia al corte a 22.4% debido a la mejor elección de la humedad óptima y densidad seca máxima obtenido del Proctor modificado , En la Calicata C-2, se aprecia el CBR al (95% M.D.S) de la muestra Patrón un porcentaje de 10.5% y con la adición en la muestra Experimental se nota un incremento en su resistencia al corte a 25.3%. En la Calicata C-1, se aprecia el CBR al (100% M.D.S) de la muestra Patrón un porcentaje de 10.9% y con la adición en la muestra Experimental se nota un incremento en su resistencia al corte a 23.9%, debido a que el pet al ser sometido a cargas de compactación presenta una durable firmeza En la Calicata C-2, se aprecia el CBR al (100% M.D.S) de la muestra Patrón un porcentaje de 11.3% y con la adición en la muestra Experimental se nota un incremento en su resistencia al corte a 26.7%, debido a que al adherirse las

partículas del suelo con el pet forman una capa más gruesa que la patrón por lo cual obtenemos como resultado una mayor resistencia al corte.

El pH del suelo natural recolectado del tramo Rataquenua-Huaraz ha logrado determinar un resultado de 12.85, siendo un material sumamente muy alcalino, el pet recolectado de las calles de Huaraz alcanzó un resultado de 6.72, considerándose un ácido, y la mezcla de 3% de pet y 100% del suelo natural alcanzó un resultado de 11.86, lo cual nos indica que la mezcla del suelo natural y la adición de 3% de pet es altamente alcalino.

Por investigación se sabe que el pet es un derivado del petróleo y tiene los componentes químicos en mayor proporción como el carbono, helio e hidrógeno, obteniendo los siguientes resultados en el ensayo de fluorescencia rayos X: de Óxido de Carbono 79.38%, Óxido de Helio 5.59%, Óxido de Hidrógeno 9.01%, Dióxido de Nitrógeno 0.490%, según la tabla 27 es un polímero de alta pureza debido a que presenta mas de la mitad de oxido de carbono.

DENSIDAD SECA MÁXIMA:

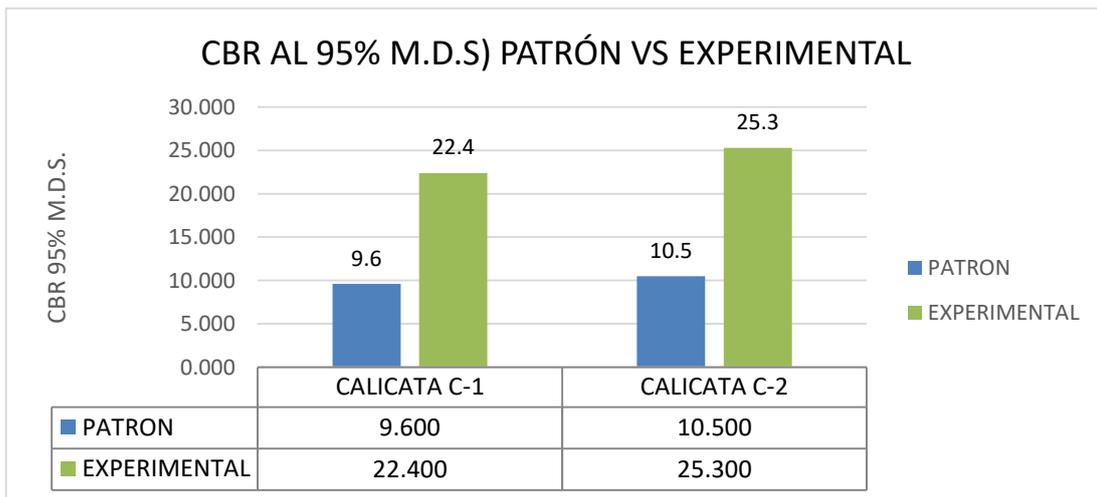


En el gráfico N°12 podemos observar la Densidad Seca Máxima (g/cm³) de Próctor Modificado Patrón vs Experimental

Fuente: Elaboración propia

CBR PATRÓN VS EXPERIMENTAL

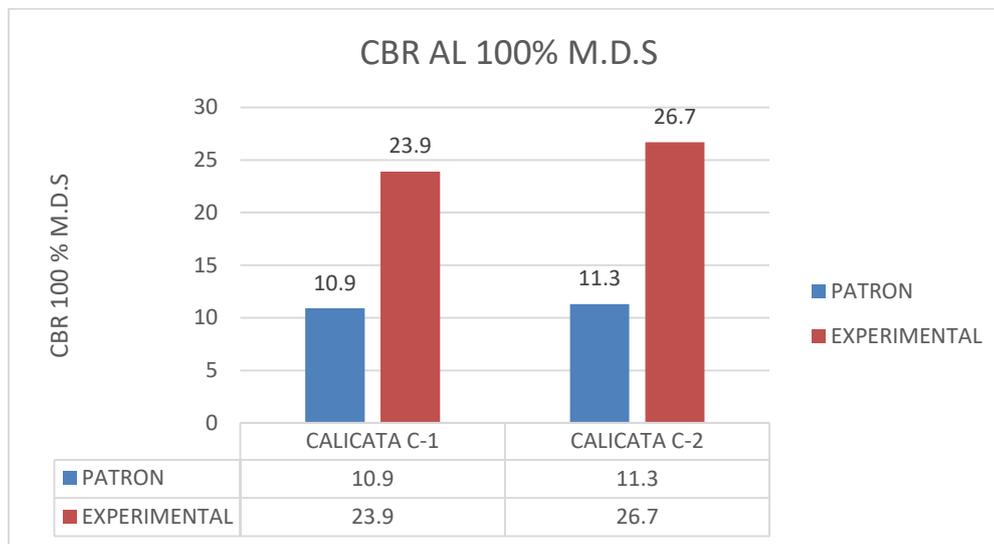
CBR AL 95% M.D.S:



En el gráfico N°13 podemos observar la variación del CBR AL (95% M.D.S) de la muestra Patrón con la de la muestra Experimental.

Fuente: Elaboración Propia

CBR al 100% M.D.S:



En el gráfico N°14 podemos observar la variación del CBR AL (100% M.D.S) de la muestra Patrón con la de la muestra Experimental.

Fuente: Elaboración propia

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- La resistencia al corte (CBR) del suelo patrón es de 11.10%, en cambio el suelo mejorado con PET arroja un CBR de 25.30% lo que nos permite concluir que el PET tiene efecto positivo en la resistencia al corte del suelo aumentándolo en 14.20 %.
- Con la adición del pet, se obtuvo mejores densidades en dos calicatas y mejores humedades optimas.
- El tipo de suelo que presenta la carretera estudiada es un suelo S.C es decir arena arcillosa de plasticidad media.
- Se concluye que la densidad del suelo sin adición es de 1.834 g/cm³, mientras que la densidad del suelo adicionando con PET al 3% arroja 1.851 g/cm³.
- La composición del pet presenta Óxido de Carbono 79.38%, Óxido de Helio 5.59%, Óxido de Hidrógeno 9.01%, Dióxido de Nitrógeno 0.490%, considerándose un polímero de alta cristalinidad.
- La adición del pet, reduce la cantidad de agua para la compactación, es decir el contenido óptimo de agua, disminuye en gran medida.
- El PH del suelo se mantuvo muy fuertemente alcalino al adicionarle la mezcla de 3% de pet y 100% de suelo natural extraído del tramo rataquenua – Huaraz alcanzó un resultado de 11.86.

Recomendaciones

- Aplicar el Polietileno Tereftalato, a zonas que presenten el mismo tipo de suelo estudiado en esta investigación.
- Que se implemente en las instituciones públicas y privadas el reciclaje de los envases elaborados a base de polietileno Tereftalato.
- Experimentar con porcentajes de adición entre 1% y 5%, puesto que está demostrado que al 3 %, la capacidad de soporte del suelo ha incrementado.
- Limpiar con mayor cuidado las botellas de PET, para obtener aún mejores resultados en la composición química.
- La alcalinidad de la mezcla de 100% suelo natural y 3% de pet es $\text{PH} = 11.86$; lográndose determinar que pertenecen al grupo de sustancias bases, es decir es un material alcalino.

AGRADECIMIENTO

Primero que nada, doy gracias a Dios por darme salud, protegerme día a día, darme la oportunidad de tener tan buena experiencia dentro de mi universidad y así poder lograr mis objetivos profesionalmente.

A mis padres, que gracias a su apoyo incondicional, tanto psicológico como económico en todo momento, soy el profesional que ellos tanto esperaban.

A mi universidad, en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil por los conocimientos brindados, dándonos una formación ética y profesional, por permitirme y convertirme así en un profesional que es lo que tanto me apasiona.

Gracias a cada maestro que fueron parte de este gran proceso integral de formación, en la cual hoy culmino, gracias de manera especial a mi asesor ING. Rigoberto Cerna Chávez por su orientación y apoyo durante el desarrollo de la presente tesis.

Esta tesis, que perdurara dentro de los conocimientos y desarrollo de las demás generaciones que están por llegar.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Braja, M. (2004). “Fundamentos de la Ingeniería Geotécnica”.
- Crespo, C. (2007). “Mecánica de Suelos y Cimentaciones”. México.
- Exploración del Polietileno Tereftalato (PET): Viabilidad del yacimiento Huandoy-Ambar. Lima: Universidad Esán (2014).
- Fonseca, A. (2005). “Ingeniería de Pavimentos para Carreteras”. Colombia.
- IECA (2011). Manual de Estabilización de Suelos con Cemento o Cal. Madrid, España.
- Iranor (1989). Materiales de la construcción pétreos naturales.
- Juárez, E y Rico, A (2007).”Mecánica de suelos Tomo1: Fundamentos de la Mecánica de suelos”. México.
- Manual de Carreteras, MTC. (2013). Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. Lima, Perú.
- Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (1999-04-29). “Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico, e índice de plasticidad de suelos” – NTP 339.129. Perú. Indecopi.
- Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (1999-04-29). “Método para la clasificación de suelos con propósitos de ingeniería (sistema unificado de clasificación de suelos, SUCS)” – NTP 339.134. Perú. Indecopi.
- Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (2014-08-28). “Método de ensayo para la compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 KN – m/m³, 56000 pie – lbf/pie³)” NTP 339.141. Perú. Indecopi.
- Norma Técnica Peruana (N.T.P.) (2014-08-28). “Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California, California Bearing Ratio), de suelos compactados en el laboratorio” – NTP 339.145. Perú. Indecopi.

Valle, w. (2012). Estabilización de Suelos Arcillosos Plásticos con Mineralizadores en Ambientes sulfatados o Yesíferos. Tesis de Maestría, Departamento de Ingeniería y Morfología del Terreno, Universidad Politécnica de Madrid, España.

CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

ANEXO N° 1:
ENSAYO DE FLUORESENCIA
RAYOS X

ANEXO N° 2:
ENSAYO DE PH

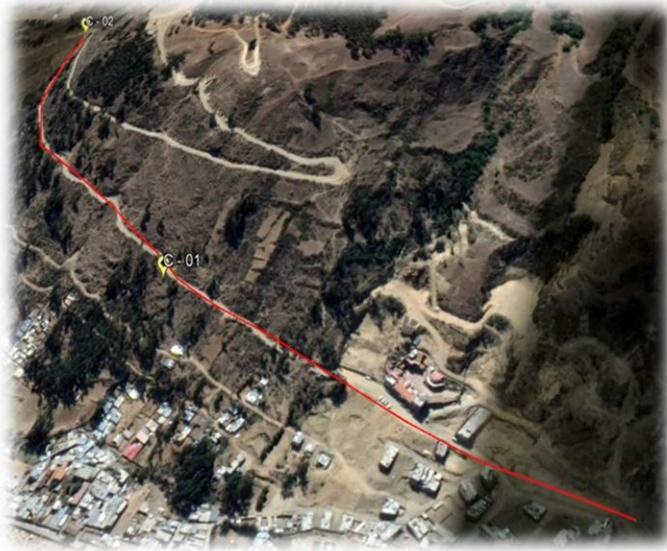
ANEXO N° 3:
ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO N° 4:
MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla 27. Matriz de Consistencia.

PROBLEMA	OBJETOS	VARIABLES		DEFINICION CONCEPTUAL	DIFINICION OPERACIONAL	INDICADORES
<p>En qué medida mejorara la resistencia al corte al estabilizar un suelo arcilloso, adicionado 3% de polietileno tereftalato (PET) para ser utilizado en la capa subrasante de pavimentos en el CP. Rataquenua – Huaraz – Ancash.</p>	<p>OBJETIVOS: OBJETIVO GENERAL: Determinar la resistencia al corte de un suelo arcilloso a nivel de sub rasante adicionando 3% de polietileno tereftalato (PET). OBJETIVOS ESPECIFICOS:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Caracterizar al suelo, la subrasante de la carretera en estudio. - Determinar la densidad del suelo patrón y experimental. - Determinar el efecto del PET en la resistencia al corte del suelo patrón y del suelo experimental. - Determinar la composición química del pet mediante la Fluorescencia de rayos X. - Determinar el pH del suelo natural, del pet su combinación. 	<p>VARIABLE PENDIENTE:</p> <p>RESISTENCIA AL CORTE DE UN SUELO ARCILLOSO</p>		<p>DIFINICION CONCEPTUAL Diseño de una carreta, que permite resistir el desplazamiento entre las partículas del mismo al ser sometido a una fuerza externa. También llamada resistencia al cizallamiento.</p>	<p>DIFINICION OPERACIONAL: El Diseño de una carretera, es una prueba que consiste en aplicar cargas, preparados a una velocidad de carga prescrita, hasta que se presente la falla.</p> <p>Preparación y selección, en el Diseño de carretas dosificación y mezclado del aditivo compactación</p>	<p>GRANULOMETRIA</p> <p>LIMITES DE ATTERBERG</p> <p>PRÓCTOR MODIFICADO</p> <p>CBR</p>
		<p>VARIABLE INDEPENDIENTE:</p> <ul style="list-style-type: none"> - ADICION DE: - 3 % DE POLIETILENO TEREFTALATO 				

DATOS DE LA ZONA



- **Ubicación** : C.P RATAQUENUA-HUARAZ-ANCASH
- **Distrito** : HUARAZ
- **Provincia** : HUARAZ
- **Departamento:** ANCASH
- **Elevación** :C1 : 3221 m.s.n.m
C2 : 3248 m.s.n.m.

ANEXO N° 5: PANEL FOTOGRÁFICO

- Recolección Del Suelo Arcilloso



FOTO N°01: Vista de la calicata C-1, tramo Rataquenua – Huaraz Km 0+500.



FOTO N°02: Vista de la calicata C-2, tramo Rataquenua – Huaraz Km 1+000.

- Recolección del Polietileno Tereftalato (PET)



FOTO N°03: Recolectando PET
en el sector Independencia-Huaraz-Ancash.



FOTO N°04: LAVANDO EL PET.

- **CONTENIDO DE HUMEDAD**



FOTO: N° 06: Peso inicial de la tara.



FOTO N° 07: Pesando la muestra de suelo húmedo.



FOTO: N° 08: Secando la muestra de suelo en el horno a una 101 temperatura de 11°C.



FOTO: N°09: Pesando la muestra de suelo seca.

- **ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO**



FOTO N°10: Peso inicial de la muestra de suelo.



FOTO: N° 11: Realizado el lavado de la muestra, utilizando la mala N° 200.



FOTO N° 12: Secando la muestra de suelo en el horno a una temperatura de 11°C.



FOTO N° 13: Seleccionando las mallas para realizar la granulometría.

- **LÍMITES DE ATTERBERG**



FOTO: N° 14: Tamizando la muestra por la malla N° 40



FOTO N° 15: Colocando la muestra de suelo pasante la malla N° 40 en un tazón para luego echarle agua.



FOTO N°16: Humedeciendo la muestra



FOTO N°17: Copa de casa grande, para realizar los límites.



FOTO N°18: Colocando la muestra de suelo con una espátula en la Copa de Casa Grande.



FOTO N° 19: Dando un rango de golpes a la muestra de suelo.



FOTO N°20: Peso de los límites líquido húmedo.



FOTO N°21: Límites Líquido y plástico.



FOTO N°22: Peso de los límites Plástico húmedo.



FOTO N°23: Límites Líquido y plástico Húmedos en las taras correspondientes.



FOTO N°24: Colocando las muestras de suelo en el horno para secado



FOTO N°25: Límites Líquido y plástico seco



FOTO N°26: Peso de los Límites Plástico Seco.

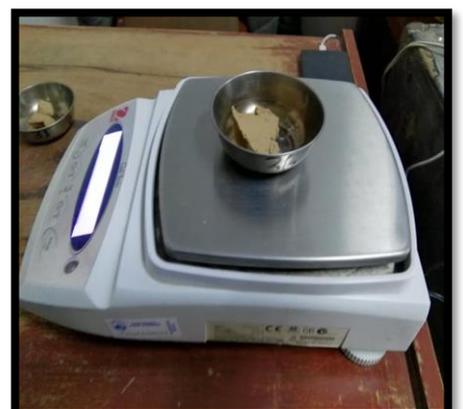


FOTO N°27: Peso de los Límites Líquido Seco.

PROCTOR MODIFICAO PATRON



FOTO N°29: Elaboración de 4 muestras de suelo, 3.180 kg cada una



FOTO N°30: Agregando agua a la muestra de suelo y repartiéndolo en 5



FOTO N°31: Mezclando la muestra con un porcentaje de agua determinado y vaciar al molde de Proctor.



FOTO N°32: Compactando con el pisón 25 golpes por cada capa de suelo



FOTO N°33: Muestras resultantes.



FOTO N°34: Muestras resultantes en horno.

- **CBR PATRÓN**



FOTO N°35: Moldes para ensayo de CBR



FOTO N°36: Muestras de suelo (4) de 6kg cada una.



FOTO N°37: Mezclando la muestra con un porcentaje de agua determinado



FOTO N°38: Muestra mezclada con un porcentaje de agua determinado



FOTO 39: Vista de una capa de suelo, compactada por un pisón a 56 golpes.



111

FOTO 40: Rasando y Nivelando



FOTO N°41: Pesando los moldes con las muestras de suelo húmedo ya compactado y enrasado.



FOTO N°42: Colocación de los moldes CBR en el agua, durante 96 horas para su curado.



FOTO N°43: Vista del Trípode con el dial de deformación



FOTO N°44: Leyendo las lecturas diales en la máquina de penetración de CBR

- **PROCTOR MODIFICADO EXPERIMENTAL**



FOTO N°46: Elaboración de 4 muestras de suelo de 3.090 kg cada una.



FOTO N°47: Adición en un 3% de Polietileno Tereftalato (PET).



FOTO N°47: Adición en un 3% de Polietileno Tereftalato (PET)



FOTO N°48: Peso de la adición en un 3% de Polietileno Tereftalato para las cuatro muestras de suelo de 3.090 Kg.



FOTO N°49: Vista de la adición de un 3% de polietileno Tereftalato sobre una muestra



FOTO N°50: Mezclando la adición de un 3% de Polietileno Tereftalato con una muestra.



FOTO N°51: Compactando la mezcla de suelo con el pisón, 25 golpes por cada capa.



FOTO N°52: Peso del molde + la muestra húmeda compactada.



FOTO N°54: Adición en un 3% de Polietileno Tereftalato (PET)

FOTO N°55: Peso de la adición en un 3% de Polietileno Tereftalato



FOTO N°56: Muestra más la adición en un 3% de Polietileno Tereftalato (PET).



FOTO N°57: Cantidad óptima de agua para mezclar una muestra de suelo con la adición.



FOTO N°58: Mezclando una muestra con la adición del 3% de Polietileno Tereftalato.



FOTO N°59: Realizando 56 golpes con el pisón luego de cada capa aplicada.



FOTO N°60: Rasando y Nivelando



FOTO N°61: Peso y enrasado de la parte superior de la mezcla de suelo adicionado



FOTO N°62: Colocación de los moldes CBR experimentales al agua, durante 96 horas.



FOTO N°63: Colocación de las cargas (discos) en los tres moldes de CBR.



FOTO N°64: Realizando las lecturas de la expansión de los moldes CBR



FOTO N°65: Vista del Trípode con el dial de deformación.



FOTO N°66: Realizando el ensayo de CBR de la muestra de suelo experimental

ANEXO N°4
PLANO TOPOGRÁFICO



FOTO N°68: llevando el GPS y el teodolito al campo



FOTO N°69: Vista Atrás (1era) con el Teodolito.

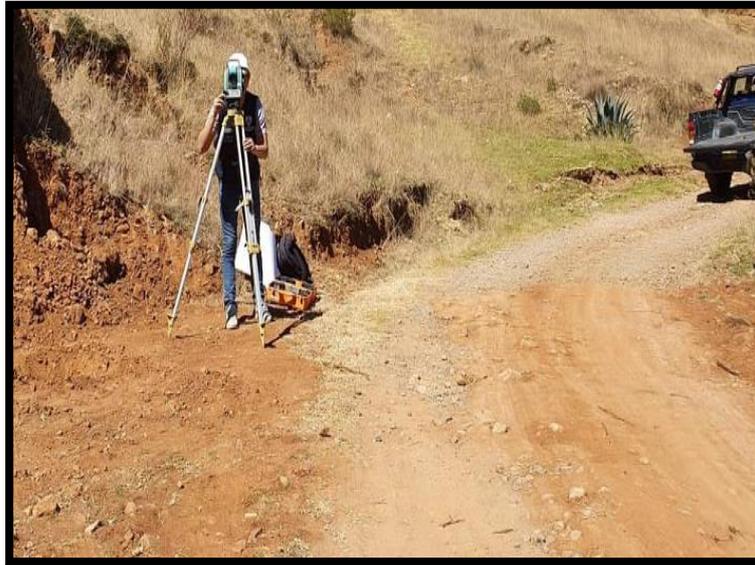


FOTO N°70: Vista Atrás (2°da) con el Teodolito.



FOTO N°71: Nuestra coordenada con ayuda del GPS.