

UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



Estabilización de material arcilloso de subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente de reciclaje

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

AUTOR

Jhan Esleiter Copia Julca

ASESOR

Atilio Antonio Lopez Carranza

<https://orcid.org/0000-0002-3631-2001>

Chiclayo, 2025

Estabilización de material arcilloso de subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente de reciclaje

PRESENTADA POR
Jhan Esleiter Copia Julca

A la Facultad de Ingeniería de la
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo
para optar el título de

INGENIERO CIVIL

APROBADA POR

Manuel Alejandro Borja Suarez
PRESIDENTE

Carmen Chilon Muñoz
SECRETARIO

Atilio Ruben Lopez Carranza
VOCAL

Dedicatoria

A Dios por derramar sus bendiciones sobre mí y llenarme de su fuerza para vencer todos los obstáculos desde el principio de mi vida.

A mis padres por todo el esfuerzo y sacrificio para brindarme el apoyo incondicional y la confianza cada momento de mi vida y sobre todo en mis estudios universitarios.

A mi madre esa mujercita que con su entereza me enseñó lo que es vivir; que con su amor y consejo me dio el impulso para salir adelante. A ella que supo ser madre y amiga y aunque hubo momentos difíciles, siempre conté con su apoyo, ante todo. Gracias a ti, hoy veo convertirse en realidad una de mis metas que tanto anhelabas.

Agradecimientos

Agradezco a mí mis padres porque me han guiado y me han dado la fortaleza para seguir adelante, por su comprensión y el apoyo.

Agradezco a MAP por su paciencia y el estímulo constante, además su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios y a todas las personas que de una y otra forma me apoyaron en la realización de este trabajo.

Estabilización de material arcilloso de subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente de reciclaje.

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%	17%	4%	5%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	6%
2	tesis.usat.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	1%
5	vdocumento.com Fuente de Internet	<1%
6	docplayer.es Fuente de Internet	<1%
7	repositorio.unasam.edu.pe Fuente de Internet	<1%
8	www.gob.pe Fuente de Internet	<1%

Índice

Resumen	10
Abstract	11
INTRODUCCIÓN	12
Revisión de Literatura	15
Antecedentes	15
Antecedentes Internacionales	15
Antecedentes Nacionales.....	16
Antecedentes Locales	16
Bases Teórico-Científicas	17
Bases legales	17
Bases teóricas	18
Impacto Ambiental en obras de construcción	32
Medio Ambiente.....	32
Calidad Ambiental.....	32
Normas de Calidad Ambiental	32
Estándares de Calidad Ambiental	32
Impacto Ambiental.....	32
Evaluación de Impacto Ambiental	33
Matriz de Leopold	33
Materiales y Métodos	33
Metodología	33
Tipo de investigación.	33
Población.....	33
Criterios de selección	37
Operacionalización de variables.....	37
Técnica e Instrumentos de Recolección de datos.....	38

.....	38
Procedimientos	39
Resultados	50
Discusión	57
Conclusiones	67
Recomendaciones.....	69
Referencias	70
Bibliografía.....	70
Anexos.....	72

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1: Conformación del suelo.....	19
Ilustración 2: Conformación del suelo.....	22
Ilustración 3: <i>Estructura típica del pavimento flexible.</i>	24
Ilustración 4: Categorías de subrasante	25
Ilustración 5: Lugar del área de población del proyecto.....	34
Ilustración 6: Ubicación de la calicata C-01, C-02, C-03.....	34
Ilustración 7: Registro de excavación C-1.....	35
Ilustración 8: Registro de excavación C-2.....	36
Ilustración 9: Registro de excavación C-3.....	36
Ilustración 10: Recolección de envases de polietileno de alta densidad (HDPE)	39
Ilustración 11: Molienda de polietileno de alta densidad HDPE	39
Ilustración 12: Calicata C-01 a 1.70 m profundidad	40
Ilustración 13: Muestra de calicata C-02 a 1.60 m de profundidad.....	40
Ilustración 14: Calicata C-03 a 1.65m de profundidad.....	41
Ilustración 15: Secado a ambiente a la Muestra extraída húmeda.....	41
Ilustración 16 : Ensayo de contenido de humedad	42
Ilustración 17: Análisis Granulométrico por tamizado y trituración de muestra seca	43
Ilustración 18: Ensayo de limite liquido con equipo de Copa de Casagrande	44
Ilustración 19: Ensayo de Proctor modificado	45
Ilustración 20: Peso de agua para la fase de compactación.....	45
Ilustración 21: Toma de peso de moldes y preparación de estos.	46
Ilustración 22: Ensayo de CBR y la fase inmersión	47
Ilustración 23: Ensayo de CBR y equipo de prensa de carga.	47
Ilustración 24: Área de estudio y tramo de ejecución.	48
Ilustración 25: Partida de excavación y expansión del HDPE en el suelo.	49
Ilustración 26: Partida de compactación de la subrasante con HDPE.....	49

Lista de Gráficos

Grafica 1: Clasificación de suelos AASHTO	21
Grafica 2: Clasificación de suelos SUCS	23
Grafica 3: Clasificación de los polímeros	26
Grafica 4; Tipos de polietileno	29
Grafica 5: Procedimiento para la selección del tipo de estabilización	31
Grafica 6: Flujograma de la estrategia del procedimiento	38
Grafica 7: Curva granulométrica de la muestra M-1 de la calicata 1	51
Grafica 8: Curva granulométrica de la muestra M-1 de la calicata 2	51
Grafica 9: Curva granulométrica de muestra M-1 de calicata 3	51

Lista de Tablas

Tabla 1: Tipo y Aplicación de plásticos	10
Tabla 2: Tipos y aplicación de plásticos termoestables	28
Tabla 3: Tipo y aplicación de plásticos elastómeros.....	29
Tabla 4: Propiedades físicas de polietileno de alta densidad	30
Tabla 5: Propiedades mecánicas.	30
Tabla 6: Operacionalización de variables	37
Tabla 7: Ubicación del área de estudio	48
Tabla 8: Resumen del contenido de humedad de muestras naturales	50
Tabla 9: Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de las muestras.....	50
Tabla 10: Resumen de los límites de Atterberg de las muestras naturales	52
Tabla 11: Clasificación de suelos en sistema SUCS de las muestras naturales	52
Tabla 12: Clasificación de suelos en el sistema AASHTO.....	53
Tabla 13: Resumen de Proctor modificado de muestras naturales	53
Tabla 14: Resumen de Proctor modificado de muestras naturales	53
Tabla 15: <i>Proctor Modificado - Muestras de la C-1 con adición de HDP</i>	54
Tabla 16: Proctor Modificado - Muestras de la C-2 con adición de HDP	54
Tabla 17: Proctor Modificado - Muestras de la C-3 con adición de HDP	55
Tabla 18: Resumen del ensayo CBR – Muestra de C-1 con adición HDP	55
Tabla 19: Resumen del ensayo CBR – Muestra de C-2 con adición HDP	56
Tabla 20: Resumen del ensayo CBR – Muestra de C-2 con adición HDP	56
Tabla 21: Resumen de contenido de humedad de muestras naturales	57
Tabla 22: Resumen del análisis granulométrico por tamizado de muestras naturales.....	58
Tabla 23: Resumen de los límites de Atterberg de las muestras naturales	58
Tabla 24: Resumen de Proctor modificado de las muestras naturales - OCH	59
Tabla 25: Resumen de Proctor modificado de las muestras naturales - MDS	59
Tabla 26: Resumen de los CBR de muestras naturales.....	60
Tabla 27: Resumen de Proctor modificado de muestras con adición de RCD-C – MDS.....	60
Tabla 28: Resumen de Proctor modificado de muestras con adición de RCD-C – OCH.....	61
Tabla 29: Resumen del CBR de las muestras con adición de RCD-C	61
Tabla 30: Evaluación Económica.....	62

Resumen

El presente trabajo lleva como título: Estabilización de material arcilloso de subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente del reciclaje. Este proyecto está considerado dentro de la facultad de ingeniería.

El objetivo de esta tesis fue evaluar el comportamiento de la subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente del reciclaje. Como metodología se utilizó el método experimental, el tipo de la investigación fue aplicativo, y de nivel descriptivo, explicativo, correlacional. Los resultados obtenidos fueron que al adicionar el Polietileno de Alta Densidad al 3%, 6% y 9%, se tiene un aumento característico de CBR hasta un 21%, incremento de densidad a 2.028 gr/cm³, mejorando sus propiedades mecánicas y físicas del suelo.

Como principal conclusión, es que la mejor dosificación fue adicionar Polietileno de Alta Densidad al 9%, ya que fue muy notorio el incremento de porcentajes de CBR; de igual manera con 3% y 6%, estos valores crecieron de forma notable; asimismo la resistencia aumento en algunos de los casos, ya que en otros disminuyo por el HDPE. Se da por conclusión, que las propiedades de suelos de material arcilloso natural mejoraron de forma notable con la adición de Polietileno de Alta Densidad por lo cual se recomienda que realicen más estudios de investigación en otras dimensiones.

Palabras clave: Estabilización, Densidad, Polietileno de Alta Densidad.

Abstract

The title of this work is: Stabilization of subgrade clay material with the addition of high-density polyethylene (HDPE) from recycling. This project is considered within the engineering faculty. The objective of this thesis was to evaluate the behavior of the subgrade with the addition of high-density polyethylene (HDPE) from recycling. The experimental method was used as a methodology, the type of research was applicative, and at a descriptive, explanatory, correlational level. The results obtained were that by adding High Density Polyethylene at 3%, 6% and 9%, there was a characteristic increase in CBR up to 21%, an increase in density to 2,028 gr/cm³, improving its mechanical and physical properties. floor.

The main conclusion is that the best dosage was to add 9% High Density Polyethylene, since the increase in CBR percentages was very noticeable; Likewise with 3% and 6%, these values grew significantly; Likewise, resistance increases in some cases, while in others it decreases due to HDPE. It is concluded that the properties of natural clay material soils improved significantly with the addition of High Density Polyethylene, which is why it is recommended that more research studies be carried out in other dimensions.

Keywords: Stabilization, Density, High Density Polyethylene.

INTRODUCCIÓN

En proyectos de obras civiles, como por ejemplo carreteras es muy común encontrar suelos con propiedades deficientes y que por ende tienden a no cumplir con los requerimientos mínimos que garanticen una construcción adecuada sobre ellos. Es por ello que existen investigaciones orientadas a mejorar las propiedades deficientes que puedan presentar este tipo de suelos, así como también lo muestra la misma normativa peruana, la cual proporciona algunos aditivos con respaldo técnico en la norma de “Estabilización de suelos y taludes”: CE. 020, refiere una lista de aditivos los cuales se emplean para mejorar el suelo deficiente. Algunos de los aditivos son: cemento, cal, cloruro de sodio, entre otros.

En la actualidad somos testigos del deterioro en el que vive el medio ambiente, por la falta de educación que existe en cuanto al descarte de residuos sólidos urbanos, de acuerdo al portal de SIGERSOL se conoce el sector identificado del estudio presente en la región de Lambayeque se mostró una elevada cifra de (GPC) de 0.511 kg/hab/día en el año 2013, puesto que a diferencia la cifra a nivel nacional del mismo año es de 0.56 kg/hab/día, demostrando que la región de Lambayeque en el mismo año era el foco de estos residuos; puesto que para el año 2021 el Perú cuenta con una concepción per cápita de RSD aproximadamente de 0.58 kg/hab/día, la región Lambayeque cuenta con GPC de 0.58 kg/hab/día y la provincia de Lambayeque tiene una GPC de 0.45 kg/hab/día [1]. De las cifras proporcionadas del 2013 se sabe que el 27.88% representan a fibra dura vegetal, restos orgánicos, botellas, bolsas, envases, entre otros. Como se puede evidenciar las cifras de la generación de residuos sólidos va en aumento, es por ello que nace la idea de poder pensar diferentes maneras de cómo aprovechar dicho residuo, que en este caso, hablamos del plástico producto de las botellas, es por ello que sabiendo que existe una deficiencia en los proyectos ingenieriles relacionados a los tipos de suelos, nace la idea de poder emplear este material reciclado buscando un comportamiento significativo en la incorporación a suelos con baja capacidad de corte.

Con respecto a la problemática local, se tiene que la localidad propiamente dicha de Lambayeque se encuentran suelos que en su mayoría son tipo arcillosos con baja plasticidad, como también suelos arcillo arenosos o limosos, suelos que poseen una capacidad portante baja lo cual es un problema para la realización del diseño de pavimentos lo que conlleva a mejorar dicho suelo. Como caso uno se tiene al proyecto denominado “MEJORAMIENTO DE LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL UPIS SANTO DOMINGO DEL DISTRITO DE LAMBAYEQUE – PROVINCIA DE LAMBAYEQUE – DEPARTAMENTO

DE LAMBAYEQUE”, que en sus estudios de suelos en la parte de la caracterización de la subrasante se obtuvo suelo de tipo arcilloso con baja plasticidad (CL) y CBR de valores que van de 4.74% a 5.01% clasificando a la subrasante como Subrasante Pobre, por ende en dicho proyecto se realizó una estabilización de suelos, empleando material de Over como reemplazo a dicho suelo deficiente. El caso siguiente se trata del proyecto denominado “MEJORAMIENDO DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL PASAJE SAN JOSE SECTOR AMPLIACION TORIBIA CASTRO CHIRINOS II ETAPA DEL DISTRITO DE LAMBAYEUE-PROVINCIA DE LAMBAYEQUE – DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE, CUI N°2519125” en este proyecto resulto en sus estudios de suelos que la conformación estratigráfica de la zona está conformado por limos arenosos de ligera plasticidad (ML) de variable de consistencia media a blanda y que posee una baja capacidad de soporte de CBR en estado natural, además se encontró el nivel freático a profundidades de 1.30 m, 1.20 m y 1.25m lo cual representa otro significativo problema para el diseño de pavimentos, por lo que se optó en realizar un pavimento de tipo rígido y de acuerdo al estudio de suelos se recomienda un mejoramiento del terreno de fundación con material de tipo GRANULAR con gravas mayor de 2” con espesor de 0.40m y seguido de una capa de arenilla de espesor de 0.10m con capa anticontaminante. Como tercer caso de estudio tenemos el proyecto denominado: “AMPLIACION DEL SERVICIO DE TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN LA CALLE SUCRE 01 P.J. SAN MARTIN DEL DISTRITO DE LAMBAYEQUE – PROVINCIA DE LAMBAYEQUE – DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE” dicho proyecto en su estudio de suelo se muestra que se realizaron tres calicatas cuyo resultado fue suelo de arcillas de baja plasticidad con arena y cuyos CBR son 4.90%, 4.74% y 4.93 respectivamente cuyo promedio es 4.85% correspondiendo a una Subrasante Pobre, con respeto a los parámetros que facilita el Manual de Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos del MTC, el presente estudio de suelos también define que se debe realizar un mejoramiento al material de subrasante ya que no posee las condiciones adecuadas por ello se recomienda remplazar dicho suelo por material de Over de 6” y cuyo espesor de capa sea de 40cm. Con esos tres casos que son proyectos cuya fuente de procedencia es el SEACE y cuyas zonas mencionadas están ubicados en la parte urbana de la provincia se logró demostrar que el suelo es deficiente y que necesita ser mejorado.

En el presente proyecto se plantea como problemática: ¿Cómo influye en el comportamiento de la subrasante a la adición polietileno de alta densidad reciclado, en suelos de la ciudad de Lambayeque?

Dicha investigación tiene como fin evaluar cada uno de los aspectos que traería consigo esta investigación. Social, partiendo de la casa de estudios de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo del norte del país, específicamente la facultad de ingeniería de esta cátedra, tiene la obligación de transmitir y fomentar las creaciones y difusiones sobre investigaciones renovadas, a su vez esta impulsa y promueve soluciones a los problemas en la Ingeniería Civil, puesto que la búsqueda de nuevos materiales alternativos están siendo utilizados en la ingeniería, en efecto como lo es este proyecto de investigación, el cual se basa en la utilización de un material sólido reutilizable proveniente del reciclaje buscando un mejoramiento de la subrasante, de esta manera nos permitirá reducir, reciclar y reutilizar el polietileno de alta densidad como material para una buena estabilización de suelos.

Adicionalmente esta investigación permite identificar la posibilidad de introducir polietileno de alta densidad molido como componente que ayudara a la estabilidad de los suelos provocando mejoras para la utilidad de estos en sus superficies, además aprovechamos simultáneamente los residuos de HDPE en el ámbito de la ingeniería, lo cual la adición de este material favorece al suelo logrando reforzarlo y conseguir el cumplimiento de los parámetros dispuestos por el Manual de Carreteras.

Considerando el aspecto económico, cabe decir que en la estabilización de suelos se utiliza materiales novedoso y aditivos con un alto costo económico, por ende, el objetivo de esta investigación no solo promueve darle uso secundario a un material desechable, si no también desplazando materiales costosos que en la actualidad son usados como nuevas tecnologías, por lo tanto, sería rentable la utilización de HDPE como costo beneficio en este trabajo de estabilización de suelos.

En cuanto a la perspectiva ambiental, este estudio promueve la reutilización del HDPE (Polietileno de Alta Densidad) para la estabilización de suelos, en concreto, se liberan menos residuos de HDPE al ambiente, en otras palabras, lo que significa una reducción de los impactos ambientales. Al mismo tiempo, los ecosistemas también se beneficiarán, ya que permitirán mermar que estos residuos sólidos desfallezcan el arte de la flora y fauna, así mismo la contaminación del aire y del suelo, a todo esto son la funcionalidad del crecimiento de la vida de los ecosistemas.

Dicha investigación propone como Objetivo General: Evaluar el comportamiento de la subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente del reciclaje. Y los objetivos específicos: Determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo natural que

conforma la subrasante (muestra patrón). Determinar las propiedades físicas y mecánicas de la muestra patrón con adición del 3%, 6% y 9% de polietileno de alta densidad. Determinar el diseño óptimo de la muestra patrón con adición de 3%, 6% y 9% de polietileno de alta densidad. Realizar una comparación en el aspecto económico entre una estabilización convencional y estabilización con adición de polietileno de alta densidad. Realizar un estudio de impacto ambiental y finalmente realizar un tramo de prueba de 40m.

Revisión de Literatura

Antecedentes

Antecedentes Internacionales

Según Ocampo Guerrero [2], en su trabajo de investigación experimental, lo que busca es evaluar las propiedades físico-mecánicas y la resistencia que detenta los suelos cohesivos naturales y los que son modificados debido a la incorporación de partículas que contienen tereftalato de polietileno (PET), cuyo material es empleado como subrasante. Posteriormente se separaron cuatro muestras de suelo natural en tres puntos diferentes, teniendo una cantidad final de 12 pruebas de suelo no cohesivo con un aproximado de 40 kilogramos y el producto de tereftalato se obtuvo del reciclaje y posteriormente fueron triturados. Se realizaron los ensayos de laboratorio, los cuales permitieron determinar el tipo de suelo que en este caso de acuerdo a los parámetros de Sistema Unificado de Clasificación de suelos (SUCS) el cual lo define como suelo CH, que corresponde a arcillas inorgánicas de alta plasticidad y mediante la clasificación AASHTO resultó un suelo A7-5 que corresponde a suelos arcillosos expansivos. Los resultados de CBR que se obtuvieron en esta investigación para el suelo natural es de 8.9 y para el suelo modificado con una adición de 2.5% de PET, se consiguió un resultado de 18.8.

Según Celi Kevin [3], en su investigación experimental de grado, lo que tiene por finalidad es realizar un análisis comparativo en función al CBR de muestras estabilizadas con finos de PET, PP, PE y la muestra que no ha sido modificada la cual será empleado para estabilizaciones en el pavimento mejor dicho en las capas de la estructura propiamente, como en este caso lo es la subrasante. El procedimiento que se siguió fue: extracción de tres muestras de suelos granulares provenientes de las iglesias (Montalvo, Juan Benigno y Izamba), luego de ello se elabora los siguientes ensayos: Contenido de humedad, Densidad de campo, Gravedad específica, Granulometría, Límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, y sus respectivos análisis. Como resultado se obtuvo el CBR del suelo natural con incorporación de finos de PET, PP y PE siendo su valor de 6.9%, lo que representa una estabilización de subrasante con un

porcentaje del 57%. Además, se logró determinar que existe una reducción de espesores en referencia a las capas de su estructura del pavimento gracias a la subrasante estabilizada con finos de PET, PP y PE.

Antecedentes Nacionales

Según Marquez Diana [4], en su investigación de grado, tiene como finalidad realizar el mejoramiento de un suelo arcilloso donde colocan una incorporación del 6% de plástico PET. De acuerdo a investigaciones bibliográficas se sabe que la adición del plástico PET a un suelo arcilloso es significativa, ya que ayuda en el elevar de forma significativa su resistencia al corte, proporcionando una mejor calidad. Esta tesis de grado empleo un tipo de investigación cuantitativo porque trabaja con muestras que posteriormente se analizan. De acuerdo con la clasificación SUCS se concluyó que es de tipo CL el suelo, puesto que este tipo es conocido como arena ligera y tipo grava con arena mientras que de acuerdo a la clasificación AASTHO resulto ser A-6 (12) que es la arcilla de baja compresibilidad, mientras que los resultados de CBR para la muestra M-1 sin incorporación de plástico PET fue de 6% y en cuanto al CBR del suelo modificado empleando el plástico PET que sería la muestra 2, resulta valores mayores al 6%, concluyendo con que se trata de una estabilización exitosa.

Sañac Magaly, Quispe Esperanza [5], Esta investigación de grado proyecta como fin al estudio del comportamiento del suelo en la parte estructural de la subrasante cuando se le adiciona plástico reciclado triturado PET, que son producto de la recolección del reciclaje, se realizaron ensayos estándares para la caracterización del dicho espécimen de suelo como los límites de Atterberg, ensayos de contenido de humedad, ensayos de Proctor modificado y ensayos de CBR. Los resultados que se obtuvieron fue que la adición optima de PET, corresponde al 5% de su peso del suelo natural, consiguiendo la elevación del CBR del 3.4% a 7.8%, significando un incremento del 129%. Y en base a la expansión se da una reducción de 45%, ya que reduce del 1.1% al 0.6%.

Antecedentes Locales

Sañac Magaly, Quispe Esperanza [5], La presente investigación de grado tiene como fin al estudio del comportamiento del suelo en la parte estructural de la subrasante cuando se le adiciona plástico reciclado triturado PET, que son producto de la recolección del reciclaje, se realizaron ensayos estándares para la caracterización de la dicho espécimen de suelo como los límites de Atterberg, ensayos de contenido de humedad, ensayos de Proctor modificado y ensayos de CBR. Los resultados que se obtuvieron fue que la adición optima de PET,

corresponde al 5% de su peso del suelo natural, consiguiendo la elevación del CBR del 3.4% a 7.8%, significando un incremento del 129%. Y en base a la expansión se da una reducción de 45%, ya que reduce del 1.1% al 0.6%.

Según Gastulo Irving, Salazar Leyla [6], en la presente tesis de grado estudian el comportamiento de los asentamientos en los suelos arcillosos a los cuales se le incorpora polietileno de alta densidad (HDPE), así como también es parte de la investigación el estudio las propiedades que posee este tipo de polímero. El procedimiento consta de la adición de polietileno de alta densidad en cantidades de 2%, 4%, 6% y 8% al suelo arcilloso y analizar mediante el ensayo de consolidación para su posterior comparación de resultados. De acuerdo a los ensayos de laboratorio al suelo natural se obtuvo la distribución SUCS que el suelo es tipo CL, es decir arcillas de mediana plasticidad, luego se evidencio que la adición optima es del 6% de polietileno de alta densidad, ya que la lectura de deformación para la muestra sin adición fue de 5.400mm significando un 28.42% de compresión; mientras que la deformación de la muestra cuya adición fue del 6% de polietileno de alta densidad arrojó un valor de 3.397mm significando un 17.88% de compresión, siendo un resultado favorable, ya que se obtuvo una reducción de compresibilidad del 10.54% para el suelo modificado con relación al suelo natural.

Bases Teórico-Científicas

Bases legales

Normativa

Norma de suelos y cimientos E-050 2006

Esta normativa que se presentó en el 2016, establece los requerimientos para la determinación del Estudios de Mecánica de suelos, también refiere las metodologías aplicables en diferentes tipos de suelo que se pueda encontrar y donde se apoyara las diversas estructuras que se plantean para proyectos de edificaciones [7].

Manual de Carreteras, Sección Suelos y Pavimentos 2014

Esta norma que tiene como resolución directoral N°1146-2000-MTC/15.17 que fue emitido por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, cuyo objetivo es la determinación de normas técnicas para posteriores diseños de construcción y mantenimiento de carreteras, caminos y vías urbanas, abarcando lineamientos como la descripción de las actividades, procedimientos o métodos de construcción, material a utilizar y efectuar con las exigencias mínimas establecidas [8].

Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013

Esta norma conforma uno de los documentos técnicos importantes, cuya finalidad es equiparar los parámetros, condiciones, requerimientos y procesos en la realización de los movimientos relacionados con las obras de infraestructura vial, buscando renovar índices de calidad de la obra previniendo posibles confusiones que se originan en la administración de los contratos [9].

Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos

Esta Normativa da los lineamientos para la elaboración de diseños de pavimentos urbanos nuevos, rehabilitaciones o reposiciones. Además, se considera la rotura y reposición de los pavimentos que sean considerados para reparaciones o mantenimiento de la misma [10].

Bases teóricas

Suelo

Existen diferentes conceptualizaciones de la palabra suelo y es que cada ciencia tiene su definición propia, una de estas define al suelo que es como un conglomerado de pequeños cuerpos de minerales, que resultan de separación mecánica y además química de las rocas anteriormente existentes. Por otro lado, tenemos la definición que presenta Alfred R. Jumikis como suelos no consolidados y almacenamiento de pequeños cuerpos sólidos derivados de la descomposición de las rocas.

De acuerdo con Serrano y Padilla en su trabajo experimental mencionan que el suelo resulta partiendo de la escoriación de las rocas que existen en la parte superior de la corteza terrestre, que por causas de procesos físico-químicos, vientos, temperatura, lluvia y entre otros agentes atmosféricos, intervienen en el desprendimiento de partículas orgánicas y minerales que se dan durante millones de años y que posteriormente se clasifican de acuerdo a su tamaño y composición.

En su estado natural, el suelo posee tres materiales los cuales son: aire, agua y partículas de suelo, puesto que es muy importante analizar las propiedades físicas para describir sus características.

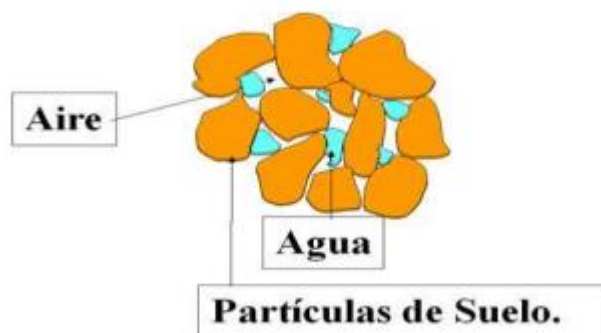


Ilustración 1: Conformación del suelo

Fuente: Inducción a la Mecánica de Suelos.

a) Propiedades índices del suelo

Considera las relaciones de peso y volumen en medio de las tres fases que constituyen el suelo: sólido, agua y aire.

- Peso Unitario.
- Peso Específico de los Sólidos.
- Gravedad Específica
- Humedad
- Saturación.
- Porosidad
- Índice de vacíos

b) Propiedades físico – mecánicas del suelo

➤ **Relación Peso-Volumen**

Existen tres fases que conforman a un suelo siendo las siguientes: fase líquida, sólida y gaseosa. Para la primera fase se tiene que se constituye por partículas minerales del suelo, la fase líquida se encuentra conformada por el agua y finalmente la fase gaseosa que está representada por los vacíos donde se ubican los gases.

Conocer las distintas fases que posee el suelo y las relaciones que existen entre ellas es producto de la aplicación de la Mecánica de Suelos, para poder calcular la cantidad del suelo y los esfuerzos que se aplican sobre ellos, para poder realizar un correcto diseño en cuanto a cimientos para posteriores construcciones.

➤ ***Granulometría***

El estudio granulométrico tiene como finalidad la elección de los suelos de acuerdo a su medida y porcentajes de sus partículas que las componen, este es un ensayo que se realiza a través del uso de tamices, en cuanto a los resultados, estos se dan en función a un gráfico que tiene como nombre curva granulométrica. Con esta curva se diferencia los suelos de grano fino de los de grano grueso, teniendo en cuenta el porcentaje de pasante del tamiz N°200 cuyo rango es el 50% del peso final de la muestra estudiada.

➤ ***Plasticidad***

Esta es la propiedad característica de las arcillas y finos, ya que se define como la propiedad que permite al suelo deformarse hasta cierto punto. La presencia de esta propiedad en el suelo hace que este evite agrietarse y sufrir desmoronamientos. La plasticidad se analiza con los límites de Atterberg y con gracias a ellos se determina tanto límite líquido como plástico del suelo.

➤ ***Límite líquido***

Esta propiedad representa la cantidad de agua que presenta la muestra en relación a su peso seco. Cuando se da el caso que el suelo está en su límite líquido se dice que su cohesión es nula.

➤ ***Límite plástico***

Es la propiedad del suelo cuya adición de contenido de humedad al grado de que el suelo empieza a pasar de estado sólido a presentarse como material plástico. Y se determina el límite plástico empleando la Copa de Casa Grande

➤ ***Índice de plasticidad***

Es el cálculo de la resta del resultante del límite líquido con el límite plástico.

➤ ***Grado de Compactación del suelo***

Se precisa la densidad seca del suelo entre su máxima densidad seca obteniendo así un coeficiente como resultado, además la máxima densidad seca es alcanzada por el ensayo de Proctor.

➤ ***Esfuerzo de compactación del suelo***

Es la relación directamente proporcional que existe con respecto al peso unitario seco mientras que con el contenido óptimo de humedad existe una relación inversamente proporcional.

➤ **Relación de Soporte de California (CBR)**

La finalidad de esta propiedad es de evaluar la capacidad que posee un suelo en base a su resistencia.

c) **Propiedades físicas del suelo**

➤ **Color:**

Esta propiedad física es la visible que posee el suelo ya que a simple percepción se puede determinar; sin embargo, estado en el que se presenta la muestra podría afectar en el color, ya que si esta húmeda se puede observar más oscura a que cuando este con menos contenido de humedad.

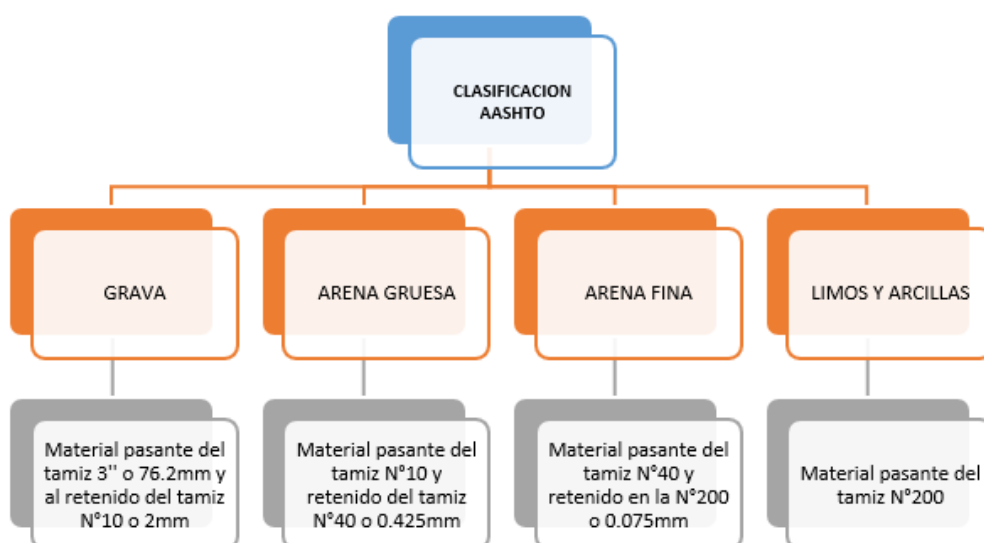
➤ **Forma:**

Definir una sola forma de suelo para varios tipos no es posible, ya que existen muchas formas, considerando como, por ejemplo: las esféricas, hojas, cúbicos, entre otros. Sin embargo, esta propiedad es importante ya que interviene en el comportamiento del suelo en función a sus partículas.

➤ **Textura:**

La textura es una propiedad del suelo que se origina por los efectos de la erosión y diferentes procesos por los que el suelo pasa. Cuando la piel se encuentra en contacto con los mismos, se logra la diferenciación de texturas entre sí,

d) **Clasificación de suelos AASHTO**



Grafica 1: Clasificación de suelos AASHTO

Fuente: propia

Esta clasificación considera las propiedades índices de los suelos y se fundamenta en la granulometría, así como también en la plasticidad que posee los suelos. Esta clasificación expone 4 grupos los cuales están en función al tamaño de las partículas.

El índice de grupo ayuda a realizar una comparación de los diversos tipos de suelos que encontramos en determinadas zonas, si el resultado de este índice es elevado quiere decir que el suelo no es favorable para empleo como parte de una estructural vial; en cuanto al resultado se debe considerar que de salir un valor negativo este se toma 0 y para otros casos que requiera de redondeo se toma al entero máximo superior. Existen dos formas de hallar este índice de grupo: la primera es mediante el método grafico que es donde se emplean dos ábacos y la segunda es a través de una formula

$$M$$

$$IG=a+b$$

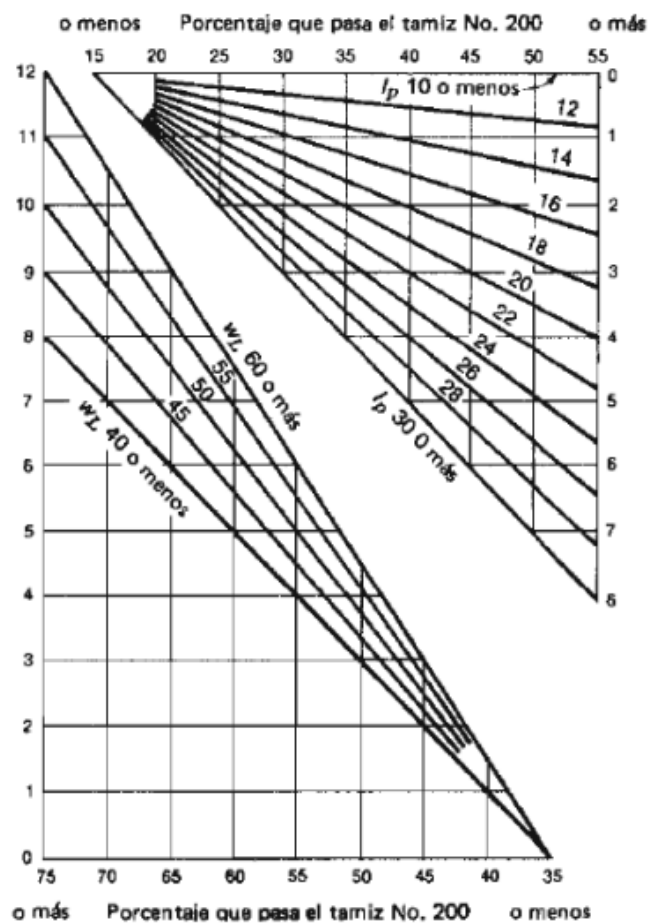


Ilustración 2: Conformación del suelo

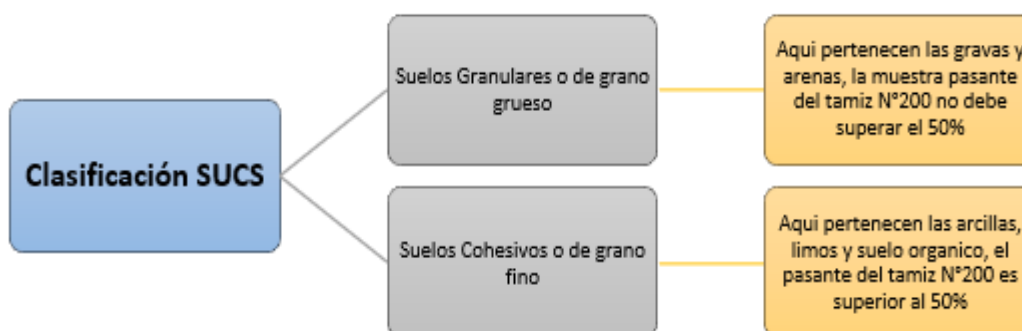
Fuente: Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil

Si se calcula el índice de grupo a través de fórmula, se necesita saber el valor en porcentajes del suelo pasante del tamiz N°200 que lo representa la variable F, también el valor del límite líquido con variable LL y por último el índice de plasticidad con la variable IP.

$$IG = (F - 35) [0.2 + 0.005(LL - 40)] + 0.01(F - 15) (IP - 10)$$

e) **Clasificación SUCS (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos)**

Esta distribución tiene como fundador a Casagrande ya que fue propuesta por él, esta clasificación se encuentra en la norma ASTM D - 2487-93, posee dos grupos, y la representación es a través de símbolos, que lo conforma dos letras, donde una significa el tipo de partícula y la segunda denomina el estado del suelo.



Grafica 2: Clasificación de suelos SUCS

Fuente: Manual de laboratorio de suelos en Ingeniería Civil

De acuerdo con el Manual de Carreteras en la Sección de Suelos y Pavimentos, se define a la parte donde termina la superficie de una carretera refiriéndose a movimiento de tierras, también se considera como el soporte donde descansa el perfil del pavimento o afirmado. El Manual de Carreteras categoriza la subrasante respecto a los valores de CBR, considerando así una subrasante inadecuada aquellos resultados de CBR inferiores al 3%, considera un subrasante ineficiente o pobre a los resultados de CBR que van de entre 3% a 6%, denomina subrasante regular cuando los valores de CBR van desde 6% a valores menores a 10%, subrasante buena a valores de CBR desde 10% hasta 20%, subrasante muy buena a valores de CBR desde 20% hasta valores menores al 30% y finalmente a subrasante excelente a porcentajes de CBR cuyo valor es superior o igual al 30%.

Pavimento

Mediante el Manual de Carreteras en la parte de las Suelos y Pavimentos menciona como una estructura al pavimento, puesto que esta conformada por diferentes cubiertas la cual estarán construidas encima de la subrasante de un camino, de modo que su propósito es mantener y uniformar los esfuerzos que origina accesibilidad y transpirabilidad de los vehículos. Por esta razón se mencionan la constitución de la estructura de la siguiente manera:

- ***Capa de rodadura***

Se podría mencionar que es la primera capa empezando desde la superficie, además respecto a su estructura mayormente es material bituminoso o Concreto, queriendo decir que cada uno se diferencia según el pavimento a trabajar donde el material bituminoso esta en pavimentos flexibles y el concreto (cemento Portland) en pavimentos rígidos.

- ***Base***

Esta capa es la segunda en continuidad de la anterior, con el fin de dar resistencia, uniformidad y transferir las cargas causadas por el movimiento vehicular.

- ***Sub-base***

Esta sección siguiente de la base, demanda de material determinado y su espesor se evalúa con el diseño respectivo, ya que esta tiene la tarea de sostener a las capas anterior a ella.



Ilustración 3: Estructura típica del pavimento flexible.

Fuente: Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible (Angie Ortiz 2017)

Subrasante

Esta capa es la que se encuentra en la posición seguida de la subbase, tiene una significación en los diseños de pavimentos, puesto que según la condición que esta muestra manifestara los espesores requeridos para sus capas superiores, en otras palabras, aquellas capas que se reclinan en él, independientemente de que se un pavimento rígido o flexible. De modo que, para analizar su capacidad de soporte, se rige a parámetros como el CBR y diferentes factores con el cual se definirá la expansión, calidad y sensibilidad a la humedad. Se hace necesario resaltar los porcentajes según la categorización respecto a los CBR son:

Categorías de subrasante	CBR
S0: Subrasante inadecuada	CBR < 3%
S1: Subrasante insuficiente	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%

Ilustración 4: Categorías de subrasante

Fuente: Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos, sección Suelos y Pavimentos del MTC.

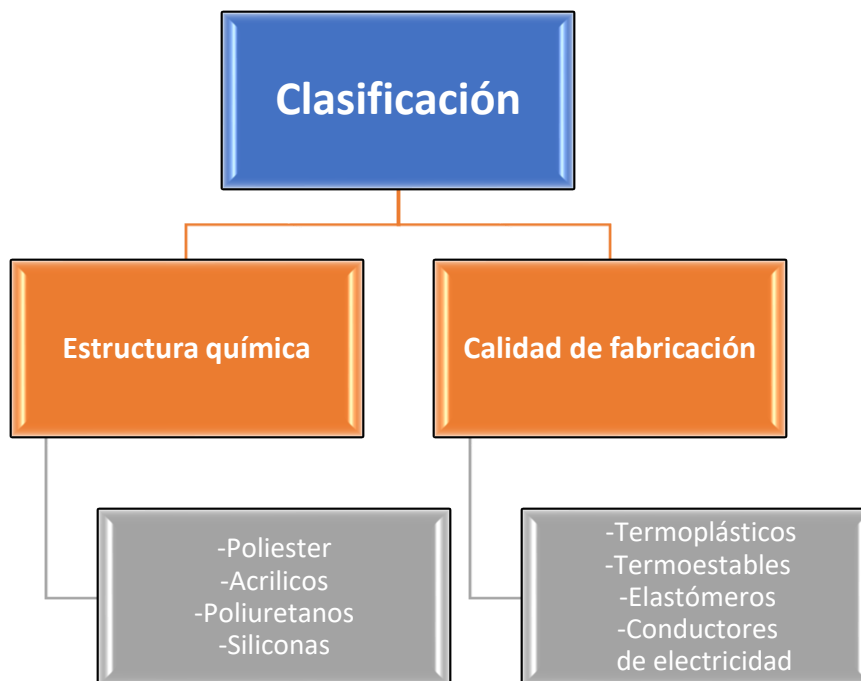
Polímeros

Los polímeros son considerados como compuestos donde la estructura que los conforma en su parte interna son una cadena larga de moléculas que se repiten y se encuentran enlazadas, además de acuerdo con su terminología polímeros se significa macromoléculas o moléculas grandes.

Los polímeros, denominados también así a los plásticos, que se obtienen de forma natural o sintética por la transformación, a su vez son materiales moldeables. Su composición es a base de materiales duraderos y ligeros lo que da como resultado un material con alta resistencia al ataque de los ácidos y agentes atmosféricos [11].

Estos polímeros poseen propiedades como, por ejemplo: menores costos de producción generalmente tienen baja densidad, son impermeables, funcionan como aislantes eléctricos, actúan como aislantes acústicos, tiene la ventaja de no corroerse, resiste a factores químicos, sin embargo, no funciona como aislante térmico ya que no resiste elevadas temperaturas.

Con respecto a su clasificación, se conoce que existen dos grupos los cuales son: clasificación de acuerdo a su estructura química y el otro que es por su calidad de acuerdo a su fabricación del producto.



Grafica 3: Clasificación de los polímeros

Fuente: Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata. Tesis de Grado

✓ **Termoplásticos**

Para la fabricación de este tipo de plástico se emplea un polímero que se transforma en un líquido homogéneo cuando el calentamiento se da a elevadas temperaturas y resulta un material duro cuando se llega a enfriar. Esta actividad de calentar y enfriar rápidamente se puede realizar sin ningún problema ya que va a seguir manteniendo sus cualidades.

Tabla 1: Tipo y Aplicación de plásticos

Tipo		Aplicaciones
Policloruro de vinilo (PVC)		<ul style="list-style-type: none"> • Tubos • Cables • Puertas • Ventanas
Poliestireno (PS)	Duro	<ul style="list-style-type: none"> • Juguetes • Maquinillas de afeitarse desechables • Chalecos salvavidas • Cascos de ciclismo
	Expandido (porexpan)	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento térmico y acústico • Vasos térmicos • Embalaje ("corcho blanco") • Cajas para productos congelados
Polietileno (PE)	Alta densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Utensilios domésticos (cubos, juguetes) • Contenedores industriales • Macetas • Bidones • Envases soplados • Caños
	Baja densidad	<ul style="list-style-type: none"> • Depósitos • Tubos y pomos • Bolsas de uso general • Cables eléctricos (aislantes)
Metacrilato (plexiglás)		<ul style="list-style-type: none"> • Faros • Lentes de contacto • Carteles luminosos • Gafas de protección • Prótesis de odontología
Teflón (fluorocarbonato)		<ul style="list-style-type: none"> • Utensilios de cocina (sartenes, paletas, etc.) • Revestimiento de aviones, cohetes y naves espaciales • Revestimiento de cables • Refrigerantes
Nailon (PA poliamida)		<ul style="list-style-type: none"> • Hilo de pescar • Levas • Engranajes • Tejidos • Medias
Celofán		<ul style="list-style-type: none"> • Embalaje • Envasado • Empaquetado
Polipropileno(PP)		<ul style="list-style-type: none"> • Tapas de envases • Bolsas • Carcasas
Poliéster (PET)		<ul style="list-style-type: none"> • Botellas de agua • Envases champú • Productos Farmacéuticos

Fuente: Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata. Tesis de Grado

✓ *Termoestables*

Es el producto que se obtiene en base a dos resinas líquidas, su proceso de formación es irreversible ya que es imposible retornar a la fase líquida, por ende, este tipo de plástico no puede ser reciclado, ya que si aumenta la temperatura se tiene como resultado la incapacidad de fundición del polímero y su posterior degradación. Este tipo de material termoestable posee la característica de no fundirse o deformarse cuando existe temperatura o calor, en todo caso pasan a una fase gaseosa antes que a una fase líquida.

Tabla 2: Tipos y aplicación de plásticos termoestables

Tipo	Aplicaciones
Poliuretano (PUR)	<ul style="list-style-type: none"> • Espuma para colchones y asientos • Aislamientos térmicos y acústicos • Correas de transmisión de movimientos • Ruedas de fricción • Pegamentos • Barnices
Resinas fenólicas (PH): Baquelitas	<ul style="list-style-type: none"> • Mangos y asas de utensilios de cocina • Ruedas dentadas • Carcasas de electrodomésticos • Aspiradores • Aparatos de teléfonos • Enchufes interruptores • Ceniceros
Melamina	<ul style="list-style-type: none"> • Accesorios eléctricos • Aislantes térmicos y acústico • Encimeras de cocina • Vajillas • Recipientes de alimentos

Fuente: Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata. Tesis de Grado

✓ *Elastómeros*

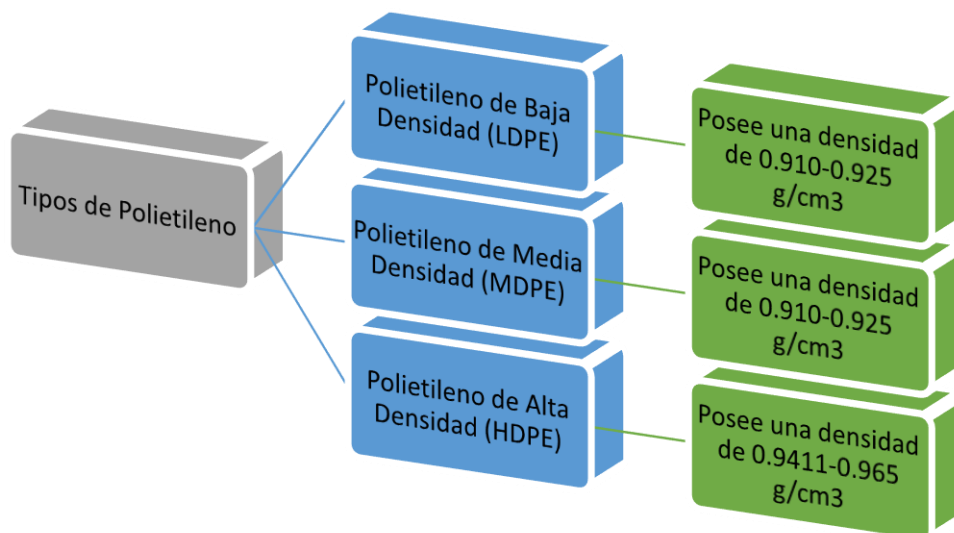
El término de este tipo de polímero proviene de polímero elástico, los cuales poseen la característica de ser elásticos y que a su vez suelen ser los de tipo termoestables o también termoplásticos. Este polímero posee un enlace covalente el cual garantiza que vuelva a su posición original cuando se deje de ejercer una presión en él. Se conoce que de acuerdo al material los elastómeros pueden alargarse de un 5% a un 700%.

Tabla 3: Tipo y aplicación de plásticos elastómeros

Tipo	Aplicaciones
Caucho natural	<ul style="list-style-type: none"> • Aislamiento Térmico y eléctrico • Colchones • Neumáticos
Caucho sintético	<ul style="list-style-type: none"> • Neumáticos • Volantes • Parachoques • Pavimentos • Tuberías • Esponjas de baño • Guantes
Neopreno	<ul style="list-style-type: none"> • Trajes de inmersión • Mangueras • Guantes

Fuente: Pastor, Salazar, Seminario, Tineo y Zapata. Tesis de Grado

Tipos de polietileno



Grafica 4; Tipos de polietileno

Fuente: Estudio de sinterizado de materiales compuestos a partir de polietileno reciclado y madera capirona recuperada mediante moldeo por compresión.

✓ **Polietileno de alta densidad (HDPE)**

El uso de este tipo de polietileno es muy común en la industria de los plásticos ya que la finalidad es la reducción de costos en su fabricación agregando material reciclado. Tiene como características de que es incoloro y traslucido, posee una significativa resistencia química, en comparación al polietileno de baja densidad este posee mayor rigidez, es complicado realizar algún tipo de modificación en la superficie como, por ejemplo: pintar, pegar o imprimir sobre él. A continuación, se detallara las propiedades físicas y mecánicas del HDPE:

Tabla 4: *Propiedades físicas de polietileno de alta densidad*

Propiedades Físicas del PEAD	Unidad	Valor
Densidad	Kn/m ³	9.41 - 9.65
Absorción	Mg a 96 h	< 0.5
Contracción	%	1.5 - 3
Resistencia a la tensión	N/mm ²	18 - 35
Elongación punto de ruptura	%	1000
Resistencia al impacto ranurado 1		
A 20 C	KJ/m	No romper - 6
A 20 C	KJ/m	>5
Temperatura de defeción		
1.86 N/mm ²	C°	50
0.45 N/mm ²	C°	75
Resistencia dieléctrica	KV/cm	>600

Fuente: *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*

Tabla 5: *Propiedades mecánicas.*

Propiedades Físicas del PEAD	Unidad	Valor
Coefficiente de Fricción		0.29
Dureza - Rockwell		0.60 - 73- Shore
Módulo de Tracción	Gpa	0.5 - 1.2
Relación de Posson		0.46
Resistencia a la Tracción	Mpa	15 - 40
Resistencia al impacto Izod	J m ⁻¹	20 - 210

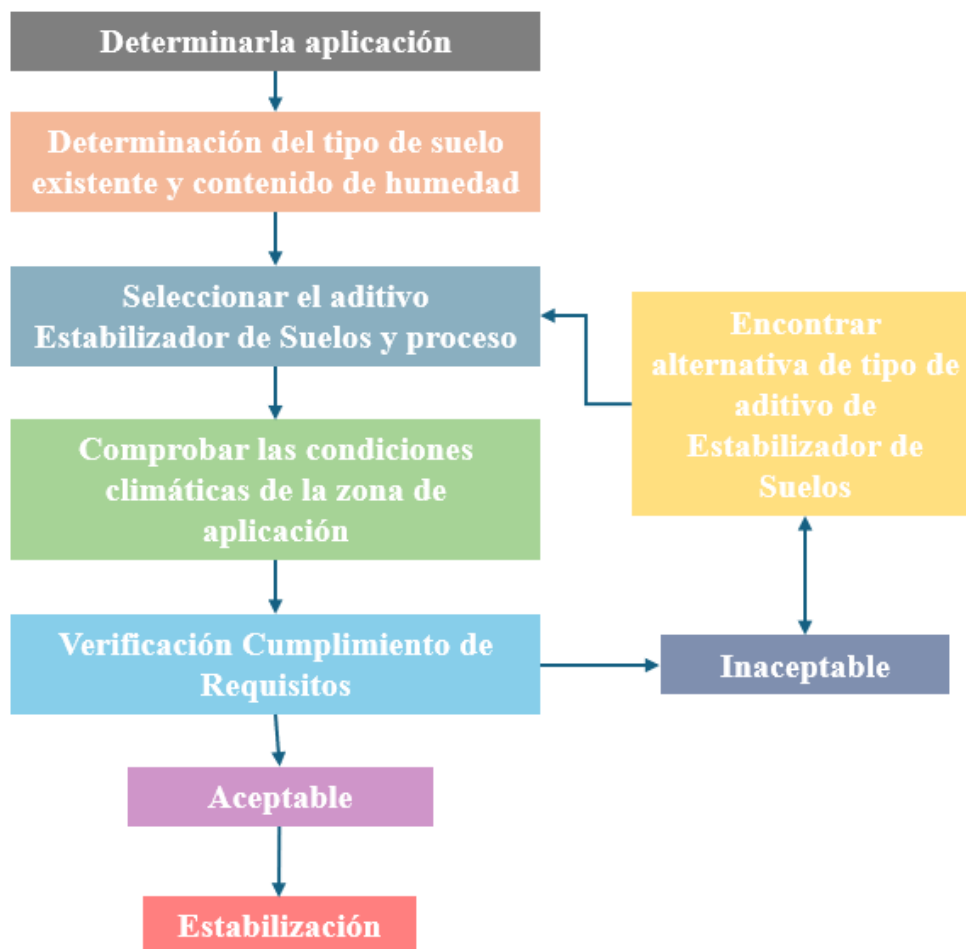
Fuente: *Estudio de las propiedades y aplicaciones industriales del polietileno de alta densidad (PEAD)*

Ahora, para la identificación del producto para su reciclaje, primero lo que se debe saber es que, a este plástico, es decir el polietileno de alta densidad es considerado reciclaje secundario o mecánico y para identificarlo es visualizando el número dos, encerrado con tres flechas una detrás de la otra.

Estabilización de suelos

Las estabilizaciones de suelos se consideran a la acción del mejoramiento que se le hace a las propiedades físicas y mecánicas, donde el suelo presenta deficiencia, y dicho mejoramiento es a través de procesos mecánicos o añadiendo materiales químicos, naturales o también sintéticos tal como lo indica el Manual de Carreteras en su Sección Suelos y Pavimentos y que es aplicable para suelos cuyas subrasantes son de condición pobre.

Procedimiento para la selección del tipo de estabilización que se aplicara.



Grafica 5: Procedimiento para la selección del tipo de estabilización

Fuente: Manual de Carreteras en su Sección y Pavimentos

Los tipos de estabilizaciones son las siguientes:

- ✓ Con cemento: adición de 2-12%
- ✓ Con emulsión: adición de 4-8%
- ✓ Con cal: adición de 2-8%
- ✓ Con cloruro de calcio: adición de 1-3% del peso del suelo
- ✓ Con cloruro de sodio: adición de 50-80 kg/m³
- ✓ Con cloruro de magnesio: adición de 50-80 kg/m³
- ✓ Con enzimas: adición de 1L por 30-33 m³
- ✓ Con aceites sulfonados: de acuerdo con especificaciones del fabricante

Impacto Ambiental en obras de construcción

Medio Ambiente

Según Conesa el medio ambiente se define como: “Conjunto de personas, animales o plantas que se encuentran en el planeta tierra, al cuidado de todos para su mejor calidad de vida” [12]

Otra definición sería que es el medio indisociable del ser humano, de la organización y de su progreso. [12]

Calidad Ambiental

Se define como calidad ambiental al estado de conservación de un factor ambiental considerado, de manera tanto física, como biológica y ecológica, en otras palabras, como la salud presente y futura del hombre como de los animales y vegetales. [12]

Normas de Calidad Ambiental

Es el conjunto de requisitos que llegan a definir que es la calidad optima de algún elemento ambiental. [12]

Estándares de Calidad Ambiental

Está compuesto de las normas, procesos e instrumentos que llegan a ser establecidos por una autoridad competente en el tema, con el fin de promover las políticas de prevención cuya finalidad es la de proteger la salud humana en cualquier aspecto. [12]

Impacto Ambiental

Se dice que existe un impacto ambiental cuando el accionar del ser humano produce una acción desfavorable o favorable en el medio ambiente. [12]

Evaluación de Impacto Ambiental

Su principal objetivo es el de interpretar los impactos ambientales que se podrían generar en el medio ambiente debido al accionar humano, como las construcciones de obras de saneamiento, agua potable, pavimentaciones o estructuras. [12]

Matriz de Leopold

La matriz de Leopold se desarrolló en el año de 1971, como respuesta a la “Ley Política Ambiental”, esta matriz consiste en establecer un sistema para analizar los impactos (no de forma cuantitativa), cuyo principal objetivo se centra en determinar que los impactos ocasionados por diferentes acciones serán examinados desde un punto de vista ambiental. [12]

Materiales y Métodos

Metodología

Tipo de investigación.

- *Tipo de investigación*

El estudio elaborado de esta investigación vendría ser de tipo aplicada, donde se busca aplicar conocimientos previos en casos prácticos con el fin de utilizar el polietileno de alta densidad para reforzar las propiedades del suelo, que en este caso lo es la subrasante.

- *Nivel de investigación*

El nivel o alcance de esta investigación se formaliza de tipo descriptivo, explicativo y correlacional, puesto que partimos de la observación y toma de datos, para poder fundamentar los resultados productos de lo que ocurre durante el proceso de la realización del estudio.

- *Diseño de investigación*

El diseño de este proyecto se basa de tipo experimental, puesto que tiene como base la realización en el laboratorio diferentes ensayos y se observa el comportamiento que genera la incorporación del polietileno de alta densidad al suelo natural.

Población

- *Población*

La población en esta investigación es la zona del Tramo 1-1101 Malecón Ureta, ubicado en la provincia de Lambayeque. En la cual se recolecto material arcilloso de 3 calicatas (C-01, C-02, C-03) anexando las siguientes imágenes de lugar de ubicación.

- *Muestra*

De la población en estudio se tiene que son tres calicatas pertenecientes al área de estudio y la recolección de muestras es de acuerdo con la Norma CE.010 Pavimentos Urbanos.

La obtención de las muestras se realizó de una manera saltada, en la cual se busca evaluar las muestras y realizar que el material extraído mejore la estabilización del suelo.

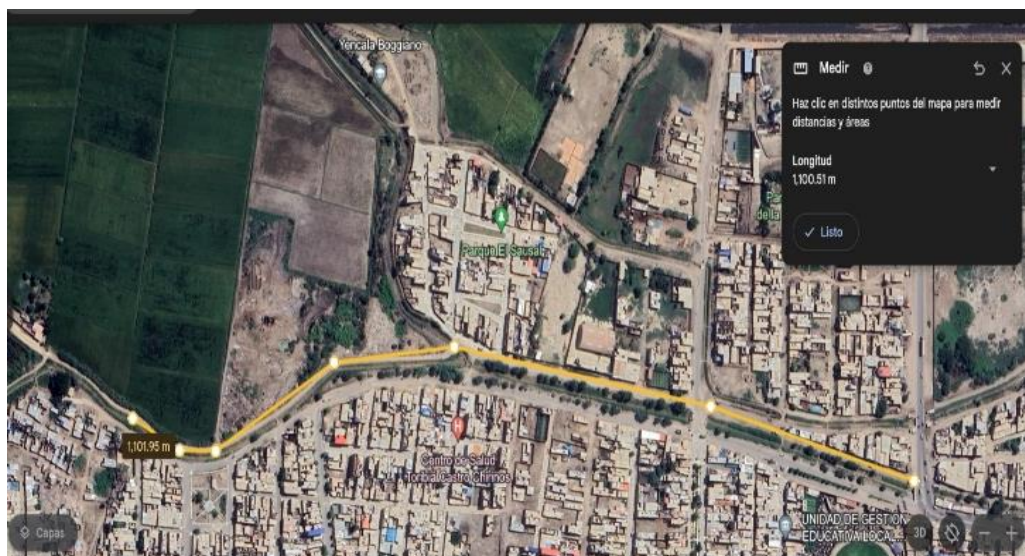


Ilustración 5: Lugar del área de población del proyecto

Fuente: Elaboración Propia

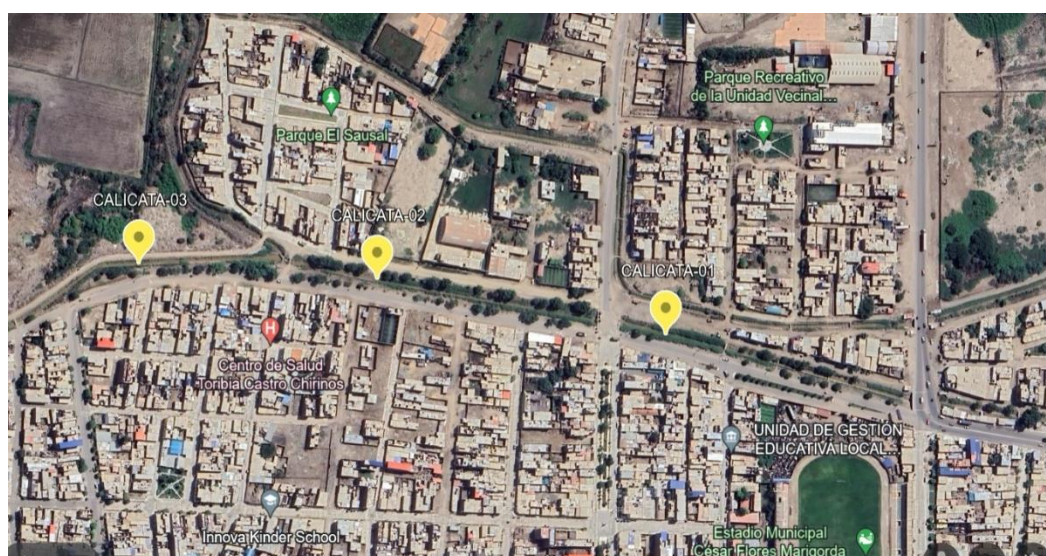


Ilustración 6: Ubicación de la calicata C-01, C-02, C-03

Fuente: Elaboración Propia

- *Muestreo*

Respecto al muestreo, se considero en la investigación el método no probabilístico por conveniencia y juicio, de modo que, está acorde el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú dependiendo de principios según la norma CE 010 “Pavimentos Urbanos”, exactamente en el Capítulo 3, punto 3.2.2 en el cual plantea: “El número de puntos de investigación será de acuerdo con el tipo de vía según se indica en la Tabla 3, con un mínimo de tres (03).

Por consiguiente, esta investigación sostiene que la ejecución se da en zona urbana, por ello se estima el tipo de via a manera de colector, tal como de longitud un total de 1100 m, por consiguiente, el resultado a ejecutar se dispone a un solo punto de trabajo, puesto que generalmente es el mínimo que se considera al realizar 03 para cual quien ocasión

CALICATA C-01 ALTURA: 170




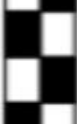


ESPEJOR	DESCRIPCION	SIMBOLD	ESTRATO	PROF.
0.15 m	Materia organica	Pt		
0.40 m	Arcilla de baja plasticidad de color maron claro	CL		
1.15m	Arcilla de baja plasticidad de color maron oscuro	CL		

Ilustración 7: Registro de excavación C-1

Fuente: Elaboración Propia





CALICATA C-02		ALTURA 1.60		
ESPESOR	DESCRIPCION	SIMBOLO	ESTRATO	PROF.
0.15 m	Materia organica	Pt		
0.85 m	Arcilla de baja plasticidad de color maron claro	CL		0.50 m 1.00 m
0.60 m	Arcilla de baja plasticidad de color maron oscuro	CL		1.50 m

Ilustración 8: Registro de excavación C-2

Fuente: Elaboración Propia

CALICATA C-03 ALTURA: 1.65


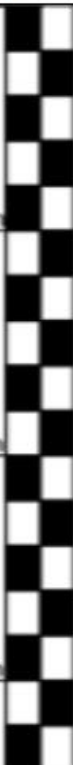


ESPESOR	DESCRIPCION	SIMBOLO	ESTRATO	PROF.
0.15 m	Materia organica	Pt		
0.50 m	Arcilla de baja plasticidad de color maron claro	CL		0.50 m
1.00 m	Arcilla de baja plasticidad de color maron oscuro	CL		1.00 m 1.50 m

Ilustración 9: Registro de excavación C-3

Fuente: Elaboración Propia

Criterios de selección

Los principios para elegir los puntos a manejar en esta investigación, están manejados como se expreso anteriormente que la sección del muestreo propiamente dicho, recalando que se trabajó bajo la especificaciones de la norma CE 010 “Pavimentos Urbanos”, y señalando que se trabajara tres muestras, por ende examinar la homogeneidad de los estratos, y así permitiendo manejar la elección del segundo estrato, puesto que se caracterizo por ser el que tenia mayor volumen en una profundidad razonable para ser empleado como subrasante.

Operacionalización de variables

➤ Variable independiente

El polietileno de alta densidad (HDPE) reciclado es la variable independiente ya que en la presente investigación será incorporado en determinados porcentajes.

➤ Variable dependiente

La subrasante es la variable dependiente, que será la muestra de suelo que se obtendrá de la zona de estudio y a la cual se le analizará su comportamiento en función a la adición del polietileno de alta densidad.

Tabla 6: Operacionalización de variables

VARIABLE	TIPO DE VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA	TECNICAS E INSTRUMENTOS
Polietileno de Alta densidad (HDPE) reciclado	Independiente	Estructura	Composición y propiedades del Polímero	mm	Medición
		Dosificación		Porcentaje	
		Propiedades físicas	Composición Granulometrica	Porcentaje	
Subrasante	Dependiente		Humedad natural	Porcentaje	NTP 339.127
			Limites de Atterberg	Porcentaje	NTP 339.129:1999
		Propiedades mecánicas	Ensayo de Compactación de Proctor Modificado	Porcentaje	NTP 339.141
		Razón de Soporte California (CBR)	Porcentaje	NTP 339.145:1999	

Fuente: Elaboración Propia

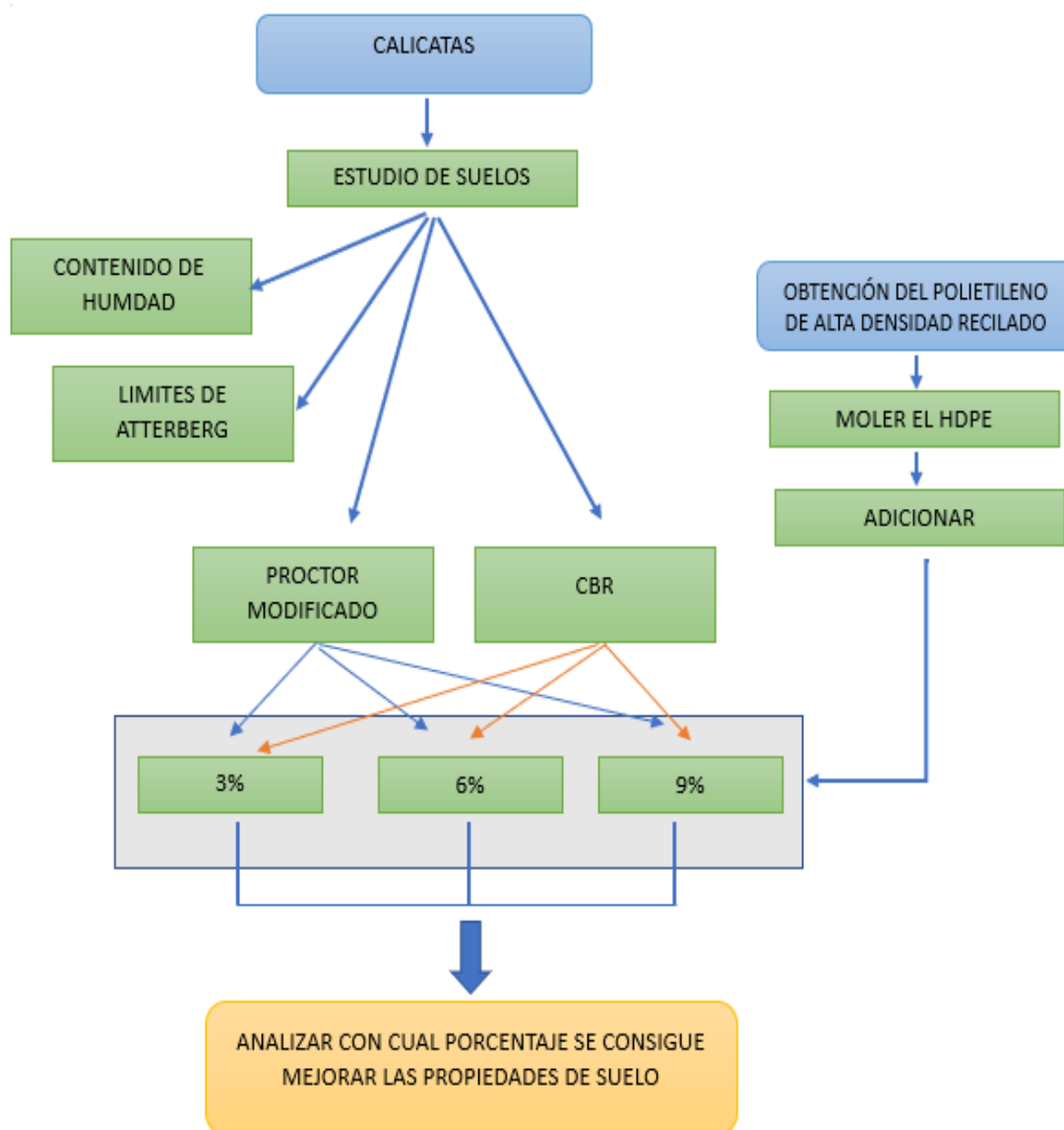
Técnica e Instrumentos de Recolección de datos

- Técnicas:

La capacidad para esta investigación es observación directa, ya que se presenciará todo el procedimiento de forma directa y de primera mano.

- Instrumentos:

Estos ayudan a realizar el procedimiento en un determinado orden y con los cuales se definen las propiedades de la muestra. Para esta investigación se consideró ensayos como, por ejemplo: la determinación de la humedad, análisis granulométrico, límites de Atterberg, Proctor modificado, Relación de Soporte de California (CBR).



Grafica 6: Flujograma de la estrategia del procedimiento

Fuente: Elaboración Propia

Procedimientos

Simultáneamente se detallará el orden de las actividades que se trabajó para el desarrollo de esta investigación.

- *Obtención del material de Polietileno de Alta Densidad (HDPE)*

El acopio de la recolección del material a utilizar se dio de los desperdicios que generan los agricultores, puesto que son residuos sólidos desechados después de curación de pestes en sus campos. Posteriormente son adecuadamente lavadas, para llevar a la molienda a triturar.



Ilustración 10: *Recolección de envases de polietileno de alta densidad (HDPE)*

Fuente: *Elaboración Propia*

La actividad de trituración se llevo a cabo en un molino industrial, como se observa en la siguiente imagen.



Ilustración 11: *Molienda de polietileno de alta densidad HDPE*

Fuente: *Elaboración Propia*

- **Obtención del material suelo**

Extracción de muestras de las tres calicatas ubicadas en el tramo malecón Uretra 1-100 km.

- La ubicación de la calicata C-01 se realizó a 0 + 300 km del tramo seleccionado malecón uretra, la cual fue a una profundidad de 1.70m



Ilustración 12: Calicata C-01 a 1.70 m profundidad

Fuente: Elaboración Propia

- La ubicación de la calicata C-02 se realizó a 0 + 600 km del tramo seleccionado malecón uretra, la cual fue a una profundidad de 1.60m.

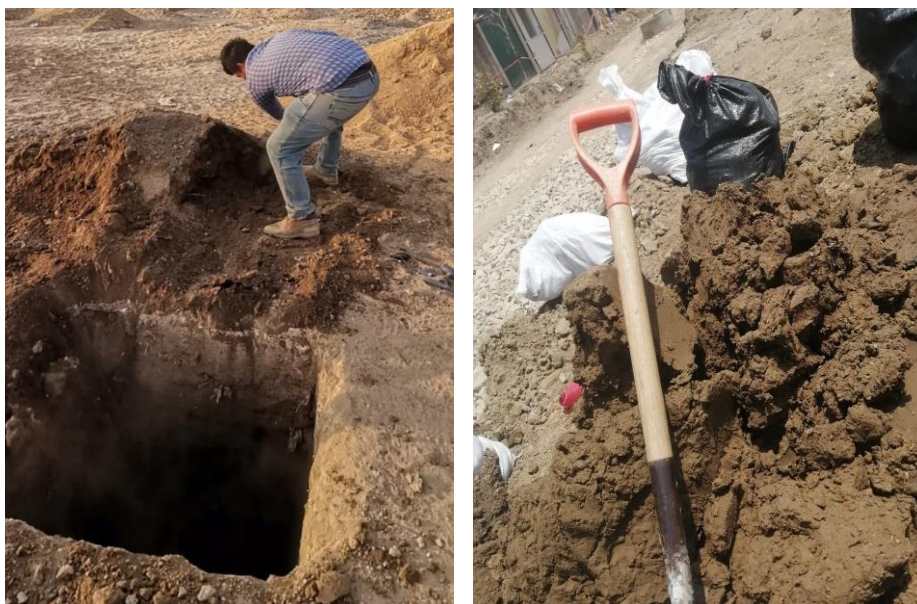


Ilustración 13: Muestra de calicata C-02 a 1.60 m de profundidad

Fuente: Elaboración Propia

- La ubicación de la calicata C-03 se realizó a 0 + 900 km, del tramo seleccionado malecón uretra, la cual fue a una profundidad de 1.65m



Ilustración 14: Calicata C-03 a 1.65m de profundidad

Fuente: Elaboración Propia

Al momento de realizar la actividad de las calicatas se observó detalles de la muestra como la uniformidad en campo de estudio, paralelo a ello se eligió el estrato para la investigación, puesto que uno de ellos fue más favorable para el estudio como subrasante. Además, el área de excavación fue de 1.00 m x 1.00 m aproximadamente, con profundidades de 1.65 m y 1.60 m determinadamente, finalmente el material a trabajar se almacena en sacos.

Previamente el material obtenido contenía humedad excesiva a simple vista, en consecuencia, que el suelo a trabajar es arcilloso, de modo que se dio un secado a temperatura ambiente.



Ilustración 15: Secado a ambiente a la Muestra extraída húmeda

Fuente: Elaboración Propia

- **Ensayos del suelo**

A continuación, se mencionarán los diferentes ensayos de las muestras obtenidas, con la intención de conocer sus propiedades y la clasificación

1. **Contenido de Humedad** (NTP 339.160-2001, MTC E 108)

Se inicio pesando 1100 gr , 1100 gr y 1066 gr de las tres muestras extraídas en su condición natural (W_w), no se consideró el peso del utensilio de apoyo. Posteriormente se lo llevo a la estufa durante 24 horas, y así obtener su peso seco (W_s)



Ilustración 16 : Ensayo de contenido de humedad

Fuente: Elaboración Propia

2. **Análisis Granulométrico por tamizado** (MTC E 107)

Se inicio triturando la muestra para tener la facilidad de empezar con el trabajo, puesto que al ponerlo a secar a ambiente quedo en formas de piedras grandes, luego se tomó una muestra característica, partiendo desde el cuarteo del suelo, para llevarla al horno durante 24 horas. Posteriormente del tiempo dicho en la estufa, se procede a un lavado por el tamiz N°200, donde nuevamente se lo coloca al horno 24 horas más. Seguidamente después de la segunda vez puesta al horno, se deja enfriar, para luego tomar el peso de esta última muestra seca. Finalmente se comienza a dar el tamizado por el zarandeo y pesar el retenido del material según tamiz.



Ilustración 17: Análisis Granulométrico por tamizado y trituración de muestra seca

Fuente: Elaboración Propia

3. Límites de Atterberg

Limite Líquido

Se dispuso una muestra que pase por el tamiz N.º 40 con un peso seco de 200 gr respectivamente en un depósito, y a ello se agregó una cantidad de agua destilada, de modo que con ayuda de la espátula se pueda lograr una mezcla uniforme, ya teniendo una homogeneidad de esta mezcla será puesta en la Copa de Casagrande. Seguidamente se anivela la mezcla, para luego con un acanalador señalar justo por el centro de la Copa y generar dos partes separadas por esta acción, simultáneamente se proporcionan golpes, que serán contados hasta que la abertura por la mitad hecha anteriormente sea cerrada, de modo que esta actividad sea terminada, se tienen en cuenta el registro de golpes y la sección de la zona central de la copa se toma de muestra con intención de disponer y saber el contenido de humedad.

Este mismo método se realizó en 03 muestras más, con intención de cuantificar más puntos distintos con respecto al contenido de humedad.



Ilustración 18: Ensayo de limite liquido con equipo de Copa de Casagrande

Fuente: Elaboración Propia

Limite Plástico

Se dispuso aproximadamente de muestra 20 gr de la mezcla anterior elaborada para el límite líquido, a partir de eso se preparó con ayuda de la espátula manualmente el amaso para perder humedad y sostener una solidez de la cual ayudara al siguiente paso, que es justamente manipulación de este material con una placa de vidrio, friccionando hasta tener rollitos, posteriormente estos son puestos a la estufa cuantificar y determinar su porcentaje de humedad. Finalmente, este desarrollo de la actividad descrita se siguió 3 a 4 veces más.

4. **Ensayo de Compactación de Proctor Modificado** (NTP 339.141-1999, MTC E 115)

La muestra debe estar seca y desarticulada para que pase el tamiz N°4, vinculada a esto se propone a trabajar por el método A, del cual se dispone cuatro especímenes de 3kg. Posteriormente se define la masa y volumen del molde de 4", se añade en el molde la primera capa a la cual se le realizara 25 golpes seguidos, de las evidencias anteriores se efectúa con 4 capas más, recordando que se considera el mismo espesor para cada una y por ende la misma cantidad de golpes uniformemente, al terminar esta actividad se aprecia q la ultima capa permanece en el collarín para que luego permita enrasarse. Posteriormente se toma anotación de la masa del espécimen, y también separar una porción de muestra con la cual se sabrá el contenido de humedad mediante la estufa. Finalmente se realiza la misma actividad descrita para 4 puntos compactados, con distintos porcentajes de contenido de humedad.



Ilustración 19: Ensayo de Proctor modificado

Fuente: Elaboración Propia

5. California Bearing Ratio (CBR)

- Fase de compactación

Se tiene datos del ensayo de Proctor Modificado con respecto a la humedad óptima, luego se dispuso la toma de una muestra con 5kg para cada molde CB, además se nota la humedad natural de la muestra con la intención de saber la cantidad que se tiene que añadir de agua a necesitar.



Ilustración 20: Peso de agua para la fase de compactación

Fuente: Elaboración Propia

Paso siguiente se toma nota sobre el peso de los moldes, para armarlos colocando el collar y disco espaciador, paralelamente en la superficie un papel de filtro del mismo diámetro y espesor que el disco. Puesto a ello ya teniendo listo el molde se da comienzo al desarrollo de compactación del espécimen, con lo esencial de agua para conseguir característicamente la humedad y densidad querido en el suelo. En esta actividad se desarrollaron por capa golpes de 56,25,10 con ayuda del equipo de compactación estándar, finalizando la compactación se separa el collar , para brindar una equiparar el nivel del espécimen .



Ilustración 21: Toma de peso de moldes y preparación de estos.

Fuente: Elaboración Propia

- *Fase de inmersión*

Esta fase se da la anotación de lecturas iniciales para especificar el grado de expansión. Puesto que la actividad de inversión básicamente es sumergir al molde en agua, donde se debe observar que este tenga acceso de las dos partes de la muestra, en seguida se mantienen en agua por 96 horas (4 días), a ello se toma a calcular cada 24 horas su grado de expansión. Finalmente teniendo ya culminado la fase de inmersión y retirado la muestra sumergida en agua, con un reposo de 15 minutos, se procede a pesar la muestra retirando la sobrecarga y placa.



Ilustración 22: Ensayo de CBR y la fase inmersión
Fuente: Elaboración Propia

- *Fase de penetración*

La etapa final se trabaja con un mecanismo como de las prensas, donde se desempeña una fuerza hacia el pistón de penetración a una velocidad constante de 1.27 mm (0.05”) por minuto, acabando esta actividad se retira el molde para examinar el contenido de humedad.



Ilustración 23: Ensayo de CBR y equipo de prensa de carga.
Fuente: Elaboración Propia

- *Ejecución del Tramo de prueba*

Tramo de estudio

El área de estudio del cual se basó el proyecto para la ejecución del tramo de prueba se detalla en el siguiente cuadro:

Tabla 7: Ubicación del área de estudio

AREA DE ESTUDIO	
Departamento	Lambayeque
Provincia	Lambayeque
Tramo	1-1101
Calle	Malecón Ureta

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 24: Área de estudio y tramo de ejecución.

Fuente: Elaboración Propia

La sección seleccionada para el tramo de prueba se aprecia enmarcada de rojo, que tiene una medida longitudinal de 40 m aproximadamente, puesto ha ello se tiene referencias de la calicata en puntos anteriores, para conocer el tipo de suelo a estabilizar en esa sección. Además, las condiciones climáticas presente en esta zona son tipo subtropical y la topografía es plana, puesto ya que particularmente se caracteriza la costa.

Ejecución del tramo experimental

El área longitudinal mencionada de trabajo esta puesta por las siguientes partidas como: Excavación del área a mejorar (material retirado con las condiciones desfavorables), colocación de material Polietileno de Alta Densidad (HDPE) para el mejoramiento de la subrasante, y finalmente se da la compactación de esta, para continuar con las siguientes capas del mejoramiento del suelo propiamente dicho.



Ilustración 25: Partida de excavación y expansión del HDPE en el suelo.

Fuente: Elaboración Propia



Ilustración 26: Partida de compactación de la subrasante con HDPE.

Fuente: Elaboración Propia

Resultados

Muestras naturales

- *Contenido de Humedad de las muestras naturales*

En la siguiente tabla se muestra los cálculos del ensayo de Humedad que se hizo a las tres calicatas, siendo la profundidad diferente de las tres profundidades.

Tabla 8: Resumen del contenido de humedad de muestras naturales

Contenido de Humedad			
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Humedad W (%)
C-1	M-1	1.7	31.5
C-2	M-1	1.6	13.3
C-3	M-1	1.65	4.5

Fuente: Elaboración Propia

- *Análisis Granulométrico por tamizado de muestras naturales*

En la siguiente tabla se expone los porcentajes de los tamices N° 200 y N°4, detallando la parte que pasan de estos, también se detalla los porcentajes de grava, arena, limo- arcilla encontrados en cada calicata (03 calicatas).

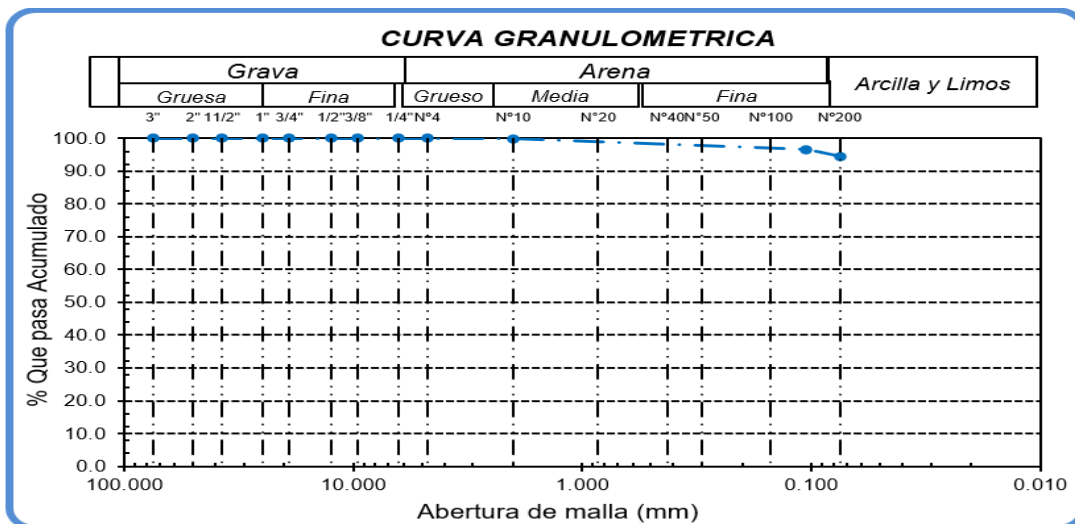
Tabla 9: Resumen de los análisis granulométricos por tamizado de las muestras

Análisis granulométrico por tamizado							
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	% Que pasa N°200	% Que pasa N°4	Distribución Granulometría		
					% Grava	% Arena	%Limo y Arcilla
C-1	M-1	1.7	94.4	100	0	5.6	94.4
C-2	M-1	1.6	95.8	100	0	4.2	95.4
C-3	M-1	1.65	87.1	100	0	12.9	87.1

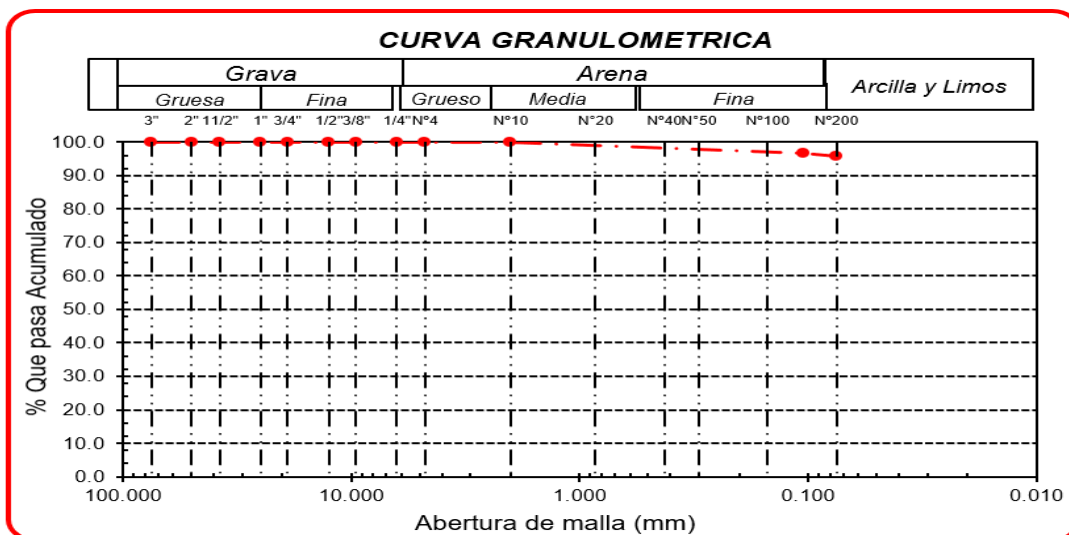
Fuente: Elaboración Propia

Por consiguiente, se va a definir las curvas granulométricas para las tres Muestras mencionadas, en los siguientes gráficos:

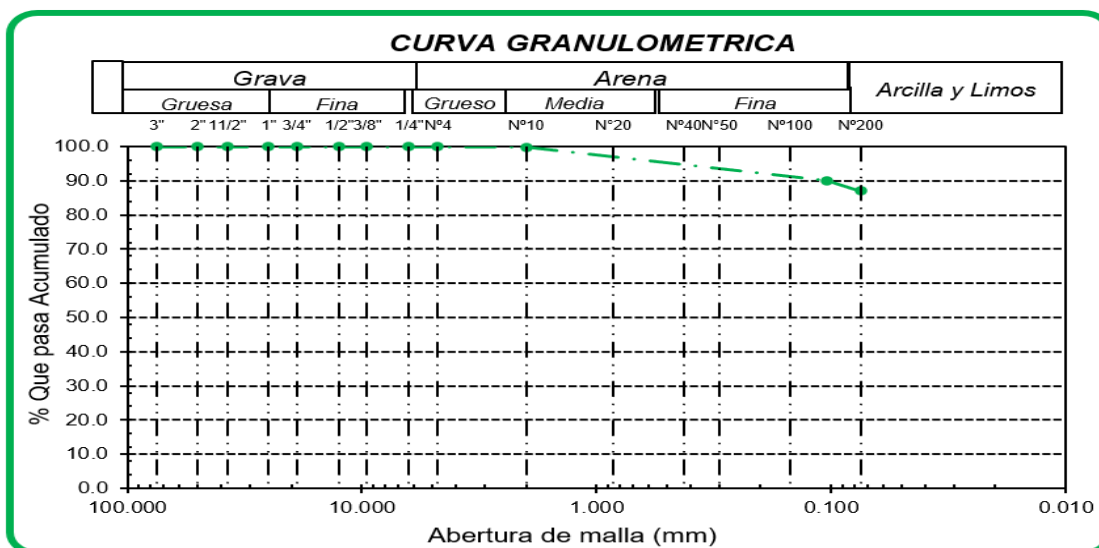
Grafica 7: Curva granulométrica de la muestra M-1 de la calicata 1



Grafica 8: Curva granulométrica de la muestra M-1 de la calicata 2



Grafica 9: Curva granulométrica de muestra M-1 de calicata 3



- **Límites de Atterberg de muestras naturales**

En la siguiente tabla son los cálculos sintetizados del índice de plasticidad, límite líquido y plástico, para cada calicata correspondiente.

Tabla 10: Resumen de los límites de Atterberg de las muestras naturales

Limite liquido, limite plastico e indice de pasticidad					
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	LL %	LP %	IP %
C-1	M-1	1.7	48.08	20.41	27.67
C-2	M-1	1.6	41.66	23.39	18.27
C-3	M-1	1.65	41.6	19.98	21.62

Fuente: Elaboración Propia

- **Clasificación de los suelos método SUCS de las muestras naturales**

En la siguiente tabla se expresa especificaciones encontradas según la clasificación de suelos siguiendo el método SUCS, se estimó el trabajo de granulometría por tamizado con los porcentajes que pasan los tamices N°4 y N°200, además con características plásticas.

Tabla 11: Clasificación de suelos en sistema SUCS de las muestras naturales

clasificación de suelos en el sistema SUCS			
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	SUCS
C-1	M-1	1.7	CL - Arcilla de plasticidad baja
C-2	M-1	1.6	CL - Arcilla de plasticidad baja
C-3	M-1	1.65	CL - Arcilla de plasticidad baja

Fuente: Elaboración Propia

- **Clasificación de los suelos método AASHTO de las muestras naturales**

En la siguiente tabla se expresa especificaciones encontradas según la clasificación de suelos siguiendo el método AASHYO, se estimó el trabajo de granulometría por tamizado con los porcentajes que pasan los tamices N°10, N°40 y N°200, además con características plásticas y su índice de grupo.

Tabla 151: Clasificación de suelos en el sistema AASHTO

Clasificación de suelos en el sistema AASHTO						
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Grupo	AASHTO		
				Clasificación General	Constituyentes principales	Características de sub-grado
C-1	M-1	1.7	A-7-6(17)	Material limo arcilla	Suelos arcillosos	Pobre malo
C-2	M-1	1.6	A-7-6(11)	Material limo arcilla	Suelos arcillosos	Pobre malo
C-3	M-1	1.65	A-7-6(13)	Material limo arcilla	Suelos arcillosos	Pobre malo

Fuente: Elaboración Propia

- **Proctor Modificado de las muestras naturales**

Respecto a cada muestra de las calicatas se le realizó el ensayo de Proctor Modificado, mediante el Método "A", determinando la densidad máxima seca y óptimo contenido de humedad.

Tabla 337: Resumen de Proctor modificado de muestras naturales

Proctor modificado				
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Densidad Máxima Seca (gr/cm ³)	Óptimo Contenido de Humedad (%)
C-1	M-1	1.7	1.89	14.31
C-2	M-1	1.6	1.812	15.98
C-3	M-1	1.65	1.831	14.2

Fuente: Elaboración Propia

- **California Bearing Ratio de las muestras naturales**

Se detalla los cálculos para cada muestra de la calicata con respecto al ensayo del CBR, y este cuenta con dos valores de penetración, tal como de 0.1" y 0.2", y a su vez estos se clasifican en 95% y 100% de la MDS respectivamente.

Tabla 529: Resumen de Proctor modificado de muestras naturales

Californian Bearing Ratio						
Calicata	Muestra	Profundidad (m)	Valor del CBR			
			Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
			95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-1	M-1	1.7	2.0%	2.0%	2.0%	3.0%
C-2	M-1	1.6	3.0%	4.0%	3.0%	5.0%
C-3	M-1	1.65	4.0%	6.0%	4.0%	7.0%

Fuente: Elaboración Propia

Muestras de la C-1 con adición de HDP

- *Proctor Modificado*

- Se detalla los cálculos para la calicata C-01 con respecto al Proctor Modificado de acuerdo con los porcentajes de adición de HDPE (3%,6%,9%), además se obtuvo como resultados la Densidad Máxima Seca (gr/cm³) y optimo contenido de humedad (%).

Tabla 693: Proctor Modificado - Muestras de la C-1 con adición de

Proctor modificado				
Calicata	Muestra	% HDPE	Densidad Máxima seca (gr/cm ³)	Optimo Contenido de Humedad (%)
C-1	M-1	3%	1.735	16.570
	M-2	6%	1.714	16.400
	M-3	9%	1.681	16.480

Fuente: Elaboración Propia

Muestras de la C-2 con adición de HDP

- *Proctor Modificado*

Se detalla los cálculos para la calicata C-02 con respecto al Proctor Modificado de acuerdo con los porcentajes de adición de HDPE (3%,6%,9%), además se obtuvo como resultados la Densidad Máxima Seca (gr/cm³) y optimo contenido de humedad (%).

Tabla 880: Proctor Modificado - Muestras de la C-2 con adición de HDP

Proctor modificado				
Calicata	Muestra	% HDPE	Densidad Máxima seca (gr/cm ³)	Optimo Contenido de Humedad (%)
C-2	M-1	3%	2.028	15.130
	M-2	6%	1.821	15.200
	M-3	9%	1.722	16.130

Fuente: Elaboración Propia

Muestras de la C-3 con adición de HDP

- Proctor Modificado

Se detalla los cálculos para la calicata C-03 con respecto al Proctor Modificado de acuerdo con los porcentajes de adición de HDPE (3%,6%,9%), además se obtuvo como resultados la Densidad Máxima Seca (gr/cm³) y optimo contenido de humedad (%).

Tabla 1066: Proctor Modificado - Muestras de la C-3 con adición de HDP

Proctor modificado				
Calicata	Muestra	% HDPE	Densidad Máxima seca (gr/cm ³)	Optimo Contenido de Humedad (%)
C-3	M-1	3%	1.727	17.320
	M-2	6%	1.714	16.730
	M-3	9%	1.631	20.470

Fuente: Elaboración Propia

Muestras de la C-1 con adición de HDP

- California Bearing Ratio

- En esta tabla de detalla los resultados de la calicata 01, obtenidos de los ensayos de CBR para la muestra natural con adición de HDPE en sus respectivos porcentajes (3%, 6%, 9%).

Tabla 1348: Resumen del ensayo CBR – Muestra de C-1 con adición HDP

Californian Bearing Ratio						
Calicata	Muestra	HDPE (%)	Valor del CBR			
			Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
			95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100%de la MDS
C-1	M-1	3%	4.5	4.9	4.7	6.2
	M-2	6%	13.4	14.6	15.9	17.9
	M-3	9%	21	23.6	23.8	28.3

Fuente: Elaboración Propia

Muestras de la C-2 con adición de HDP

- California Bearing Ratio

En esta tabla se detallan los resultados de la calicata 02, obtenidos de los ensayos de CBR para la muestra natural con adición de HDPE en sus respectivos porcentajes (3%, 6%, 9%).

Tabla 1460: Resumen del ensayo CBR – Muestra de C-2 con adición HDP

Californian Bearing Ratio						
Calicata	Muestra	HDPE (%)	Valor del CBR			
			Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
			95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-2	M-1	3%	10.27	10.57	11.92	14.08
	M-2	6%	13.3	14.3	15.1	18.4
	M-3	9%	20.9	24.1	24.9	30.3

Fuente: Elaboración Propia

Muestras de la C-3 con adición de HDP

- California Bearing Ratio

En esta tabla se detallan los resultados de la calicata 03, obtenidos de los ensayos de CBR para la muestra natural con adición de HDPE en sus respectivos porcentajes (3%, 6%, 9%).

Tabla 1572: Resumen del ensayo CBR – Muestra de C-2 con adición HDP

Californian Bearing Ratio						
Calicata	Muestra	HDPE (%)	Valor del CBR			
			Penetración 0.1"		Penetración 0.2"	
			95% de la MDS	100% de la MDS	95% de la MDS	100% de la MDS
C-3	M-1	3%	11.8	13.2	11.8	16.9
	M-2	6%	6.2	6.9	6.7	9.1
	M-3	9%	17.2	19.5	31	25.2

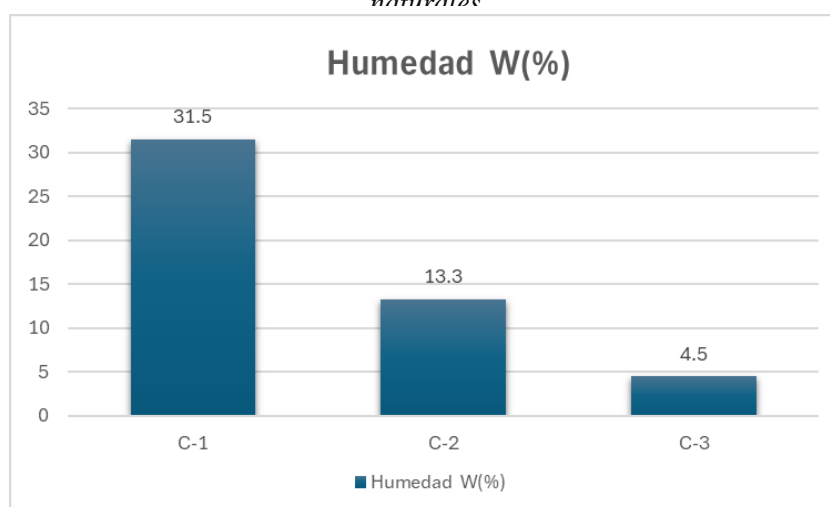
Fuente: Elaboración Propia

Discusión

Contenido de humedad de muestras naturales

En el siguiente grafico observamos que la muestra natural sin adición HDPE, de las calicatas (C-01, C-02, C-03), presentan diferente porcentaje de contenido de humedad, apreciamos que la calicata 01 tiene el mayor contenido de humedad con un valor de 31.5%, por el otro lado la calicata 03 tiene el menor contenido de humedad con un valor de 4.5%.

Tabla 1684: Resumen de contenido de humedad de muestras naturales



Fuente: Elaboración Propia

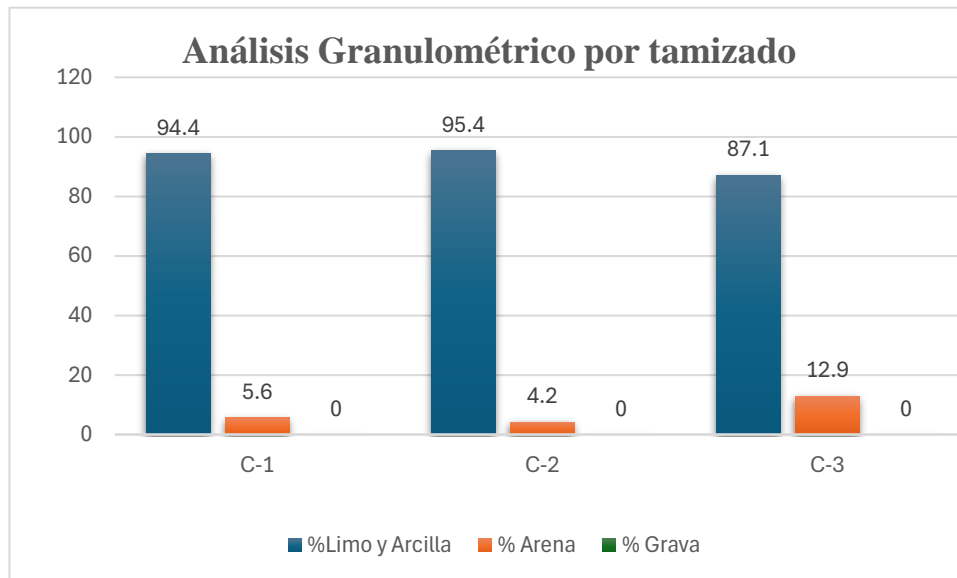
Los datos obtenidos del análisis del contenido de humedad en la muestra natural nos dejan realizar una comparación con el nivel óptimo de humedad, hallado en el ensayo de Proctor modificado para todas las muestras que tiene HDPR adicionado. Cuando la humedad natural del suelo es menor a la humedad optima, es obligatorio agregar agua durante el proceso de compactación. A si mismo cuando la humedad natural es mayor o igual que la humedad optima se tiene que realizar obligatoriamente la saturación del suelo.

Análisis Granulométrico por tamizado de las muestras naturales

En el siguiente grafico se puede observar que más del 90% de todas las muestras que se van a evaluar pasan por la malla N° 200, esto quiere decir que existe gran cantidad de material limo arcilloso. De acuerdo con la data obtenida de los resultados del análisis granulométrico, se puede apreciar que el 60% las muestras extraídas de las calicatas pasan por la malla N° 200,

posterior mente se va utilizar en la metodología SUCS y más 40% para la metodología AASHTO, todas las partículas que pasan después de eso pertenecen a partículas o granos finos.

Tabla 1796: Resumen del análisis granulométrico por tamizado de muestras

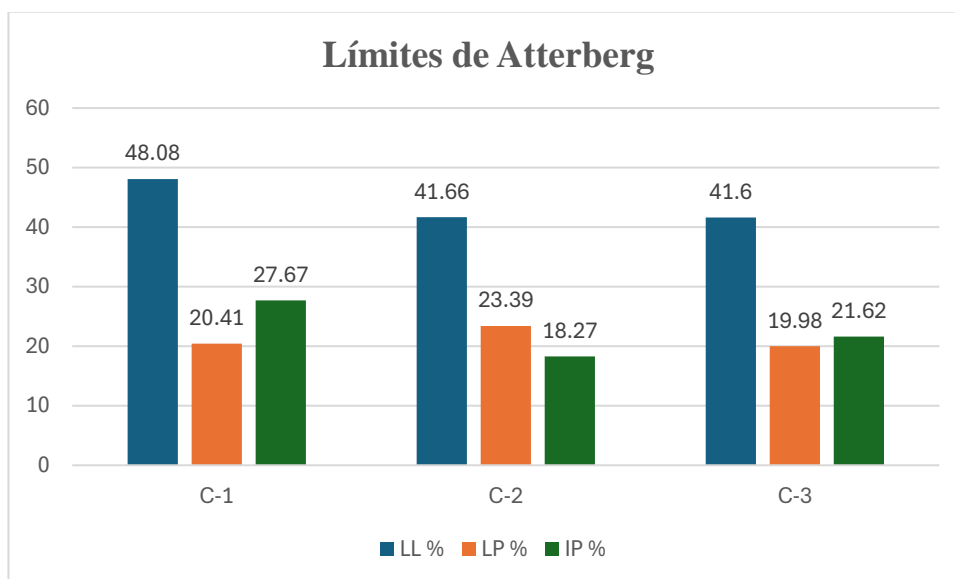


Fuente: Elaboración Propia

Límites de Atterberg de las muestras naturales

En el siguiente gráfico se puede observar que las muestras evaluadas de las calicatas C-01, C-02, C-03, tienen como resultado un índice de plasticidad de 48.08, 41.66 y 41.6 respectivamente; por lo que según normativa la clasificación del índice de plasticidad es alta, teniendo una particular caracterización de suelos arcillosos.

Tabla 1908: Resumen de los límites de Atterberg de las muestras naturales

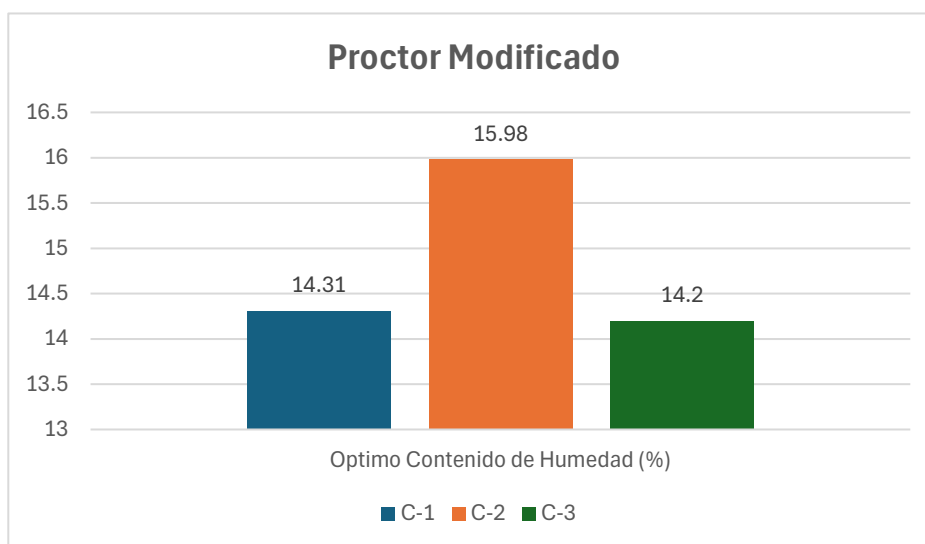


Fuente: Elaboración Propia

Proctor Modificado de las muestras naturales

En base a los resultados de los siguientes gráficos, se obtuvieron datos OCH de cada muestra tomada, la calicata C-02 fue la que obtuvo mayor óptimo contenido de humedad con un valor de 15.98%, seguido de la calicata C-1 con un valor de 14.31% y finalmente la calicata C-03 con un valor de 14.2%.

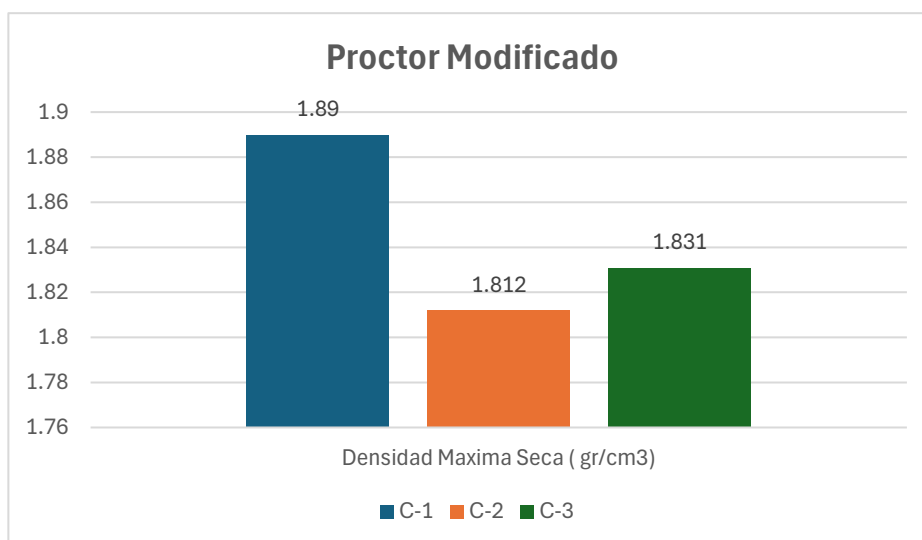
Tabla 2020: Resumen de Proctor modificado de las muestras naturales - OCH



Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente gráfico los resultados obtenidos, según la evaluación de cada muestra tomada, nos arrojó como resultado que la calicata C-01 con un valor de 1.89 gr/cm³ es el máximo valor de Densidad máxima Seca, posteriormente le sigue la calicata C-03 con un valor de 1.831 gr/cm³ y finalmente la calicata C-02 con un valor de 1.822 gr/cm³.

Tabla 2132: Resumen de Proctor modificado de las muestras naturales - MDS

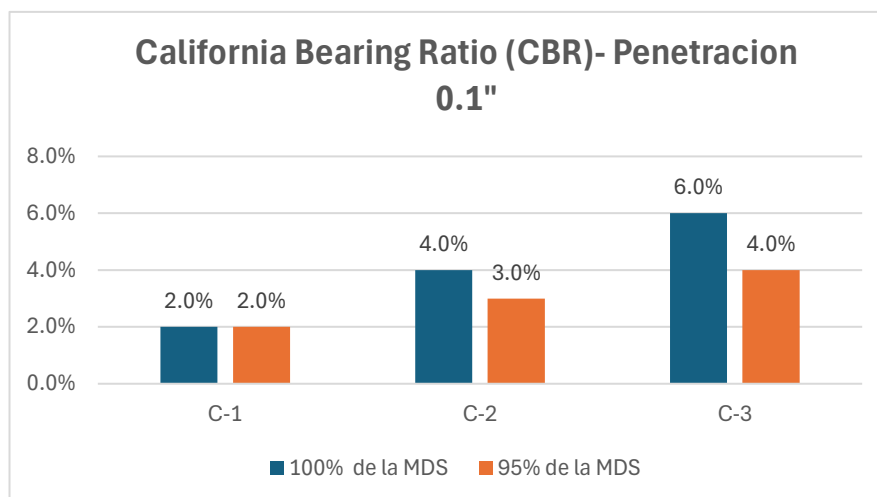


Fuente: Elaboración Propia

California Bearing Ratio (CBR) de las muestras naturales

En el siguiente grafico se puede apreciar los CBR que se realizaron con una penetración de 0.1”, estos CBR se trabajaron con una densidad de 95% y 100%; estos ensayos nos dieron como resultados, La calicata C-01 fue el CBR mas bajo con un valor de 2%, luego le sigue la C-02 con un valor de 4% y finalmente la calicata C-03 la cual obtuvo el máximo resultado con un valor de 6%.

Tabla 2375: Resumen de los CBR de muestras naturales

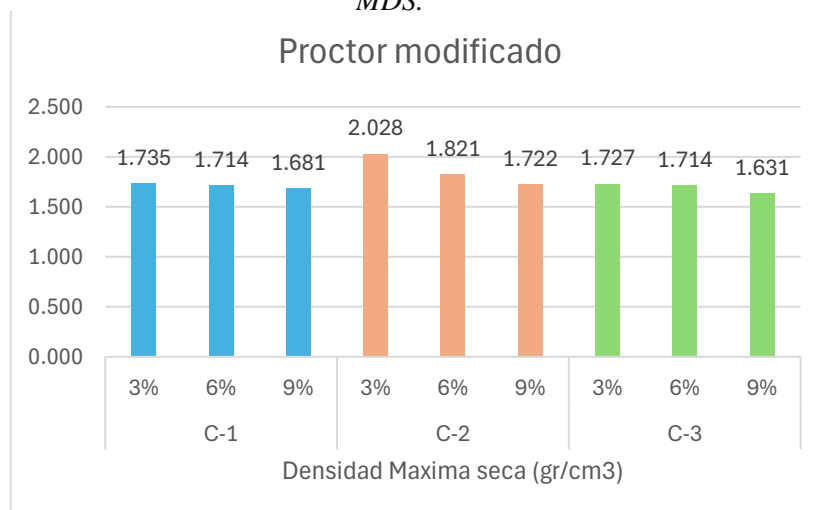


Fuente: Elaboración Propia

Proctor Modificado de muestras con adición de HDPE

El siguiente grafico se muestra que de acuerdo con la dosificación de HDPE, la densidad máxima seca disminuye. Como se puede apreciar en la calicata C-01 (muestra natural) con un valor 1.89 kg/cm³, la calicata C-01 + 3% HDPE con un valor de 1.735 kg/cm³, calicata C-01 + 3% HDPE con un valor de 1.714 kg/cm³, calicata C-01 + 9% HDPE con un valor de 1.681 kg/cm³.

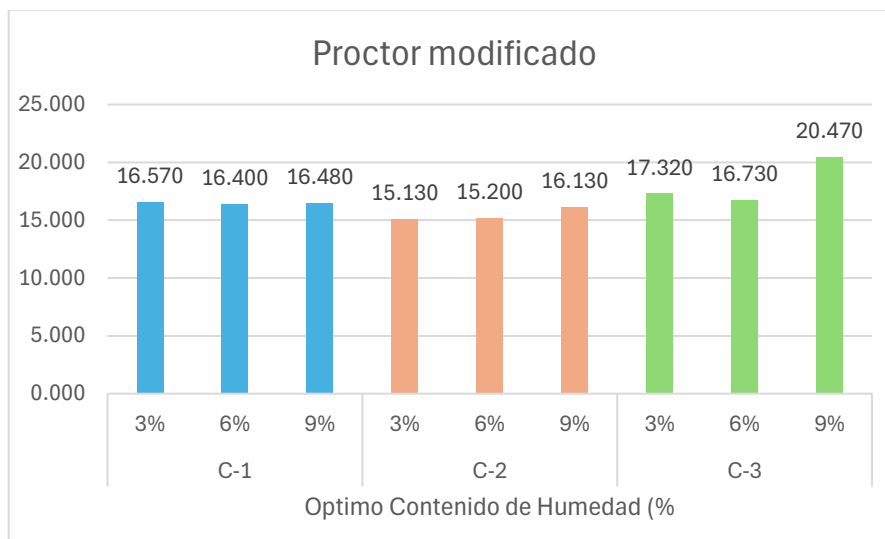
Tabla 2617: Resumen de Proctor modificado de muestras con adición de HDPE – MDS.



Fuente: Elaboración Propia

En el siguiente grafico se aprecia los valores obtenidos para el ensayo OCH disminuyen con respecto a la muestra natural, la muestra patrón de la C-02 tiene un valor de 15.98%, la muestra patrón + 3% HDPE tiene un valor de 15.130%, la muestra patrón +6% HDPE tiene un valor de 15.200%, la muestra patrón + 9% HDPE tiene un valor de 16.130.

Tabla 2849: Resumen de Proctor modificado de muestras con adicción de HDPE – OCH

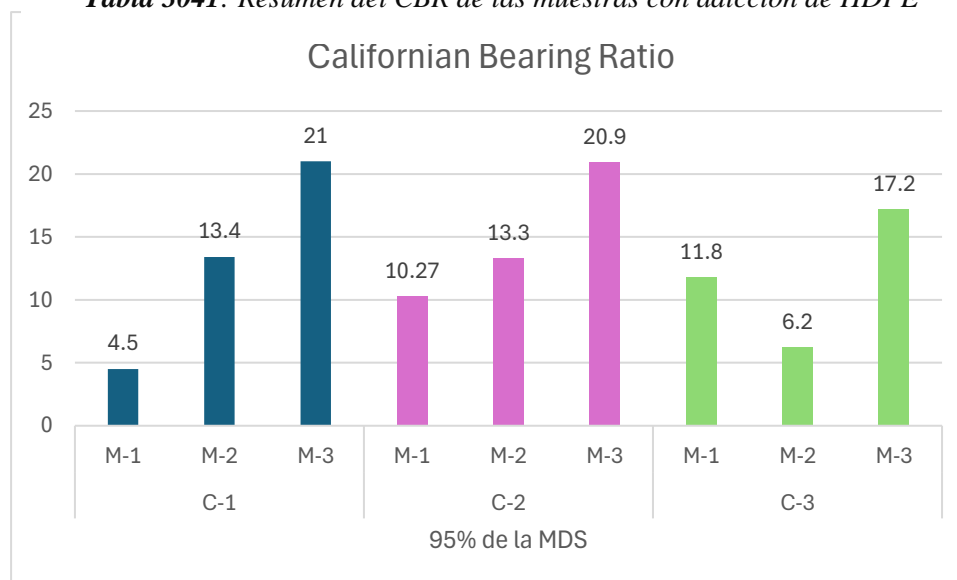


Fuente: Elaboración Propia

California Bearing Ratio de las muestras con adicción de HDPE

En el siguiente grafico se observa un aumento considerable para la calicata C-01, C-02, a medida que se aumenta la adicción de HDPE, el CBR aumenta. Como se puede observar para la calicata C-02 de la muestra patrón tiene un valor de 3% y la calicata C-02 + 3% HDPE tiene un valor de 10.27, la calicata C-02 + 6% HDPE tiene un valor de 13.3%, la calicata C-02 + 9% HDPE tiene un valor de 20.9%.

Tabla 3041: Resumen del CBR de las muestras con adicción de HDPE



Fuente: Elaboración Propia

Evaluación económica

Conforme la estimación de la evaluación técnica, donde las adiciones con diferentes tipos de Polietileno infieren que hay beneficios aprovechables para el suelo, ante ello también las propiedades físicas y mecánicas del suelo obteniendo los mínimos requisitos para emplearlo como subrasante regular, ante ello se infiere necesario desarrollar una evaluación económica al trabajo de investigación.

Con respecto al cálculo del costo por metro cúbico del suelo, se tomó en cuenta las diferentes especificaciones ya mencionadas en el procedimiento de la obtención de la muestra, por ello se hace mención de estas etapas: Costos de recolección, costo de limpieza, costo de triturado y costo de transporte.

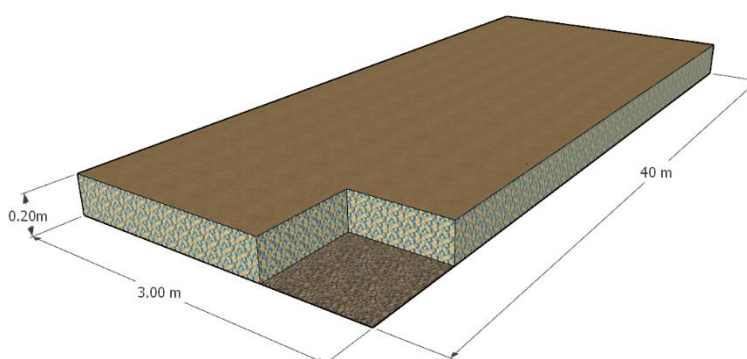
Tabla 3153: Evaluación Económica

Adición	Dosificaciones	Costo de recolección (m3)	Costo de limpieza (m3)	Costo de triturado (m3)	Costo de transporte (m3)	Costo por m3 de suelo
HDPE	0.03	0.3	1.2	0.45	0.6	2.55
	0.06	0.6	2.4	0.9	1.2	5.1
	0.09	0.9	3.6	1.35	1.8	7.65

Fuente: Elaboración Propia

En la tabla anterior se visualiza el costo o precio de cada proceso que se realiza para la obtención del HDPE, el costo de recolección por m³ es de s/. 10, costo de limpieza por m³ es de s/. 40, costo de triturado s/. 15, costo de transporte por m³ es de s/. 20, de acuerdo con esos precios se hace una regla de 3 simple y se ve cuánto sería el costo por porcentajes para cada adición que se plantea en el proyecto.

Paralelo a la evaluación económica que se dio para la obtención del material en sus 03 porcentajes como adición, también se analizó un corto presupuesto del tramo de estudio propuesto, con el cual se comparó entre una estabilización convencional con piedra over y la otra estabilización con adición de HDPE.



Fuente: Elaboración Propia

Mediante las siguientes tablas propuestas se observara las comparaciones de los diferentes presupuestos, para las propuestas de estabilización señaladas anteriormente:

- Estabilización con Piedra Over: Tenemos como presupuesto detallado para la partida de mejoramiento de subrasante con Over (e=0.20m), el precio unitario de un 1 m³ tiene un valor S/87.88 , por ende el costo del tramo de prueba propuesto en el objetivo tiene un costo total de S/2109.23.

Tabla 3185: Cuadro resumen de presupuesto para estabilización con piedra Over.

MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE CON OVER e = 0.20m	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL
OFICIAL	hh	1.00	0.0400	19.16	0.77
PEON	hh	2.00	0.0800	17.32	2.77
PIEDRA OVER 4"6"	m ³		1.1500	55.00	63.25
AGUA PUESTA EN OBRA	m ³		0.0270	7.00	0.19
HERRAMIENTA MANUALES	%mo		5.0000	2.16	0.11
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-125HP 10-12ton	hm	1.00	0.0400	160.00	6.40
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 80-95 HP 7.5 yd ³	hm	1.00	0.0400	180.00	7.20
MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.00	0.0400	180.00	7.20
MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE CON OVER e = 0.20m	UNIDAD		CANTIDAD	PRECIO S/.	TOTAL
PRECIO UNITARIO	m ³		1	87.88	87.88
MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE CON OVER e = 0.20m	UNIDAD	VOLUMEN	CANTIDAD	PRECIO S/.	TOTAL
PRECIO UNITARIO TRAMO DE PRUEBA 40 m	m ³	24	1	87.88	2109.23

Fuente: Elaboración Propia

- Estabilización con HDPE: Tenemos como presupuesto detallado para la partida de mejoramiento de subrasante con HDPE (e=0.20m), el precio unitario de un 1 m³ tiene un valor S/599.63, por ende el costo del tramo de prueba propuesto en el objetivo tiene un costo total de S/1295.21.

Tabla 3217: Cuadro resumen de presupuesto para estabilización con HDPE

MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE CON HDPE e = 0.20m	UNIDAD	CUADRILLA	CANTIDAD	PRECIO S/.	PARCIAL
OFICIAL	hh	1.00	0.0400	19.16	0.77
PEON	hh	2.00	0.0800	17.32	2.77
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	m ³		1.1500	500.00	575.00
AGUA PUESTA EN OBRA	m ³		0.0270	7.00	0.19
HERRAMIENTA MANUALES	%mo		5.0000	2.16	0.11
RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 101-125HP 10-12ton	hm	1.00	0.0400	160.00	6.40
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 80-95 HP 7.5 yd ³	hm	1.00	0.0400	180.00	7.20
MOTONIVELADORA 130 - 135 HP	hm	1.00	0.0400	180.00	7.20
MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE CON OVER e = 0.20m	UNIDAD		CANTIDAD	PRECIO S/.	TOTAL
PRECIO UNITARIO	m ³		1	599.63	599.63
MEJORAMIENTO DE SUB RASANTE CON OVER e = 0.20m	UNIDAD	VOLUMEN	CANTIDAD	PRECIO S/.	TOTAL
PRECIO UNITARIO TRAMO DE PRUEBA 40 m	m ³	2.16	1	599.63	1295.21

Fuente: Elaboración Propia

Estudio De Impacto Ambiental

Con el objetivo de una valorización ambiental del estudio presente, que es la estabilización de material arcilloso de subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente de reciclaje, se aplicara la matriz de Leopold en vista de que estructura acota y categoriza efectos ambientales, de igual modo posibilita la debida identificación y la mitigación de los impactos que son considerados perjudiciosos.

Para la evaluación con respecto como se llevará las consideraciones en el impacto ambiental en la matriz se basará en dos formas: se considerará con signo (+) para un aspecto favorable y de la forma contraria cuando es negativo (-) para un aspecto dañino, su capacidad cuantitativa para determinar la importancia se da a una escala de 1 al 10.

Respecto a la matriz presente que se detalla del estudio de esta investigación, la cual se divide en dos etapas: La adquisición del material que es el Polietileno de Alta Densidad (HDPE) y la disposición de la subrasante con plástico HDPE. En consecuencia, la adquisición del material HDPE alcanzo un impacto positivo a un ponderado de 220 a causa de que es la etapa del reciclado, exclusión de residuos y la creación de trabajos, son los que componen esta primera etapa. Simultáneamente la segunda etapa, que vendría a ser llamada de la disposición de la subrasante con plástico HDPE alcanzo un impacto negativo a un ponderado de -100, puesto que en esta etapa se puntualiza detalles como las alteraciones que tendrá el suelo natural, las cuales son: las grandes masas de tierras movidas de su estado natural, a ello la generación de partículas de esta actividad y los gases producidos mientras se desarrollan.

Tabla 3249 : Matriz de Leopold -Conformación de la Subrasante con HDPE

Matriz de Leopold del Proyecto (Conformación de la Subrasante con HDPE)												
COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIONES DEL PROYECTO		Conformación de subrasante con HDPE									
			Trazo y Replanteo		Excavación y Nivelación		Mezclado de la sub rasante mejorada		Adición del Contenido de Humedad		Perfilado y Compactación	
			M	I	M	I	M	I	M	I	M	I
FACTORES AMBIENTALES			M	I	M	I	M	I	M	I	M	I
Factores Físico Químicos	Tierra	Morfología del terreno	■	■	■	■	■	■			■	■
		Contaminación del suelo	■	■			■	■				
	Agua	Contaminación de aguas superficiales y subterráneas										
		Calidad										
	Aire	Calidad (polvo)	■	■	■	■	■	■		■	■	■
		Calidad (gases,humo)	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Ruido o contaminación sonora		■	■	■	■			■	■	■	■	
Procesos	Erosión	■	■	■	■	■	■					
Condiciones Biológicas	Flora	Diversidad					■	■				
	Fauna	Diversidad de especies					■	■				
Factores Culturales	Usos del Suelo	Naturaleza y espacios abiertos	■	■	■	■						
		Pastos	■	■	■	■	■					
	Estética	Vistas escénicas y panorámicas	■	■	■	■	■					
		Calidad de vida					■	■				
		Salud y seguridad										
	Actividades	Empleo estacional	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Eliminación de residuos							■	■		
		Beneficios económicos							■	■		
	Reciclaje					■	■					

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3281: Matriz de Leopold -Conformación de la Subrasante con HDPE (

Matriz de Leopold del Proyecto (Conformación de la Subrasante con HDPE)															
COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIONES DEL PROYECTO		Conformación de subrasante con HDPE										IMPACTO TOTAL		
			Trazo y Replanteo		Excavación y Nivelación		Mezclado de la sub rasante mejorada		Adición del Contenido de Humedad		Perfilado y Compactación				
			M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	M	I	Magnitud
Factores Físico - Químicos	Tierra	Morfología del terreno	-5	8	-7	7	-8	5	0	0	-3	2	-23	19	-120
		Contaminación del suelo	-1	3	0	0	-2	5	0	0	0	0	-3	8	-13
	Agua	Contaminación de aguas superficiales	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Calidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aire	Calidad (polvo)	-6	5	-2	3	-2	2	4	2	-2	2	-8	14	-36
		Calidad (gases,humo)	-4	3	-2	2	-2	2	-2	2	-1	2	-11	11	-26
	Ruido o contaminación sonora	-2	3	-2	2	-2	2	-1	2	-1	2	-8	11	-18	
Procesos	Erosión	-7	5	-3	2	-4	2	0	0	0	0	-14	9	-49	
Condiciones Biológicas	Flora	Diversidad	-1	1	-4	2	-1	2	0	0	0	0	-6	5	-11
	Fauna	Diversidad de especies	-1	1	-4	2	-1	2	0	0	0	0	-6	5	-11
Factores Culturales	Usos del Suelo	Naturaleza y espacios abiertos	-2	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	-3	2	-3
		Pastos	-1	1	-1	1	0	0	0	0	0	0	-2	2	-2
	Estética	Vistas escénicas y panorámicas	-1	1	-4	2	-1	1	0	0	0	0	-6	4	-10
		Calidad de vida	0	0	0	0	2	3	0	0	0	0	2	3	6
		Salud y seguridad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Actividades	Empleo estacional	5	4	5	3	5	3	2	2	3	2	20	14	60
		Eliminación de residuos	0	0	0	0	7	7	0	0	0	0	7	7	49
		Beneficios económicos	0	0	0	0	5	4	0	0	0	0	5	4	20
	Reciclaje	0	0	0	0	8	7	0	0	0	0	8	7	56	
IMPACTO TOTAL	MAGNITUD		-26		-25		4		3		-4				
	IMPORTANCIA		33		27		47		8		10		Suma de Fila		-100
	PONDERADO		-97		-80		71		6		-8		Suma de Columna		-100

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 3313: Matriz de Leopold -Obtención del HDPE

Matriz de Leopold del Proyecto (Obtención de HDPE)											
COMPONENTE AMBIENTAL	ACCIONES DEL PROYECTO		Obtención de las Fibras PET						Fuente: Elaboración Propia		
			Recolección de Plástico HDPE		Obtención de Tiras de HDPE		Almacenamiento del producto		IMPACTO TOTAL		
	FACTORES AMBIENTALES		M	I	M	I	M	I	Magnitud	Importancia	Ponderado
Factores Físico - Químicos	Tierra	Morfología del terreno	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Contaminación del suelo	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Agua	Contaminación de aguas superficiales y	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Calidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Aire	Calidad (polvo)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Calidad (gases,humo)	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ruido o contaminación sonora	0	0	-2	2	0	0	-2	2	-4
Condiciones Biológicas	Procesos	Erosión	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Flora	Diversidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Fauna	Diversidad de especies	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Factores Culturales	Usos del Suelo	Naturaleza y espacios abiertos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Pastos	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Estética	Vistas escénicas y panorámicas	0	0	0	0	-3	2	-3	2	-6
		Calidad de vida	7	4	0	0	-1	1	6	5	27
	Nivel Cultural	Salud y seguridad	-1	1	-2	1	0	0	-3	2	-3
		Empleo estacional	4	2	4	3	1	1	9	6	21
	Actividades	Eliminación de residuos	7	6	6	4	0	0	13	10	66
Beneficios económicos		-1	4	-1	2	0	0	-2	6	-6	
		Reciclaje	9	7	7	7	0	0	16	14	112
IMPACTO TOTAL	MAGNITUD		25		12		-3				
	IMPORTANCIA		24		19		4		Suma de Fila	220	
	PONDERADO		136		77		-6		Suma de Columna	220	

Fuente: Elaboración Propia

Conclusiones

Por consiguiente, se alcanzó con éxito la influencia de adición de Polietileno de Alta Densidad (HDPE), en la estabilización de la subrasante, en el tramo Malecón Ureta, Lambayeque. obteniendo como resultado que el porcentaje óptimo de HDPE, para estabilizar la subrasante es la adición del 9% (M-3).

En resumen, según la clasificación de acuerdo con la metodología SUCS para la calicata C-01 es de una arcilla de plasticidad baja “CL” de igual manera para la calicata C-02 Y C-03 tienen la misma clasificación “CL”, también se realizó la clasificación según AASHTO para las calicatas C-01, C-02 y C-03 la cual obtuvieron los siguientes valores de A-7-6(17), A-7-6(11), y A-7-6(17), los cuales tienen una clasificación general de material limo arcilla.

De acuerdo con el ensayo de Proctor Modificado se apreció que la máxima densidad seca y óptimo contenido de humedad disminuyen y aumentan según sea la muestra y la adición de HDPE, extraímos el resultado promedio del Proctor modificado de la muestra patrón, el cual nos brinda un valor para cada calicata, calicata C-01 es de 1.89 gr/cm³, calicata C-02 es de 1.812 gr/cm³ y calicata C-03 es de 1.831 gr/cm³. Asimismo, podemos apreciar que el suelo no puede alcanzar su MDS porque el contenido de humedad natural es mayor que el OCH de las calicatas evaluadas.

Con respecto al ensayo de CBR se aprecia que la capacidad portante crece considerablemente mientras el porcentaje de adición de polietileno de alta densidad es mayor. Asimismo, al analizar la muestra patrón obtuvimos valores de 2%, 3” y 4% de CBR, estos valores de CBR son muy bajos los cuales no son aptos para la subrasante, es por eso que al adicionar el polietileno de alta densidad en los porcentajes ya antes mencionados el valor de CBR aumenta el cual tuvimos un valor máximo de 21%, para sintetizar vamos a concluir diciendo que el óptimo contenido de adición es de 9% de HDPE.

Como resultado de acuerdo con la comparación económica al realizar nuestro costo unitario de 1 m³ de una estabilización común con piedra over (e=0.20m) nos da como costo s/. 87.88, posterior a ello, ese costo se multiplica por el volumen de nuestro tramo de prueba de 40m x 3m x 0.20m, obteniendo el costo que necesitaríamos para estabilizar nuestro tramo de prueba

que es s/. 2109.23. Por otro lado, la estabilización de subrasante con 9% de HDPE tiene un costo de s/. 599.63 por 1 m³, si ese costo se multiplica por el volumen de la adición que se va a utilizar en el tramo de prueba, nos arroja el siguiente costo s/. 1295.21 el cual se necesitaría para estabilizar el tramo de prueba.

Recomendaciones

Se recomienda seguir realizando estas investigaciones para la estabilización de subrasante con adición de polietileno de alta densidad, ya que se obtiene buenos resultados con respecto a los CBR.

Se recomienda seguir investigando y ver otros tipos de plásticos con los que se puedan trabajar (estabilización de suelos) y así ayudar a disminuir la contaminación del medio ambiente, esto con la finalidad de darle un buen uso a los plásticos desechables. Evaluar y realizar ensayos con adición de polietileno de alta densidad con mayor porcentaje de adición (12%, 15% y 18%) con respecto al volumen del suelo que se quiere estabilizar.

Se recomienda realizar y evaluar una estabilización combinada de polietileno de alta densidad y cal. Porque el contenido de humedad natural se disminuye con la estabilización de cal.

Referencias

Bibliografía

- [1] M. D. AMBIENTE, «SUGERSOL,» 2021. [En línea]. Available: <https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiODI2NjU0MzgtNTQyOS00ZjM0LWI3YjAtN2YwNzcxMzY1M2IzIiwidCI6IjBlMmFiZjRILWExZjUtNDZiZi1iOWE0LWM5YWE2ZGQ1NTE4MCI9&pageName=ReportSection>. [Último acceso: 10 JUNIO 2023].
- [2] N. P. Ocampo Guerrero, “ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-MECÁNICAS Y CBR DE SUELOS COHESIVOS DE SUBRASANTE MEZCLADOS CON PARTÍCULAS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), SEPTIEMBRE: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2021.
- [3] K. A. Celi Yanchapanta, “ESTABILIZACIÓN DE SUELOS GRANULARES DE SUBRASANTE CON FINOS DE TEREFTALATO DE POLIETILENO (PET), POLIPROPILENO (PP) Y POLIETILENO (PE), Ambato: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2021.
- [4] K. Márquez Martínez, Mejoramiento de la estabilización en la subrasante de suelos arcillosos usando plásticos reciclados PET en el distrito La Encantada, provincia de Morropón – Piura 2019, Piura: REPOSITORIO INSTITUCIONAL UNP, 2019.
- [5] E. Quispe Serrano y M. Sañac Vilca, Influencia de la incorporación de plástico reciclado triturado – PET en el mejoramiento del suelo a nivel de subrasante en la prolongación de la Av. Micaela Bastidas, Tamburco - Abncay, 2018, Abancay: REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LOS ANDES, 2019.
- [6] I. F. Gastulo Meléndez y L. A. Salazar Avellaneda, DETERMINACION DEL ÓPTIMO CONTENIDO DE POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD PARA LA DISMINUCIÓN DE LOS ASENTAMIENTOS POR CONSOLIDACIÓN

UNIDIMENSIONAL EN SUELOS ARCILLOSOS, Pimentel: REPOSITORIO DE LA UNIVERSIDAD SEÑOR DE SIPÁN, 2019.

- [7] M. D. VIVIENDA, NORMA TECNICA E.050 SUELOS Y CIMENTACIONES 2018, LIMA: REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, 2018.

- [8] M. D. T. Y. COMUNICACIONES, MANUAL DE CARRETERAS SUELOS GEOLOGÍA, GEOTECNIA Y PAVIMENTOS SECCION SUELOS Y PAVIMENTOS, LIMA: REGLAMENTO NACIONAL DE GESTION DE INFRAESTRUCTURA VIAL, 2014.

- [9] M. D. T. Y. COMUNICACIONES, Manual de carreteras, Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013, LIMA: REGLAMENTO NACIONAL DE GESTION DE INFRAESTRUCTURA VIAL, 2013.

- [10] M. D. T. Y. COMUNICACIONES, Norma Técnica CE.010 Pavimentos Urbanos, LIMA: REGLAMENTO NACIONAL E GESTION DE INFRAESTRUCTURA VIAL, 2013.

- [11] A. Pastor Castillo, J. P. Salazar Oliva, R. Seminario Regalado, A. Tineo Camacho y . J. C. Zapata Valladolid, DISEÑO DE PLANTA PRODUCTORA DE ADOQUINES A BASE DE CEMENTO Y PLÁSTICO RECICLADO, Piura: REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNIVERSIDAD DE PIURA, 2015.

- [12] V. Conesa Fdez y V. Conesa Fernandez, Guía Metodológica para la Evaluación del Impacto Ambiental, Madrid: Mundi - Prensa, 2021.

Anexos

Anexo 1: Extracción de calicatas C-01, C-02 y C-03



Anexo 2: Triturado de suelo natural para posteriormente ser utilizado en los ensayos



Anexo 3: Ensayo de límites de atterberg



Anexo 4: Proceso de Proctor Modificado



Anexo 5: Adición de polietileno de alta densidad en los porcentajes 3%, 6% y 9%



Anexo 6: Elaboración de tramo de prueba



Anexo 7: Validación de ensayos de laboratorio

UNIVERSIDAD CATOLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL AMBIENTAL
 LABORATORIO DE ENSAYO DE MATERIALES, SUELOS Y PAVIENTOS



INI-ORME: N° LEM USAT 064-2024-1

FECHA: 21 de Mayo 2024

VALIDACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ESTUDIANTE: Jhan Esleiter Copia Julca

TITULO DE LA TESIS: Estabilización de material arcilloso de subrasante con adición de polietileno de alta densidad (HDPE) proveniente de reciclaje.

El que suscribo, responsable del laboratorio de Ingeniería Civil Ambiental, verifico y da conformidad que los siguientes ensayos de laboratorio realizados por el indicado estudiante se han efectuado en las instalaciones de la USAT, asimismo valida los ensayos realizados fuera de nuestras instalaciones siempre que no se puedan realizar en esta universidad:

- Contenido de humedad
- Análisis Granulométrico.
- Límites de Atterberg Análisis.
- Proctor Modificado de muestra patrón y muestra patrón más adición
- California Bearing Ratio (CBR) de muestra patrón y muestra patrón más adición

Se alcanza al interesado para los fines pertinentes.

Observación: Adjunto



 Henry Rivadeneyra Oblitas
 Responsable de Lab Ing. Civil Ambiental

Escaneado con CamScanner

Anexo 8: Ensayos de laboratorio

<https://drive.google.com/drive/folders/19s8pgBm3ovSKbvWPzvrV9mGYgbRyEa9W?usp=sharing>