



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO DEL ASERRÍN PARA
ESTABILIZACIÓN DE TROCHAS CARROZABLES, CAJAMARCA
2023”**

Tesis para optar el título profesional de:

INGENIERO CIVIL

Autor:

Antero Yampier Salazar Gallardo

Asesor:

Mg. Ing. Carlos Calua Carrasco

<https://orcid.org/0000-0002-7791-0251>

Cajamarca - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	Ing. Henry Villanueva Bazán	46486085
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 2	Ing. Milagros Merma Gallardo	40012838
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

Jurado 3	Ing. Tulio Guillén Sheen	26676774
	Nombre y Apellidos	Nº DNI

INFORME DE SIMILITUD

TESIS

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	pt.scribd.com Fuente de Internet	1%
4	1library.co Fuente de Internet	1%
5	pdfcoffee.com Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.uns.edu.pe Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA

A mi madre, hermanos y amigos que son personas esenciales en mi vida, que, por su constante apoyo brindado, en especial por motivarme e impulsarme a seguir luchando por mi formación profesional.

Salazar Gallardo A.

AGRADECIMIENTO

A mi asesor, al Mg.Ing. Carlos Calua Carrasco, por compartir conocimiento y a apoyo brindado a lo largo del trabajo, a mis padres, hermanos, amigos, por su motivación hacia mi persona, a la Universidad Privada del Norte, en especial a los docentes que gracias a sus conocimientos impartidos contribuyeron en mi formación profesional, que en un futuro poder plasmar en un mundo laboral competitivo.

Salazar Gallardo A.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO	5
TABLA DE CONTENIDO	6
ÍNDICE DE TABLAS	8
ÍNDICE DE FIGURAS	12
ÍNDICE DE ECUACIONES	15
RESUMEN	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.2. Antecedentes	21
1.3. Precisiones conceptuales	31
1.4. Formulación del problema	44
1.5. Objetivos	44
1.6. Hipótesis	45
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA	47
2.1. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	52
CAPÍTULO III: RESULTADOS	75

Pág.

Salazar Gallardo, A. 6

3.1. Determinación de las propiedades físicas de las muestras – carretera haciaAgocucho.	75
3.2. Determinación de las propiedades físicas de las muestras – carretera La Huaraclla	106
3.3. Clasificación de suelos	131
3.4. Determinar la cantidad optima de aserrín y la variación de resistencia.	134
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	139
REFERENCIAS	148
ANEXOS	153

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Características de residuos madereros corrientes</i>	34
Tabla 2 <i>Propiedades del aserrín de pino</i>	35
Tabla 3 <i>Categorización de suelos según IP</i>	37
Tabla 4 <i>Clasificación típica de CBR</i>	39
Tabla 5 <i>Proctor estándar ASTM D698</i>	39
Tabla 6 <i>Proctor Modificado ASTM D1557</i>	40
Tabla 7 <i>Vía de acceso a la trocha carrozable Puka Siña con Amoshulca</i>	50
Tabla 8 <i>Vía de acceso a la trocha carrozable C.P. La Huaraclla con el Crucero</i>	51
Tabla 9 <i>Operacionalización de Variables</i>	51
Tabla 10 <i>Ensayos a realizarse para el estudio propuesto</i>	53
Tabla 11 <i>Protocolos para la realización de ensayos en el desarrollo del estudio</i>	69
Tabla 12 <i>Contenido de humedad para la muestra en la carretera Agocucho</i>	75
Tabla 13 <i>Peso específico del material fino para la muestra M1</i>	76
Tabla 14 <i>Peso específico del material fino para la muestra M1</i>	76
Tabla 15 <i>Análisis granulométrico para M1 de la carretera hacia Agocucho</i>	77
Tabla 16 <i>Análisis granulométrica para M2 de la carretera hacia Agocucho</i>	78
Tabla 17 <i>Límite líquido de la muestra M1 carretera hacia Agocucho</i>	79
Tabla 18 <i>Límite líquido de la M2 carretera hacia Agocucho</i>	80
Tabla 19 <i>Índice de plasticidad para la muestra M1 carretera Agocucho</i>	81
Tabla 20 <i>Índice de plasticidad para la muestra M2 Carretera Agocucho</i>	81
Tabla 21 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1</i>	82

Pág.

Tabla 22 *Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín*83

Tabla 23 *Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín*84

Tabla 24 *Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín*85

Tabla 25 *Proctor modificado de la muestra patrón M2*86

Tabla 26 *Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín*87

Tabla 27 *Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín*88

Tabla 28 *Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín*89

Tabla 29 *Ensayo de compactación de la muestra patrón*90

Tabla 30 *Ensayo de contenido de humedad de la muestra patrón*91

Tabla 31 *Ensayo de hinchamiento para la muestra patrón carretera Agocucho*91

Tabla 32 *Ensayo de carga penetración*92

Tabla 33 *Ensayo de compactación de la muestra + 3% de aserrín*93

Tabla 34 *Contenido de humedad de la muestra + 3% de Aserrín*.....94

Tabla 35 *Ensayo de hinchamiento + 3% de aserrín*.....94

Tabla 36 *Ensayo carga penetración de la muestra + 3% de aserrín*94

Tabla 37 *Ensayo de compactación + 5% de aserrín*96

Tabla 38 *Contenido de humedad + 5% de aserrín*.....96

Tabla 39 *Ensayo de hinchamiento + 5% de aserrín*.....96

Tabla 40 *Ensayo carga - penetración + 5% de aserrín*.....97

Tabla 41 *Ensayo de compactación + 10% de aserrín*98

Tabla 42 *Contenido de humedad de la muestra M1 + 10% de aserrín*.....99

Tabla 43 *Ensayo de hinchamiento de la muestra + 10% de aserrín*.....99

Tabla 44 <i>Ensayo: Carga - penetración de la muestra + 10% de aserrín</i>	99
Tabla 45 <i>Ensayo carga penetración de la muestra patrón M2</i>	100
Tabla 46 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M2 + 3% de aserrín</i>	102
Tabla 47 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M2 + 5% de aserrín</i>	103
Tabla 48 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M2 + 10% de aserrín</i>	104
Tabla 49 <i>Contenido de humedad para la muestra en la carretera C.P. La Huaraccla</i>	106
Tabla 50 <i>Peso específico del material fino para la muestra M3</i>	106
Tabla 51 <i>Peso específico del material fino para la muestra M4</i>	107
Tabla 52 <i>Análisis granulométrico para M3 de la carretera C.P. La Huaraccla</i>	107
Tabla 53 <i>Análisis granulométrico para M4 de la carretera C.P. La Huaraccla</i>	108
Tabla 54 <i>Límite liquido de la M3 carretera en el C.P. La Huaraccla</i>	109
Tabla 55 <i>Determinación del Límite plástico (LP)</i>	110
Tabla 56 <i>Límite liquido de la M4 carretera en el C.P. La Huaraccla</i>	111
Tabla 57 <i>Determinación del Límite plástico (LP)</i>	112
Tabla 58 <i>Índice de plasticidad para la muestra M3 Carretera La Huaraccla</i>	112
Tabla 59 <i>Índice de plasticidad para la muestra M4 Carretera La Huaraccla</i>	113
Tabla 60 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M1</i>	113
Tabla 61 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M3+3% de aserrín</i>	114
Tabla 62 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4+5% de aserrín</i>	115
Tabla 63 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M5+10% de aserrín</i>	116
Tabla 64 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M4</i>	117
Tabla 65 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +3% de aserrín</i>	118

Tabla 66 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +5% de aserrín</i>	119
Tabla 67 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M4 +10% de aserrín</i>	120
Tabla 68 <i>Ensayo carga penetración de la muestra patrón M3</i>	121
Tabla 69 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M3+3% de aserrín</i>	122
Tabla 70 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M3+5% de aserrín</i>	124
Tabla 71 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M3+10% de aserrín</i>	125
Tabla 72 <i>Ensayo carga penetración de la muestra patrón M4</i>	126
Tabla 73 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M4 +3% de aserrín</i>	127
Tabla 74 <i>Ensayo carga penetración de la muestra M4 +5% de aserrín</i>	128
Tabla 74 <i>Matriz de consistencia</i>	152

Índice de figuras

Figura 1 <i>Correlación entre AASHTO M-145, clasificación SUCS y CBR</i>	40
Figura 2 <i>Clasificación SUCS de los suelos</i>	43
Figura 3 <i>Vista Satelital de Puka Siña con Amoshulca</i>	50
Figura 4 <i>Vista Satelital para llegar a la trocha carrozable La Huaraclla con el Crucero</i>	50
Figura 5 <i>Procedimiento realizado en la obtención de los resultados</i>	54
Figura 6 <i>Procedimiento para la obtención de los resultados</i>	71
Figura 7 <i>Curva granulométrica de la M1 carretera hacia Agocucho</i>	77
Figura 8 <i>Curva granulométrica de la M2 carretera hacia Agocucho</i>	78
Figura 9 <i>Límites de Atterberg para la M1 carretera hacia Agocucho</i>	79
Figura 10 <i>Límites de Atterberg para la M2 carretera hacia Agocucho</i>	80
Figura 11 <i>Curva de compactación de la muestra patrón M1 carretera Agocucho</i>	82
Figura 12 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín</i>	84
Figura 13 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín</i>	85
Figura 14 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín</i>	86
Figura 15 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M2</i>	87
Figura 16 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín</i>	88
Figura 17 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín</i>	89
Figura 18 <i>Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín</i>	90
Figura 19 <i>Curva de esfuerzo - penetración patrón</i>	93
Figura 20 <i>Curva esfuerzo - penetración 3% de aserrín</i>	95
Figura 21 <i>Curva de esfuerzo-penetración 5% de aserrín</i>	98

Pág.

Figura 22 <i>Curva esfuerzo-penetración 10% de aserrín</i>	100
Figura 23 <i>Curva esfuerzo penetración de la muestra patrón M2</i>	101
Figura 24 <i>Curva esfuerzo - penetración de la muestra M2+3% de aserrín</i>	103
Figura 25 <i>Curva esfuerzo - penetración 5% de aserrín</i>	104
Figura 26 <i>Curva esfuerzo - penetración 10% de aserrín</i>	105
Figura 27 <i>Curva granulométrica de la M3</i>	108
Figura 28 <i>Curva granulométrica de la M3</i>	109
Figura 29 <i>Límites de Atterberg para la M3 carretera en el C. P. La Huaraclla</i>	110
Figura 30 <i>Límites de Atterberg para la M4 carretera en el C. P. La Huaraclla</i>	111
Figura 31 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M3</i>	114
Figura 32 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M3+3% de aserrín</i>	115
Figura 33 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4+5% de aserrín</i>	116
Figura 34 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M3+10% de aserrín</i>	117
Figura 35 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4</i>	118
Figura 36 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +3% de aserrín</i>	119
Figura 37 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +5% de aserrín</i>	120
Figura 38 <i>Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +10% de aserrín</i>	121
Figura 39 <i>Curva esfuerzo - penetración de la muestra patrón M3</i>	122
Figura 40 <i>Curva esfuerzo - penetración de la muestra M3+3% de aserrín</i>	123
Figura 41 <i>Curva esfuerzo - penetración 5% de Aserrín</i>	125
Figura 42 <i>Curva esfuerzo - penetración 10% de aserrín</i>	126
Figura 43 <i>Curva esfuerzo -penetración de la muestra patrón M4</i>	127

Figura 44 *Curva esfuerzo - penetración 3% de aserrín*..... 128

Figura 45 *Curva esfuerzo - penetración 5% de aserrín*..... 129

Figura 46 *Ensayo carga penetración de la muestra M4 +10% de aserrín* 130

Figura 47 *Curva esfuerzo - penetración 10% de aserrín*..... 131

Figura 48 *Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M1 carretera hacia Agocucho*..... 131

Figura 49 *Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M2 carretera hacia Agocucho*..... 132

Figura 50 *Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M3 carretera La Huaraclla* 133

Figura 51 *Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M4 carretera La Huaraclla* 134

Figura 52 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M1*. 135

Figura 53 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M1*. 135

Figura 54 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M2*. 136

Figura 55 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M2*. 136

Figura 56 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M3* 137

Figura 57 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M3*. 137

Figura 58 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M4*. 138

Figura 59 *Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M4*. 138

Índice de ecuaciones

Ecuación 1. Densidad máxima seca.....	36
Ecuación 2. Índice de plasticidad.....	38
Ecuación 3. Contenido de humedad.....	56
Ecuación 4. Porcentaje que pasa el tamiz 200	58
Ecuación 5. Porcentaje retenido.....	58
Ecuación 6. Porcentaje que pasa	59
Ecuación 7. Límite líquido.....	61
Ecuación 8. Límite plástico.....	62
Ecuación 9. California Bearing Ratio	68

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo general Determinar el análisis del comportamiento del aserrín para estabilización de trochas carrozables, Cajamarca 2022. Para lograr tal propósito se escogió de una población de trochas carrozables de la región Cajamarca en el lugar que une los lugares de Puka Siña con Amoshulca y de la trocha carrozable La Huaraclla; dos trochas, las mismas que se escogieron mediante el método no probabilístico, la cantidad de dos muestras por cada una de ellas. Se empleó una metodología del tipo aplicada con un diseño del tipo experimental para lo cual se realizaron los ensayos de contenido de humedad, granulometría por lavado, peso específico, límites de Atterberg, Proctor modificado y CBR, los mismos que permitieron identificar su comportamiento del suelo y su efecto en la realidad. Los resultados obtenidos muestran que el contenido de humedad de las dos primeras muestras tiene un promedio de 6.12% y últimas de 16.62%, el análisis granulométrico indica la presencia de suelo fino limo arcilloso y el índice de plasticidad dio el valor de 17.5% y 16%, 20.45% y 22.05%, por otro lado, los suelos se clasifican como OL y CL; es decir, suelos limos orgánicos y arcillas orgánicas de baja plasticidad y arcillas inorgánicas de baja plasticidad con gravas arenosas arcillas limosas. El mencionado estudio llegó a concluir que la incorporación de aserrín en un 3% mejora el índice de CBR de los suelos en un más del 12% con respecto al suelo en estado natural, confirmándose la hipótesis planteada. Finalmente, se recomienda emplear este tipo de material en la solución de problemas similares presentes en Cajamarca y el Perú.

PALABRAS CLAVES:Estabilización, Aserrín, Suelos, Trocha Carrozable.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En el mundo entero, las carreteras son el principal medio de transporte convirtiéndose en activos públicos y valiosos, además, las carreteras son de mucha importancia para la realización de las actividades económicas y que juntamente con estas contribuyen en el PBI nacional entre el 3% - 5%, pudiendo alcanzar hasta un 15% de acuerdo con la comisión europea (2013) “El transporte es la fuente de vida de la economía de la UE”(Asociación Mundial de la Carretera, 2014). Así mismo, la mayoría de países tiene redes viales que han madurado a la actualidad, dado que su construcción se desarrolló en la mitad del siglo anterior; además, los países en proceso de desarrollo dependen exclusivamente del transporte por carretera (asociación Mundial de la Carretera, 2014).

Se estima un aproximado de 900 millones de personas de las zonas rurales de todo el mundo que carecen de un adecuado sistema de transporte formal, condiciones mínimas de periodicidad, calidad y seguridad, debido que en la mayoría de los caminos no asfaltados existen suelos no convenientes de usar para determinados fines en lugares específicos, perjudicando el transporte de la población, bienes y artículos de primera necesidad. Por lo cual se abre la posibilidad de modificar las propiedades de estos suelos y hacerlo cumplir con mejores especificaciones, haciendo uso de diversos residuos de productos como material agregado, buscando alcanzar que estos suelos se conviertan en estables y hacerlo cumplir con mejores especificaciones, haciendo uso de diversos residuos de productos como material

agregado, buscando alcanzar que estos suelos se conviertan en estables y se pueda alcanzar un desarrollo sostenible (Bustamante & Merma, 2022).

Indonesia es uno de los países en el que el sector vial representa un aproximado del 41% del tráfico interurbano de carga y el 93% de pasajeros, así mismo, el sector transporteequivalente al 7% de PIB absorbiendo el 20% de todo el presupuesto destinado al desarrollo. Sin embargo, al realizarse un reporte de las carreteras, la mayoría de ellas se encuentran en pésimo estado, presentándose de manera más frecuente en épocas de lluvia, debido a los diversos tipos de suelos existentes; siendo el más frecuente el suelo del tipo arcilloso, que en muchas oportunidades dificultó el transporté de insumos y materiales necesarios para el sustento de la mayoría de la población. Es por eso que se evidenció, que para rehabilitar y mejorar estas carreteras, es necesario aumentar la densidad del suelo, reduciendo el nivel freático, aumentando la capacidad portante, reparando las propiedades físicas del suelo, aumentando la resistencia y la capacidad de carga, para lo cual, se debe de utilizar materiales adecuados para cambiar el comportamiento de estos suelos, siendo los más utilizados las resinas de materiales porosos, los cuales brindan resultados satisfactorios aumentando el tiempo de vida útil de estas carreteras (Putra et al., 2022).

En suiza, de igual manera existe esta problemática con la estabilización de suelos, sobre todo con los del tipo arcillosos; presentes en la mayoría de sus carreteras, perjudicando gravemente la infraestructura de las mismas y las proyecciones a futuro de las grandes ciudades, ya que estas son utilizadas para el transporté de insumos y materiales para las grandes industrias, generando pérdidas y baja productividad por estas dificultades. Sin embargo, en su afán de mejorar cierta problemática, es necesario extender el tiempo de vida útil de las

carreteras por lo que se debe de utilizar ciertos materiales ligantes y aglomerantes como, por ejemplo; cal, yeso, resinas de diversas plantas; las cuales mejoran las propiedades de los suelos brindándole cierta consistencia incrementándola resistencia de los suelos, disminuyendo la plasticidad de los mismos y aumentar el CBR (Baloochi et al., 2020).

En el Perú, se ha encontrado que la infraestructura vial es muy importante para contribuir con el desarrollo económico y social del país, por lo tanto, es necesario que las vías de comunicación sean confortables y funcionen en buenas condiciones. Sin embargo, muchas carreteras en el ámbito rural se encuentran deterioradas, debido a que no cuentan con una buena gestión de mantenimiento de las vías o los materiales utilizados en la mayoría de casos se deterioran rápidamente disminuyendo la calidad de estos y haciendo que los mismos no tengan la estabilidad necesaria para que sean seguras en el transporte de bienes y servicios. Es así que se ha evidenciado que para extender la vida útil de las carreteras se deberá de optimizar sus propiedades como CBR e índice de plasticidad en especial los suelos arcillosos, para lo cual se utilizan las resinas y materiales porosos con la finalidad de aumentar la resistencia mecánica de los suelos mejorando la cohesión que conforma la subrasante de una carretera (Tunque, 2021).

Mientras que en la región Cajamarca, se presenta este problema de estabilidad de suelos debido a la presencia de diversidad de suelos, en la que cada uno de ellos presentan características diversas de resistencia, como el caso de los suelos arcillosos, que es uno de los más peligrosos al tener asentamientos al momento de aplicarles cargas. Por eso, se hace necesario la estabilización mecánica de estos suelos mediante la aplicación de materiales como por ejemplo la cal, cenizas de diferentes productos como medida para mejorar la resistencia del

suelo, disminuir los costos de estabilización y la realización de buenas prácticas ambientales (Cajaleón & Mondragón (2018).

Toda esta problemática nos permite demostrar que los suelos de las diversas trochas carrozables de la provincia de Cajamarca tienen características similares y se comportan de manera semejante a las carreteras del resto del país, siendo en su mayoría suelos arcillosos difíciles de tratar y que para ello se debe de utilizar alguna técnica de estabilización mecánica, el cual es definido como el proceso mediante el cual se someten los suelos naturales a cierta manipulación o tratamiento para poder aprovechar sus mejores cualidades, y así obtener un suelo firme, estable, capaz de soportar las condiciones de carga a las cuales estará sometida.

La investigación se desarrollará en la trocha carrozable ubicada en el Distrito, Provincia y Departamento de Cajamarca, teniendo las coordenadas $7^{\circ}12'47.4''$ S $78^{\circ}28'42.0''$ W. En esta carretera como en la mayoría de trochas carrozables se presenta la problemática anteriormente mencionada, agravándose en épocas de lluvia entre los meses de enero a abril, teniendo como resultado el deterioro de la subrasante de la mencionada trocha carrozable, afectando gravemente el desarrollo económico y social de Cajamarca, debido a que es una carretera que une la capital del departamento con los lugares turísticos más importantes de la región.

Por lo tanto, realizar el estudio de estabilización de esta trocha carrozable es muy importante ya que se necesita tener en cuenta la sensibilidad del suelo a la humedad, tanto las referidas a la resistencia como a las eventuales variaciones de volumen (hinchamiento – retracción), además, porque los cambios de volumen en un suelo de subrasante tipo expansivo pueden ocasionar graves daños.

1.2. Antecedentes

Debido a la problemática existente, muchos investigadores han realizado diversos estudios referidos a este tema con la finalidad de mejorar las propiedades físicas y mecánicas de los suelos para mejorar la estabilidad de los suelos, presentándose los siguientes:

Antecedentes internacionales

Hernández et al. (2016), en su tesis titulada “**Propuesta de estabilización de suelos arcillosos para su aplicación en pavimentos rígidos en la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de el salvador**”, en San Miguel, El Salvador, Centro América. Tuvo como objetivo general analizar las mejoras en el comportamiento de un suelo arcilloso mediante la utilización de cal como agente estabilizador, para ser utilizado como subrasante de pavimentos rígidos en la Facultad Multidisciplinaria Oriental de la Universidad de El Salvador. El tipo de investigación de acuerdo al propósito es aplicado, ya que utiliza los conocimientos adquiridos en la vida académica, también es experimental, ya que se realizan ensayos de laboratorio para comprobar la hipótesis. La población está constituida por los suelos arcillosos de la facultad multidisciplinaria oriental de la universidad de El Salvador y la muestra lo constituye el mismo lugar de desarrollo de los ensayos. Se realizó una serie de pruebas comparativas entre propiedades del índice del suelo natural y al suelo estabilizado con cal al 5% en peso obteniendo resultados como: los valores de Atterberg indica el tratamiento de un suelo fino, cambiando su consistencia de un estado a otro, tratándose de suelo arcilloso inorgánico de alta plasticidad (CH), debido a que el índice de plasticidad es del 45%, límite líquido de 75% y un límite plástico de 30%. Además, el estudio de estos límites mostró que la

muestra de suelo con cal se transformó en uno no plástico. Por otro lado, al realizar la granulometría por lavado, dando como resultado un suelo fino pasando un 84.84% del material por la malla N° 200, mientras que la muestra suelo – cal, obtuvo como resultado 79.33% que pasa la malla mencionada. Así mismo, la gravedad específica de los suelos en estado natural fue de 2.43 y en la mezcla el valor es de 2.28 reduciendo así un 6.17%. Otro factor muy importante es la relación Densidad – Humedad (Proctor) obteniéndose una densidad seca máxima de 1.639 kg/m³ y una humedad óptima de 18.80%, mientras que la muestra suelo-cal tuvo como densidad máxima seca el valor de 1.527 kg/m³ y una humedad óptima del 19.40%. Finalmente, el Valor de Soporte Relativo (C.B.R) para el suelo en estado natural tiene un valor de 1.93% convirtiéndole en un suelo inadecuado o marginal para formar parte de la subrasante. Sin embargo, con la adición de la cal se produjo un incremento importante de la capacidad del suelo, haciéndolo un suelo adecuado para la estabilización. Finalmente, respecto al hinchamiento del suelo en estado natural en el periodo desaturación tiene como resultados de 0.472, 0.782 y 0.464 pulg., en moldes compactados a 56, 25 y 10 golpes respectivamente y para moldes compactados de 56, 25 y 10 golpes de la mezcla suelo – cal su hinchamiento fue de 0.003, 0.007 y 0.009 pulgadas respectivamente. Se llegó a concluir que la muestra de la mezcla suelo – cal hincho en un 2% de lo que lo hace el suelo en estado natural, reduciendo así en un 98% el hinchamiento con respecto a la muestra sin tratar, además concluye que la adición de cal reduce el índice de plasticidad de 45% a 0% y el hinchamiento en un 88%. Así mismo, la cal ayuda a secar rápidamente los suelos, la cual facilita su compactación.

Pérez & Torres (2015), en su tesis de grado titulada “**Estudio de la cal y el cloruro de sodio como agentes estabilizadores de suelos arcillosos en propiedades como la resistencia**

y **expansividad**”, en Bucaramanga, Colombia. Tuvo como objetivo general determinar la acción de la cal y el cloruro de sodio como agentes mejoradores de la resistencia y manejo de la expansividad en suelos arcillosos. Dicho estudio tiene como tipo de investigación cualitativa, debido a que se conocerá las propiedades de los suelos arcillosos, además, es del tipo descriptiva. Además, el estudio trata de la estabilización con productos químicos entre los que se encuentran el Roc Amix, ya que todos los suelos están constituidos globalmente por roca y que por efectos químicos y mecánicos se transformaron en suelos, teniendo como efecto un sistema de estabilización y de impermeabilización de alta tecnología porque la compactación es totalmente irreversible. Además, realizo dicha estabilización con cloruro de sodio a unos suelos arcillosos en la ciudad de Querétaro que presentaban un alto contenido o índice de expansividad por lo que el nombre de los suelos se llamó el salitre y el Jurica. Se adicionó cloruro de sodio en distintos porcentajes 0%, 2%, 5%, 10%, 20% considerando además en salmuera y en grano. Teniendo como resultado la compactación con 0% de sal es menor a la compactación con 20% de salmuera respecto al contenido de humedad. El estudio llegó a concluir que la cal y el cloruro son agentes estabilizadores, reaccionando no solo físicamente sino también de manera química creando enlaces más fuertes, además, estos agentes estabilizadores disminuyen la expansividad del suelo, aumentando la resistencia del suelo a compresión, tracción y penetración.

Así mismo, Cañar (2017), en la tesis para obtener título profesional titulada “**Análisis comparativo de la resistencia al corte y estabilización de suelos arenosos finos y arcillosos combinadas con ceniza de carbón**”, en Ambato, Ecuador. El estudio realizado tuvo como objetivo principal evaluar los resultados de resistencia la corte entre los suelos arenosos finos

y arcillosos y, además, el comportamiento mecánico de las estabilizaciones de los suelos arenosos finos y arcillosos con ceniza de carbón. La investigación desarrollada fue del nivel exploratorio, descriptivo, explicativo, además, es del tipo experimental. La población está determinada por suelos del mapa geológico del Ecuador, mientras que la muestra está determinada por varios kilogramos por cada tipo de suelo. Se recolectó dos tipos de suelos de acuerdo a la clasificación SUCS, SM (Arena limosa) y CH (arcilla de alta plasticidad), además los resultados, al desarrollar la granulometría se puede afirmar que se tiene un suelo arenoso con partículas limosas. Por otro lado, para el ensayo de Valor de Soporte de California (CBR) realizó tres ensayos por cada combinación de suelo natural con 20%, 23% y 25% de cenizas de carbón de acuerdo a la norma (AASHTO T-180 y ASTM D-1557) teniendo como resultado que el valor de CBR aumento en aproximadamente 3% con la adición de la ceniza de carbón. Así mismo, se tiene que con la adición de 25% de ceniza se obtiene un CBR de 11.20% considerado como un suelo bueno para subrasante. De acuerdo a los resultados obtenidos se pudo concluir que la adición de cenizas de carbón influyo favorablemente en los suelos expansivos, formando una capa compacta y aumentando el grado de compactación, mejorando el CBR y la resistencia al corte, además, mejora las propiedades físicas de los suelos arcillosos y arenosos, también disminuye la humedad en las arcillas y en porcentajes elevados de ceniza aumenta su compacidad en los suelos arenosos, así mismo, el CBR aumento del 4.6% al 25%, mejorando el porcentaje de resistencia del 15% al 19.60%, finalmente, esta ceniza disminuye la humedad, expansión y plasticidad de los suelos.

Antecedentes nacionales

Serrano (2022), en la tesis para obtener título profesional titulada “**Estabilización de suelos incorporando cloruro de sodio y resina de pino en subrasante de la Avenida Santo Domingo, Abancay 2022**” en Abancay, Perú. Tuvo como objetivo general estabilizar los suelos incorporando cloruro de sodio y resina de pino en la subrasante de la avenida Santo Domingo, Abancay 2022. El tipo de investigación fue Aplicada con un diseño del tipo experimental. La población estaba constituida por la Avenida Santo domingo de Abancay y la muestra tuvo lugar donde se desarrollaron 3 calicatas como muestra patrón ubicadas en las progresivas el Km: 0+150 – C1, Km: 0+250 – C2, Km: 0+350 – C3, con profundidades desde 0.30 a 1.50 metros. La técnica utilizada fue la observación, mientras que la herramienta utilizada fueron hojas de análisis y directrices del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Así mismo los resultados para cada una de las calicatas se adiciono NaCl en 2%, 4%, 6% y 8% y resina se pino en los mismo porcentajes y suelos con ambos estabilizantes con la combinación de NaCl al 1%, 2%, 3% y 4% más la resina de pino en porcentajes de 1%,2%, 3% y 4%. El trabajo de investigación mencionado llego a las siguientes conclusiones, de tres calicatas; muestras patrón, teniendo que la C-2, presentaba propiedades mecánicas y físicas más desfavorables en comparación con las C-1 y C-3, otra de las conclusiones es que, para mejorar las propiedades físicas de la subrasante, se necesita de la adición de 5% de cloruro de sodio para poder obtener 14.50 de CBR al 95% y 0.1”. por otro lado, se necesita de la adición del 6% resina de pino para obtener 18.30 de CBR al 95% y 0.1”. finalmente, para obtener mejores propiedades físicas y mecánicas de la subrasante se necesita adicionar 3% de cloruro de sodio y 3% de resina de pino para obtener 18.10 de CBR al 95% y 0.1”.

Segovia (2022), en la tesis para obtener título profesional titulada “**Estabilización de subrasantes blandas modificados con cenizas de hollejo de uva, carretera IC-107, división Cocharcas – Tingué, Los Aquijes, Ica – 2022**”, en Ica, Perú. Tuvo como objetivo general estabilizar las subrasantes blandas modificadas con adición de cenizas de hollejo de uva, en la carretera mencionada. El tipo de investigación fue aplicada, mientras que el diseño fue experimental con un enfoque cuantitativo y un nivel explicativo. La población estuvo representada por la carretera IC-107, Empalme PE-1S en Huancavelica Km: 92+008 y la muestra estaba representada por los progresivos km 26+000 al km 28+977 con un muestreo no probabilístico. Los resultados mostraron que la densidad máxima seca se obtuvo al adicionar un 30% de hollejo de uva, valor equivalente a 1.65 gr/cm³. Además, el valor de capacidad de soporte alcanza con la adición del mismo porcentaje de hollejo de uva con un valor de 10.62% y CBR de 1” al 100% de MDS. Por otro lado, respecto al índice de plasticidad se obtiene el valor de 10.78% que fue alcanzado con la misma adición de hollejo de uva. La técnica utilizada fue la observación directa con el instrumento ficha de recolección de datos. El citado trabajo llegó a concluir que los puntos de desempeño en la máxima densidad varió desde 1.59 a 1.65 gr/cm³ con la adición de hollejo de uva al 10%, 20%, 30% y 40%, obteniéndose una densidad máxima seca de 30%, Así mismo, otra de las conclusiones fue el cambio de índice de plasticidad las cuales varían desde 16.36% hasta 10.78%.

Cristóbal (2022), en la tesis para título profesional titulada “**Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021**” en Junín, Perú. Tuvo como objetivo general determinar en cuanto varía la estabilización de la subrasante con la adición de cenizas de eucalipto, en el lugar mencionado. El tipo de

investigación fue Aplicada, utilizando el método deductivo, con un nivel explicativo y un diseño experimental. La población está constituida por la subrasante de la trocha carrozable entre las progresivas 2+182 al paraje turístico Piedra Parada, y la muestra tiene una distancia de 2+182 km. La técnica utilizada fue la observación directa. La investigación se realizó adicionado 5%, 10%, 15%. Los resultados mostraron una variación en el índice de plasticidad desde 12.80% a 5.32% obteniendo el menor valor para el 15% de eucalipto, de la misma manera el CBR vario desde 4.36% hasta 15.67%, obteniendo para este último el valor de 10% de ceniza, finalmente, se obtuvo los mejores resultados para el 10% de ceniza de eucalipto. La investigación llego a concluir que la máxima densidad seca cambia de 1.840 g/cm³, 1,997 g/cm³ y 1.90 para contenidos de ceniza del 5%, 10% y 15% obteniéndose como valor de 1.997 g/cm², para valores más superiores esta densidad tiende a disminuir, además el índice de plasticidad varia de 12.80%, 7.15% y 5.32% en contenidos de ceniza 5%, 10% y 15%, el cual obtiene un valor de 5.32% para el 15% de ceniza de eucalipto. Finalmente, el contenido de resiliencia varia de 6.18ksi, 13.32ksi, 8.59ksi en contenidos de ceniza de 5%, 10% y 15%, el cual obtiene el mayor de 13.32ksi para el 10% de ceniza de eucalipto. Finalmente, el suelo con la adición del 10% de ceniza, la densidad máxima seca aumento en 10%, el índice de plasticidad disminuyo en un 54.97% y el CBR aumento en 385.14% y el módulo de resiliencia aumento en 157.94%. lo cual significa que con esta adición el suelo vario considerablemente.

Antecedentes locales

Fonseca (2022), en la tesis para título profesional “Evaluación, incorporando cal y cemento para estabilización de suelos cohesivos en subrasante de carretera Corralcucho - Las

Palmas, Cajamarca – 2021” en las palmas, Cajamarca. La mencionada investigación tuvo como objetivo principal la evaluación de la incorporación del cemento y cal para la estabilizar los suelos cohesivos en la subrasante de la carretera Corralcucho en el lugar especificado anteriormente. El tipo de investigación fue considerada como Aplicada con un diseño cuantitativo pre experimental. La población está constituida por los kilómetros 2.5 hasta el kilómetro6, donde la muestra está representada por 2.6 km. La técnica utilizada fue la observación con la ayuda del instrumento cartilla de observación. Para el desarrollo de su investigación realizó un levantamiento topográfico con estación total lo proceso con el software Civil 3D, en el cual realizó el diseño geométrico de acorde a la clasificación del Ministerio de transportes y comunicaciones. Así mismo, una vez obtenido los planos se definió la ubicación de las calicatas para la extracción de muestras y para ser llevadas al laboratorio dónde realizó la clasificación de acuerdo a las normas AASHTO y SUCS, seguidamente determino los límites de Atterberg y los ensayos de Proctor y CBR en estado natural y de la muestra con la adición de 3% y 5% del material aglomerante. Los resultados mostraron que la índice plasticidad tuvo una variación desde 19.11% hasta 27.44% y la clasificación de suelos se clasifico como limo arcilloso de alta plasticidad, limo arenoso de alta plasticidad, además, se obtuvo que el contenido de humedad fue de 10.67% y su densidad máxima seca de 1.694 replicándose dichos valores para la incorporación de 3 y 5% de cal y de cemento y una densidad máxima seca de 1.402 para el incremento de 3 y 5% de cemento. La investigación llego a concluir que se realizaron 6 calicatas determinándose los límites de Atterberg y de acuerdo a la clasificación SUCS, las 6 muestras son limo arenoso de alta plasticidad y según la clasificación AASHTO las muestras estarían en el grupo A-7-6 considerado como malo. Además, se determinó que la

cal y el cemento mejoran las propiedades físicas en el estado natural aumentando el CBR de 4.70% a 64.30%, llegando incluso hasta 93.90% y 81.50% en las calicatas C1-C3 y C4 – C6 respectivamente. Finalmente, la cantidad requerida de cal requerida por un suelo depende de la dosificación debido a que cada suelo tiene características diferentes.

Chinchay (2018), en la tesis de grado titulada **“Influencia del aditivo Sika dust seal como agente estabilizador de suelos en la trocha carrozable tramo la serma-tambillo Jaén, Cajamarca”** en Cajamarca, Perú. Tuvo como objetivo general Determinar la influencia del uso del aditivo Sika Dust Seal. Dicha investigación fue del tipo experimental, con un nivel aplicativo. La población estaba constituida por las trochas carrozables del distrito de Bellavista, sin embargo, la muestra solo consideró a la trocha carrozable comprendida desde el tramo anexo la serma hasta Tambillo, en la misma se realizaron cuatro calicatas con una profundidad de 1.50 m, de la cual tomo muestras a diversas profundidades; de las muestras obtenidas realizó el cuarteamiento respectivo y secado al horno. Seguidamente realizó el análisis granulométrico de acuerdo a la norma MTC E 204/NTP 339.128 en la que se utilizó 1500 gramos. Así mismo, determino el límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos, para ello, utilizó la NTP 339.129 o su equivalente MTC E 110/MTC E 111/NTP. Además, con la utilización de la NTP 339.134 realizó la clasificación SUCS. Por otro lado, realizó la clasificación de Proctor modificado de acuerdo a la NTP 339.141 y finalmente hizo el ensayo de CBR (Relación de Soporte de California). Los resultados mostraron que la clasificación de suelos de acuerdo a SUCS fueron del tipo GP, GW, SP- SC; esto quiere decir que son suelos que contienen gravas, arenas, y limosos arcillosos en pequeñas cantidades y de acuerdo a la clasificación AASHTO tuvo un suelo tipo A – 2 – 4, lo que significó que tuvo un suelo granular con finos en pequeñas

cantidades, además los resultados de CBR al 95% de la máxima densidad seca sin aditivo para las cuatro calicatas son 25.80%, 25.80%, 26.60%, 31.80%. por otro lado, cuando se usó el aditivo mencionado el CBR aumento para las cuatro calicatas de 26.60% a 33.60%, del 25.80% a 33%, del 25.80% al 33.60% y del 26.60% al 31.80% y de 24.80% a 31.80%. Finalmente, la dosificación óptima para los ensayos de CBR para los ensayos resulto cuando adiciono 6.37 cm³ de aditivo y 209.63 cm³ de muestra de suelo, obteniendo como máxima densidad seca el valor de 2.26gr/cm³.Dicho antecedente llevo a concluir que, el uso de aditivo Sika Dust Seal favorece la capacidad de soporte de la subrasante en la trocha carrózale en estudio, mejorando la estabilidad del suelo.

Gálvez & Santoyo (2019), en la tesis de título profesional titulada “**Estabilización de suelos cohesivos a nivel de subrasante con ceniza de cáscara de arroz, carretera yanuyacu bajo-señor cautivo**”, en Jaén, Cajamarca. Tuvo como objetivo principal, determinar la influencia de la incorporación de ceniza de cascara de arroz como estabilizante del suelo cohesivo a nivel de subrasante en la carretera Yanucacu – Señor Cautivo. La investigación tuvo un diseño del tipo experimental. El método utilizado fue el deductivo, inductivo y analítico. Las técnicas utilizadas fueron la observación, documental o de gabinete. La investigación se realizó en la fábrica de ladrillo de “Don José” de la cual se recolecto la ceniza de la cascara de arroz después de la quema del ladrillo, el área de ejecución se realizó en la carretera Yanuyacu – Señor Cautivo en el distrito y provincia de Jaén en la región Cajamarca, y la muestra de suelo se extrajo después de realizar una calicata una cantidad de 700 g. Así mismo, en el proceso en al laboratorio realizó el análisis granulométrico de acuerdo con el MTC E -107 haciendo referencia a la norma NTP 339.128. El estudio llegó a la conclusión que la incorporación de

ceniza de cascara de arroz mejora las características del suelo arcilloso estudiado, con una dosificación del 15% aumenta la resistencia considerablemente, además se logra determinar que la dosificación del 3% es la más óptima debido a que es más trabajable, económica y sustentable para ser usada a nivel de subrasante, cumpliendo con la normativa NTP y MTC. Por otro lado, la incorporación de ceniza de cascara de arroz respecto al índice de plasticidad disminuyó al incorporarse el porcentaje del material mencionado, así mismo, se tiene que a medida que aumenta la dosificación disminuye la densidad máxima seca, aumentando el contenido óptimo de humedad.

1.3. Precisiones conceptuales

Estabilización de suelos

La estabilización de suelos está definida como el mejoramiento de las propiedades físicas de un suelo mediante procedimientos mecánicos también por la incorporación de productos químicos naturales o sintéticos. Así mismo, los estabilizadores los estabilizadores anteriormente mencionados se realizan en suelos que tienen una subyacente inadecuada o pobre (MTC, 2016).

La estabilización de suelos tiene como propósito hacer más resistente a estos los cuales deben aumentar su resistencia mecánica y que éstos permanezca ni el tiempo. Para ello se utilizan técnicas muy variadas las cuales consisten desde la adición de otro suelo, incorporación de 1 o más agentes estabilizantes. Cualquiera sea y el mecanismo empleado para estabilizarlo he seguido de un proceso de compactación (MTC, 2016).

Criterios geotécnicos para establecer la estabilización de suelos:

- 1) Sin considerados materiales aptos para capas de subrasante aquellos suelos que tienen un $CBR \geq 6\%$. En caso de ser menor se considera una sobrasante pobre o su rasante inadecuada en caso de ser menor cual se considera una sobrasante pobre rasante inadecuada además de presentarse zonas húmedas locales o áreas blandas debe ser motivo de un estudio especial para estabilizarlo para mejorarlo o reemplazarlo tal decisión recae en el ingeniero responsable el mismo que analizará diversas alternativas las cuales pueden ser reemplazo de suelo de cimentación estabilidad mecánica estabilización con productos o aditivos que mejoran las propiedades del suelo y estabilización con geo sintéticos capas de arena elevar la rasante o cambiar el trazo vial.
- 2) La capa de la subrasante un material arcilloso limoso y al humedecerse estas partículas puedan penetrar en las capas granulares del pavimento cuál deberán de proyectarse una capa que no permita contaminar como mínimo de 10 cm de espesor.
- 3) La superficie de la sub rasante debe quedar ir por encima del nivel de la capa freática mínimamente a 0.60 m cuando sea una subrasante extraordinaria y muy buena; a 0.80 m cuando se trate de unas horas antes buena y regular; a 1.00 m cuando se trate de una sobrasante pobre y, a 1.20 m cuando se trate de una sobrasante inadecuada.
- 4) Para zonas que se encuentran sobre los 4000 m sobre el nivel del mar si evaluarán la acción de las heladas en los suelos en especial la acción del congelamiento del congelamiento con la profundidad de la capa freática y la susceptibilidad del suelo al congelamiento.

5) Para establecer un tipo de estabilización de suelos y es necesario determinar su tipo.

Los suelos que predominantemente se encuentran en este ámbito son los limos las arcillas o las o las Arenas limosas o arcillosas.

6) Dentro de los factores considerados para seleccionar el método más conveniente de estabilización son:

- a) Tipo de suelo a estabilizar.
- b) Uso propuesto del suelo estabilizado.
- c) Tipo de aditivo estabilizador de suelos.
- d) Experiencia en el tipo de estabilización que se aplicará.
- e) Disponibilidad del tipo de aditivo estabilizador.
- f) Disponibilidad del equipo adecuado.
- g) Costos comparativos.

Estabilización mecánica de suelos

Con este tipo de estabilización se pretende mejorar la estabilidad del suelo existente sin alterar o modificar su estructura y su composición básica del mismo. Para ello se utiliza la compactación el mismo que permite reducir el volumen de vacíos presentes en el suelo (MTC, 2016).

Estabilización por combinación de suelos

Este tipo de estabilización permite la incorporación de un material de préstamo cuál para tal propósito el suelo existente se disgregará o escarificará en una profundidad de 15 cm y luego se colocará el material de préstamo o aporte. Los materiales disgregados y los aportes se humedece Irán o airearán hasta alcanzar una humedad apropiada de compactación y previa

eliminación de partículas mayores de 75 mm. Finalmente si procede a realizar el mezclado de ambos suelos luego se compactará hasta el nivel de su rasante fijado en el proyecto (MTC, 2016).

Aserrín

Es el conjunto de partículas o polvillo que se desprende de la madera cuando está a cerrada; También contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso y manejo de la misma, paneles contra planchados y/o aglomerados (Pineda et al., 2012).

Así mismo la composición química y física del aserrín determinan el tipo de combustible o subproducto energético que se puede generar específicamente las características físicas influyen en el tratamiento previo que sea necesario aplicar(Pineda et al., 2012).

El contenido de humedad depende de la fase del proceso por el cual ha sido extraído para el caso di este producto como el aserrín el valor de la humedad es mayor al 10% y el contenido de ceniza superior al 0.5%(Pineda et al., 2012).

Tabla 1

Características de residuos madereros corrientes

Residuos	Tamaño	Contenido de Humedad.	Contenido de cenizas
Lijadoras	<1	2-10	0.1-0.5
Virutas	1-12	10-20	0.1-1
Aserrín	1-10	25-40	0.5-2
Corteza desmenuzada	1-100	25-75	1-2
Residuos forestales		30-60	3-2

Nota. (Pineda et al., 2012).

Tabla 2

Propiedades del aserrín de pino

Característica	Valor	Característica	Valor
Contenido de humedad (%)	15.5	Análisis de tamaños	
Densidad aparente (kg/m ³)	167	Tamaño (mm)	(% peso)
Valor calórico bajo (MJ/kg)	17.86	>4.0	2.29
Análisis elemental (% peso total, lhca)		4.0-3.35	2.32
		3.35-1.98	6.6
C	50.65	1.98-1.60	9.62
H	6.03	1.60-1.25	17.87
N	0.14	1.25-0.84	23.13
O (Por diferencia)	43.18	<0.84	18.24

Nota. (Pineda et al., 2012).

Normas ASTM – Perú.

Este tipo de normas son usadas en todo El Mundo aproximadamente en 60 países, son normas publicadas por consenso mediante foros y es aplicada para materiales servicios sistemas y productos (Flores, 2019).

Normas técnicas peruanas (NTP) – Perú

La aplicación de estas normas peruanas es utilizada y en los ensayos siguientes:

Ensayo para el análisis granulométrico NTP 339.128:1999

Esta norma ha sido publicada el 11 de julio del 2014 por tinacal en la misma establece el método para realizar dicho análisis mediante el uso de tamices y por el método de sedimentación de los suelos (Flores, 2019).

Así mismo, La granulometría es el tamaño de los granos que participan cómo porcentaje de peso total de la composición del suelo que representan además las propiedades físicas y mecánicas de los suelos es función directa de la granulometría y se determina por qué es fundamental para establecer su comportamiento mecánico dividido a que son sometidas a cargas directamente(Hernández et al., 2016).

Para los cálculos se utilizarán las siguientes formulas:

Plasticidad

Esta es una de las propiedades muy importantes de los suelos ya que permite cambiar de dentro de un rango de humedad dado y se mantienen sin perder el volumen ni romperse cuando son sometidas a fuerzas de compresión(Hernández et al., 2016).

Densidad máxima seca

Ecuación 1. Densidad máxima seca

$$Y_{d\ max} = \frac{(w_s - M_m)}{V_m} \text{ (gr/cm}^3\text{)}$$

Donde:

Y_{dmax} : Densidad máxima seca.

w_s : so del molde más el suelo seco compactado (g).

M_m :Peso del molde con base ajustada (g).

V_m :Volumen del molde (cm³).

Contenido de humedad NTP 339.127

Esta norma ha sido publicada por Inacayal la cual trata de establecer los pasos para realizar el ensayo y poder cuantificar el contenido de humedad de la muestra de suelo mediante el uso de una balanza y un horno controlado (Flores, 2019).

Índice de plasticidad

“Se denomina Índice de Plasticidad o Índice Plástico a la diferencia numérica entre los límites líquido y plástico, e indica el margen de humedades dentro del cual se encuentra en estado plástico” (Flores, 2019).

Tabla 3

Categorización de suelos según IP

Índice de plasticidad	Plasticidad	Característica
IP > 20	Alta	Suelo muy arcilloso
IP ≤ 20	Media	Suelo Arcilloso
IP > 7	Baja	Suelos poco arcillosos
IP < 7	No plástico	Suelos exentos de arcilla

Nota. Manual de carreteras (2016).

Límite líquido

“Porcentaje de contenido de humedad relacionado al peso seco de la muestra a evaluar mediante el cual dicho suelo ensayado para del estado líquido al estado plástico” (Flores, 2019).

Además, cuando el contenido de humedad por debajo del cual el suelo se comporta como un material plástico Así mismo a Este contenido de humedad el suelo está en el vértice de cambiar su comportamiento al de un fluido viscoso (Hernández et al., 2016).

Limite plástico

“Porcentaje de humedad relacionado al peso de la muestra seca luego de haber sido secada en el horno, esto expresa el contenido de humedad para los suelos pasarían del estado semisólido a un estado totalmente plástico” (Flores, 2019). Además, El límite plástico de un suelo es el más bajo contenido de agua en el que el suelo sigue presentando plasticidad (Hernández et al., 2016).

Límite de contracción (Lc)

“Es el contenido de humedad por debajo del cual no se produce reducción adicional de volumen o contracción en el suelo” (Hernández et al., 2016, p. 43).

Ecuación del Índice de plasticidad

Ecuación 2. Índice de plasticidad

$$IP = L_L - L_P$$

donde:

IP: Índice de plasticidad

L_L: Limite Líquido

L_P: Limite Plástico

California Bearing Ratio (CBR)

Es un ensayo para evaluar la calidad de un material de suelo con base en su resistencia, medida a través de un ensayo de placa a escala y con la siguiente tabla de clasificación típica.

Tabla 4

Clasificación típica de CBR.

CBR	Clasificación General	Usos	Sistema de clasificación	
			Unificado	AASHTO
0-3	Muy Pobre	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A5, A6, A7
3-7	Pobre a Regular	Subrasante	OH, CH, MH, OL	A4, A5, A6, A7
7-20	Regular	Subbase	OL, CL, ML, SC, SM, SP	A2, A4, A6, A7
20-50	Bueno	Base, Subbase	GM, GC, W, SM, SP, GP	A1b, A2-5, A3, A2-6
>50	Excelente	Base	GW, GM	A1-a, A2-4, A3

Fuente: Manual de carreteras.

Ensayo Proctor

Es un ensayo que se emplea para determinar la relación entre la densidad seca y la humedad de compactación de los materiales utilizados tanto en explanadas como en las capas granulares de firmes. (López, 2020).

Proctor modificado NTP 339.141

Este tipo de ensayo es utilizado en el laboratorio con la finalidad de conocer la relación existente entre el contenido de agua y el peso de los suelos dinosaurios unitarios secos como el mismo que se compactará dentro de un molde con un diámetro de 101.6 o 152.4 mm mediante un pisón de 44.5 N cayendo desde una altura de 18 pulg. (Flores, 2019).

Tabla 5

Proctor estándar ASTM D698

CRITERIOS	A	B	C
Peso del martillo	5.5	5.5	5.5
Diámetro molde	4	4	6
Nro. de Capas	3	3	3
Nro. Golpes/ Capa	25	25	25

Fuente: Chang (2015).

Tabla 6

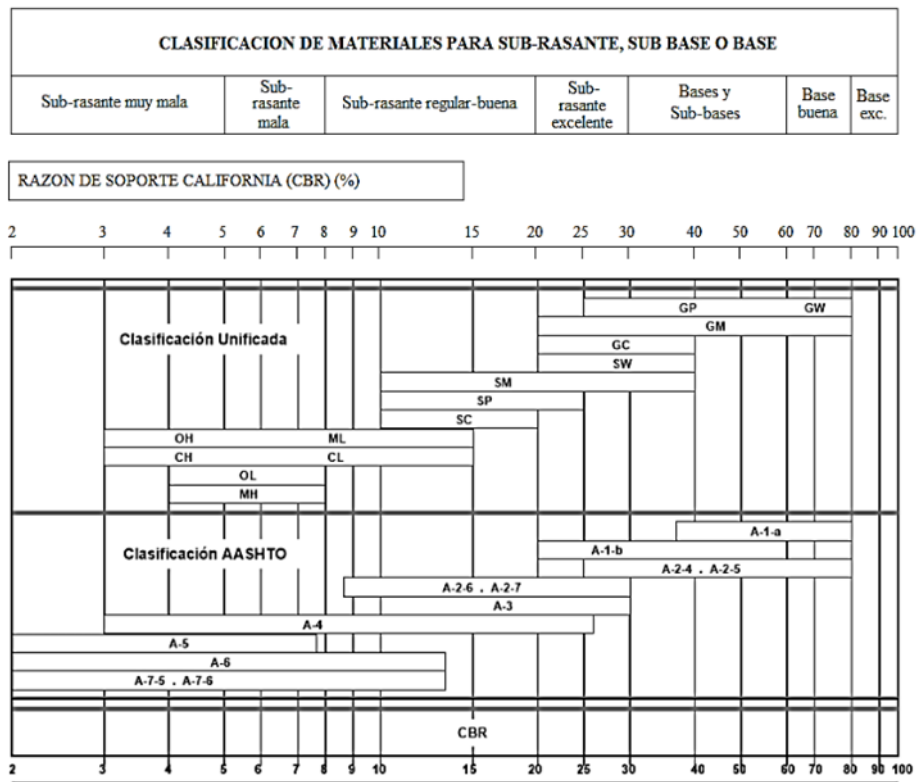
Proctor Modificado ASTM D1557

CRITERIOS	A	B	C
Peso del martillo	10	10	10
Diámetro molde	4	4	6
Nro. de Capas	5	5	5
Nro. Golpes/ Capa	12	25	56

Fuente: Chang (2015).

Figura 1

Correlación entre AASHTO M-145, clasificación SUCS y CBR



Fuente: (Hernández et al., 2016).

Trocha carrozable

Son vías transitables que no alcanzan las características geométricas de una carretera por lo general tiene una característica específica donde su IMDA es menor a 200 vehículos por día. Además, sus calzadas deben tener un ancho mínimo de 4 m el cual debe contener los ensanches denominados plazoletas de cruce como máximo a 500 m.

Subrasante

Se conoce como subrasante a la superficie termina nada de una carretera en el nivel de movimiento de tierras tanto para corte y como de relleno sobre la cual se coloca una estructura de pavimento o afirmado. (MTC, 2016).

Además, la subrasante es el asiento directo de la estructura del pavimento asimismo forma la parte prisma de la carretera construida entre el terreno natural allanado o explanada y la estructura del pavimento. También, la sobrasante es la capa superior del terraplén en el fondo de las excavaciones que soportará la estructura del pavimento de la misma manera está conformada por suelos que son seleccionados y tienen características aceptables y compactados por capas en el cual se puede construir un cuerpo estable en óptimo estado para lo cual no debe ser afectada la carga de diseño proveniente del tráfico. De igual manera la capacidad de soporte en condiciones de servicio juntamente con el tránsito y las características de muchos materiales de construcción para la superficie de rodadura constituyen las variables básicas en el diseño de una estructura básica pavimento(MTC, 2016)

También se debe conocer que los suelos por debajo de las obras ante sobre todo los que se encuentran a una profundidad no menor a 0.60 m deberán ser adecuados y estables con un CBR mayor o igual al 6%. En caso el suelo, debajo del nivel superior de la subrasante ante

tengo un CBR menor al 6% la cual se considera sobrante pobre o sobrante inadecuado la cual es un indicativo para estabilizar los suelos(MTC, 2016).

Parámetros del estado del suelo

Respecto a los parámetros del suelo no son propio sí sino de las condiciones ambientales en las que se encuentran, por eso, para los suelos sensibles al agua el parámetro de Estado que determina todas las condiciones de los rellenos terraplenes y explanadas en las redes viales es el estado hídrico(Hernández et al., 2016).

Compactación

La propiedad de la cual se hace mención es un procedimiento resultante de aplicar energía al suelo para eliminar espacios vacíos lo cual permite aumentar su densidad e inconsecuencias su capacidad al soporte y estabilidad(Hernández et al., 2016).

Ventajas

- Aumento de resistencia y capacidad de carga
- Reducción de la compresibilidad.
- Disminución de vacíos
- Mejora el comportamiento esfuerzo - deformación del suelo
- Elemento de estabilidad de taludes de terraplenes

Aplicación

- Terraplenes para caminos y ferrocarriles.
- Cortinas para presas de tierra.
- Diques

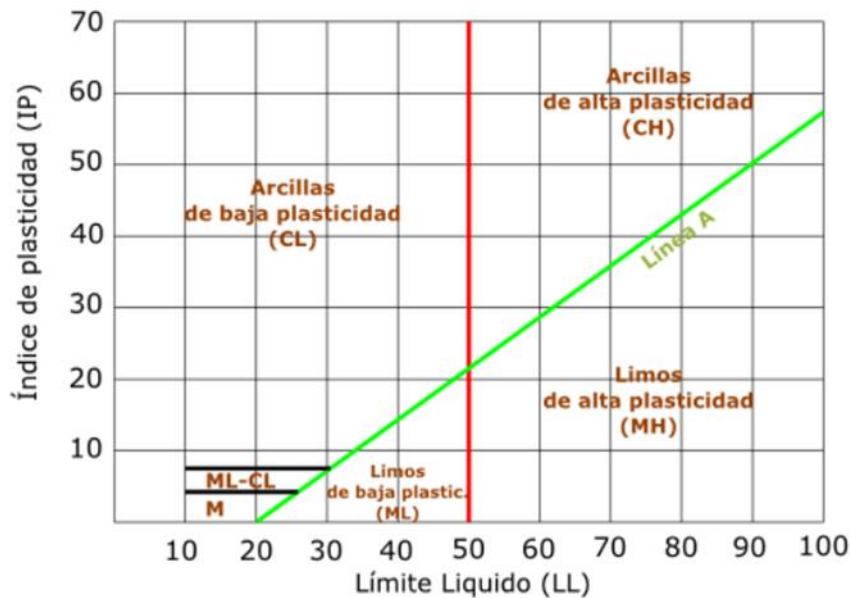
- Pavimentos.
- Mejoramiento de terreno natural para cimentación.

Clasificación SUCS ASTM D2487

Esta clasificación es utilizada con la finalidad de describir la textura y el tamaño de las partículas de un determinado suelo y es aplicado a una gran mayoría de materiales.

Figura 2

Clasificación SUCS de los suelos



Nota. la figura muestra la carta de plasticidad para describir la textura y el tamaño de las partículas. Fuente: Casagrande(S.F.).

1.4. Formulación del problema

1.4.1. Problema general

- Como influye el aserrín en el comportamiento de los suelos para la estabilización de trochas carrozables Cajamarca 2023.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo General

- Determinar la influencia del aserrín en el comportamiento de los suelos para estabilización de trochas carrozables Cajamarca 2023.

1.5.2. Objetivo específico

- Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, capacidad portante del suelo y CBR de trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero con adición de aserrín en diferentes porcentajes de 3%, 5% y 10%.
- Clasificar el tipo de suelo de las trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero con adición de aserrín en diferentes porcentajes de 3%, 5% y 10%.
- Determinar la variación de la densidad máxima seca del suelo en estudio (ensayo de Proctor) con adición de aserrín en diferentes porcentajes de 3%, 5% y 10% en las

trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero.

- Comparar los resultados de las muestras sin la adición de aserrín y con adicción de aserrín (ensayo CBR) en diferentes porcentajes de 3%, 5% y 10% en estabilización de las trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero.
- Determinar la mejor opción de los diferentes porcentajes de aserrín (3%, 5% y 10%), comparando los resultados finales más óptimos de estabilización del suelo en las trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero.

1.6. Hipótesis

1.6.1. Hipótesis general

- La incorporación del aserrín mejora en 12% el comportamiento de los suelos para la estabilización de trochas carrozables Cajamarca 2023.

Justificación

El fin de la investigación presente es realizar el análisis del comportamiento del suelo de las tochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y CP la Huaraclla con El Crucero al ser agregado aserrín en porcentajes de 3%, 5% y 10% con la finalidad de mejorar su estabilidad. El cual con las adiciones de aserrín sirve para mejorar las propiedades físicas y mecánicas más

importantes. Así mismo logrando una mejora en la resistencia de la estabilidad de los suelos presentes en las trochas.

Además, al realizar este tipo de análisis, será de gran ayuda para la resolución de diversos problemas relacionados con la inestabilidad de los suelos que se presentan tanto en nuestra región como en nuestra nación, particularmente durante las épocas de lluvias, que perjudican el desarrollo comercial y comunicacional de muchas localidades. El estudio actual también proporcionará información básica para futuras investigaciones y actuará como un manual para el uso de las técnicas en la solución de problemas similares en nuestra área y en todo el país.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

La presente investigación según sus propósitos **considera aplicada**, con diseño del tipo experimental y de acuerdo al periodo de análisis será del tipo longitudinal o evolutiva; además, tiene un enfoque cuantitativo del tipo descriptivo.

Es aplicada porque se utilizó las normas como: análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107 – NTP 339.128), Límites de Atterberg (MTC E 110, MTC E 111 - NTP 339.129), Proctor modificado (MTC E 115 – NTP 339.141), California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132 – NTP 339.145). para realizar los análisis del comportamiento antes y después de la aplicación del aserrín para poder estabilizar la carretera.

Diseño experimental porque es el método de investigación más refinado para recabar datos y comprobar la hipótesis, además es refinado porque se hace uso de la matemática, estadística, en algunas ocasiones la lógica. Así mismo, porque se utilizan técnicas estadísticas para el control de las variables participantes y para la medición de las diferencias estadísticas de cada uno de los resultados (Ñaupas et al., 2018). Así mismo, en el estudio se trabaja con la variable independiente en la que se procede con las muestras extraídas a adicionar el material utilizado en la investigación; aserrín en proporciones de 3%, 5% y 10%. Además, es este diseño porque sirve para especificar de qué manera se tiene una alteración en la variable dependiente que consiste en la estabilización de los suelos presentes en las trochas carrozables en estudio.

El estudio es longitudinal evolutiva porque se tiene el interés de analizar los cambios con el paso del tiempo en diferente contexto, o las relaciones de las variables, además, estos estudios se caracterizan por recolectar datos en diferentes momentos o periodos para sacar conclusiones respecto al cambio, sus determinantes y sus consecuencias (Sampieri et al.,

2014).es decir, se realizará el análisis antes y después de la ampliación del aserrín y se obtendrán las conclusiones respectivamente.

Investigación cuantitativa porque representa un conjunto de procedimientos, además tiene una secuencia y se puede probar, es decir, tiene etapas y se tiene que seguir un orden no eludiendo pasos. Así mismo, parte de una idea, que se va desarrollando y se puede delimitar, derivando en objetivos y preguntas de investigación, de estas se establecen hipótesis y se traza un plan para probarlas midiéndose en un determinado contexto, finalmente se analizan los datos obtenidos haciendo uso de la estadística(Sampieri et al., 2014). En el tema de investigación propuesto, se tiene que seguir cada uno de los pasos descritos anteriormente.

La investigación es descriptiva porque trata de explicar el proceso de la incorporación del aserrín en porcentajes, comparación y entre otros eventos de observación para la estabilización de trochas carrozables en Cajamarca. Además, porque busca establecer las propiedades y las características de la crítica razonable antes de la aplicación del aserrín y después de la aplicación de este guía analizar los resultados correspondientes (Sampieri et al., 2014). Así mismo, el estudio facilita precisar la relación de las muestras adicionadas con aserrín en 3%, 5% y 10% y las muestras en estado naturales sin adicionar (muestra Patrón).

Población y Muestra

Población

La población está conformada por las trochas carrozables que unen los lugares PUKA SIÑA con AMOSHULCA, cerca de la iglesia pentecostal la cosecha y a la lotización Walter con las siguientes coordenadas; 7°12'47.4" S 78°28'42.0" W y la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO con las coordenadas 7°13'46.99" S 78°24'41.83" W,

perteneciente al Distrito, provincia de Cajamarca, que tienen una distancia aproximada de 2 a 10 km.

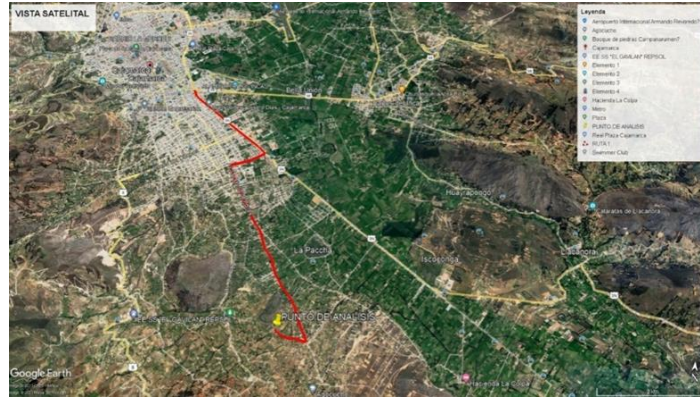
Muestra

La muestra considerada para el estudio en las trochas carrozables propuestas, se ha determinado de manera No probabilística con una longitud aproximada de 400 m para la realización de las calicatas. Así mismo, el criterio que se ha tenido en cuenta para elegir estos lugares es que se observado que dicho lugar presenta inestabilidad en sus suelos en épocas de lluvia, y son del tipo arcillosos y además son las zonas más afectadas en todo el trayecto de las mencionadas trochas, por lo tanto, existe la necesidad de plantear una alternativa de solución a dicha problemática y al ser un problema que afecta a una población humilde es que se realiza este trabajo.

Así mismo, de acuerdo con el Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en la sección suelos y pavimentos, se establece que para las carreteras de Bajo Volumen de Transito: carreteras con $IMDA \leq 200$ Veh/día de una calzada, se debe de realizar 1 calicata por km de una profundidad de 1.50 m con respecto al nivel de subrasante del proyecto. Por lo tanto, para la presente investigación se realizará dos calicatas, con el propósito de extraer el material pertinente y obtener una muestra extensa del suelo y en el que posteriormente se realizaran los ensayos de laboratorio(MTC, 2016).

Figura 3

Vista Satelital de Puka Siña con Amoshulca



Nota. En la figura se observa el recorrido desde la “Alameda Los Incas”, hasta la zona de estudio. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 7

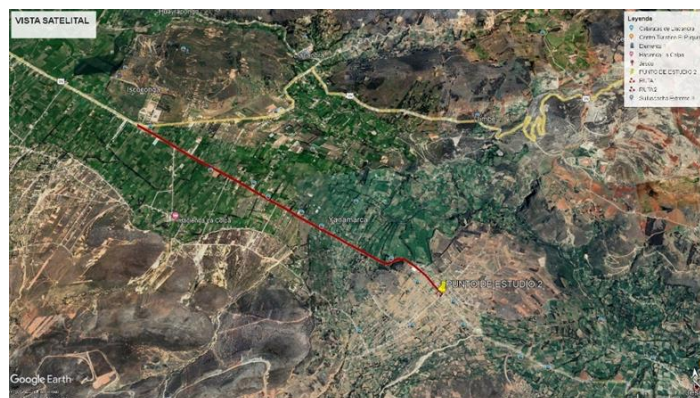
Vía de acceso a la trocha carrozable Puka Siña con Amoshulca

Punto de partida	Punto de llegada	Tipo de carretera	Distancia en (km)	Tiempo en vehículo
Ovalo del inca	PUKA SIÑA con AMOSHULCA	Asfaltada - Trocha	8 km aprox.	20 min

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 4

Vista Satelital para llegar a la trocha carrozable La Huaraclla con el Crucero



Nota. En la figura se observa el recorrido desde el cruce “Iscoconga” hasta la zona de estudio. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 8

Vía de acceso a la trocha carrozable C.P. La Huaraclla con el Crucero

Punto de partida	Punto de llegada	Tipo de carretera	Distancia en (km)	Tiempo en vehículo
Plaza pecuaria Iscoconga	CP LA Huaraclla con el Crucero	Asfaltada - Trocha	5.67 km aprox.	10 min

Nota. en la tabla se muestra la vía de acceso a la trocha carrozable mencionada. Fuente: elaboración propia (2023).

Definición y Operacionalización de variables

Variable independiente:

- Cantidad de aserrín en porcentajes de 3%, 5% y 10% adicionadas a las muestras naturales.

Variable dependiente:

- Estabilización del suelo de las trochas carrozables.

Tabla 9

Operacionalización de Variables

Variables	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores/Ítem
Variable independiente Cantidad de aserrín en porcentajes de 3%, 5% y 10% adicionadas a	La variable cantidad de aserrín se operacionaliza a partir de la dosificación, granulometría	D1: Dosificación D2: Granulometría	I1: 5% I2: 10% I3: 15% I1: 3" - N°4 I1: N° 4 - N° 200 I1: < N° 200

Pág.

	las muestras naturales	propiedades cementantes, etc.	D3: Propiedades cementantes	I1: Oxido de calcio I2: Dióxido de silicio I3: Trióxido de azufre
Variable dependiente	Estabilización del suelo de las trochas carrozables	Se operacionales a través de sus dimensiones máximas como densidad seca estabilidad volumétrica capacidad de soporte de California (CBR) e índice de resiliencia	D1: Máxima densidad seca	I1: Alto I2: Medio I3: Bajo
			D2: Estabilidad volumétrica	I1: Limite liquido I2: Limite plástico I3: Índice plástico
			D3: Capacidad de soporte de california (CBR)	I1: Suelo pobre I2: Suelo regular I3: Suelo bueno
			D4: Índice de resiliencia	I1: Pobre I2: Regular I3: Buena

Nota. Elaboración propia.

2.1. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.1.1. Técnicas de recolección de datos

Dentro de las técnicas para la recolección de datos en esta investigación se considera la observación directa, la misma que permite al autor poder registrar de forma visual los fenómenos a estudiar. Así mismo, los instrumentos de recolección de datos a utilizar en esta investigación están conformado por los equipos y las herramientas de laboratorio, con los mismos que se realizaran los ensayos de los especímenes del suelo adicionados con aserrín; manuales y normas que establecen tal procedimiento de los ensayos, de igual manera los equipos y los protocolos estandarizados de los ensayos brindados por la Universidad Privada del Norte. Debido a que los ensayos se realizarán en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte en la ciudad de Cajamarca con la utilización de las normas siguientes: Normas

técnicas peruanas y American Society for Testing and Materials de la ASTM (American Society for Testing and Materials). Los ensayos se realizan de esta manera con el propósito de que los resultados sean veraces y fidedignas debido a la envergadura de la investigación. Los ensayos se realizarán antes y después de la incorporación del aserrín en las muestras extraídas en campo y precisar la mejora de la estabilización de las trochas carrozables en estudio.

Así mismo, se ha elegido el aserrín, porque es un es material que resulta comoproducto de una mezcla de astillas después del corte de las maderas y puede ser obtenido a un bajo costo y en muchas oportunidades gratuitamente. A pesar de ser orgánico, este material al ser utilizado en la mecánica de suelos facilita la filtración del agua(León, 2020), y como consecuencia existe un rápido secado pudiendo utilizarse en la base y subbase en las trochas carrozables en la estabilización de sub rasantes. Además, las trochas carrozables elegidas son muy transitables, teniendo un deterioro rápido de su capa de rodadura, incrementándose aún más en épocas de lluvia, por lo que mucha población resulta perjudicada. Por lo tanto, es necesario plantear una solución a dicha problemática

Tabla 10

Ensayos a realizarse para el estudio propuesto

Tipo de ensayo	Descripción
contenido de humedad	Agua presente en una masa en estado natural
Gradación de partículas	Distribución de tamaños
Análisis granulométrico	clasificación de partículas que contiene el suelo
Límites de Atterberg	Contenido de humedad con que una muestra de suelo cambia de una consistencia a otra
Proctor Modificado	Relación densidad seca con humedad
California Bearing Ratio (CBR)	Prueba de penetración para comprobar las características mecánicas de un suelo

Nota. Tipos de ensayos a realizarse en el laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

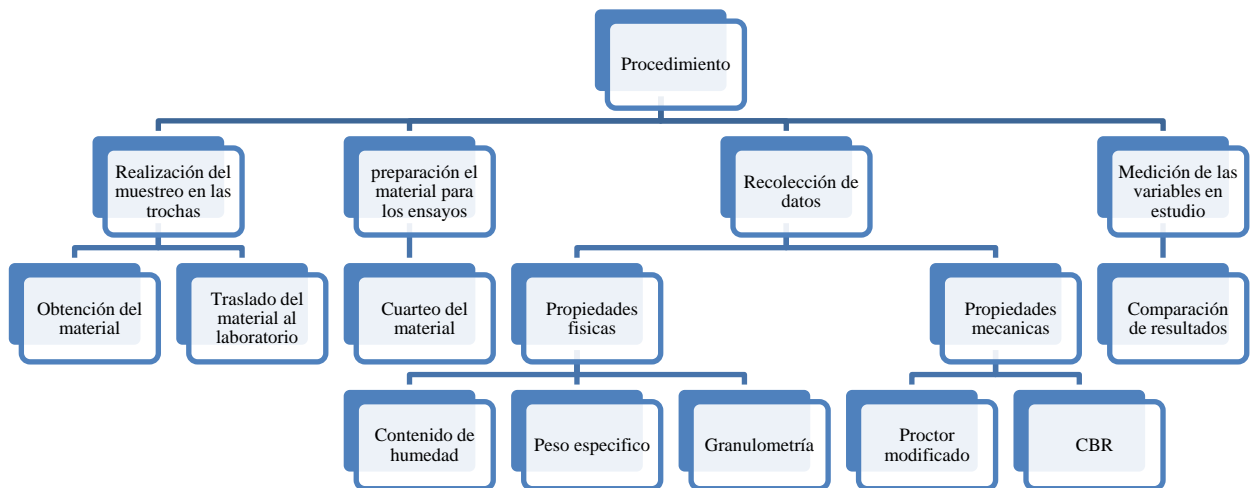
Fuente: Elaboración propia.

2.2 Procedimiento

para realizar el procedimiento de los resultados se ha considerado seguir con los siguientes pasos.

Figura 5

Procedimiento realizado en la obtención de los resultados



Nota. La figura muestra el Procedimiento utilizada para la realización de los ensayos en el desarrollo de la presente investigación. Fuente: Elaboración propia (2023).

2.1.2. Extracción de la muestra

La presente investigación muestra varias etapas, se inicia con la excavación de 2 calicatas cada 500 m en los lugares establecidos por el autor de este estudio, seguidamente se extraen las muestras de suelo colocándose en sacos emplastados, con el propósito de no alterar la composición físico química digitales muestras. Así mismo, una vez obtenidas las

muestras se transportará al laboratorio de la Universidad privada del norte en la sede Cajamarca en el cual se realizarán los ensayos pertinentes, en estado natural, es decir sin adicionar el aserrín y ensayos con la adición de este material.

2.1.3. Descripción de los ensayos a realizar

2.1.3.1. Contenido de humedad (w%) ASTM D 2216

Resumen del ensayo: sellevó a cabo para determinar la cantidad de agua existente en las muestras de suelo extraídas.

Equipo y Aparatos a Utilizar:

- **Hornosecador:** controlado termostáticamente de manera preferible, del tipo de proyección forzada que cumpla con los requerimientos de la especificación E145 y capaz de mantener una temperatura de manera uniforme entre $110\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en toda la Cámara de secado. (Botía, 2015).
- **Balanzas:** estas herramientas deben de cumplir los requerimientos siguientes. Precisión en lecturas en un 0.01 g, requerida para especímenes de pesos de hasta 200g excluyendo el peso del contenedor del espécimen y una con lecturas de 0.1g requerida para especímenes de un peso mayor de 200g. (Botía, 2015).
- **Contenedores de especímenes:** se buscará contenedores de manera apropiada resistentes a la corrosión y el cambio de masa bajo repetitivos calentamientos enfriamientos o expuestos a diferentes sustancias. (Botía, 2015).

Materiales

- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA.
- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO.

Procedimiento:

- Se anota las características de los recipientes vacíos (peso, estado y material) y mediante un rotulado se distingue cada recipiente para su identificación.
- Se coloca en porciones el material extraído (sin alterar) en los recipientes ya rotulados y se vuelve a tomar el peso.
- Se pone a secar las muestras rotuladas en la estufa en una temperatura de 110 °C ± 5 °C durante un periodo de tiempo de 24 horas.
- Se retira las muestras de la estufa pasado las 24 horas y se pesó cada una de las muestras.
- Con los datos recolectados se procede aplicar la **Ecuación 3**. Contenido de humedad y se determina tal ensayo.

Ecuación 3. Contenido de humedad

$$W \% = \frac{(w_h - w_s)}{w_s} * 100$$

Donde:

W %: contenido de humedad del suelo.

w_h : Peso de la muestra humedad.

w_g : Peso de la muestra seca.

2.1.3.2. Análisis granulométrico del suelo grueso (retenido malla N° 200) ASTM C 136-01

Resumen del ensayo: con las muestras ya obtenidas, se procede a secar las mismas en el horno. Así mismo, el ensayo trata básicamente de separar una muestra de agregado seco de masa conocida, a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente menores, con el objeto de determinar los tamaños de las partículas.

Equipos y aparatos a utilizar

- Conjunto de tamices estándar: los tamices son unas mallas metálicas constituidas por barras tejidas y que dejan un espacio entre sí por donde se hace pasar el alimento previamente triturado. Las aberturas que deja el tejido y, que en conjunto constituyen la superficie de tamizado, pueden ser de forma distinta, según la clase de tejido. Las mallas cuadradas se aconsejan para productos de grano plano, escamas, o alargado(Botía, 2015).
- Tamiz de lavado, N° 200 (75 μ m): conformado por un tamiz N° 200 (75 μ m) cuál tendrá una altura mínima por encima de la pantalla de 50 mm o 2 in con el propósito de evitar la pérdida de material retenido durante el lavado(Botía, 2015).
- Horno secador.
- Balanzas.
- Contenedor para las muestras.

Materiales

Suelo en estado seco:

- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA.
- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO.

Procedimiento

- Se seco una muestra de arena a una temperatura de 110 ± 5 °C en el horno.
- Se peso una cantidad de arena seca.
- La muestra fue pasada por los tamices a partir del N°4 y sacudida manualmente durante un tiempo de 5 a 10 minutos.
- Se peso lo retenido en cada tamiz y en la charola de fondo.
- Se registro los pesos y se realizaron los cálculos necesarios con las **Ecuación 4**, **Ecuación 5**, **Ecuación 6**.

Ecuación 4. Porcentaje que pasa el tamiz 200

$$\% \text{ pasa tamiz } 200 = \frac{\text{Peso total} - \text{Peso retenido en el tamiz } 200}{\text{Peso total}} \times 100$$

Ecuación 5. Porcentaje retenido

$$\% \text{ retenido} = \frac{\text{Peso retenido en el tamiz}}{\text{Peso total}} \times 100$$

Ecuación 6. Porcentaje que pasa

$$\% \text{ Pasa} = 100 - \% \text{ Retenido Acumulado}$$

2.1.3.3. Límites de Atterberg (Límite líquido, Límite plástico, y el índice de plasticidad de los suelos) ASTM D 4318.

Resumen del ensayo: Se proceso a juntar todo el material retenido tamiz n°40. El límite líquido se determinó mediante la realización de ensayos en los que se lleva una parte de la muestra en una copa de bronce.

El límite plástico se determinó presionando alternativamente juntos y rodar en un cilindro de 3.2 mm. de diámetro y amasaría una porción de suelo de plástico hasta que su contenido de agua se reduce hasta el punto en que se convierte en un hilo el cual se desmorona.

El índice de plasticidad se calculó con la diferencia de los resultados entre el límite líquido y el límite plástico (Botía, 2015).

Equipos y aparatos a utilizar:

- Dispositivo de límite líquido: consiste en un dispositivo mecánico de una taza de latón que es suspendida de un pasador diseñado para controlar su caída con una base de caucho endurecido coma el cual puede ser manejado por un motor eléctrico o manivela(Botía, 2015).

- Herramientas de ranurado plano: Consiste en una herramienta plástica o de metal generalmente no corrosivo variando siempre y cuando las dimensiones esenciales se mantienen(Botía, 2015).
- Recipiente contenedor de agua: debe ser resistente a la corrosión además los pequeños recipientes que contengan tapas de ajuste deben estar apretadas un poco para los especímenes que contienen agua(Botía, 2015).
- Balanza.
- Horno secador.
- Placa de vidrio para suelo: consiste en una placa de cristal de aproximadamente 30 cm cuadrados y de 1cm de espesor para el material límite de rosca de plástico.
- Placa de vidrio para suelo: Una placa de cristal por lo menos 30 cm (12 pulgadas) cuadrados de 1 cm (3 / 8 de pulgada) de espesor para el material límite de rosca de plástico (Botía, 2015).

Materiales

Suelo en estado seco:

- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA.
- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO.

Procedimiento

Preparación de la muestra

- La muestra mediante métodos visuales y manuales se pasó por el tamiz el cual si tiene poca o ninguna retenidas en un tamiz N° 40, se preparó una cantidad de 200g. el cual se remojo en agua. Si se encuentran partículas que no hayan pasado en tamiz n°40 se debe retirar.
- Se Coloco la muestra en una bandeja y agrego el agua suficiente para cubrir la materia para luego dejar reposar.
- Realizo su posterior lavado del material hasta dejar las partículas limpias.
- Se coloca la muestra en el horno y se toma el peso ya seco.

Limite liquido

- Se Mezclo minuciosamente la muestra (suelo) en su taza de mezcla, y si es necesario, ajustar su contenido de agua hasta que la constancia requiere alrededor de 25 a 35 golpes del dispositivo de límite líquido para cerrar el surco.
- Registrar el número de golpes, necesario para cerrar el surco. Se retira una porción de tierra de aproximadamente el ancho de una espátula y se pesa.
- Se registro los pesos de las masas iniciales y finales y se realizaron los cálculos necesarios con la **Ecuación 7**.

Ecuación 7. Límite liquido

$$LL = W \left(\frac{N}{25} \right) \times 0.11$$

Donde:

LL:Limite Líquido.

W:Porcentaje de humedad del suelo.

N:Numero de golpes para cerrar la ranura de la copa.

Limite plástico

- A partir del molde se seleccionó una porción de 1,5 g a 2.0 g. de la muestra original.
- Se procedió a enrollar la masa con la palma de la mano o los dedos y la placa de vidrio de tierra con suficiente presión justo para rodar la masa en un hilo de diámetro uniforme en toda su longitud y se tomó medición antes de su quiebre.
- Se dividió en diferentes trozos cuando se llega a diámetro requerido (3.2mm)
- Se tomo su peso de los trozos en un recipiente y se lleva al horno.
- Se retira la muestra del horno y se toma anotación de sus pesos seco y se realiza el cálculo con la **Ecuación 8**.

Ecuación 8. Límite plástico

$$LP = \left(\frac{P_h - P_s}{P_s} \right) X 100 = \left(\frac{P_w}{P_s} \right) * 100$$

Donde:

LP: Limite Plástico

P_h: Peso Húmedo

P_s:Peso secado al horno

P_w:Peso del contenido de humedad

2.1.3.4. Capacidad portante del suelo (Proctor modificado): ASTM D 1557

Resumen del ensayo: se llevó a cabo en la capacidad del molde para la compactación. En donde se empleó un molde cilíndrico de 2.320 cm³ de capacidad y una maza de 4,535 kg que se deja caer desde una altura de 457 mm. Además, se llevó a compactar 5 capas de la muestra en donde cada capa recibió 25 a 60 golpes (Botía, 2015).

Equipos y aparatos a utilizar:

- Ensamblado de Molde: dicho equipo tendrá la forma cilíndrica y será de metal rígido y tendrán las capacidades y dimensiones establecidas en la norma.
- Molde, 4 in: molde que contiene un diámetro interior promedio de 4000 ± 0.016 pulgadas (101.6 ± 0.4 -mm), una altura de 4584 ± 0.018 pulgadas (116.4 ± 0.5 mm) y un volumen de 0.0333 ± 0.0005 pies³ (943.0 ± 14.0 cm³).
- Molde, 6 in: 1 de los moldes que tiene un diámetro un diámetro interior aproximado de 6.000 ± 0.026 pulgadas (152.4 ± 0.7 mm), altura de 4.584 ± 0.018 pulgadas (116.4 ± 0.5 mm) y un volumen de 0.0750 ± 0.0009 pies³ (2124 ± 25 cm³).
- Pisón: esta herramienta debe estar libre hasta una distancia de 18.00 ± 0.05 pulgadas. (457.2 ± 1.3 mm) de la superficie de la muestra, el peso del pisón será 10.00 ± 0.02 lbf (44.48 ± 0.09 N o masa de 4.5364 ± 0.009 kg).

Materiales

Suelo en estado seco:

- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA.
- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO.
- Aserrín.

Procedimiento

Sin aserrín

- Se seco, se desmenuza con un mazo de goma y se tamiza el suelo aplicando el procedimiento indicado en la norma ASTM D 1557.
- Se tiene una muestra de unos 36 kg y se cuartea en porciones de 6 kg cada una.
- Se pesa los moldes con la base y sin el collar superior.
- Se mezcla el suelo con cierta cantidad de agua para darle consistencia
- Se coloca en el molde la quinta parte puesto que la colocación del material debe ser uniformes.
- Se lleva a cabo la compactación de las cinco capas. Recibiendo el número de golpes entre 25 a 60.
- Se retira el collar y se nivela (enrasar)
- Se pesa el molde y se extrae la muestra no inferior a 100g. para determinar la humedad con la **Ecuación 3**.

Adicionando aserrín

- Lo mismo que se realiza en Proctor, pero se adiciona el aserrín en las proporciones en estudio

Corrección de unidad de peso y contenido de agua para suelos con partículas de sobre tamaño (Corrección por grava) ASTM D 4718.

Esta es una práctica basada en pruebas que se realizan en suelos y mezclas de suelo con roca y en las que considera la porción considerada de un gran tamaño retenido en el tamiz N° cuatro (4.75 mm). Esta práctica es aplicable a suelos y mezclas de suelo con roca y en las que tiene como característica que hasta el 40% del material es retenido en el tamiz número cuatro y es utilizado cuando la fracción de gran tamaño de esa porción se encuentra retenido en cualquier otro tamiz (Botía, 2015).

Para la realización de esta práctica se necesita obtener el contenido de humedad y peso específico de la muestra pasante en el tamiz número cuatro y de sobre tamaño del mismo finalmente se procede a utilizar la masa del material seco estipulado en la gran volumetría considerada como la fracción más fina o sobredimensionada aplicándose la fórmula previamente establecida en la norma para encontrar la densidad máxima y el contenido de humedad óptima.

2.1.3.5. Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California)

Resumen de ensayo: El ensayo consistió en colocar una carga de prueba aplicado a una superficie de suelo utilizado en las investigaciones cómo ayuda al diseño de pavimentos. La prueba en el laboratorio se utilizó un pistón circular para penetrar material compactado imita un molde índice constante de penetración. El CBR está expresado como la proporción de la carga con el pistón requerido para penetrar a 0.1 in

(2.5 mm) y 0.2 in (5 mm) del suelo de prueba a la carga de unidad de requerido para la penetración del material estándar(Botía, 2015).

Equipos y aparatos a utilizar:

- Máquina de carga: la máquina de carga y será equipada con una cabeza movable o base que corre una velocidad uniforme (sin vibrar) con un índice de 0.05 dentro 1.27 mm por minuto. El índice de carga de 0,05 in. 1.27 mm por minuto será mantenido dentro de más menos 20% sobre el rango de carga desarrollados durante la penetración. La carga di penetración máxima anticipada 10 lbf (44 N) o menos para un 10-kip (44.5-kN) capacidad; 5 lbf (22 N) para 5-kip (22.3-kN) y 2 lbf (8.9 N) para 2.5-kip (11.2-kN).
- Dispositivo que mide la penetración, cuando ser leído acero punto cero a 1 in (0.025 mm).
- Molde, deberá ser de forma cilíndrica de metal rígido con un diámetro interior de 6 ± 0.026 Pulg. (152.4 ± 0.66 mm) y una altura de 7 pulg. ± 0.018 dentro. (177.8 ± 0.46 mm). Además, será provisto de collarín di una extensión metálica 2 in (50.8 mm) de altura y el plato base de metal di al menos 28 un dieciseisavo pulgadas (1.59mm)agujeros de diámetro uniformemente espaciados sobre el Palazzo dentro de la circunferencia interior del molde.
- Disco de espaciador: y este equipo metálico tendrá un diámetro exterior mínimo de $515/16$ in (150.8 mm), teniendo como altura de 2.416 ± 0.0052 pulg. (61.37 ± 0.127 mm).

- Pisón: de acuerdo al método de prueba D 1557.
- Aparato para medir la expansión.
- Pesas: una o dos con masas totales de 4.54 ± 0.02 kg y otras piezas metálicas ranuradas con masas de 2.27 ± 0.02 kg.
- Dispositivo de medida de hinchazón: capaces de leer a 0.001 pulg. (0.025 mm) con un rango de 0.200 pulg. (5-mm) mínimo.
- Papel de filtro: resistente al agua con un diámetro de 15 cm.
- Horno secador.
- Tamices.
- Balanza.

Materiales

Suelo en estado seco:

- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une PUKA SIÑA con AMOSHULCA.
- Muestras patrón (MP) extraída de la trocha carrozable que une el CP LA HARACLLA con el CRUCERO.
- Aserrín.

Procedimiento

- Se determino anteriormente la humedad óptima y densidad máxima de las muestras de suelo mediante el ensayo Proctor modificado.

- Añadir agua a una muestra de suelo si es requerida para alcanzar la humedad óptima.
- Se Compacto la muestra en tres moldes CBR estandarizados y se toma mediciones de los moldes (peso, altura, diámetro externo e interno). La muestra se compacta en 3 capas por molde siendo la energía de compactación de cada molde de 15, 30 o 60 golpes por capa mediante un mazo de 2,5 kg que se deja caer libremente desde cierta altura.
- Posteriormente se enraza el molde, se desmonta y se vuelve a montar invertido.
- Se sumergió los moldes en agua.
- Colocación de la placa perforada y el vástago, así como los pesos necesarios para calcular la sobrecarga calculada.
- Colocar el trípode de medida sobre el borde del molde, coincidiendo el vástago del micro comparador.
- Se Tomo de medidas diarias del micro comparador durante al menos 4 días.
- Pasado el tiempo de mediciones se retira la muestra del agua, se lleva a escurrir y secar exteriormente.
- Aplicar la carga sobre el pistón de penetración mediante la prensa CBR y tomar las lecturas de la curva presión penetración.
- Se tomo anotación de la carga y la penetración.
- Finalmente se hace uso de la **Ecuación 9**.

Ecuación 9. California Bearing Ratio

$$CBR = (RP(Psi) 0.1 \text{ pulg} * 100)/(1000lb/Pulg^2)$$

Donde:

CBR: California Bearing Ratio.

CBR: Resistencia a la penetración.

Adicionando aserrín

- Lo mismo que se realiza en CBR, pero se adiciona el aserrín en las proporciones en estudio.

2.1.4. Técnica de recolección de datos

Dentro de los instrumentos que se emplearán para la recolección de datos, tanto los equipos y protocolos serán proporcionados por la Universidad Privada del Norte. Los protocolos anteriormente mencionados tienen el propósito de recolectar datos veraces en el campo de estudio. Así mismo, es necesario precisar que las muestras se recogen del lugar de estudio una de ellas como muestra patrón y otras con la incorporación del aserrín. A cada una de las anteriores se les realizarán los ensayos propuestos de las cuales incluyen las propiedades físicas y mecánicas para finalmente analizar si la carretera se logra estabilizar.

Tabla 11

Protocolos para la realización de ensayos en el desarrollo del estudio

Protocolos	Normas
Análisis granulométrico por tamizado	MTC E 107 – NTP 339.128
Límites de Atterberg	MTC E 110, MTC E 111 – NTP 339.129

Proctor modificado	MTC E 115 – NTP 339.141
California Bearing Ratio	MTC E132 – NTP 339.145

Nota. en la tabla se muestran los protocolos para la realización de los ensayos en la investigación. Fuente: Elaboración propia.

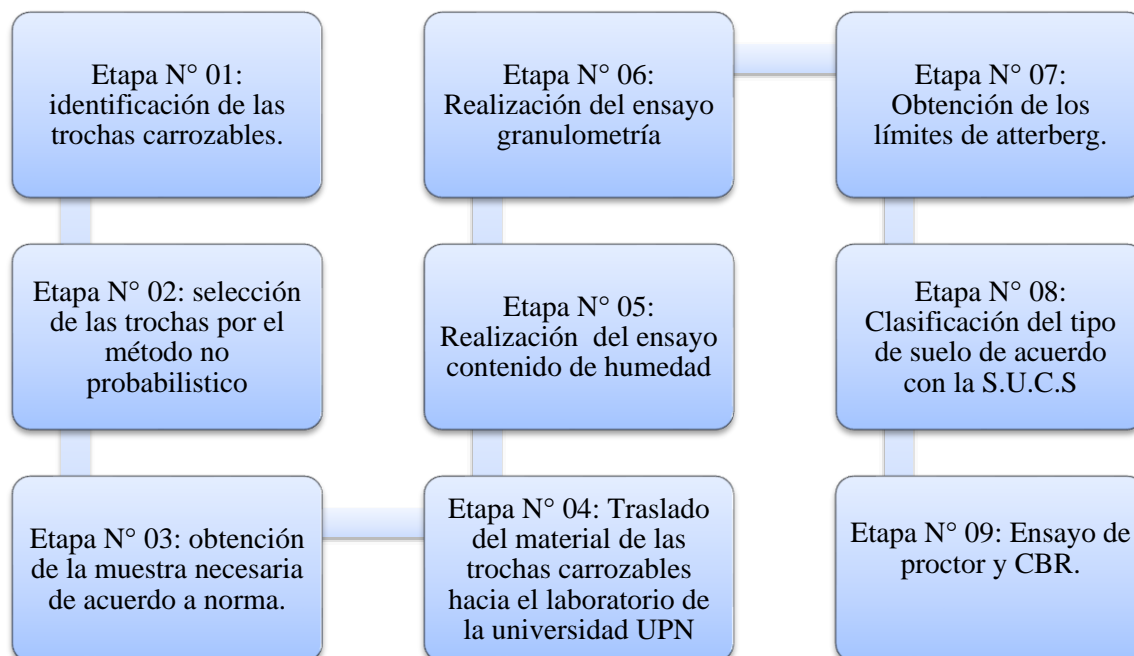
En la investigación propuesta se utilizó la técnica de la estadística descriptiva la misma que consiste recopilar y analizar los datos recopilados en laboratorio por intermedio de tablas de frecuencias se pueden interpretar mediante gráficos medidas estadísticas como porcentajes promedios coeficientes de variación y desviación estándar.

2.1.5. Instrumentos de análisis de datos

Los instrumentos utilizados para el análisis de los datos anteriormente mencionados utilizaremos el software Excel 2020. Programa que nos permite la creación de diferentes hojas de cálculo por cada ensayo realizado el mismo también nos permite realizar gráficos, y tablas comparativas para el tener una interpretación comprensible para cualquier persona de los resultados de laboratorio obtenidos.

Figura 6

Procedimiento para la obtención de los resultados



Nota. En la figura mostrada, se observa cada una de las etapas desarrolladas en el desarrollo de la investigación realizada. fuente: elaboración propia (2023).

Etapa N° 01: identificación de las trochas carrozables. Procedimiento que se lleva a cabo desde días anteriores en la ciudad de Cajamarca consultándose a diversas personas y que utilizan dichas trochas carrozables las dificultades y que pasa día a día en épocas de lluvia

Etapa N° 02: selección de las trochas por el método no probabilístico. Se realizó la selección de las trochas carrozables utilizando el método no probabilístico, debido a que fueron elegidas a criterio propio siendo las que se encuentran ubicadas; carretera Agocucho y la Huaraclla. Para poder trasladarse a dichos lugares se parte de la ciudad de Cajamarca cómo lo explica en las tablas anteriores el autor de este estudio

Etapa N° 03: obtención de la muestra necesaria de acuerdo a norma. Se obtuvo la muestra necesaria para la realización de los ensayos correspondientes para ello hoy se obtuvo 100 kg de cada 1 de las muestras y fueron trasladadas al laboratorio de la Universidad Privada del Norte.

Etapa N° 04: Traslado del material de las trochas carrozables hacia el laboratorio de la universidad UPN. El material de cada una de las trochas carrozables se trasladó al laboratorio antes mencionado con mucho cuidado y previa identificación y codificación de cada una de ellas.

Etapa N° 05: Realización del ensayo contenido de humedad. Se realiza el ensayo correspondiente de cada una de las cuatro muestras obtenidas como se muestra en los resultados a continuación. (anexo – Panel fotográfico, figura 1)

Etapa N° 06: Realización del ensayo granulometría (anexo – Panel fotográfico, figura 2). Procedimiento presentado a detalle en el anexo mencionado

Etapa N° 07: Obtención de los límites de Atterberg. (anexo – Panel fotográfico, figura 3-4). Procedimiento presentado a detalle en el anexo mencionado

Etapa N° 08: Clasificación del tipo de suelo de acuerdo con la S.U.C.S y la realización de los ensayos de Proctor modificado y CBR. (anexo – Panel fotográfico, figura 5, 6, 7, 8, 9) Procedimiento presentado a detalle en el anexo mencionado.

2.1.6. Aspectos Éticos

Para la elaboración de la presente investigación, se ha recopilado información de los diferentes autores citados en las referencias bibliográficas, como; tesis, libros, artículos, y otras fuentes de información, para lo cual, cuál se ha respetado el derecho de los autores, citando de manera correcta haciendo uso del formato de las normas APA séptima edición, siendo parafraseados respetando el derecho de los autores, mediante la cual se demuestra la ética, moral y transparencia profesional. Así mismo, la información recopilada es de calidad y se considera a los mejores como debe de ser empleada como el pilar principal en el desarrollo de nuestra carrera profesional.

Para la realización del trabajo en campo, es decir, la toma de muestras, se realizó siguiendo el procedimiento técnico estipulado en las NTP y MTC y con la señalización respectiva para no perjudicar el tránsito del vehículo.

Para cada uno de los ensayos, se siguió las bases normativas establecidas en las normas para los ensayos análisis granulométrico por tamizado (MTC E 107 – NTP 339.128), Límites de Atterberg (MTC E 110, MTC E 111 - NTP 339.129), Proctor modificado (MTC E 115 – NTP 339.141), California Bearing Ratio (CBR) (MTC E 132 – NTP 339.145), sin alterar la veracidad de los resultados obtenidos y seguir cumpliendo el firme compromiso de que los resultados sean veraces, auténticos y originales. Por otro lado, para la realización de dichos ensayos se utilizó protocolos establecidos por el laboratorio de la Universidad Privada del Norte que tienen como referencia la NTP, los mismos que fueron validados y verificados por el responsable técnico del laboratorio.

Finalmente, en el análisis estadístico realizado se utilizó la estadística descriptiva, la misma que tiene como propósito la recopilación y el análisis de los datos obtenidos en los ensayos, basándose en las normas establecidas, mencionado en el párrafo anterior. Así mismo, se utilizó el programa Excel 2020, que permitió calcular y procesar los datos obtenidos mediante la realización de tablas y gráficos, haciendo que la interpretación y el análisis de los resultados obtenidos sean más exactos y veraces. Así mismo, para la realización de los ensayos correspondientes se empleó los protocolos realizados por la UPN para cada uno de los ensayos siguiendo la normativa vigente, en los cuales se encuentra el detalle de los datos obtenidos de cada uno de los ensayos realizados y que son presentados en los resultados.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

Para la presentación de los resultados, al ser dos trochas carrozables se considera primeramente el análisis para la trocha carrozable hacia Agocucho; para lo cual pertenecen las dos primeras muestras, mientras que para la trocha carrozable La Huaraclla, se está considerando las 2 últimas muestras.

3.1. Determinación de las propiedades físicas de las muestras – carretera hacia Agocucho.

3.1.1. Contenido de humedad de las muestras

Tabla 12

Contenido de humedad para la muestra en la carretera Agocucho

N° de muestra	ID	Porcentaje de humedad
M1	Carretera a Agocucho	5.27%
M2	Carretera a Agocucho	6.98%
Porcentaje de humedad promedio		6.12%

Nota. En la mostrada se observa los resultados del contenido de humedad de las muestras en la carretera hacia Agocucho. Fuente: Elaboración propia (2023).

En la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.** el resultado mostrado indica el contenido de humedad promedio para la muestra extraída de la carretera hacia Agocucho.

3.1.2. Peso específico del material fino

Tabla 13

Peso específico del material fino para la muestra M1

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra		M1	M1
E	Peso Específico ($\gamma_s = ((B / (B + C - D))$)	gr/cm ³	2.564	2.551
F	Promedio del Peso Específico " γ_s "	gr/cm ³	2.558	

Nota. En la tabla mostrada se observan los resultados del peso específico del material fino para la primera muestra en la carretera hacia Agocucho. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, de acuerdo con la tabla 13 se puede constatar que dicha muestra tiene un peso específico equivalente a 2.55 g/cm³, valor que se encuentra dentro del rango establecido entre 2.44 - 2.55 para un suelo arcilloso.

Tabla 14

Peso específico del material fino para la muestra M1

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra		M2	M2
E	Peso Específico ($\gamma_s = ((B / (B + C - D))$)	gr/cm ³	2.551	2.558
F	Promedio del Peso Específico " γ_s "	gr/cm ³	2.554	

Nota. En la tabla mostrada se observan los resultados del peso específico del material fino para la segunda muestra en la carretera hacia Agocucho. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, de acuerdo con la tabla 14 se puede constatar que dicha muestra tiene un peso específico equivalente a 2.55 g/cm³, valor que se encuentra dentro del rango establecido entre 2.44 - 2.55 para un suelo arcilloso.

3.1.3. Análisis granulométrico de las muestras de la carretera hacia Agocucho

Tabla 15

Análisis granulométrico para M1 de la carretera hacia Agocucho

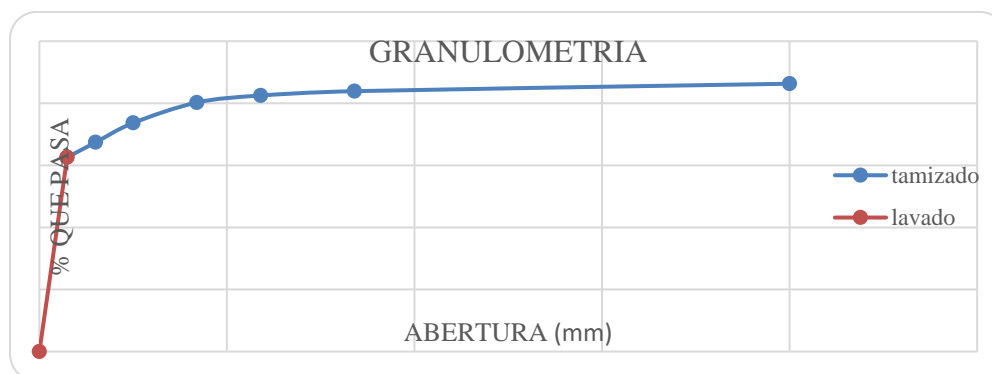
Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 10	2	136.93	13.69	13.69	86.31
Nº 20	0.84	24.04	2.40	16.10	83.90
Nº 30	0.59	13.92	1.39	17.49	82.51
Nº 40	0.42	22.59	2.26	19.75	80.25
Nº 60	0.25	65.93	6.59	26.34	73.66
Nº 100	0.15	62.38	6.24	32.58	67.42
Nº 200	0.074	48.36	4.84	37.42	62.59
P Nº 200 (lavado)	0	625.85	62.59	100.00	0.00
Total		1000	100		

Nota. en la tabla se muestra los resultados del análisis granulométrico. Fuente: elaboración propia (2023).

De acuerdo con la tabla 15, se puede mencionar que el porcentaje pasante por la malla número 200 equivale al 62.59% lo que significa que dicho valor es superior al 50% lo que significa que es un suelo fino compuesto por suelo limo arcilloso.

Figura 7

Curva granulométrica de la M1 carretera hacia Agocucho



Nota. en la figura, se muestra los resultados del análisis granulométrico. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 16

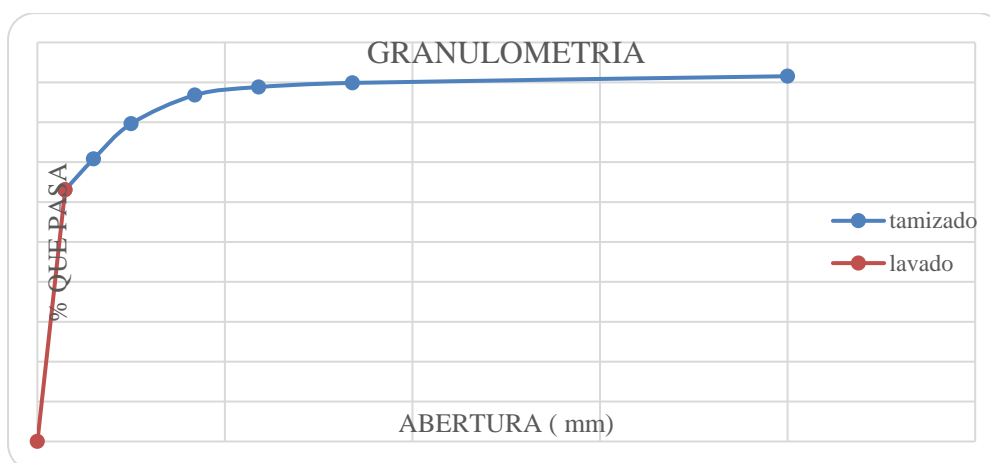
Análisis granulométrica para M2 de la carretera hacia Agocucho

Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
Nº 10	2	84.73	8.47	8.47	91.53
Nº 20	0.84	16.71	1.67	10.14	89.86
Nº 30	0.59	10.34	1.03	11.18	88.82
Nº 40	0.42	20.2	2.02	13.20	86.80
Nº 60	0.25	71.74	7.17	20.37	79.63
Nº 100	0.15	88.28	8.83	29.20	70.80
Nº 200	0.074	77.35	7.74	36.94	63.07
P Nº 200 (lavado)	0	630.65	63.07	100.00	0.00
Total		1000	100		

Nota. En la tabla se muestra los resultados del análisis granulométrico. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 8

Curva granulométrica de la M2 carretera hacia Agocucho



Nota. Elaboración propia (2023).

De acuerdo con la tabla 16, se puede mencionar que el porcentaje pasante por la malla número 200 equivale al 63.07% lo que significa que dicho valor es mayor al 50%; pudiendo afirmar que el material es granular correspondiente a una arena con presencia de arcillas.

3.1.4. Límites de plasticidad para las muestras en la carretera hacia Agocucho

Tabla 17

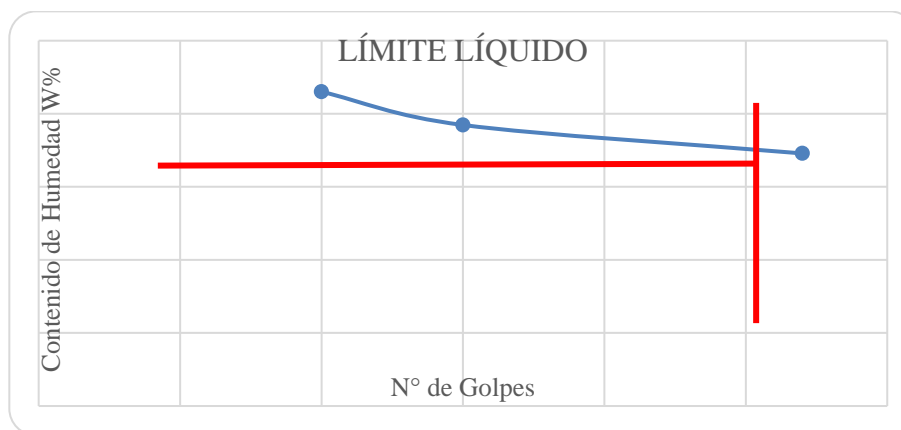
Límite líquido de la muestra M1 carretera hacia Agocucho

<i>DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)</i>					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	T4	T5	T6
G	Número de Golpes	N	10	15	27
H	Contenido de Humedad (E/F) *100	%	21.51	19.23	17.28

Nota. En la tabla 17 mostrada se observa los resultados obtenidos del mencionado estudio. fuente: elaboración propia (2023).

Figura 9

Límites de Atterberg para la M1 carretera hacia Agocucho



Nota. En la figura mostrada se observa la determinación del límite líquido. Fuente: elaboración propia (2023).

En la Figura 9, se muestra los puntos obtenidos con el número de golpes logrados para el ensayo del límite líquido detallado en la Tabla 17, posteriormente se realizó el trazo de la línea de tendencia ubicándose en la intersección en el golpe número 25, arrojando un contenido de humedad del 17.5%.

Tabla 18

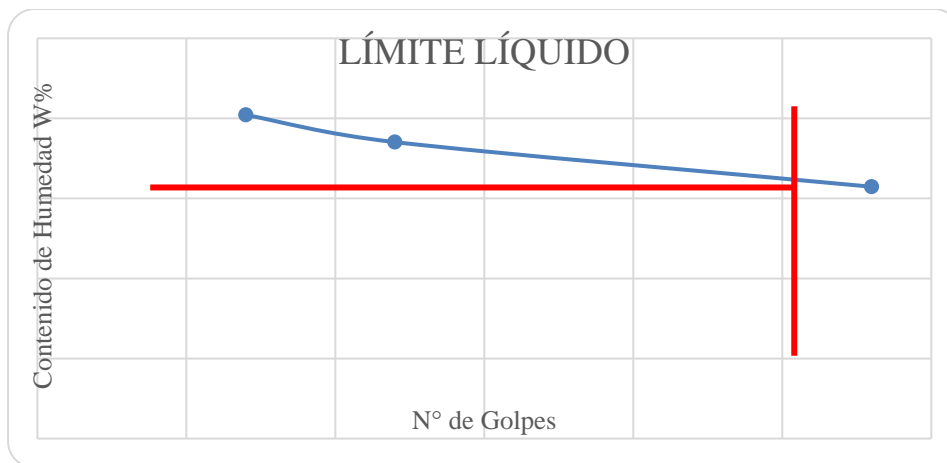
Límite líquido de la M2 carretera hacia Agocucho

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	T7	T8	T9
G	Número de Golpes	N	7	12	28
H	Contenido de Humedad (E/F) *100	%	20.21	18.52	15.73

Nota. en la tabla mostrada se observa los resultados obtenidos del mencionado estudio. fuente: elaboración propia (2023).

Figura 10

Límites de Atterberg para la M2 carretera hacia Agocucho



Nota. en la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.** mostrada se observa la determinación del límite líquido. Fuente: elaboración propia (2023).

En la Figura 10, se muestra los puntos obtenidos con el número de golpes logrados para el ensayo del límite líquido detallado en la tabla 17, posteriormente se realizó el trazo de la línea de tendencia ubicándose en la intersección en el golpe número 25, arrojando un contenido de humedad del 16.00 %.

Tabla 19

Índice de plasticidad para la muestra M1 carretera Agocucho

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	17.5%
Límite plástico	LP	0.0%
Índice de plasticidad	IP	17.5%

Nota. Elaboración propia (2023).

Los resultados obtenidos en la Tabla 19, muestran que el límite líquido tiene un valor de 17.5%, mientras que límite plástico es mucho menor teniendo un porcentaje de humedad del 0% finalmente el índice de plasticidad obtenido tiene un valor de 17.5%.

Tabla 20

Índice de plasticidad para la muestra M2 Carretera Agocucho

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	16.0%
Límite plástico	LP	0
Índice de plasticidad	IP	16.0%

Nota. Elaboración propia (2023).

Los resultados obtenidos en la Tabla 20 muestran que el límite líquido tiene un valor de 16.0%, mientras que límite plástico es mucho menor teniendo un porcentaje de humedad del 0% finalmente el índice de plasticidad obtenido tiene un valor de 16.00%.

3.1.5. Ensayo de compactación Proctor modificado

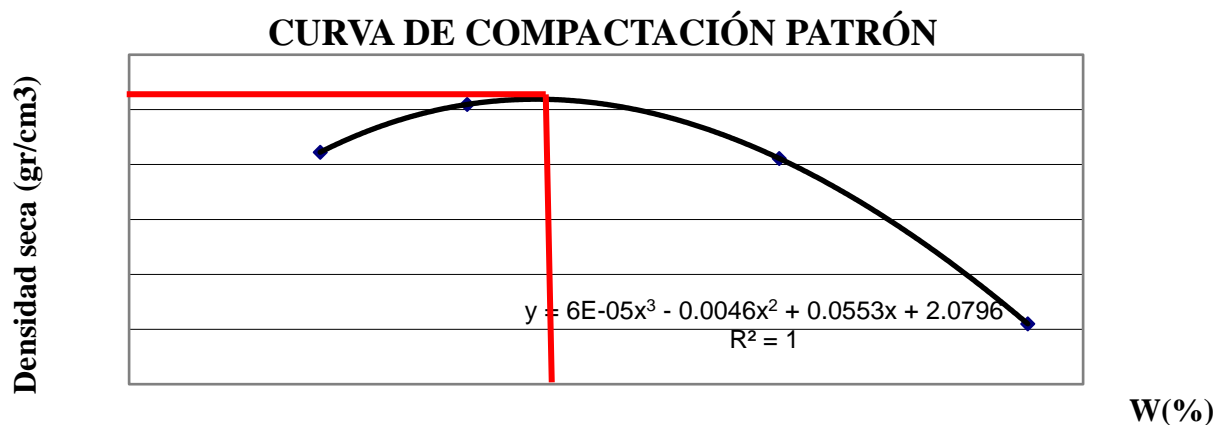
Tabla 21

Proctor modificado de la muestra patrón M1

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO							
	1	2	3	4	5	6	7	8
HUMEDAD TEORICA	3		5		10		15	
ENSAYO N°	1		1		2		3	
PESO CILINDRO + SUELO	6190		6285		6345		6270	
PESO CILINDRO	4034		4034		4034		4034	
PESO SUELO COMPACTADO	2156		2251		2311		2236	
DENSIDAD HUMEDA, Kg/m3	2.28		2.38		2.45		2.37	
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6	7	8
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	3.14	3.27	5.55	5.79	10.74	11.06	15.17	14.98
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	3.20		5.67		10.90		15.07	
DENSIDAD SECA Kg/m3	2.21		2.25		2.21		2.05	

Figura 11

Curva de compactación de la muestra patrón M1 carretera Agocucho



Nota. En la figura mostrada se observa la curva de compactación de la primera muestra patrón de la carretera Agocucho. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 22

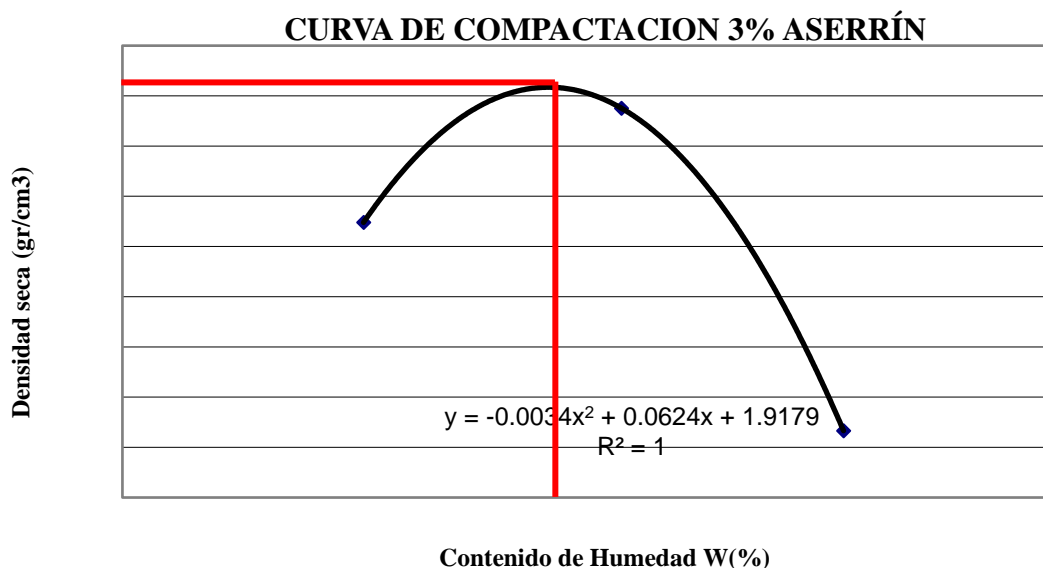
Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
	1	2	3	4	5	6
HUMEDAD TEORICA	5	10				15
ENSAYO N°	1	2				3
PESO CILINDRO + SUELO	6210	6370				6320
PESO CILINDRO	4074	4074				4074
PESO SUELO COMPACTADO	2136	2296				2246
DENSIDAD HUMEDA, Kg/m ³	2.26	2.43				2.38
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	100	100	100.1	100.1	100.5	100.5
P. MUESTRA S. + CAPSULA	96.5	96.4	93.2	93	91	90.5
PESO AGUA	3.50	3.60	6.90	7.10	9.50	10.00
PESO CAPSULA	27.8	27.9	27.8	27.7	27.8	27.7
PESO MUESTRA SECA	68.70	68.50	65.40	65.30	63.20	62.80
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.09	5.26	10.55	10.87	15.03	15.92
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.18		10.71		15.48	
DENSIDAD SECA Kg/m ³	2.15		2.20		2.07	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 12

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín



Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 23

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín

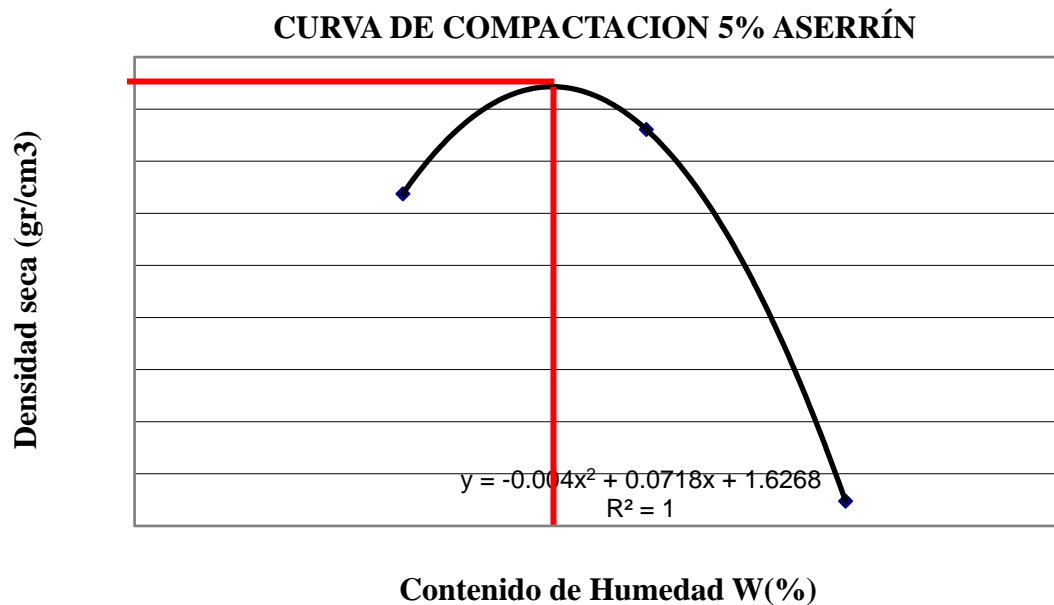
HUMEDAD TEORICA	5	10	15			
ENSAYO N°	1	2	3			
PESO CILINDRO + SUELO	5980	6100	6020			
PESO CILINDRO	4074	4074	4074			
PESO SUELO COMPACTADO	1906	2026	1946			
DENSIDAD HUMEDA, Kg/m3	2.02	2.14	2.06			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	85.6	85.7	90.5	90.4	80.4	80.2
P. MUESTRA S. + CAPSULA	82.5	82.5	84.3	84.2	73.5	73.2
PESO AGUA	3.10	3.20	6.20	6.20	6.90	7.00

PESO CAPSULA	27.7	27.9	27.7	27.9	27.8	27.8
PESO MUESTRA SECA	54.80	54.60	56.60	56.30	45.70	45.40
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.66	5.86	10.95	11.01	15.10	15.42
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.76		10.98		15.26	
DENSIDAD SECA Kg/m ³	1.91		1.93		1.79	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 13

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín



Nota. En la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 24

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO		
HUMEDAD TEORICA	5	10	15
ENSAYO N°	1	2	3
PESO CILINDRO + SUELO	5640	5720	5785
PESO CILINDRO	4074	4074	4074

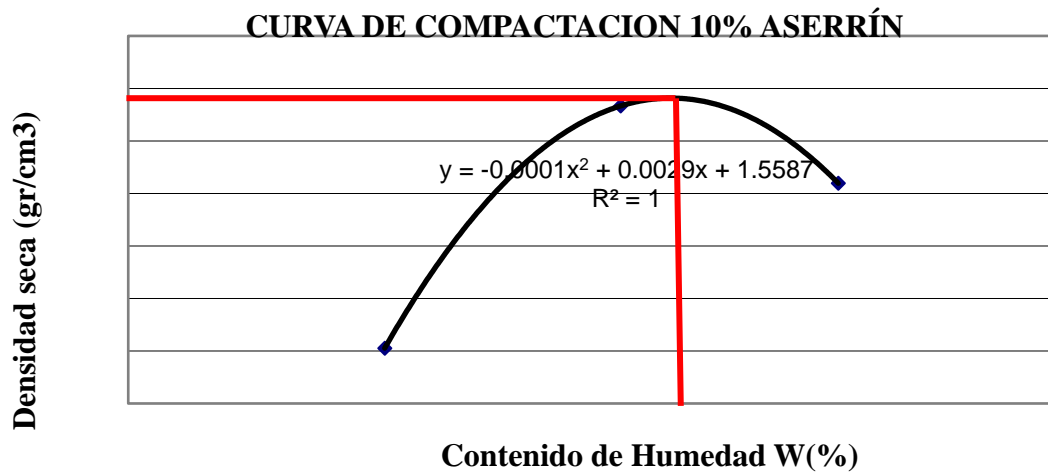
Pág.

PESO SUELO COMPACTADO	1566	1646	1711			
DENSIDAD HUMEDA, Kg/m ³	1.66	1.74	1.81			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	90	90.1	90	90.2	95	95.1
P. MUESTRA S. + CAPSULA	86.8	86.8	84.2	84.1	86.2	86.1
PESO AGUA	3.20	3.30	5.80	6.10	8.80	9.00
PESO CAPSULA	27.7	27.8	27.8	27.9	27.7	27.8
PESO MUESTRA SECA	59.10	59.00	56.40	56.20	58.50	58.30
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.41	5.59	10.28	10.85	15.04	15.44
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.50	10.57	15.24			
DENSIDAD SECA Kg/m ³	1.57	1.58	1.57			

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 14

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín



Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 25

Proctor modificado de la muestra patrón M2

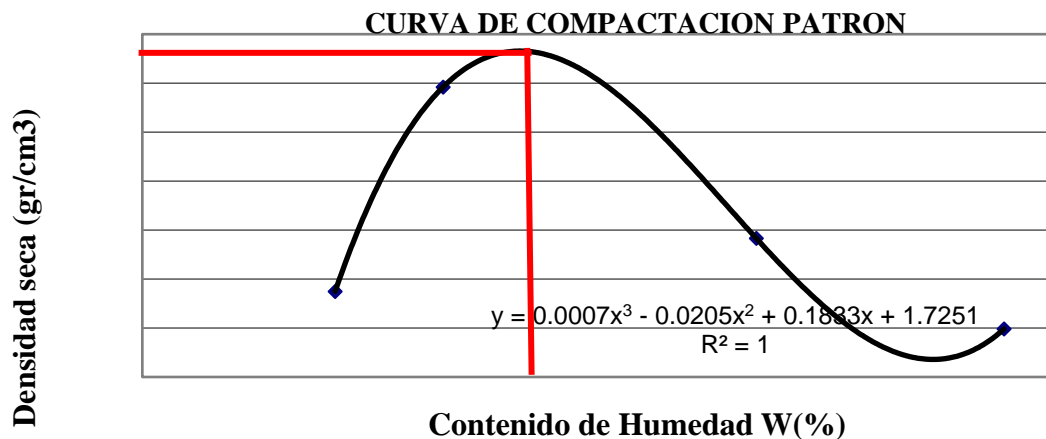
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO			
HUMEDAD TEORICA	3	5	10	15
ENSAYO N°	1	1	2	3
PESO CILINDRO + SUELO	6119	6240	6290	6340
PESO CILINDRO	4034	4034	4034	4034
PESO SUELO COMPACTADO	2085	2206	2256	2306
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	2.21	2.33	2.39	2.44

CAPSULA N°	1	2	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	100	100	100.1	100	100	100	100	100
P. MUESTRA S. + CAPSULA	97.7	97.6	96.5	96.4	93.1	92.9	90.5	90.6
PESO AGUA	2.30	2.40	3.60	3.60	6.90	7.10	9.50	9.40
PESO CAPSULA	27.8	27.9	28	27.8	27.6	27.8	27.8	27.7
PESO MUESTRA SECA	69.90	69.70	68.50	68.60	65.50	65.10	62.70	62.90
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	3.29	3.44	5.26	5.25	10.53	10.91	15.15	14.94
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	3.37		5.25		10.72		15.05	
DENSIDAD SECA gr/cm3	2.13		2.22		2.16		2.12	

Nota. en la tabla se muestra los resultados de la primera muestra realizada en la carretera Agocucho. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 15

Proctor modificado de la muestra patrón M2



Nota. En la figura mostrada se observa la curva de compactación para la segunda muestra patrón de la carretera Agocucho. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 26

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín

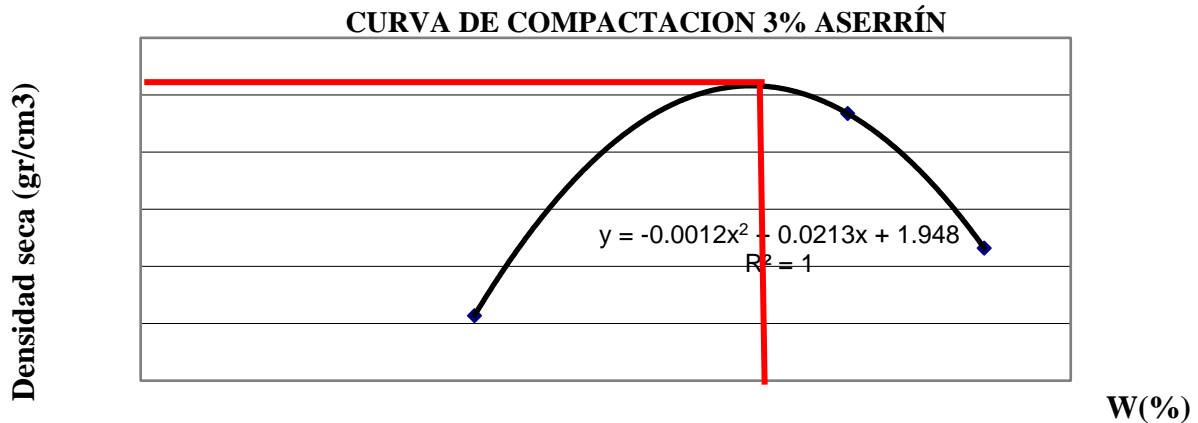
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO		
HUMEDAD TEORICA	5	10	12
ENSAYO N°	1	2	3
PESO CILINDRO + SUELO	6084	6210	6240
PESO CILINDRO	4074	4074	4074

PESO SUELO COMPACTADO	2010	2136	2166			
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm3	2.13	2.26	2.29			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	115.7	115.6	85	85	85	85
P. MUESTRA S. + CAPSULA	111.3	111.6	79.3	79.6	78.5	78.6
PESO AGUA	4.40	4.00	5.70	5.40	6.50	6.40
PESO CAPSULA	27.8	27.9	27	27.6	27.9	27.6
PESO MUESTRA SECA	83.50	83.70	52.30	52.00	50.60	51.00
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.27	4.78	10.90	10.38	12.85	12.55
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.02		10.64		12.70	
DENSIDAD SECA gr/cm3	2.03		2.04		2.03	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 16

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 3% de Aserrín



Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 27

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín

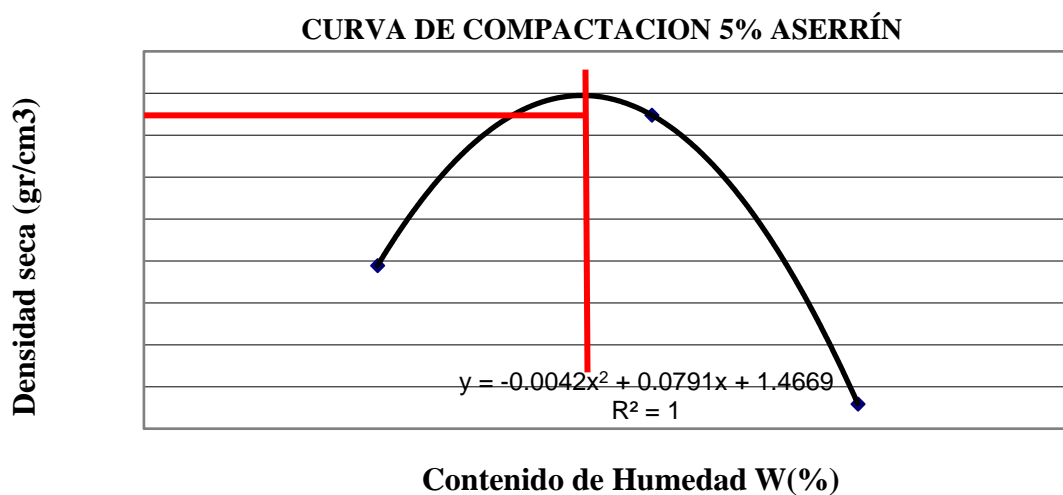
ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
HUMEDAD TEORICA	5	10	15			
ENSAYO N°	1	2	3			
PESO CILINDRO + SUELO	5818	5991	5918			
PESO CILINDRO	4074	4074	4074			
PESO SUELO COMPACTADO	1744	1917	1844			
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm3	1.85	2.03	1.95			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6

P. MUESTRA H. + CAPSULA	84.88	84.67	90.49	90.35	101.19	101.22
P. MUESTRA S. + CAPSULA	82.1	82	84.2	84.3	91.4	91.5
PESO AGUA	2.78	2.67	6.29	6.05	9.79	9.72
PESO CAPSULA	27.8	27.6	27.8	27.5	27.7	27.9
PESO MUESTRA SECA	54.30	54.40	56.40	56.80	63.70	63.60
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.12	4.91	11.15	10.65	15.37	15.28
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.01		10.90		15.33	
DENSIDAD SECA gr/cm ³	1.76		1.83		1.69	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 17

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 5% de Aserrín



Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 28

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
HUMEDAD TEORICA	5		10		15	
ENSAYO N°	1		2		3	
PESO CILINDRO + SUELO	5568		5747		5790	
PESO CILINDRO	4074		4074		4074	
PESO SUELO COMPACTADO	1494		1673		1716	
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	1.58		1.77		1.82	
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	100	100.1	74.62	74.6	105.8	105.4
P. MUESTRA S. + CAPSULA	96.4	96.4	70.2	70.3	95.6	95.3
PESO AGUA	3.60	3.70	4.42	4.30	10.20	10.10

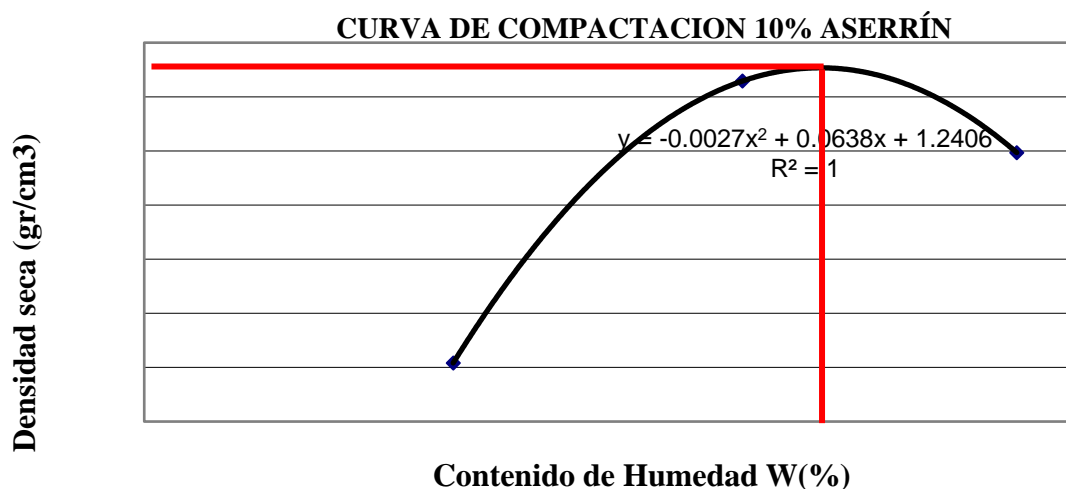
Pág.

PESO CAPSULA	27.6	27.6	27.9	27.7	27.6	27.8
PESO MUESTRA SECA	68.80	68.80	42.30	42.60	68.00	67.50
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.23	5.38	10.45	10.09	15.00	14.96
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.31		10.27		14.98	
DENSIDAD SECA gr/cm3	1.50		1.61		1.58	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 18

Proctor modificado de la muestra patrón M1 + 10% de Aserrín



Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6. Ensayo CBR

3.1.6.1. Ensayo de CBR de la M1 patrón

Tabla 29

Ensayo de compactación de la muestra patrón

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Molde N°	1.00		2.00		3.00	
N° de capas	5.00		5.00		5.00	
N° de golpes por capas	13.00		27.00		56.00	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS

Pág.

Peso molde (gr)	7220.00	7220.00	7735.00	7735.00	7733.00	7733.00
Wmh + molde (gr)	11075.00	12290.00	11896.00	12810.00	12006.00	12736.00
Wmh (gr)	3855.00	5070.00	4161.00	5075.00	4273.00	5003.00
Altura Cil. (cm)	17.73	17.73	17.75	17.75	17.72	17.72
DiametroCil. (cm)	15.22	15.22	15.25	15.25	15.18	15.18
Vhm (cm ³)	3225.73	3225.73	3242.11	3242.11	3206.99	3206.99
Dh (gr/cm ³)	1.20	1.57	1.28	1.57	1.33	1.56

Nota. En la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 30

Ensayo de contenido de humedad de la muestra patrón

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
W promedio (%)	7.07		40.90	7.04		30.66	7.05		25.42
Densidad seca	1.12		1.12	1.20		1.20	1.24		1.24

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 31

Ensayo de hinchamiento para la muestra patrón carretera Agocucho

ENSAYO: HINCHAMIENT										
TIEMPO ACUMULADO		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3		
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento	
HORA	DÍAS	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
24.00	1.00	11.900	0.302	0.170	12.000	0.305	0.172	6.000	0.152	0.086
48.00	2.00	13.500	0.343	0.193	16.000	0.406	0.229	11.000	0.279	0.158
72.00	3.00	14.000	0.356	0.201	19.500	0.495	0.279	12.000	0.305	0.172
96.00	4.00	16.500	0.419	0.236	24.500	0.622	0.351	14.000	0.356	0.201

Nota. En la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 32

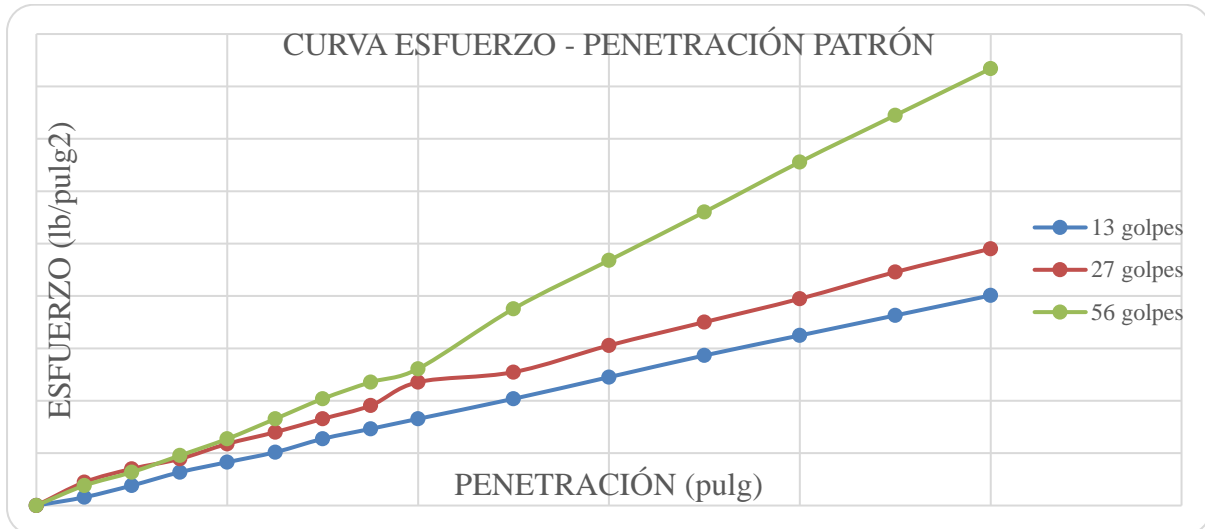
Ensayo de carga penetración

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN											
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón			2.00	pulgadas	=	5.08
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
		CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.03	1.13	0.06	0.80	3.18	0.16	2.23	2.72	0.13	1.91	
1.27	0.05	2.72	0.13	1.91	4.99	0.25	3.50	4.54	0.22	3.18	
1.91	0.08	4.54	0.22	3.18	6.35	0.31	4.46	6.80	0.34	4.77	
2.54	0.10	5.90	0.29	4.14	8.39	0.41	5.89	9.07	0.45	6.37	
3.18	0.13	7.26	0.36	5.09	9.98	0.49	7.00	11.79	0.58	8.28	
3.81	0.15	9.07	0.45	6.37	11.79	0.58	8.28	14.51	0.72	10.19	
4.45	0.18	10.43	0.51	7.32	13.61	0.67	9.55	16.78	0.83	11.78	
5.08	0.20	11.79	0.58	8.28	16.78	0.83	11.78	18.60	0.92	13.05	
6.35	0.25	14.51	0.72	10.19	18.14	0.90	12.73	26.76	1.32	18.78	
7.62	0.30	17.46	0.86	12.25	21.77	1.07	15.28	33.34	1.64	23.40	
8.89	0.35	20.41	1.01	14.32	24.95	1.23	17.51	39.92	1.97	28.01	
10.16	0.40	23.13	1.14	16.23	28.12	1.39	19.74	46.72	2.31	32.79	
11.43	0.45	25.85	1.28	18.14	31.75	1.57	22.28	53.07	2.62	37.24	
12.70	0.50	28.58	1.41	20.05	34.93	1.72	24.51	59.42	2.93	41.70	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 19

Curva de esfuerzo - penetración patrón



Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.2. Ensayo de CBR de la muestra M1+ 3% de Aserrín

Tabla 33

Ensayo de compactación de la muestra + 3% de aserrín

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Molde N°	1.00		2.00		3.00	
N° de capas	5.00		5.00		5.00	
N° de golpes por capas	13.00		27.00		56.00	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Peso molde (gr)	8197.0	8197.0	8026.0	8026.0	8330.0	8330.0
Wmh + molde (gr)	12727.0	12920.0	12685.0	12850.0	13412.0	13570.0
Wmh (gr)	4530.0	4723.0	4659.0	4824.0	5082.0	5240.0
Altura Cil. (cm)	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7	17.7
DiametroCil. (cm)	15.2	15.2	15.2	15.2	15.3	15.3
Vhm (cm³)	3227.3	3227.3	3207.0	3207.0	3238.5	3238.5

Dh (gr/cm ³)	1.4	1.5	1.5	1.5	1.6	1.6
--------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 34

Contenido de humedad de la muestra + 3% de Aserrín

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
W promedio (%)		9.31	14.38		9.32	13.37		9.22	12.30
Densidad seca		1.28	1.28		1.33	1.33		1.44	1.44

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 35

Ensayo de hinchamiento + 3% de aserrín

ENSAYO: HINCHAMIENTO											
TIEMPO ACUMULADO		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3			
HORA	DÍAS	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	Lectura		Hinchamiento	
		Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
24.000	1.000	3.000	0.076	0.043	2.000	0.051	0.029	11.500	0.292	0.165	
48.000	2.000	6.000	0.152	0.086	16.000	0.406	0.229	13.500	0.343	0.193	
72.000	3.000	11.000	0.279	0.157	20.000	0.508	0.287	14.000	0.356	0.201	
96.000	4.000	14.000	0.356	0.200	25.000	0.635	0.358	16.500	0.419	0.236	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 36

Ensayo carga penetración de la muestra + 3% de aserrín

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN										
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón		2.00	pulgadas		5.08
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
(mm)	(pulg)	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
		(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	0.23	0.01	0.16	4.99	0.25	3.50	4.99	0.25	3.50
1.27	0.05	0.91	0.04	0.64	8.62	0.43	6.05	11.79	0.58	8.28

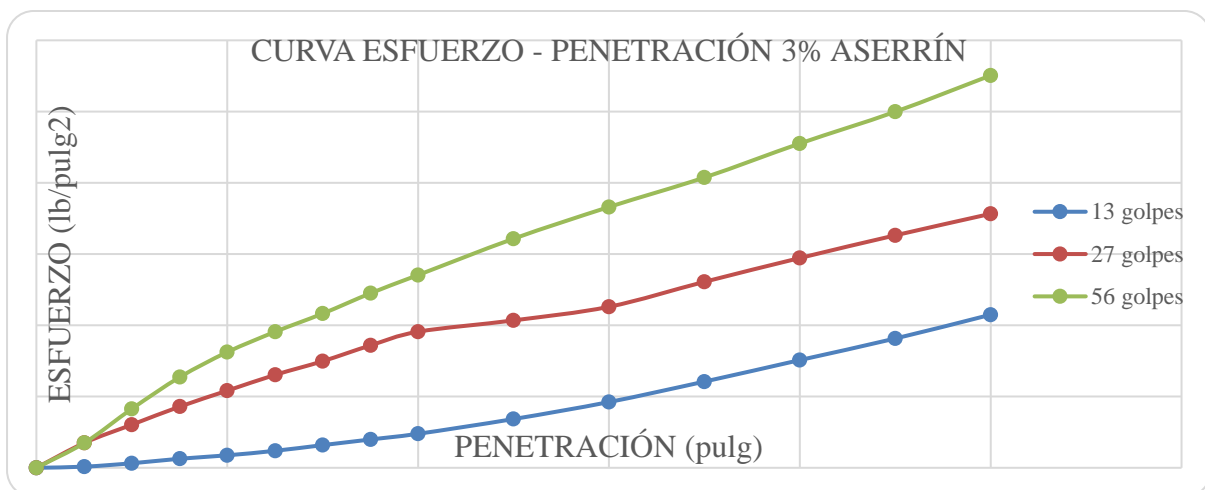
Pág.

1.91	0.08	1.81	0.09	1.27	12.25	0.60	8.59	18.14	0.90	12.73
2.54	0.10	2.49	0.12	1.75	15.42	0.76	10.82	23.13	1.14	16.23
3.18	0.13	3.40	0.17	2.39	18.60	0.92	13.05	27.22	1.34	19.10
3.81	0.15	4.54	0.22	3.18	21.32	1.05	14.96	30.84	1.52	21.65
4.45	0.18	5.67	0.28	3.98	24.49	1.21	17.19	34.93	1.72	24.51
5.08	0.20	6.80	0.34	4.77	27.22	1.34	19.10	38.56	1.90	27.06
6.35	0.25	9.75	0.48	6.84	29.48	1.45	20.69	45.81	2.26	32.15
7.62	0.30	13.15	0.65	9.23	32.21	1.59	22.60	52.16	2.57	36.61
8.89	0.35	17.24	0.85	12.10	37.19	1.84	26.10	58.06	2.86	40.74
10.16	0.40	21.55	1.06	15.12	41.96	2.07	29.44	64.86	3.20	45.52
11.43	0.45	25.85	1.28	18.14	46.49	2.29	32.63	71.21	3.51	49.97
12.70	0.50	30.62	1.51	21.49	50.80	2.51	35.65	78.47	3.87	55.07

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 20

Curva esfuerzo - penetración 3% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.3. Ensayo de CBR de la muestra M1 + 5% de Aserrín

Tabla 37

Ensayo de compactación + 5% de aserrín

ENSAYO DE COMPACTACIÓN						
Molde N°	1.00		2.00		3.00	
N° de capas	5.00		5.00		5.00	
N° de golpes por capas	13.00		27.00		56.00	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Peso molde (gr)	7220.00	7220.00	7735.00	7735.00	7498.00	7498.00
Wmh + molde (gr)	10900.00	11700.00	11732.00	12450.00	11897.00	12550.00
Wmh (gr)	3680.00	4480.00	3997.00	4715.00	4399.00	5052.00
Altura Cil. (cm)	17.72	17.72	17.75	17.75	17.73	17.73
DiametroCil. (cm)	15.18	15.18	15.22	15.22	15.25	15.25
Vhm (cm ³)	3206.99	3206.99	3229.37	3229.37	3238.46	3238.46
Dh (gr/cm ³)	1.15	1.40	1.24	1.46	1.36	1.56

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 38

Contenido de humedad + 5% de aserrín

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
W promedio (%)	9.07		32.65	9.06		28.70	8.95		24.50
Densidad seca	1.05		1.05	1.13		1.13	1.25		1.25

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 39

Ensayo de hinchamiento + 5% de aserrín

ENSAYO: HINCHAMIENTO											
TIEMPO ACUMULADO		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3			
		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		Lectura	Hinchamiento		
HORA	DÍAS	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	Deform.	(mm)	(%)	
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
24.00	1.00	43.000	1.092	0.616	40.000	1.016	0.572	43.000	1.092	0.616	
48.00	2.00	44.500	1.130	0.638	42.000	1.067	0.601	44.000	1.118	0.630	
72.00	3.00	45.000	1.143	0.645	43.000	1.092	0.615	45.000	1.143	0.645	
96.00	4.00	46.000	1.168	0.659	43.500	1.105	0.622	46.000	1.168	0.659	

Pág.

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 40

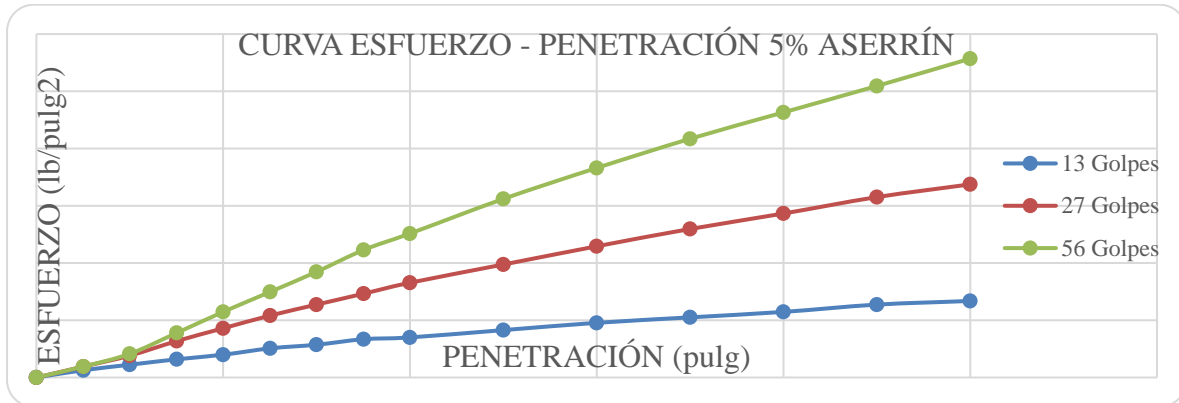
Ensayo carga - penetración + 5% de aserrín

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN										
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón		2.00	pulgadas		5.08
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO
(mm)	(pulg)	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	1.81	0.09	1.27	2.72	0.13	1.91	2.72	0.13	1.91
1.27	0.05	3.18	0.16	2.23	5.44	0.27	3.82	5.90	0.29	4.14
1.91	0.08	4.54	0.22	3.18	9.07	0.45	6.37	11.11	0.55	7.80
2.54	0.10	5.67	0.28	3.98	12.25	0.60	8.59	16.33	0.81	11.46
3.18	0.13	7.26	0.36	5.09	15.42	0.76	10.82	21.32	1.05	14.96
3.81	0.15	8.16	0.40	5.73	18.14	0.90	12.73	26.31	1.30	18.46
4.45	0.18	9.53	0.47	6.68	20.87	1.03	14.64	31.75	1.57	22.28
5.08	0.20	9.98	0.49	7.00	23.59	1.16	16.55	35.83	1.77	25.15
6.35	0.25	11.79	0.58	8.28	28.12	1.39	19.74	44.45	2.19	31.19
7.62	0.30	13.61	0.67	9.55	32.66	1.61	22.92	52.16	2.57	36.61
8.89	0.35	14.97	0.74	10.50	36.97	1.82	25.94	59.42	2.93	41.70
10.16	0.40	16.33	0.81	11.46	40.82	2.01	28.65	66.00	3.26	46.31
11.43	0.45	18.14	0.90	12.73	44.91	2.22	31.51	72.57	3.58	50.93
12.70	0.50	19.05	0.94	13.37	48.08	2.37	33.74	79.38	3.92	55.70

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 21

Curva de esfuerzo-penetración 5% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.1. Ensayo de CBR de la muestra M1 + 10% de Aserrín

Tabla 41

Ensayo de compactación + 10% de aserrín

	ENSAYO DE COMPACTACIÓN					
	1.00		2.00		3.00	
Molde N°	1.00		2.00		3.00	
N° de capas	5.00		5.00		5.00	
N° de golpes por capas	13.00		27.00		56.00	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS	ANTES	DESPUÉS
Peso molde (gr)	8197.00	8197.00	8026.00	8026.00	8330.00	8330.00
Wmh + molde (gr)	11584.00	12460.00	11712.00	12570.00	12322.00	13210.00
Wmh (gr)	3387.00	4263.00	3686.00	4544.00	3992.00	4880.00
Altura Cil. (cm)	17.73	17.73	17.75	17.75	17.72	17.72
DiametroCil. (cm)	15.22	15.22	15.25	15.25	15.18	15.18
Vhm (cm³)	3225.73	3225.73	3242.11	3242.11	3206.99	3206.99
Dh (gr/cm³)	1.05	1.32	1.14	1.40	1.24	1.52

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 42

Contenido de humedad de la muestra M1 + 10% de aserrín

CONTENIDO DE HUMEDAD									
Ensayo N°	1-A	1-B	1-C	2-A	2-B	2-C	3-A	3-B	3-C
W promedio (%)		12.08	40.99		12.03	38.16		11.92	37.03
Densidad seca		0.94	0.94		1.01	1.01		1.11	1.11

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 43

Ensayo de hinchamiento de la muestra + 10% de aserrín

ENSAYO: HINCHAMIENTO											
TIEMPO ACUMULADO		Molde N° 1			Molde N° 2			Molde N° 3			
HORA	DÍAS	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	Lectura Deform.	Hinchamiento (mm)	Hinchamiento (%)	
0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	
24.00	1.00	25.000	0.635	0.358	22.000	0.559	0.315	20.500	0.521	0.294	
48.00	2.00	48.000	1.219	0.688	25.000	0.635	0.358	23.500	0.597	0.337	
72.00	3.00	72.000	1.829	1.031	28.000	0.711	0.401	26.500	0.673	0.380	
96.00	4.00	96.000	2.438	1.375	30.000	0.762	0.429	29.000	0.737	0.416	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Tabla 44

Ensayo: Carga - penetración de la muestra + 10% de aserrín

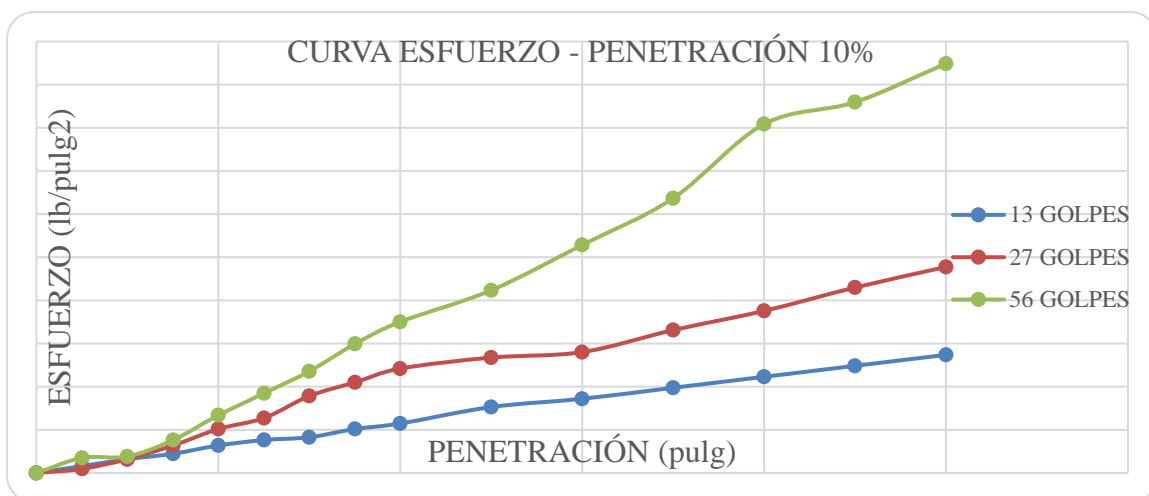
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN										
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón		2.00	pulgadas	5.08	
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	1.13	0.06	0.80	0.68	0.03	0.48	2.49	0.12	1.75
1.27	0.050	2.27	0.11	1.59	2.27	0.11	1.59	2.72	0.13	1.91
1.91	0.075	3.18	0.16	2.23	4.54	0.22	3.18	5.44	0.27	3.82
2.54	0.100	4.54	0.22	3.18	7.26	0.36	5.09	9.53	0.47	6.68
3.18	0.125	5.44	0.27	3.82	9.07	0.45	6.37	13.15	0.65	9.23
3.81	0.150	5.90	0.29	4.14	12.70	0.63	8.91	16.78	0.83	11.78
4.45	0.175	7.26	0.36	5.09	14.97	0.74	10.50	21.32	1.05	14.96

5.08	0.200	8.16	0.40	5.73	17.24	0.85	12.10	24.95	1.23	17.51
6.35	0.250	10.89	0.54	7.64	19.05	0.94	13.37	30.16	1.49	21.17
7.62	0.300	12.25	0.60	8.59	19.96	0.98	14.01	37.65	1.86	26.42
8.89	0.350	14.06	0.69	9.87	23.59	1.16	16.55	45.36	2.24	31.83
10.16	0.400	15.88	0.78	11.14	26.76	1.32	18.78	57.61	2.84	40.43
11.43	0.450	17.69	0.87	12.41	30.62	1.51	21.49	61.23	3.02	42.97
12.70	0.500	19.50	0.96	13.69	34.02	1.68	23.87	67.59	3.33	47.43

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 22

Curva esfuerzo-penetración 10% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín. Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.2. Ensayo de CBR de la muestra patrón M2

Tabla 45

Ensayo carga penetración de la muestra patrón M2

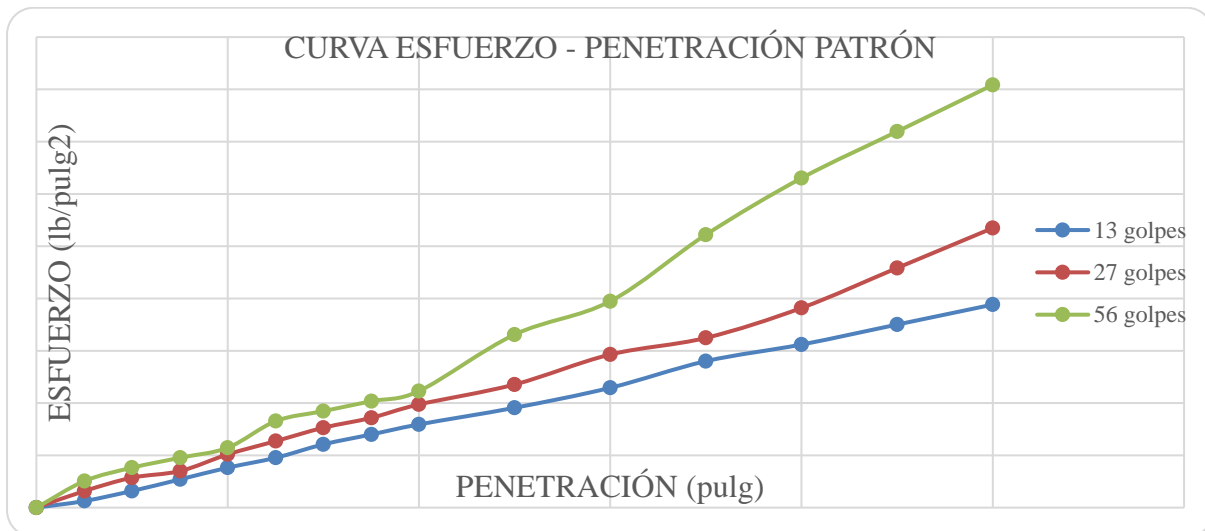
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN												
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón			2.00	pulgadas		5.08	
PENETRACIÓN		MOLDE N°1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3				
		CARGA			ESFUERZO			CARGA			ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)		
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

0.64	0.03	0.91	0.04	0.64	2.27	0.11	1.59	3.63	0.18	2.55
1.27	0.05	2.27	0.11	1.59	4.08	0.20	2.86	5.44	0.27	3.82
1.91	0.08	3.86	0.19	2.71	4.99	0.25	3.50	6.80	0.34	4.77
2.54	0.10	5.44	0.27	3.82	7.26	0.36	5.09	8.16	0.40	5.73
3.18	0.13	6.80	0.34	4.77	9.07	0.45	6.37	11.79	0.58	8.28
3.81	0.15	8.62	0.43	6.05	10.89	0.54	7.64	13.15	0.65	9.23
4.45	0.18	9.98	0.49	7.00	12.25	0.60	8.59	14.51	0.72	10.19
5.08	0.20	11.34	0.56	7.96	14.06	0.69	9.87	15.88	0.78	11.14
6.35	0.25	13.61	0.67	9.55	16.78	0.83	11.78	23.59	1.16	16.55
7.62	0.30	16.33	0.81	11.46	20.87	1.03	14.64	28.12	1.39	19.74
8.89	0.35	19.96	0.98	14.01	23.13	1.14	16.23	37.19	1.84	26.10
10.16	0.40	22.23	1.10	15.60	27.22	1.34	19.10	44.91	2.22	31.51
11.43	0.45	24.95	1.23	17.51	32.66	1.61	22.92	51.26	2.53	35.97
12.70	0.50	27.67	1.37	19.42	38.10	1.88	26.74	57.61	2.84	40.43

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 23

Curva esfuerzo penetración de la muestra patrón M2



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.3. Ensayo de CBR de la muestra M2 + 3% de aserrín

Tabla 46

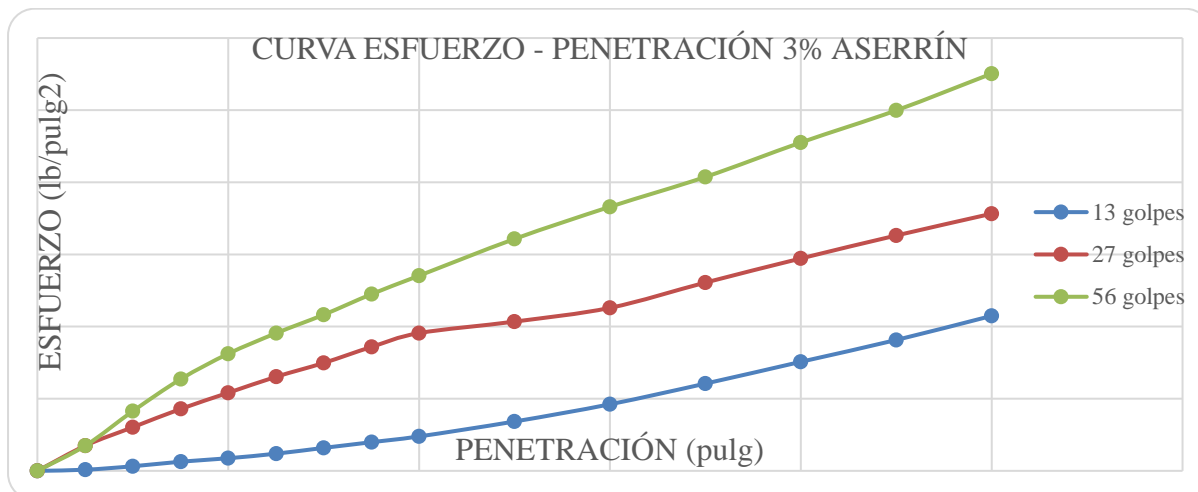
Ensayo carga penetración de la muestra M2 + 3% de aserrín

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN										
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón	2.00	pulgadas	5.08		
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO	CARGA		ESFUERZO
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	0.23	0.01	0.16	4.99	0.25	3.50	4.99	0.25	3.50
1.27	0.05	0.91	0.04	0.64	8.62	0.43	6.05	11.79	0.58	8.28
1.91	0.08	1.81	0.09	1.27	12.25	0.60	8.59	18.14	0.90	12.73
2.54	0.10	2.49	0.12	1.75	15.42	0.76	10.82	23.13	1.14	16.23
3.18	0.13	3.40	0.17	2.39	18.60	0.92	13.05	27.22	1.34	19.10
3.81	0.15	4.54	0.22	3.18	21.32	1.05	14.96	30.84	1.52	21.65
4.45	0.18	5.67	0.28	3.98	24.49	1.21	17.19	34.93	1.72	24.51
5.08	0.20	6.80	0.34	4.77	27.22	1.34	19.10	38.56	1.90	27.06
6.35	0.25	9.75	0.48	6.84	29.48	1.45	20.69	45.81	2.26	32.15
7.62	0.30	13.15	0.65	9.23	32.21	1.59	22.60	52.16	2.57	36.61
8.89	0.35	17.24	0.85	12.10	37.19	1.84	26.10	58.06	2.86	40.74
10.16	0.40	21.55	1.06	15.12	41.96	2.07	29.44	64.86	3.20	45.52
11.43	0.45	25.85	1.28	18.14	46.49	2.29	32.63	71.21	3.51	49.97
12.70	0.50	30.62	1.51	21.49	50.80	2.51	35.65	78.47	3.87	55.07

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 24

Curva esfuerzo - penetración de la muestra M2+3% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.4. Ensayo de CBR de la muestra M2 + 5% de aserrín

Tabla 47

Ensayo carga penetración de la muestra M2 + 5% de aserrín

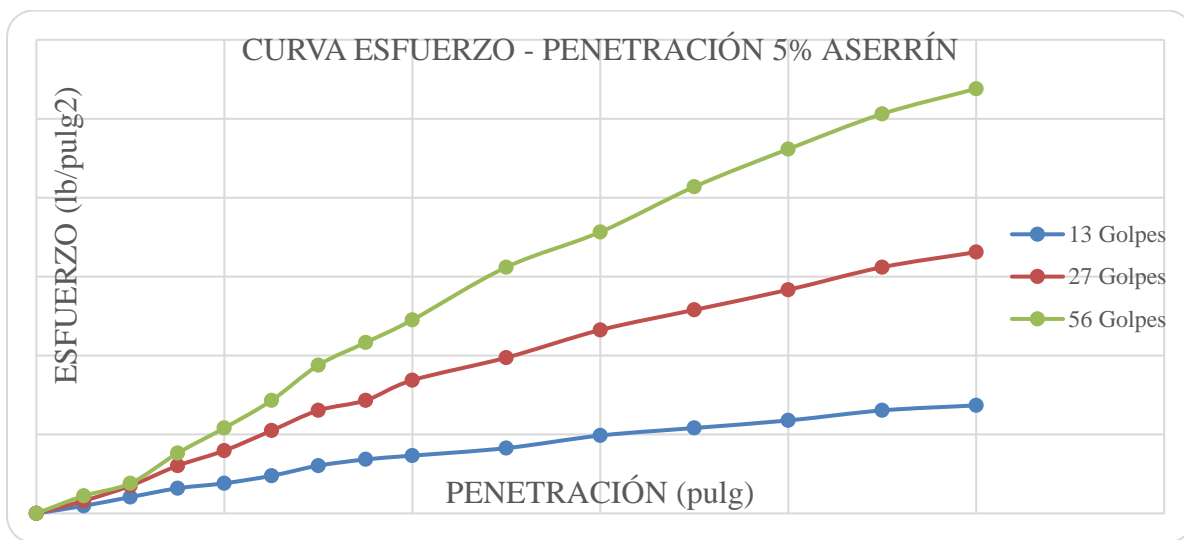
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN										
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón	2.00	pulgadas	5.08		
PENETRACIÓN	MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
	CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	1.36	0.07	0.95	2.27	0.11	1.59	3.18	0.16	2.23
1.27	0.05	2.95	0.15	2.07	4.99	0.25	3.50	5.44	0.27	3.82
1.91	0.08	4.54	0.22	3.18	8.62	0.43	6.05	10.89	0.54	7.64
2.54	0.10	5.44	0.27	3.82	11.34	0.56	7.96	15.42	0.76	10.82
3.18	0.13	6.80	0.34	4.77	14.97	0.74	10.50	20.41	1.01	14.32
3.81	0.15	8.62	0.43	6.05	18.60	0.92	13.05	26.76	1.32	18.78
4.45	0.18	9.75	0.48	6.84	20.41	1.01	14.32	30.84	1.52	21.65
5.08	0.20	10.43	0.51	7.32	24.04	1.19	16.87	34.93	1.72	24.51

6.35	0.25	11.79	0.58	8.28	28.12	1.39	19.74	44.45	2.19	31.19
7.62	0.30	14.06	0.69	9.87	33.11	1.63	23.24	50.80	2.51	35.65
8.89	0.35	15.42	0.76	10.82	36.74	1.81	25.78	58.97	2.91	41.38
10.16	0.40	16.78	0.83	11.78	40.37	1.99	28.33	65.77	3.25	46.15
11.43	0.45	18.60	0.92	13.05	44.45	2.19	31.19	72.12	3.56	50.61
12.70	0.50	19.50	0.96	13.69	47.17	2.33	33.10	76.66	3.78	53.79

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 25

Curva esfuerzo - penetración 5% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín. Fuente: elaboración propia (2023).

3.1.6.5. Ensayo de CBR de la muestra M2 + 10% de aserrín

Tabla 48

Ensayo carga penetración de la muestra M2 + 10% de aserrín

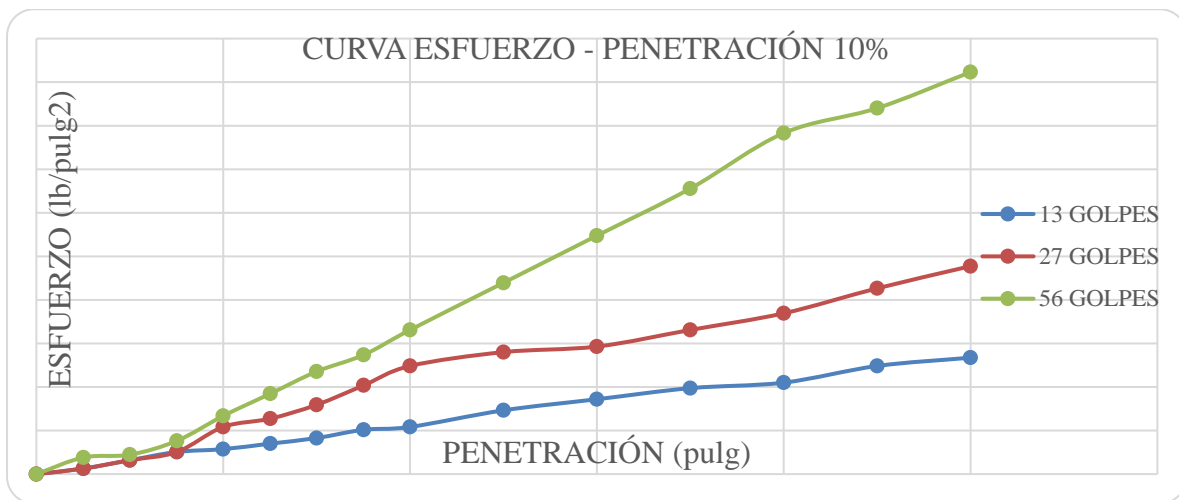
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN							
CONVERSIONES	1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón	2.00	pulgadas	5.08
PENETRACIÓN	MOLDE 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3		
	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	

(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	0.91	0.04	0.64	0.91	0.04	0.64	2.72	0.13	1.91
1.27	0.050	2.27	0.11	1.59	2.27	0.11	1.59	3.18	0.16	2.23
1.91	0.075	3.63	0.18	2.55	3.63	0.18	2.55	5.44	0.27	3.82
2.54	0.100	4.08	0.20	2.86	7.71	0.38	5.41	9.53	0.47	6.68
3.18	0.125	4.99	0.25	3.50	9.07	0.45	6.37	13.15	0.65	9.23
3.81	0.150	5.90	0.29	4.14	11.34	0.56	7.96	16.78	0.83	11.78
4.45	0.175	7.26	0.36	5.09	14.51	0.72	10.19	19.50	0.96	13.69
5.08	0.200	7.71	0.38	5.41	17.69	0.87	12.41	23.59	1.16	16.55
6.35	0.250	10.43	0.51	7.32	19.96	0.98	14.01	31.30	1.54	21.96
7.62	0.300	12.25	0.60	8.59	20.87	1.03	14.64	39.01	1.92	27.37
8.89	0.350	14.06	0.69	9.87	23.59	1.16	16.55	46.72	2.31	32.79
10.16	0.400	14.97	0.74	10.50	26.31	1.30	18.46	55.79	2.75	39.15
11.43	0.450	17.69	0.87	12.41	30.39	1.50	21.33	59.87	2.95	42.02
12.70	0.500	19.05	0.94	13.37	34.02	1.68	23.87	65.77	3.25	46.15

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 26

Curva esfuerzo - penetración 10% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.2. Determinación de las propiedades físicas de las muestras – carretera La Huaraclla

3.2.1. Contenido de humedad

Tabla 49

Contenido de humedad para la muestra en la carretera C.P. La Huaraclla

N° de muestra	ID	Porcentaje de humedad
M3	CP La Huaraclla	20.23%
M4	CP La Huaraclla	13.02%
Porcentaje de humedad promedio		16.62%

Nota. En la mostrada se observa los resultados del contenido de humedad de las muestras en la carretera ubicada en el C.P. La Huaraclla. Fuente: Elaboración propia (2023).

3.2.2. Peso específico del material fino

Tabla 50

Peso específico del material fino para la muestra M3

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra		M3	M3
E	Peso Específico ($\gamma_s = ((B)/(B + C - D))$)	gr/cm ³	2.907	2.890
F	Promedio del Peso Específico " γ_s "	gr/cm ³	2.899	

Nota. En la tabla mostrada se observan los resultados del peso específico del material fino para la primera muestra en la carretera La Huaraclla. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, coma de acuerdo con la tabla 50 se puede constatar que dicha muestra tiene un peso específico equivalente a 2.899 g/cm³.

Tabla 51

Peso específico del material fino para la muestra M4

ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2
A	Identificación de la Muestra		M4	M4
E	Peso Específico ($\gamma_s = ((B / (B + C - D))$)	gr/cm ³	2.825	2.841
F	Promedio del Peso Específico "Ys"	gr/cm ³	2.833	

Nota. En la tabla mostrada se observan los resultados del peso específico del material fino para la segunda muestra en la carretera La Huaraclla. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, como de acuerdo con la tabla 51 se puede constatar que dicha muestra tiene un peso específico equivalente a 2.833 g/cm³.

3.2.3. Análisis granulométrico de las muestras de la carretera C.P. La Huaraclla

Tabla 52

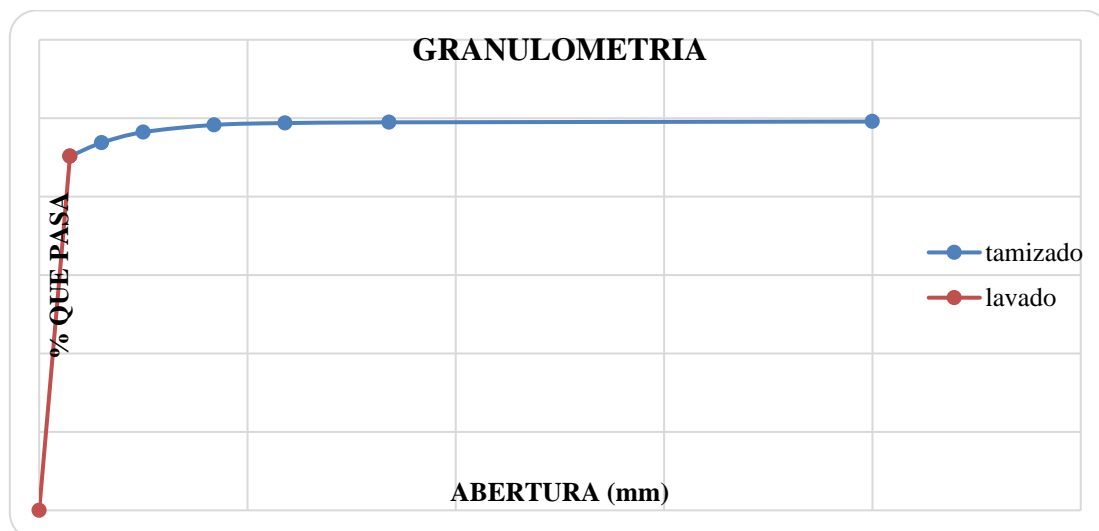
Análisis granulométrico para M3 de la carretera C.P. La Huaraclla

Tamiz	Abertura	Peso Retenido (gr)	% RP	%RA	% que pasa
N° 10	2	8.55	0.86	0.86	99.15
N° 20	0.84	1.99	0.20	1.05	98.95
N° 30	0.59	1.89	0.19	1.24	98.76
N° 40	0.42	4.74	0.47	1.72	98.28
N° 60	0.25	18.44	1.84	3.56	96.44
N° 100	0.15	26.97	2.70	6.26	93.74
N° 200	0.074	34.33	3.43	9.69	90.31
P N° 200 (lavado)	0	903.09	90.31	100.00	0.00
Total		1000	100		

Nota. elaboración propia (2023).

Figura 27

Curva granulométrica de la M3



Nota. elaboración propia (2023).

Tabla 53

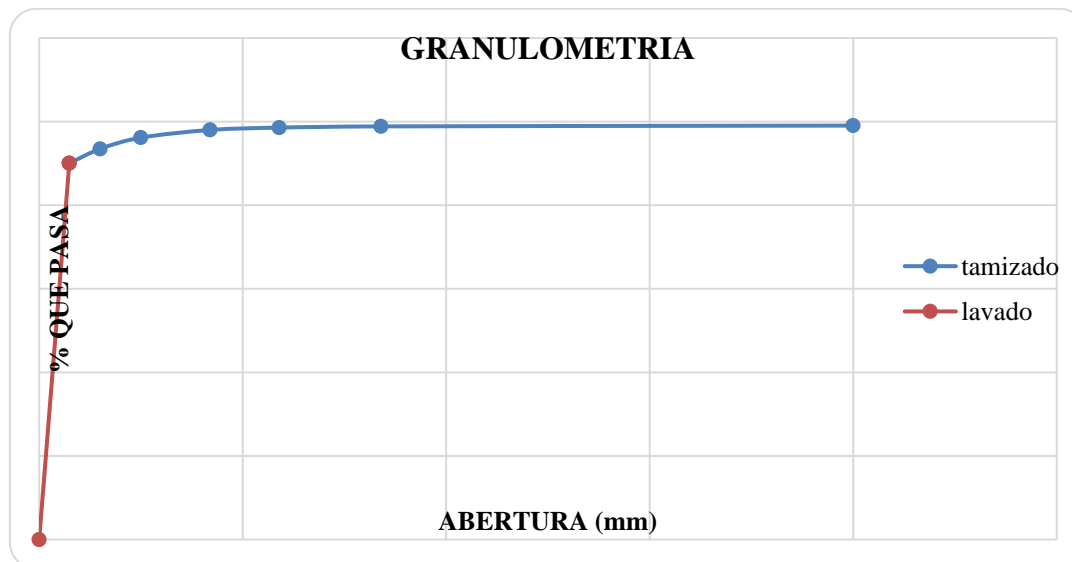
Análisis granulométrico para M4 de la carretera C.P. La Huaracclla

Tamiz	Abertura (mm)	Peso Retenido (gr)	% RP	% RA	% que pasa
Nº 10	2	9.49	0.95	0.95	99.05
Nº 20	0.84	1.93	0.19	1.14	98.86
Nº 30	0.59	2.83	0.28	1.43	98.58
Nº 40	0.42	5.68	0.57	1.99	98.01
Nº 60	0.25	18.38	1.84	3.83	96.17
Nº 100	0.15	26.88	2.69	6.52	93.48
Nº 200	0.074	34.27	3.43	9.95	90.05
P Nº 200 (lavado)	0	900.54	90.05	100.00	0.00
Total		1000	100		

Nota. elaboración propia (2023).

Figura 28

Curva granulométrica de la M3



Nota. elaboración propia (2023).

3.2.4. Límites de plasticidad para las muestras en la carretera en el C.P. La Huaraclla

Tabla 54

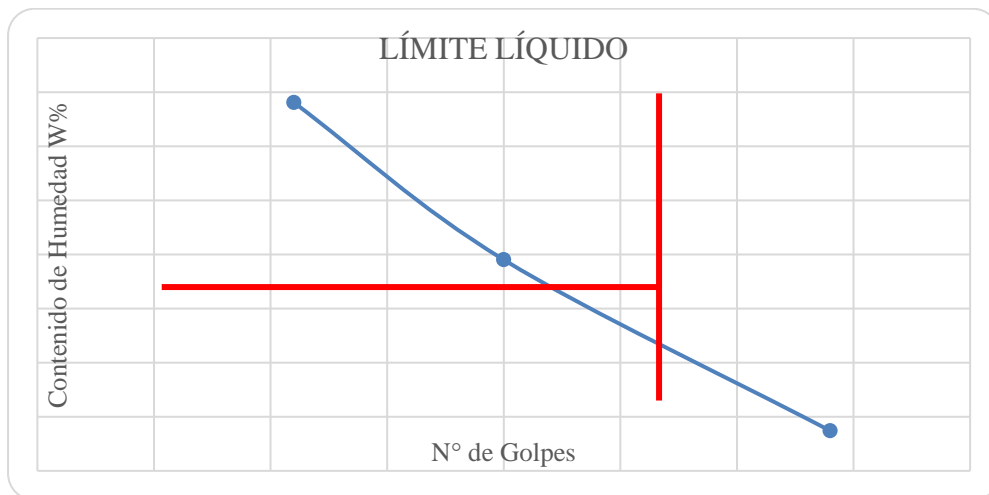
Límite liquido de la M3 carretera en el C.P. La Huaraclla

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	T10	T11	T12
G	Número de Golpes	N	11	20	34
H	Contenido de Humedad (E/F) *100	%	46.81	43.90	40.74

Nota. en la tabla mostrada se observa los resultados obtenidos del mencionado estudio. fuente: elaboración propia (2023).

Figura 29

Límites de Atterberg para la M3 carretera en el C. P. La Huaraclla



Nota. en la Figura mostrada se observa la determinación del límite líquido. Fuente: elaboración propia (2023).

En la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.**, se muestra los puntos obtenidos con el número de golpes logrados para el ensayo del límite líquido detallado en la Tabla 54 y Tabla 49, posteriormente se realizó el trazo de la línea de tendencia ubicándose en la intersección en el golpe número 25, arrojando un contenido de humedad del 42.90 %.

Tabla 55

Determinación del Límite plástico (LP)

DETERMINACIÓN LÍMITE PLASTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	Nº	T13	T14	T8
G	Contenido de Humedad (E/F)*100	%	22.22	22.64	22.50
H	Promedio %		22.455		

Nota. en la tabla se muestra, la determinación del límite de plasticidad. Fuente: elaboración propia (2023).

De acuerdo con la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.**, se puede observar que el promedio obtenido del límite de plasticidad en la muestra mencionada tiene un valor de 22.45%.

Tabla 56

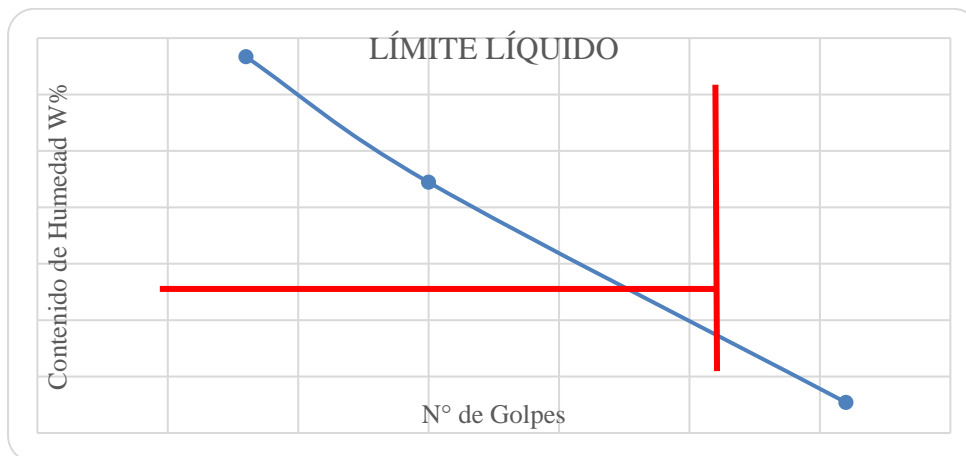
Límite líquido de la M4 carretera en el C.P. La Huaraclla

DETERMINACIÓN LÍMITE LÍQUIDO (LL)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	T1	T2	T3
B	Suelo Húmedo + Recipiente	gr	32.1	31.6	32.5
C	Suelo Seco + Recipiente	gr	30.7	30.4	31
D	Peso de Recipiente	gr	27.7	27.7	27.3
E	Peso del Agua (B – C)	gr	1.4	1.2	1.5
F	Peso Suelo Seco (C – D)	gr	3	2.7	3.7
G	Número de Golpes	N	8	15	31
H	Contenido de Humedad (E/F) *100	%	46.67	44.44	40.54

Nota. en la tabla mostrada se observa los resultados obtenidos del mencionado estudio. fuente: elaboración propia (2023).

Figura 30

Límites de Atterberg para la M4 carretera en el C. P. La Huaraclla



Nota. En la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.**, mostrada se observa la determinación del límite líquido. Fuente: elaboración propia (2023).

En la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.**, se muestra los puntos obtenidos con el número de golpes logrados para el ensayo del límite líquido detallado en la **¡Error! Argumento de modificador desconocido.** y **¡Error! Argumento de modificador desconocido.**, posteriormente se realizó el trazo de la línea de tendencia ubicándose en la intersección en el golpe número 25, arrojando un contenido de humedad del 42.00 %.

Tabla 57

Determinación del Límite plástico (LP)

DETERMINACIÓN LÍMITE PLÁSTICO (LP)					
ID	DESCRIPCIÓN	UND	1	2	3
A	Identificación de Recipiente	N°	T13	T14	T8
G	Contenido de Humedad (E/F) *100	%	17.65	20.00	22.22
H	Promedio %		19.956		

Nota. en la tabla se muestra, la determinación del límite de plasticidad. Fuente: elaboración propia (2023).

De acuerdo con la Tabla 57, se puede observar que el promedio obtenido del límite de plasticidad en la muestra mencionada tiene un valor de 19.956 %.

Tabla 58

Índice de plasticidad para la muestra M3 Carretera La Huaraclla

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	42.90%
Límite plástico	LP	22.45%
Índice de plasticidad	IP	20.45%

Nota. Elaboración propia (2023).

Los resultados obtenidos en la tabla 58 muestran que el límite líquido tiene un valor de 42.90% y mientras que límite plástico es mucho menor teniendo un porcentaje de humedad equivalente al 22.45% dando como resultado que el índice de plasticidad obtenido tiene un valor de 20.45%.

Tabla 59

Índice de plasticidad para la muestra M4 Carretera La Huaraclla

Tipo de ensayo	ID	Porcentaje de humedad
Límite líquido	LL	42.00%
Límite plástico	LP	19.95%
Índice de plasticidad	IP	22.05%

Nota. Elaboración propia (2023).

Los resultados obtenidos en la tabla 57 muestran que el límite líquido tiene un valor de 42.00% y mientras que límite plástico es mucho menor teniendo un porcentaje de humedad equivalente al 19.95% dando como resultado que el índice de plasticidad obtenido tiene un valor de 22.05%.

3.2.5. Ensayo de compactación Proctor modificado

Tabla 60

Proctor modificado de la muestra Patrón M1

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
	1	2	3	4	5	6
HUMEDAD TEORICA	5		7		15	
ENSAYO N°	1		2		3	
PESO CILINDRO + SUELO	5800		5875		5890	
PESO CILINDRO	4074		4074		4074	
PESO SUELO COMPACTADO	1726		1801		1816	
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	1.82		1.90		1.91	
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	6.24	5.93	6.26	7.52	15.61	16.06

Pág.

CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	6.09	6.89	15.83
DENSIDAD SECA gr/cm ³	1.71	1.77	1.65

Nota. en la tabla se muestra los resultados de la primera muestra realizada en la carretera La Huaraclla. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 31

Proctor modificado de la muestra Patrón M3

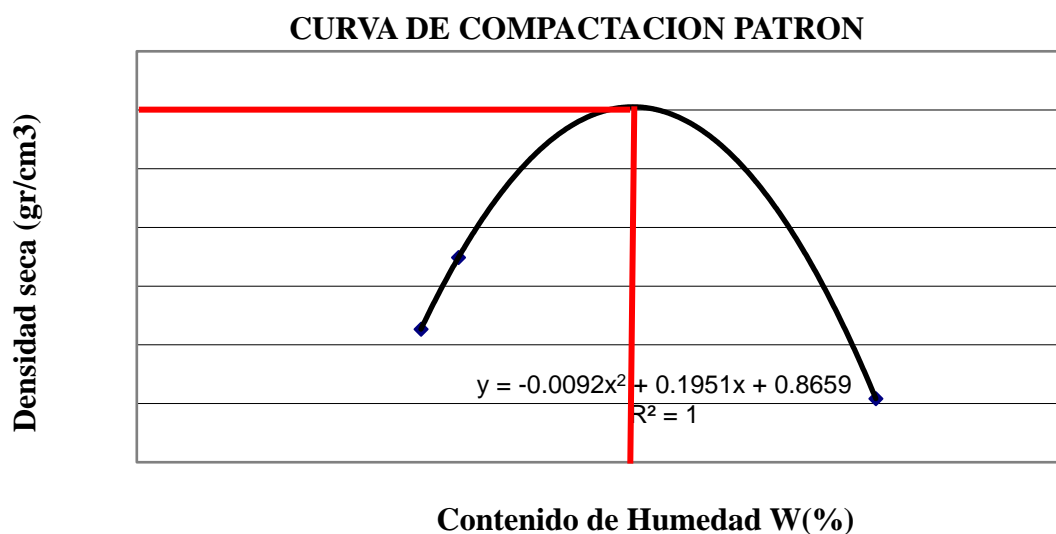


Tabla 61

Proctor modificado de la muestra Patrón M3+3% de aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
	1	2	3	4	5	6
HUMEDAD TEORICA	5	10	15			
ENSAYO N°	1	2	3			
PESO CILINDRO + SUELO	5636	5943	5905			
PESO CILINDRO	4074	4074	4074			
PESO SUELO COMPACTADO	1562	1869	1831			
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	1.64	1.97	1.93			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	92.5	92.6	85.4	85.2	81.7	81.7
P. MUESTRA S. + CAPSULA	89.7	89.39	80.92	80.63	74.6	74.8
PESO AGUA	2.80	3.21	4.48	4.57	7.10	6.90
PESO CAPSULA	27	27	27	27.5	26.43	26.55
PESO MUESTRA SECA	62.70	62.39	53.92	53.13	48.17	48.25

CONTENIDO DE HUMEDAD W%	4.47	5.15	8.31	8.60	14.74	14.30
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	4.81		8.46		14.52	
DENSIDAD SECA gr/cm3	1.57		1.81		1.68	

Figura 32

Proctor modificado de la muestra Patrón M3+3% de aserrín

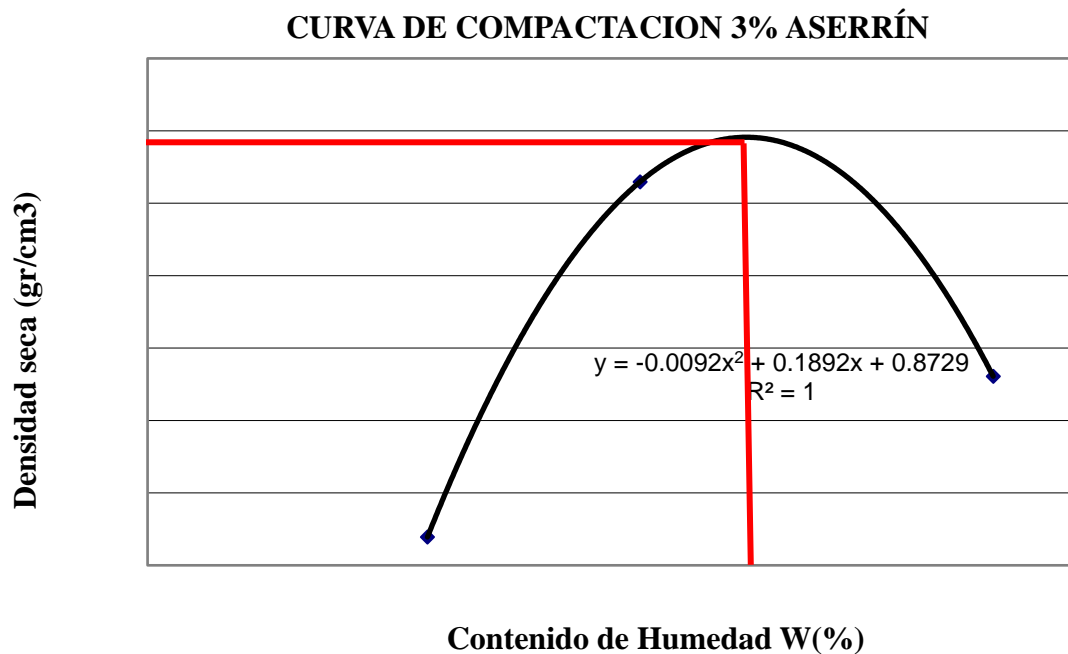


Tabla 62

Proctor modificado de la muestra Patrón M4+5% de aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
HUMEDAD TEORICA	5		10		15	
ENSAYO N°	1		2		3	
PESO CILINDRO + SUELO	5642		5874		5890	
PESO CILINDRO	4074		4074		4074	
PESO SUELO COMPACTADO	1568		1800		1816	
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm3	1.65		1.90		1.91	
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	101.1	101.1	91	91.4	105.5	106.3

Pág.

P. MUESTRA S. + CAPSULA	97.89	97.54	86.7	87.14	96.01	96.63
PESO AGUA	3.21	3.56	4.30	4.26	9.49	9.67
PESO CAPSULA	27.8	27	27	27.5	26.43	26.55
PESO MUESTRA SECA	70.09	70.54	59.70	59.64	69.58	70.08
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	4.58	5.05	7.20	7.14	13.64	13.80
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	4.81		7.17		13.72	
DENSIDAD SECA gr/cm ³	1.58		1.77		1.68	

Figura 33

Proctor modificado de la muestra Patrón M4+5% de aserrín

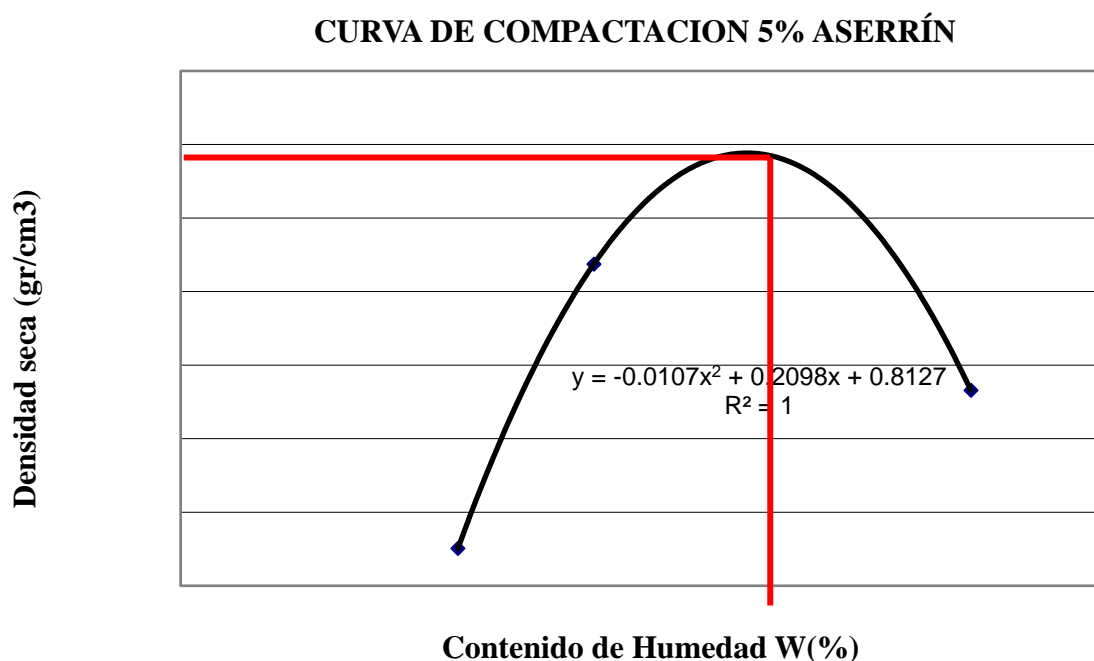


Tabla 63

Proctor modificado de la muestra Patrón M5+10% de aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
	5	10	15			
HUMEDAD TEORICA	5	10	15			
ENSAYO N°	1	2	3			
PESO CILINDRO + SUELO	5582	5692	5781			
PESO CILINDRO	4074	4074	4074			
PESO SUELO COMPACTADO	1508	1618	1707			
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	1.59	1.70	1.80			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6

Pág.

P. MUESTRA H. + CAPSULA	87.25	87.33	96.04	96.04	108.27	108.13
P. MUESTRA S. + CAPSULA	84.59	84.62	91.22	91.24	98.54	98.12
PESO AGUA	2.66	2.71	4.82	4.80	9.73	10.01
PESO CAPSULA	27.8	27	27	27.5	26.43	26.55
PESO MUESTRA SECA	56.79	57.62	64.22	63.74	72.11	71.57
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	4.68	4.70	7.51	7.53	13.49	13.99
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	4.69		7.52		13.74	
DENSIDAD SECA gr/cm3	1.52		1.58		1.58	

Figura 34

Proctor modificado de la muestra Patrón M3+10% de aserrín

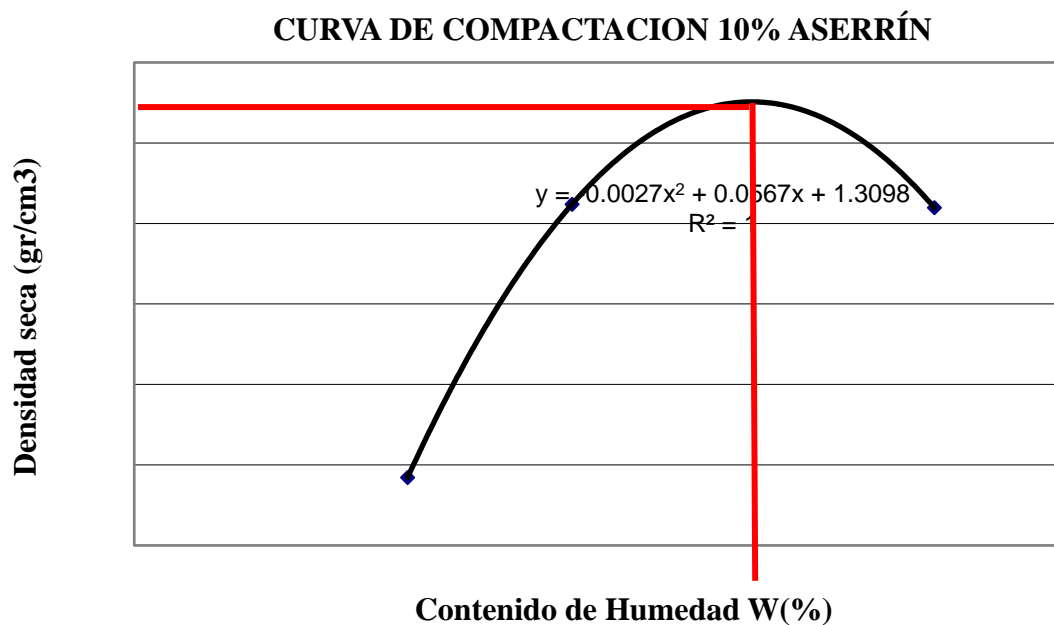


Tabla 64

Proctor modificado de la muestra patrón M4

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO							
HUMEDAD TEORICA	3		5		10		15	
ENSAYO N°	1		1		2		3	
PESO CILINDRO + SUELO	5670		5780		5880		5875	
PESO CILINDRO	4074		4074		4074		4074	
PESO SUELO COMPACTADO	1596		1706		1806		1801	
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm3	1.68		1.80		1.90		1.90	
CAPSULA N°	1	2	1	2	3	4	5	6

Pág.

P. MUESTRA H. + CAPSULA	70	70	80.5	80.5	100	100	90.5	90.5
P. MUESTRA S. + CAPSULA	69	69	77.5	77.4	92.5	92.7	81.5	81.7
PESO AGUA	1.00	1.00	3.00	3.10	7.50	7.30	9.00	8.80
PESO CAPSULA	28.6	28.3	28	27.7	27.7	27.8	27.8	27.9
PESO MUESTRA SECA	40.40	40.70	49.50	49.70	64.80	64.90	53.70	53.80
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	2.48	2.46	6.06	6.24	11.57	11.25	16.76	16.36
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	2.47		6.15		11.41		16.56	
DENSIDAD SECA gr/cm3	1.64		1.69		1.71		1.62	

Figura 35

Proctor modificado de la muestra Patrón M4

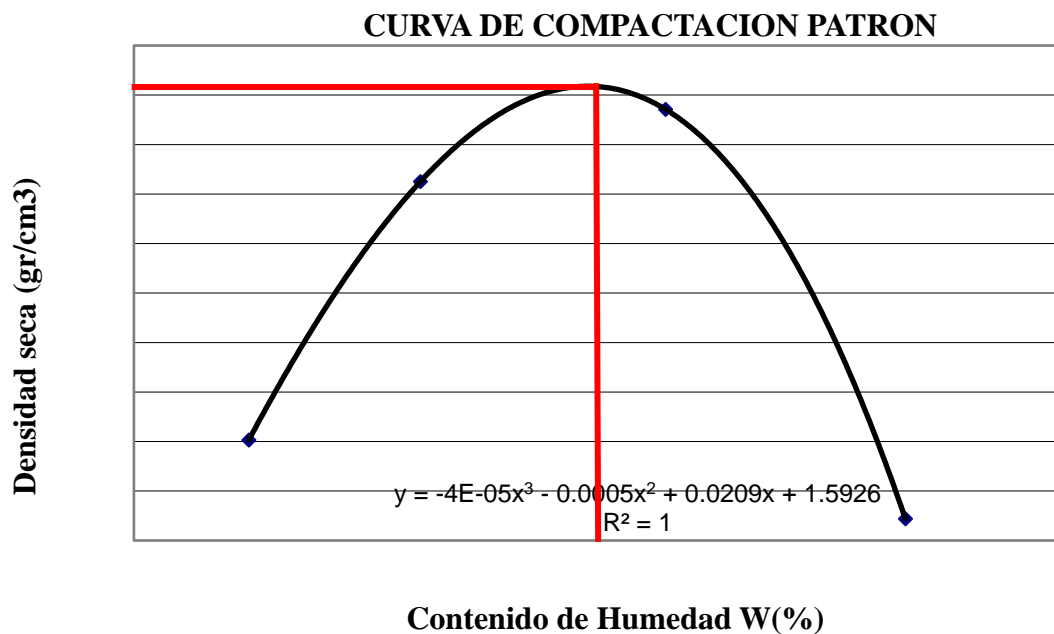


Tabla 65

Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +3% de aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO		
HUMEDAD TEORICA	5	10	15
ENSAYO N°	1	2	3
PESO CILINDRO + SUELO	5650	5755	5780
PESO CILINDRO	4074	4074	4074

Pág.

PESO SUELO COMPACTADO	1576	1681	1706			
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	1.66	1.77	1.80			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6
P. MUESTRA H. + CAPSULA	85	85	85	85	85	85
P. MUESTRA S. + CAPSULA	82.2	82.4	79.3	78.1	77.2	77.3
PESO AGUA	2.80	2.60	5.70	6.90	7.80	7.70
PESO CAPSULA	27.8	27.7	27.9	27.7	27.8	27.9
PESO MUESTRA SECA	54.40	54.70	51.40	50.40	49.40	49.40
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.15	4.75	11.09	13.69	15.79	15.59
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	4.95		12.39		15.69	
DENSIDAD SECA gr/cm ³	1.58		1.58		1.55	

Figura 36

Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +3% de aserrín

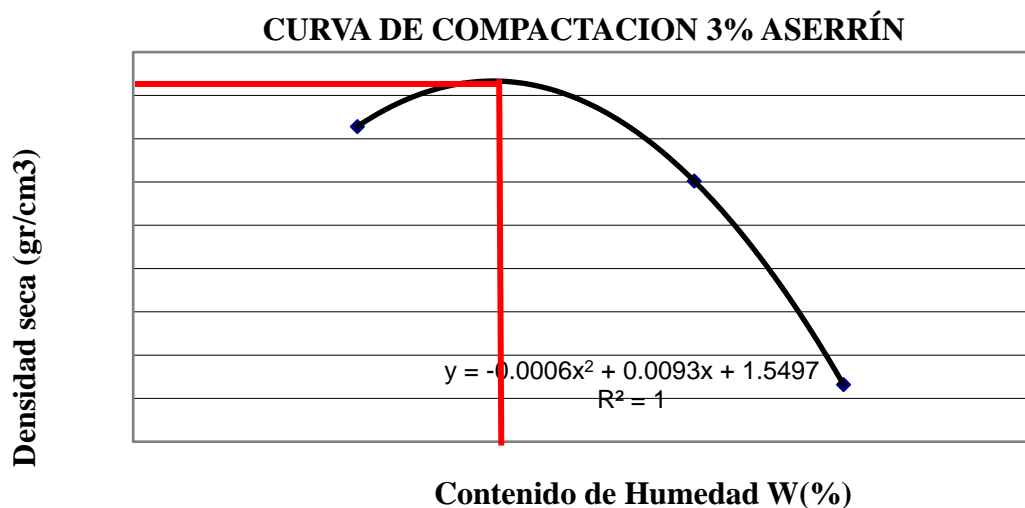


Tabla 66

Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +5% de aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
HUMEDAD TEORICA	5	10	15			
ENSAYO N°	1	2	3			
PESO CILINDRO + SUELO	5675	5770	5820			
PESO CILINDRO	4074	4074	4074			
PESO SUELO COMPACTADO	1601	1696	1746			
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm ³	1.69	1.79	1.84			
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6

Pág.

P. MUESTRA H. + CAPSULA	90	90.1	90	90	90	90
P. MUESTRA S. + CAPSULA	87	87.3	84.2	84.3	81.9	81.7
PESO AGUA	3.00	2.80	5.80	5.70	8.10	8.30
PESO CAPSULA	27.8	27.6	27.8	27.5	27.7	27.9
PESO MUESTRA SECA	59.20	59.70	56.40	56.80	54.20	53.80
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.07	4.69	10.28	10.04	14.94	15.43
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	4.88		10.16		15.19	
DENSIDAD SECA gr/cm3	1.61		1.62		1.60	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 37

Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +5% de aserrín

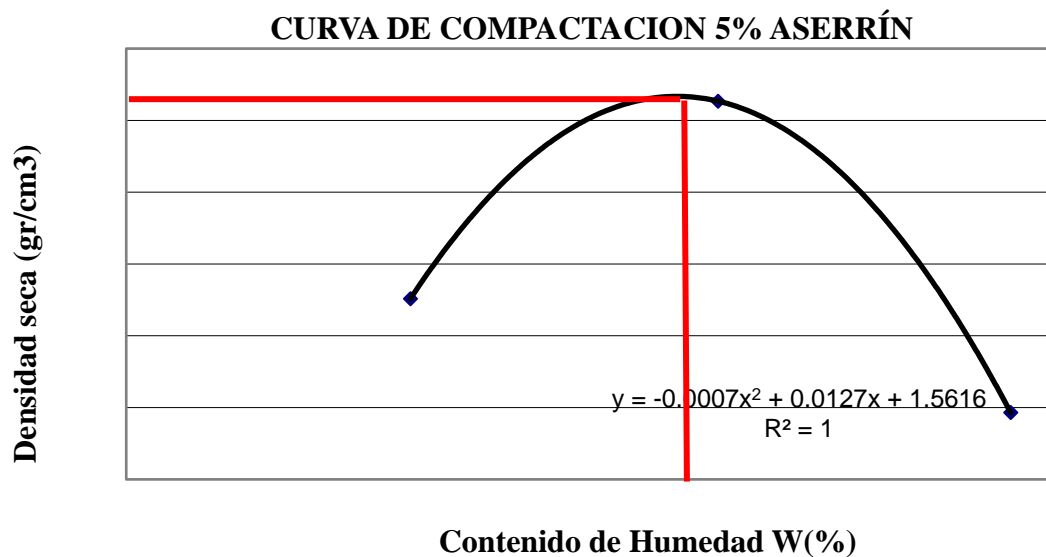


Tabla 67

Proctor modificado de la muestra patrón M4 +10% de aserrín

ENSAYO	PROCTOR MODIFICADO					
	5	10	15	20	25	30
HUMEDAD TEORICA	5	10	15	20	25	30
ENSAYO N°	1	2	3	4	5	6
PESO CILINDRO + SUELO	5590	5690	5730	5770	5810	5850
PESO CILINDRO	4074	4074	4074	4074	4074	4074
PESO SUELO COMPACTADO	1516	1616	1656	1696	1736	1776
DENSIDAD HUMEDA, gr/cm3	1.60	1.70	1.74	1.78	1.82	1.86
CAPSULA N°	1	2	3	4	5	6

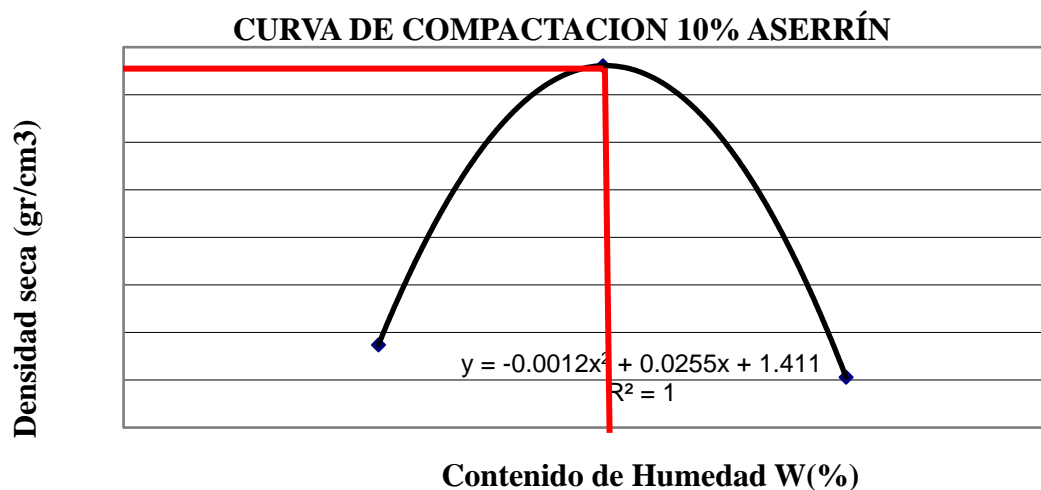
Pág.

P. MUESTRA H. + CAPSULA	100	100.1	100.2	100.1	100.1	100
P. MUESTRA S. + CAPSULA	96.2	96.4	93.5	93.2	90.4	90.3
PESO AGUA	3.80	3.70	6.70	6.90	9.70	9.70
PESO CAPSULA	27.7	27.8	27	27.5	27.7	27.9
PESO MUESTRA SECA	68.50	68.60	66.50	65.70	62.70	62.40
CONTENIDO DE HUMEDAD W%	5.55	5.39	10.08	10.50	15.47	15.54
CONTENIDO DE HUMEDAD W% PROM.	5.47		10.29		15.51	
DENSIDAD SECA gr/cm ³	1.51		1.54		1.51	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 38

Proctor modificado de la muestra Patrón M4 +10% de aserrín



3.2.6. Ensayo de CBR

3.2.6.1. Ensayo de CBR de la muestra patrón M3

Tabla 68

Ensayo carga penetración de la muestra patrón M3

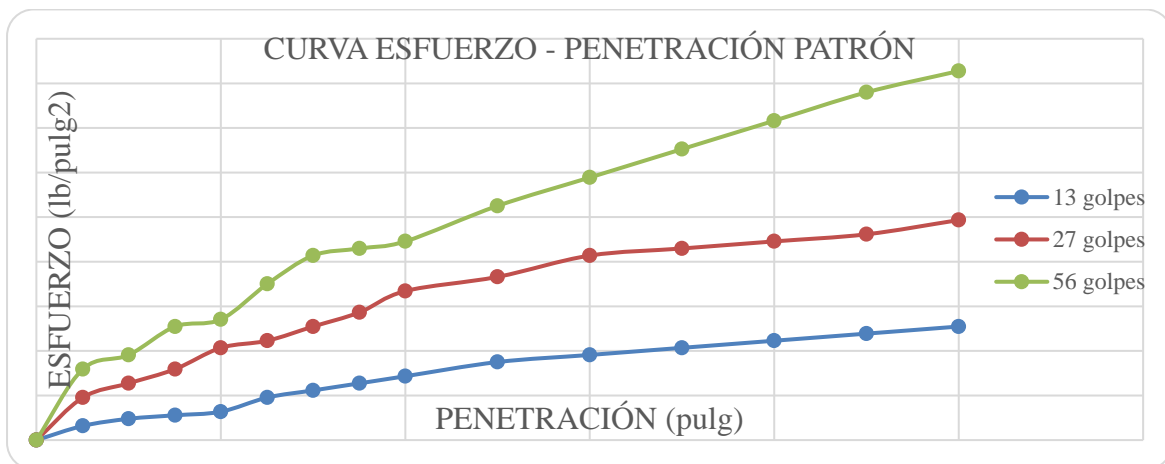
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN							
PENETRACIÓN	1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón	2.00	pulgadas	5.08
	MOLDE 1		MOLDE N° 2		MOLDE N° 3		
	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	CARGA	ESFUERZO	

(mm)	(pulg)	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	0.91	0.04	0.64	2.72	0.13	1.91	4.54	0.22	3.18
1.27	0.05	1.36	0.07	0.95	3.63	0.18	2.55	5.44	0.27	3.82
1.91	0.08	1.59	0.08	1.11	4.54	0.22	3.18	7.26	0.36	5.09
2.54	0.10	1.81	0.09	1.27	5.90	0.29	4.14	7.71	0.38	5.41
3.18	0.13	2.72	0.13	1.91	6.35	0.31	4.46	9.98	0.49	7.00
3.81	0.15	3.18	0.16	2.23	7.26	0.36	5.09	11.79	0.58	8.28
4.45	0.18	3.63	0.18	2.55	8.16	0.40	5.73	12.25	0.60	8.59
5.08	0.20	4.08	0.20	2.86	9.53	0.47	6.68	12.70	0.63	8.91
6.35	0.25	4.99	0.25	3.50	10.43	0.51	7.32	14.97	0.74	10.50
7.62	0.30	5.44	0.27	3.82	11.79	0.58	8.28	16.78	0.83	11.78
8.89	0.35	5.90	0.29	4.14	12.25	0.60	8.59	18.60	0.92	13.05
10.16	0.40	6.35	0.31	4.46	12.70	0.63	8.91	20.41	1.01	14.32
11.43	0.45	6.80	0.34	4.77	13.15	0.65	9.23	22.23	1.10	15.60
12.70	0.50	7.26	0.36	5.09	14.06	0.69	9.87	23.59	1.16	16.55

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 39

Curva esfuerzo - penetración de la muestra patrón M3



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.2. Ensayo de CBR de la muestra M3 + 3% de aserrín

Tabla 69

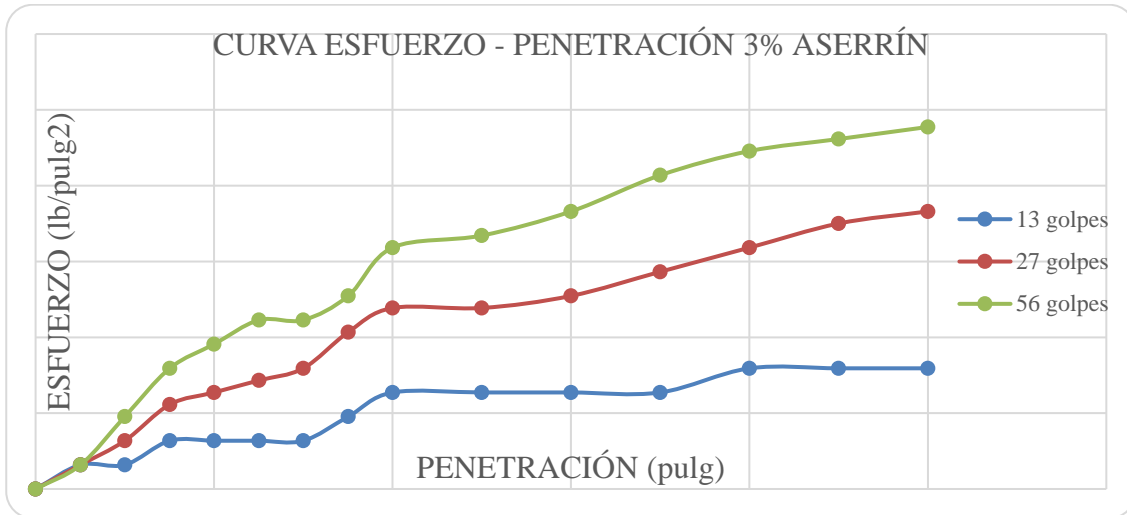
Ensayo carga penetración de la muestra M3+3% de aserrín

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN										
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón	2.00	pulgadas	5.08		
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	(Kg)	Kg/cm ²	Lb/pulg ²
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.03	0.45	0.02	0.32	0.45	0.02	0.32	0.45	0.02	0.32
1.27	0.05	0.45	0.02	0.32	0.91	0.04	0.64	1.36	0.07	0.95
1.91	0.08	0.91	0.04	0.64	1.59	0.08	1.11	2.27	0.11	1.59
2.54	0.10	0.91	0.04	0.64	1.81	0.09	1.27	2.72	0.13	1.91
3.18	0.13	0.91	0.04	0.64	2.04	0.10	1.43	3.18	0.16	2.23
3.81	0.15	0.91	0.04	0.64	2.27	0.11	1.59	3.18	0.16	2.23
4.45	0.18	1.36	0.07	0.95	2.95	0.15	2.07	3.63	0.18	2.55
5.08	0.20	1.81	0.09	1.27	3.40	0.17	2.39	4.54	0.22	3.18
6.35	0.25	1.81	0.09	1.27	3.40	0.17	2.39	4.76	0.23	3.34
7.62	0.30	1.81	0.09	1.27	3.63	0.18	2.55	5.22	0.26	3.66
8.89	0.35	1.81	0.09	1.27	4.08	0.20	2.86	5.90	0.29	4.14
10.16	0.40	2.27	0.11	1.59	4.54	0.22	3.18	6.35	0.31	4.46
11.43	0.45	2.27	0.11	1.59	4.99	0.25	3.50	6.58	0.32	4.62
12.70	0.50	2.27	0.11	1.59	5.22	0.26	3.66	6.80	0.34	4.77

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 40

Curva esfuerzo - penetración de la muestra M3+3% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.3. Ensayo de CBR de la muestra M3 + 5% de aserrín

Tabla 70

Ensayo carga penetración de la muestra M3+5% de aserrín

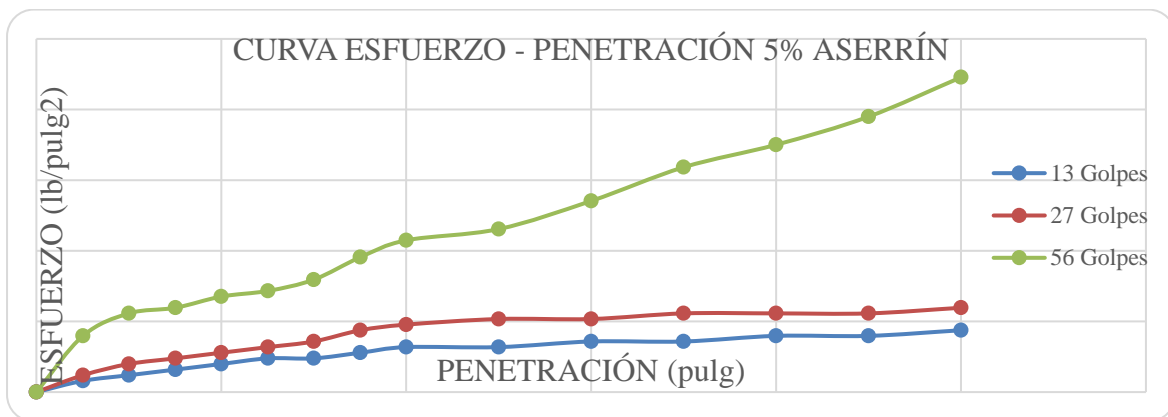
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN											
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón			2.00	pulgadas	5.08	
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	Kg	Kg/cm ²	Lb/pulg ²	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.03	0.45	0.02	0.32	0.68	0.03	0.48	2.27	0.11	1.59	
1.27	0.05	0.68	0.03	0.48	1.13	0.06	0.80	3.18	0.16	2.23	

1.91	0.08	0.91	0.04	0.64	1.36	0.07	0.95	3.40	0.17	2.39
2.54	0.10	1.13	0.06	0.80	1.59	0.08	1.11	3.86	0.19	2.71
3.18	0.13	1.36	0.07	0.95	1.81	0.09	1.27	4.08	0.20	2.86
3.81	0.15	1.36	0.07	0.95	2.04	0.10	1.43	4.54	0.22	3.18
4.45	0.18	1.59	0.08	1.11	2.49	0.12	1.75	5.44	0.27	3.82
5.08	0.20	1.81	0.09	1.27	2.72	0.13	1.91	6.12	0.30	4.30
6.35	0.25	1.81	0.09	1.27	2.95	0.15	2.07	6.58	0.32	4.62
7.62	0.30	2.04	0.10	1.43	2.95	0.15	2.07	7.71	0.38	5.41
8.89	0.35	2.04	0.10	1.43	3.18	0.16	2.23	9.07	0.45	6.37
10.16	0.40	2.27	0.11	1.59	3.18	0.16	2.23	9.98	0.49	7.00
11.43	0.45	2.27	0.11	1.59	3.18	0.16	2.23	11.11	0.55	7.80
12.70	0.50	2.49	0.12	1.75	3.40	0.17	2.39	12.70	0.63	8.91

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 41

Curva esfuerzo - penetración 5% de Aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.4. Ensayo de CBR de la muestra M3 + 10% de aserrín

Tabla 71

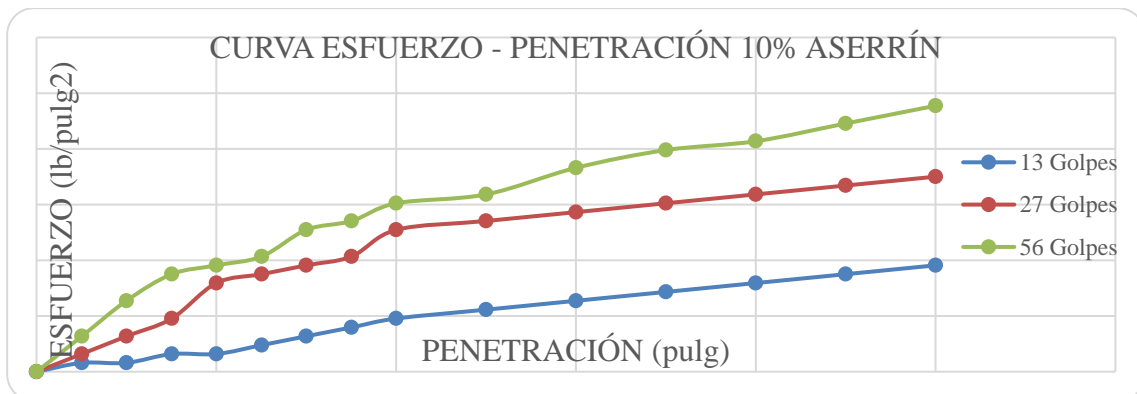
Ensayo carga penetración de la muestra M3+10% de aserrín

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN											
CONVERSIONES	1 libra	0.45	kilos		Diámetro del pistón			2.00	pulgadas		5.08
PENETRACIÓN	MOLDE 1			MOLDE N° 2				MOLDE N° 3			
	CARGA		ESFUERZO		CARGA		ESFUERZO		CARGA		ESFUERZO
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.025	0.23	0.01	0.16	0.45	0.02	0.32	0.91	0.04	0.64	
1.27	0.050	0.23	0.01	0.16	0.91	0.04	0.64	1.81	0.09	1.27	
1.91	0.075	0.45	0.02	0.32	1.36	0.07	0.95	2.49	0.12	1.75	
2.54	0.100	0.45	0.02	0.32	2.27	0.11	1.59	2.72	0.13	1.91	
3.18	0.125	0.68	0.03	0.48	2.49	0.12	1.75	2.95	0.15	2.07	
3.81	0.150	0.91	0.04	0.64	2.72	0.13	1.91	3.63	0.18	2.55	
4.45	0.175	1.13	0.06	0.80	2.95	0.15	2.07	3.86	0.19	2.71	
5.08	0.200	1.36	0.07	0.95	3.63	0.18	2.55	4.31	0.21	3.02	
6.35	0.250	1.59	0.08	1.11	3.86	0.19	2.71	4.54	0.22	3.18	
7.62	0.300	1.81	0.09	1.27	4.08	0.20	2.86	5.22	0.26	3.66	
8.89	0.350	2.04	0.10	1.43	4.31	0.21	3.02	5.67	0.28	3.98	
10.16	0.400	2.27	0.11	1.59	4.54	0.22	3.18	5.90	0.29	4.14	
11.43	0.450	2.49	0.12	1.75	4.76	0.23	3.34	6.35	0.31	4.46	
12.70	0.500	2.72	0.13	1.91	4.99	0.25	3.50	6.80	0.34	4.77	

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 42

Curva esfuerzo - penetración 10% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.5. Ensayo de CBR de la muestra patrón M4

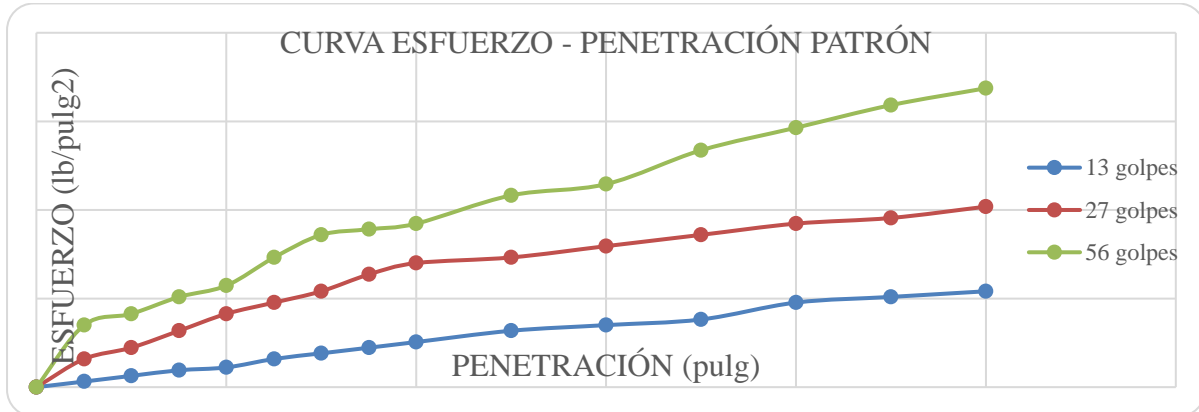
Tabla 72

Ensayo carga penetración de la muestra patrón M4

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN											
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón			2.00	pulgadas	5.08	
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.03	0.45	0.02	0.32	2.27	0.11	1.59	4.99	0.25	3.50	
1.27	0.05	0.91	0.04	0.64	3.18	0.16	2.23	5.90	0.29	4.14	
1.91	0.08	1.36	0.07	0.95	4.54	0.22	3.18	7.26	0.36	5.09	
2.54	0.10	1.59	0.08	1.11	5.90	0.29	4.14	8.16	0.40	5.73	
3.18	0.13	2.27	0.11	1.59	6.80	0.34	4.77	10.43	0.51	7.32	
3.81	0.15	2.72	0.13	1.91	7.71	0.38	5.41	12.25	0.60	8.59	
4.45	0.18	3.18	0.16	2.23	9.07	0.45	6.37	12.70	0.63	8.91	
5.08	0.20	3.63	0.18	2.55	9.98	0.49	7.00	13.15	0.65	9.23	
6.35	0.25	4.54	0.22	3.18	10.43	0.51	7.32	15.42	0.76	10.82	
7.62	0.30	4.99	0.25	3.50	11.34	0.56	7.96	16.33	0.81	11.46	
8.89	0.35	5.44	0.27	3.82	12.25	0.60	8.59	19.05	0.94	13.37	
10.16	0.40	6.80	0.34	4.77	13.15	0.65	9.23	20.87	1.03	14.64	
11.43	0.45	7.26	0.36	5.09	13.61	0.67	9.55	22.68	1.12	15.92	
12.70	0.50	7.71	0.38	5.41	14.51	0.72	10.19	24.04	1.19	16.87	

Figura 43

Curva esfuerzo -penetración de la muestra patrón M4



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín. Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.6. Ensayo de CBR de la muestra patrón M4+3% de aserrín

Tabla 73

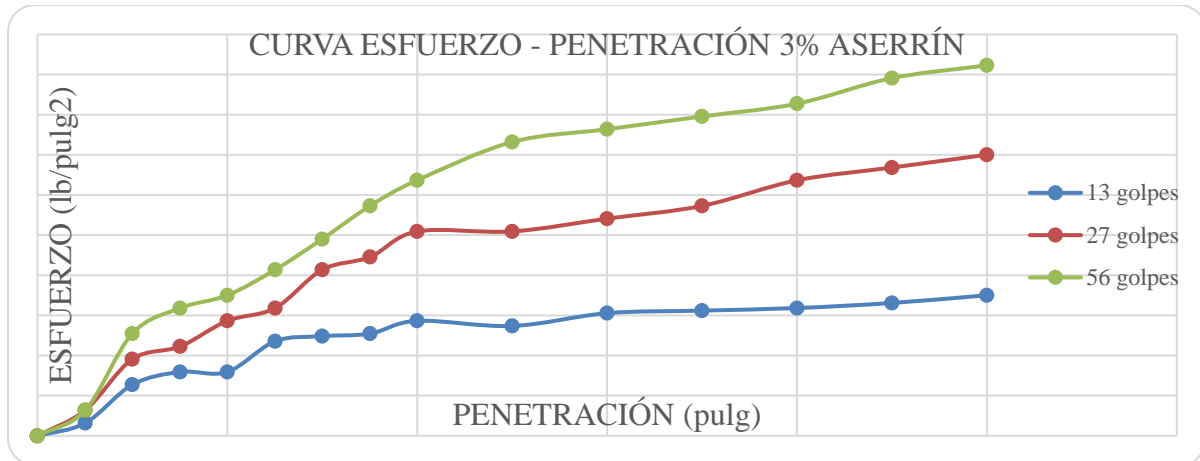
Ensayo carga penetración de la muestra M4 +3% de aserrín

ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN											
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón			2.00	pulgadas		5.08
PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.03	0.23	0.01	0.16	0.45	0.02	0.32	0.45	0.02	0.32	
1.27	0.05	0.91	0.04	0.64	1.36	0.07	0.95	1.81	0.09	1.27	
1.91	0.08	1.13	0.06	0.80	1.59	0.08	1.11	2.27	0.11	1.59	
2.54	0.10	1.13	0.06	0.80	2.04	0.10	1.43	2.49	0.12	1.75	
3.18	0.13	1.68	0.08	1.18	2.27	0.11	1.59	2.95	0.15	2.07	
3.81	0.15	1.77	0.09	1.24	2.95	0.15	2.07	3.49	0.17	2.45	
4.45	0.18	1.81	0.09	1.27	3.18	0.16	2.23	4.08	0.20	2.86	
5.08	0.20	2.04	0.10	1.43	3.63	0.18	2.55	4.54	0.22	3.18	
6.35	0.25	1.95	0.10	1.37	3.63	0.18	2.55	5.22	0.26	3.66	
7.62	0.30	2.18	0.11	1.53	3.86	0.19	2.71	5.44	0.27	3.82	
8.89	0.35	2.22	0.11	1.56	4.08	0.20	2.86	5.67	0.28	3.98	
10.16	0.40	2.27	0.11	1.59	4.54	0.22	3.18	5.90	0.29	4.14	

11.43	0.45	2.36	0.12	1.66	4.76	0.23	3.34	6.35	0.31	4.46
12.70	0.50	2.49	0.12	1.75	4.99	0.25	3.50	6.58	0.32	4.62

Figura 44

Curva esfuerzo - penetración 3% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.
Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.7. Ensayo de CBR de la muestra patrón M4+5% de aserrín

Tabla 74

Ensayo carga penetración de la muestra M4 +5% de aserrín

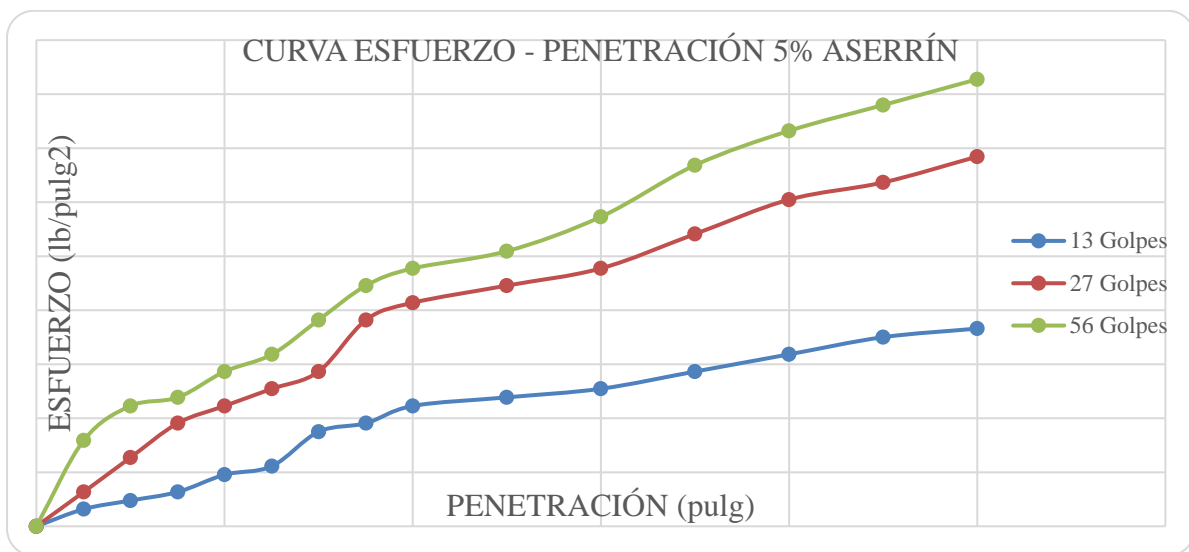
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN											
CONVERSIONES		1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón			2.00	pulgadas		5.08
PENETRACIÓN	MOLDE 1				MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
	CARGA	ESFUERZO			CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	(Kg)	(Kg/cm²)	(Lb/pulg²)	
0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
0.64	0.03	0.45	0.02	0.32	0.91	0.04	0.64	2.27	0.11	1.59	
1.27	0.05	0.68	0.03	0.48	1.81	0.09	1.27	3.18	0.16	2.23	
1.91	0.08	0.91	0.04	0.64	2.72	0.13	1.91	3.40	0.17	2.39	
2.54	0.10	1.36	0.07	0.95	3.18	0.16	2.23	4.08	0.20	2.86	
3.18	0.13	1.59	0.08	1.11	3.63	0.18	2.55	4.54	0.22	3.18	
3.81	0.15	2.49	0.12	1.75	4.08	0.20	2.86	5.44	0.27	3.82	
4.45	0.18	2.72	0.13	1.91	5.44	0.27	3.82	6.35	0.31	4.46	

5.08	0.20	3.18	0.16	2.23	5.90	0.29	4.14	6.80	0.34	4.77
6.35	0.25	3.40	0.17	2.39	6.35	0.31	4.46	7.26	0.36	5.09
7.62	0.30	3.63	0.18	2.55	6.80	0.34	4.77	8.16	0.40	5.73
8.89	0.35	4.08	0.20	2.86	7.71	0.38	5.41	9.53	0.47	6.68
10.16	0.40	4.54	0.22	3.18	8.62	0.43	6.05	10.43	0.51	7.32
11.43	0.45	4.99	0.25	3.50	9.07	0.45	6.37	11.11	0.55	7.80
12.70	0.50	5.22	0.26	3.66	9.75	0.48	6.84	11.79	0.58	8.28

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 45

Curva esfuerzo - penetración 5% de aserrín



Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín.

Fuente: elaboración propia (2023).

3.2.6.8. Ensayo de CBR de la muestra patrón M4+10% de aserrín

Figura 46

Ensayo carga penetración de la muestra M4 +10% de aserrín

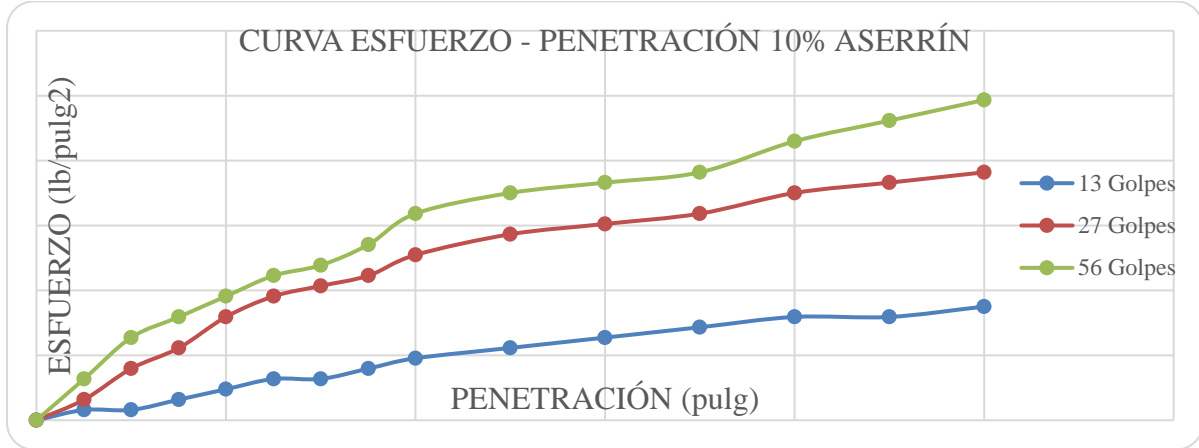
ENSAYO: CARGA - PENETRACIÓN						
CONVERSIONES	1 libra	0.45	kilos	Diámetro del pistón	2.00	pulgadas
						5.08

PENETRACIÓN		MOLDE 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3		
		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO		CARGA	ESFUERZO	
(mm)	(pulg)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)	(Kg)	(Kg/cm ²)	(Lb/pulg ²)
0.00	0.000	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.64	0.025	0.23	0.01	0.16	0.45	0.02	0.32	0.91	0.04	0.64
1.27	0.050	0.23	0.01	0.16	1.13	0.06	0.80	1.81	0.09	1.27
1.91	0.075	0.45	0.02	0.32	1.59	0.08	1.11	2.27	0.11	1.59
2.54	0.100	0.68	0.03	0.48	2.27	0.11	1.59	2.72	0.13	1.91
3.18	0.125	0.91	0.04	0.64	2.72	0.13	1.91	3.18	0.16	2.23
3.81	0.150	0.91	0.04	0.64	2.95	0.15	2.07	3.40	0.17	2.39
4.45	0.175	1.13	0.06	0.80	3.18	0.16	2.23	3.86	0.19	2.71
5.08	0.200	1.36	0.07	0.95	3.63	0.18	2.55	4.54	0.22	3.18
6.35	0.250	1.59	0.08	1.11	4.08	0.20	2.86	4.99	0.25	3.50
7.62	0.300	1.81	0.09	1.27	4.31	0.21	3.02	5.22	0.26	3.66
8.89	0.350	2.04	0.10	1.43	4.54	0.22	3.18	5.44	0.27	3.82
10.16	0.400	2.27	0.11	1.59	4.99	0.25	3.50	6.12	0.30	4.30
11.43	0.450	2.27	0.11	1.59	5.22	0.26	3.66	6.58	0.32	4.62
12.70	0.500	2.49	0.12	1.75	5.44	0.27	3.82	7.03	0.35	4.93

Nota. en la tabla se muestra los resultados correspondientes. Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 47

Curva esfuerzo - penetración 10% de aserrín



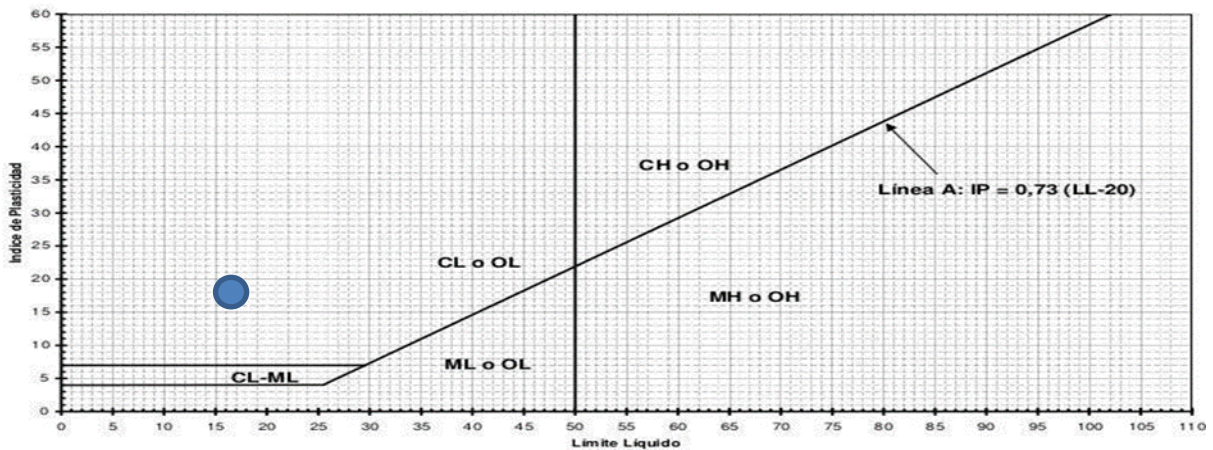
Nota. En la figura se muestra el resultado de la curva esfuerzo – penetración con 3% de aserrín. Fuente: elaboración propia (2023).

3.3. Clasificación de suelos

3.3.1. Clasificación del suelo de las muestras – carretera hacia Agocucho.

Figura 48

Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M1 carretera hacia Agocucho

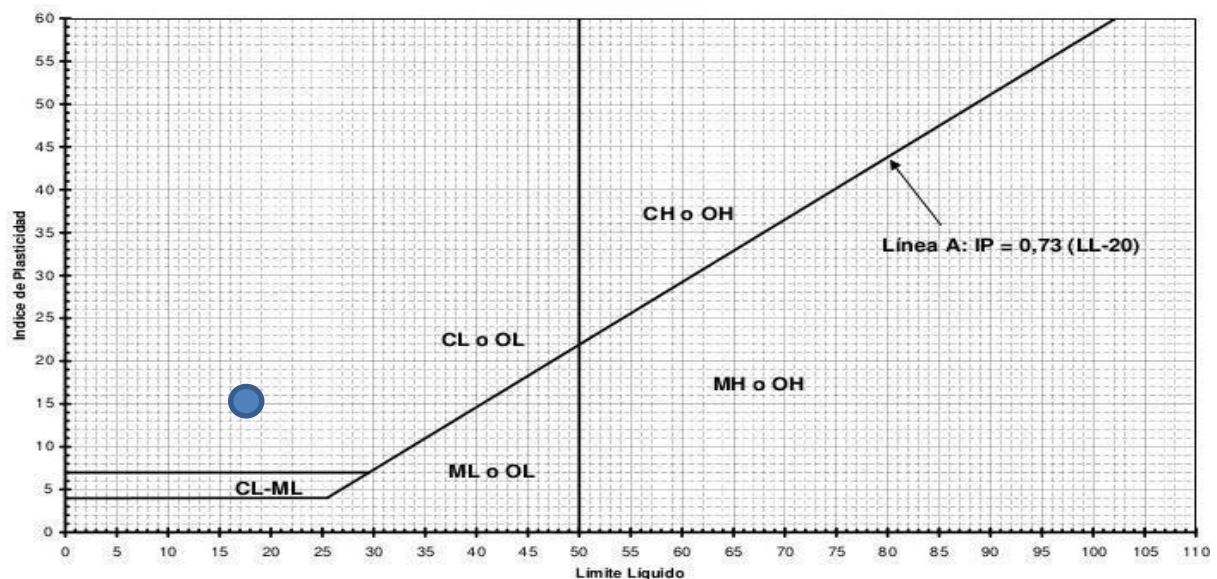


Nota. En la figura mostrada se puede observar la clasificación del tipo de suelo y la carta de plasticidad. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos, esta muestra se clasifica como OL el cual si describe como suelos limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.

Figura 49

Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M2 carretera hacia Agocucho



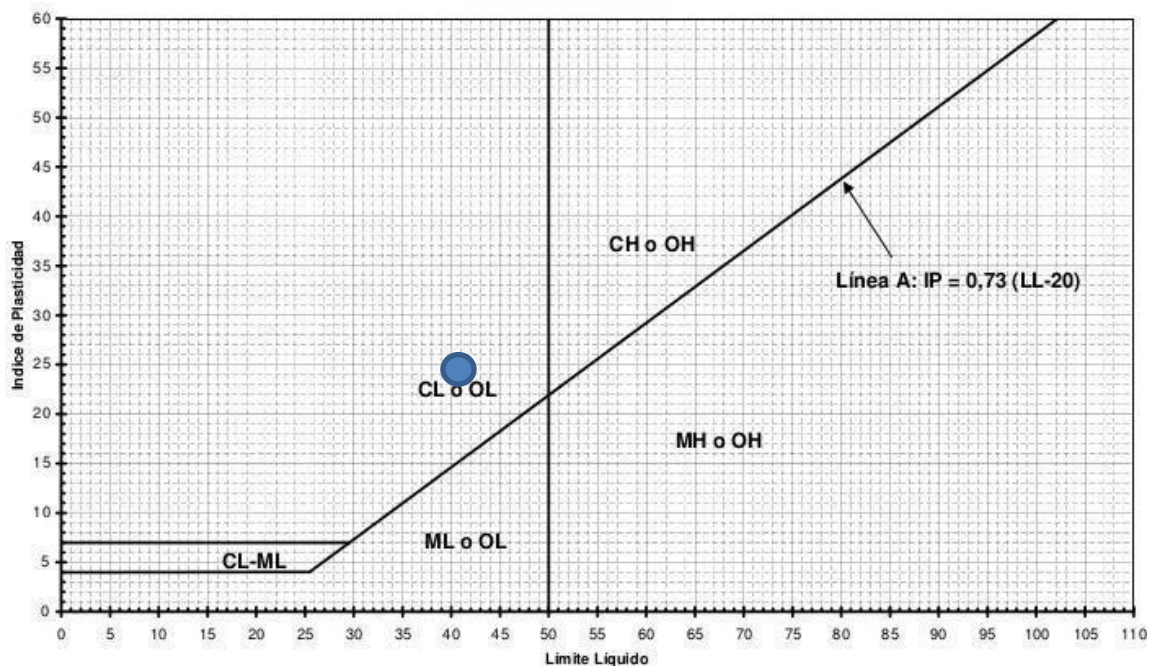
Nota. En la figura mostrada se puede observar la clasificación del tipo de suelo y la carta de plasticidad. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos, esta muestra se clasifica como OL el cual si describe como suelos limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad.

3.3.2. Clasificación del suelo de las muestras – carretera La Huaraclla

Figura 50

Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M3 carretera La Huaraclla

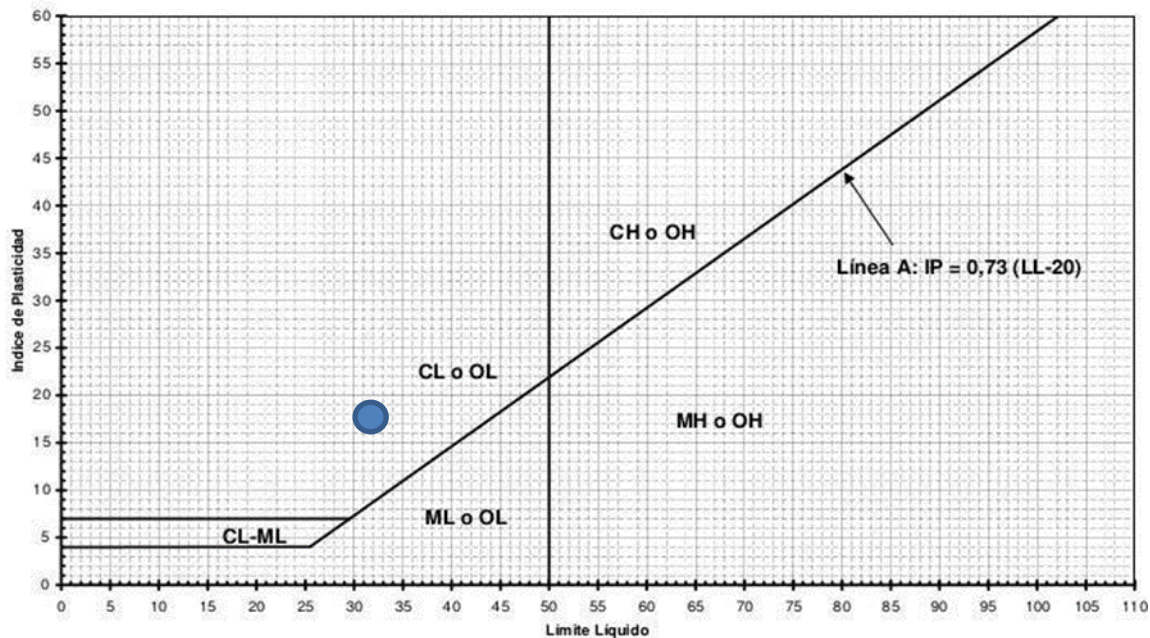


Nota. En la figura mostrada se puede observar la clasificación del tipo de suelo y la carta de plasticidad. Fuente: elaboración propia (2023).

Así mismo, de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos y al realizar la gráfica correspondiente, la muestra pertenece a las arcillas CL el cual se describe como arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media hogar sillas con grava así las arenosas y arcillas limosas.

Figura 51

Clasificación unificada de suelos S.U.C.S de la muestra M4 carretera La Huaraclla



Nota. En la figura mostrada se puede observar la clasificación del tipo de suelo y la carta de plasticidad. Fuente: elaboración propia (2023).

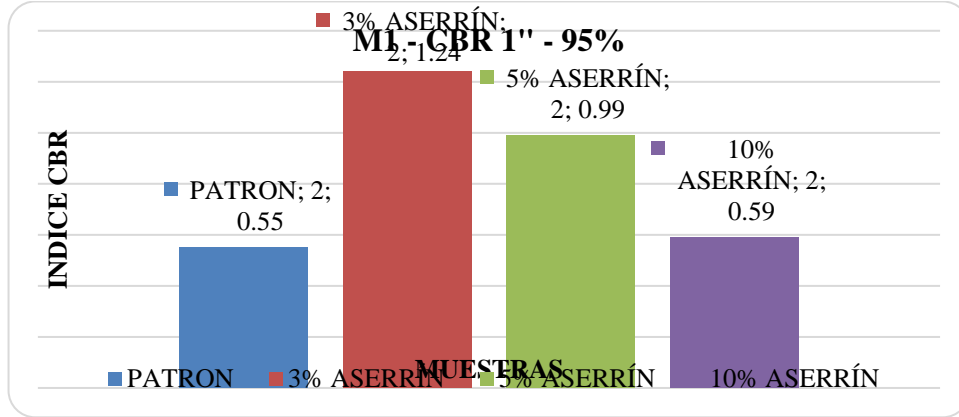
Así mismo, de acuerdo con el sistema unificado de clasificación de suelos y al realizar la gráfica correspondiente, la muestra pertenece a las arcillas CL el cual se describe como arcillas inorgánicas de plasticidad baja a media hogar sillas con grava así las arenosas y arcillas limosas.

3.4. Determinar la cantidad optima de aserrín y la variación de resistencia.

En base a la proporción de aserrín agregado se obtuvieron las siguientes graficas tanto para M1, M2, M3 Y M4.

Figura 52

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M1.

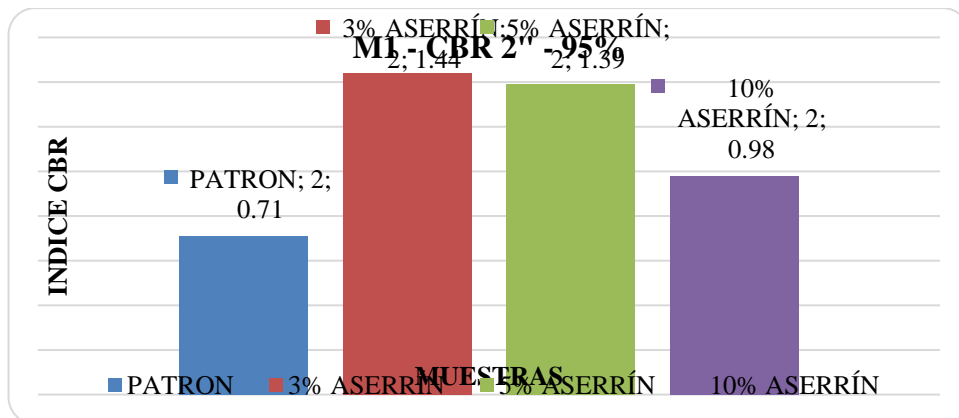


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 53

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M1.

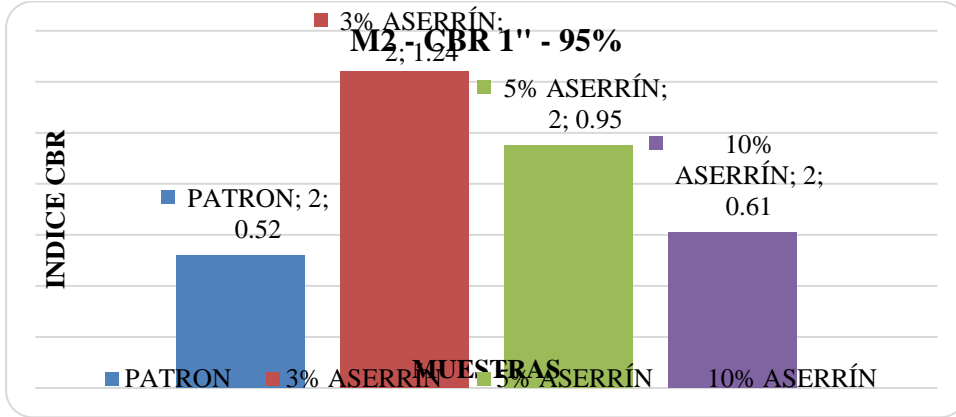


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 54

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M2.

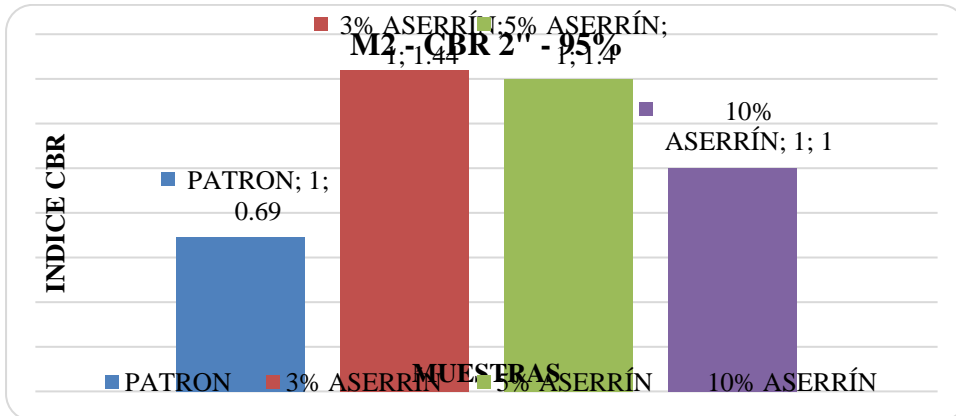


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 55

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M2.

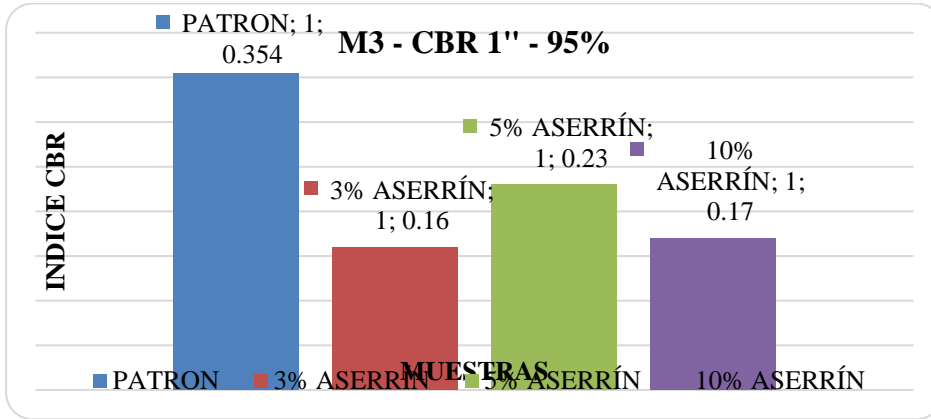


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 56

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M3

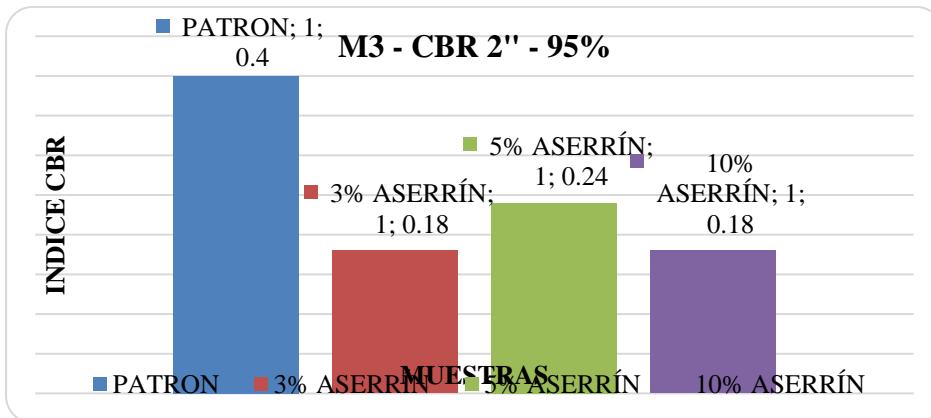


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 57

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M3.

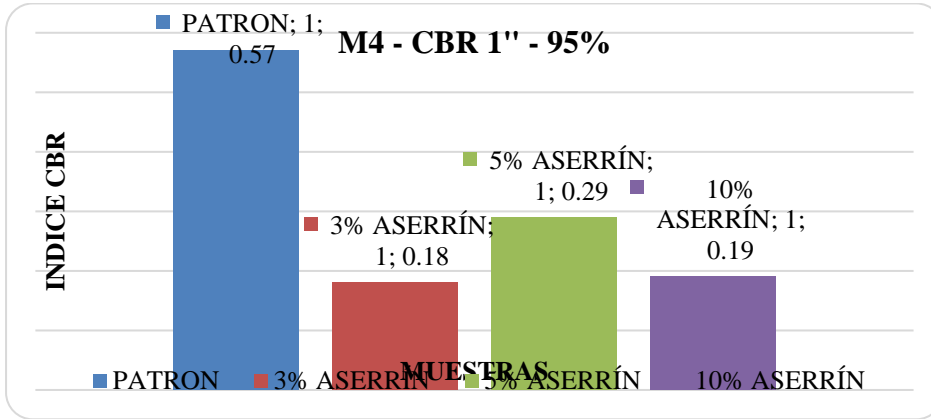


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 58

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M4.

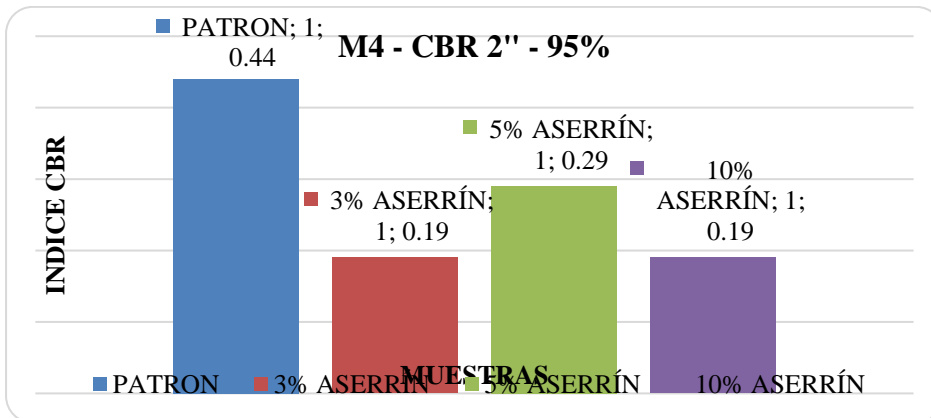


Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

Figura 59

Índice CBR y cantidad de aserrín optimo M4.



Nota: En la figura mostrada se puede observar el índice CBR y la cantidad de aserrín optimo.

Fuente: elaboración propia (2023).

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este último capítulo correspondiente a la discusión y conclusiones de resultados se detalla las limitaciones, y las interpretaciones comparativas (discusión de resultados) entre los resultados obtenidos en el capítulo tres, los mismos que han sido detallados en tablas y figuras (gráficos) con respecto a los resultados contrastados de los antecedentes citados. Así mismo, este capítulo permite mencionar las implicancias con respecto a los resultados obtenidos. Por otro lado, se tiene a las conclusiones; las mismas que responden a los objetivos de la investigación. se detalla las citas y referencias usadas mediante el formato APA 7ma edición.

Además, Para la realización de las calicatas no fue necesario solicitar la autorización a la municipalidad correspondiente, puesto que; la carretera pertenece a obras menores en vías locales de bajo tránsito, las mismas que dejan operativa la mitad de la vía, estando exceptuadas de solicitar el permiso correspondiente.

A continuación, se mencionan las limitaciones presentadas durante el desarrollo de la investigación.

Para el desarrollo de dicha investigación se presentaron algunas **limitaciones** respecto a la elección de las trochas carrozables y al momento de realizar la selección de las muestras, ya que, la naturaleza con la lluvia se hizo presente y al ser trabajo de investigación en campo se tuvo que esperar un aproximado de 5 días para que no se presenten las mismas dificultades, puesto que se deseó obtener la muestra necesaria y correcta para el desarrollo de los ensayos programados en el laboratorio de la Universidad.

Así mismo, se presentó la limitación para el traslado de las muestras al laboratorio de la Universidad Privada del Norte, ya que existió ciertas preocupaciones de que la muestra

sufriría algunos cambios y que talvez no llegue en su estado natural, es decir, como se estaba en época de lluvia pudiera variar algunas de sus propiedades, los cuales harían variar los resultados finales lo que podría complicar las conclusiones de la investigación. Sin embargo, para evitar estos riesgos, la muestra se guardó en bolsas de plástico para mantener el contenido de humedad, se verificó que la movilidad está seca, se colocó cartón al piso y una carpa en la parte superior para seguir manteniendo el interior de la camioneta de forma seca y con ello se garantizó que los materiales mantengan sus propiedades naturales.

Finalmente, otra de las limitaciones presentadas corresponde a la revisión de la información correspondiente a los antecedentes relacionadas al tema de estudio, debido a la escasa realización de estudios en relación a la estabilización de trochas carrozables con aserrín, Pero, se tomó la decisión de revisar información que se asemeje al estudio mencionado, considerando las similitudes en las características físicas y mecánicas.

En segundo lugar, se presenta la **discusión de resultados** o interpretación comparativa de los resultados obtenidos con los antecedentes citados.

Clasificar el tipo de suelo de la trocha carrozable en estudio

De los resultados obtenidos, luego de realizar el análisis correspondiente a las dos trochas carrozables estudiadas, y del acuerdo a la clasificación SUCS, se obtuvo; que las dos primeras muestras pertenecientes a la trocha de Agocucho, su suelo se clasifica como OL; el cual se describe como un suelo con limos orgánicos arcillas Y orgánicas limosas de baja plasticidad. Además, las dos muestras restantes pertenecientes a la trocha carrozable La Huaraclla, su suelo se clasifica como CL, las mismas que se describen como arcillas inorgánicas con plasticidad media y baja con gravas arcillosas limosas. Estos resultados son

similares a los obtenidos por Hernández et al. (2016), en su estudio de propuesta de estabilización de suelos, en el cual, encontró un suelo fino el cual cambia su consistencia de un estado a otro, tratándose de suelos inorgánicos de alta plasticidad del tipo CH. Así mismo, estos resultados de suelos son similares a los obtenidos por Pérez & Torres (2015), en su estudio de grado encontrando suelos rocosos e impermeables. Así mismo, estos resultados son similares a los obtenidos por Cañar (2017), en su estudio de estabilización de suelos con carbón, donde al realizar la clasificación SUCS de los mismos, encontró los tipos SM (arena limosa) y CH (arcilla de alta plasticidad). De igual manera estos resultados son similares a los obtenidos por Serrano (2022), donde realiza su estudio de estabilización de suelos con la incorporación de cloruro de sodio y resina de pino, encontrando suelos muy inestables. Por otro lado, estos resultados son similares a los obtenidos por Fonseca (2022), en su estudio de estabilización de suelos con la incorporación de cal y cemento, donde encontró un tipo de suelo que de acuerdo a la clasificación SUCS los suelos son limos arenosos de alta plasticidad. Así mismo, los resultados son similares a los obtenidos por Fonseca (2022), en su investigación obtuvo suelos del tipo A-2-4, que de acuerdo a la clasificación ya mencionada se describe como suelos granulares con finos en pequeñas cantidades. Finalmente, estos resultados son similares a los obtenidos por Gálvez & Santoyo (2019), en su investigación encontró suelos arcillosos.

Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, capacidad portante del suelo y CBR

En el ensayo de contenido de humedad de las dos primeras muestras correspondientes a la carretera hacia Agocucho se encontró que sus valores de primera y la segunda en ese orden tiene el valor de 5.27% y 6.98%, mientras que para las otras dos muestras los valores

correspondientes son de 20.23% y 13.12%. Además, al realizar la granulometría de las primeras muestras se encontró el porcentaje pasante de la malla 200 es mayor al 50% lo que significa que es un suelo fino compuesto por suelo limo arcilloso. Así mismo, al realizar la granulometría de las dos últimas muestras se tiene que pasa menos del 50% de la malla 200 lo que significa granular siendo grava o arena. Este resultado es similar al obtenido por Hernández et al. (2016), donde encontró que al realizar la granulometría por lavado el material fino pasó el 84.84% la malla número 200 Li la combinación de dicho material con la cara el material pasante fue de 79.33%. Así mismo, este resultado es similar al obtenido por Cañar (2017), en su investigación, al realizar el ensayo de granulometría encontró un suelo arenoso con partículas limosas. De igual manera, este resultado es similar al obtenido por Chinchay (2018), en su investigación al encontrar un suelo gravoso arcilloso.

Determinar la variación de la densidad máxima seca del suelo en estudio (ensayo de Proctor) con adición de aserrín en diferentes porcentajes de 3%, 5% y 10% en las trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero.

Al realizar los ensayos de CBR de las dos primeras muestras pertenecientes a la carretera Agocucho se puede observar que respecto a la resistencia de la muestra patrón de la muestra M1 al adicionar 3% de aserrín el índice del CBR aumenta de 0.55 a 1.24, es decir, el 55.65%. y en la muestra 2 este valor aumenta a 1.44, es decir, 50.69%. Así mismo, al aumentar 3% de aserrín a la muestra patrón m 3 este valor aumenta de 0.52 a 1.24 y en la M4 aumenta de 0.69 a 1.44. Estos resultados son opuestos a los obtenidos por Hernández et al. (2016) en su investigación donde encuentra que el valor del CBR tiene un valor de 1.93% lo cual le convierte

en un suelo inadecuado para ser parte de este tipo de terreno. Así mismo, estos resultados son similares a los obtenidos por Pérez & Torres (2015) en donde al adicionar 20% de salmuera la resistencia compactación aumenta significativamente. De igual manera este resultado es similar al obtenido por Cañar (2017), en su investigación donde menciona que la aumentar 3% di de ceniza de carbón el CBRO 90 en 11.20% convirtiéndolo en un suelo bueno para subrasante. Por otro lado, este resultado es similar al obtenido por Serrano (2022) en su investigación en la que recomienda la adición del 5% de cloruro de sodio para obtener un 14.5% de CBR al 95%. Así mismo, este resultado es similar a obtenido por Segovia (2022) donde consigue aumentar el valor de CBR con el 30% de hollejo de uva. Además, este resultado es similar al obtenido por Cristóbal (2022), donde consigue aumentar dicha resistencia con 10% de ceniza. Por otro lado, dichos resultados son similares a los obtenidos por Fonseca (2022) en el que menciona que el cemento mejora el CBR de 4.7% a 64.30%. finalmente, estos resultados son similares a los obtenidos por Gálvez & Santoyo (2019) en el que al agregar 15% de cascara de arroz la resistencia aumente considerablemente.

Comparar los resultados de las muestras sin la adición de aserrín y con adicción de aserrín (ensayo CBR) en estabilización de las trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaraclla con El Crucero.

Al realizar la comparación de todas las cuatro muestras patrones respecto a las muestras adicionando 3, 5 y 10% de aserrín, se obtiene que en todas ellas existe una mejora aumentando su resistencia desde el 6% aproximadamente hasta el 58.06%. Así mismo, estos resultados obtenidos en los ensayos correspondientes son similares a los obtenidos por Hernández et al. (2016) pero en sentido negativo, ya que la muestra en estudio se convirtió en una sub rasante

inadecuada. Además, estos resultados son similares a los obtenidos por Pérez & Torres (2015), ya que al aumentar una muestra conocida como salmuera la resistencia aumenta considerablemente.

Determinar la mejor opción a utilizar el aserrín comparando los resultados finales más óptimos de estabilización del suelo en las trochas carrozables Puka Siña con Amoshulca y desvió del CP la Huaracalla con El Crucero.

De todas las cuatro muestras estudiadas, se pudo determinar que la mejor opción es 3% de aserrín y que comparado con los otros porcentajes esta es la que genera mejor estabilidad del suelo ya que brinda mayor resistencia y el CBR en la mayoría de los casos aumenta significativamente. Así mismo, al realizar la comparación con investigaciones ya realizadas mencionadas en los antecedentes se tiene que en cada una de ellas existen ciertos porcentajes variables que demuestran que un suelo puede convertirse en estable mediante la utilización de materiales propios de las zonas.

En tercer lugar, se tiene los concerniente a **las implicancias** de la investigación teniendo entre ellas:

En las **implicancias del nivel practico** desde el punto de vista práctico, las conclusiones de esta investigación permiten la toma de decisiones a los pobladores, autoridades, y empresarios para la puesta en marcha de este método de estabilización de suelos arcillosos con plasticidad baja, ya que luego de realizar los ensayos correspondientes se determinó que la cantidad optima de aserrín es del 3%, con la misma que mejora de manera significativa las propiedades físicas y mecánicas de los suelos. En este sentido, se ofrece un

marco de referencia en el que se plantea no solo un amplio conjunto de variables a analizar sino también el efecto que tiene el aserrín en la mejora de la estabilidad de este tipo de suelos.

La implicancia del nivel teórico, propone un plan de acción de difusión a la población mediante la realización de charlas informativas en el centro de trabajo, empresas públicas y privadas que estén relacionadas con la construcción de estabilidad de taludes y que para ello utilizan diversos materiales orgánicos o químicos y que siempre estén comprometidas con el cuidado del medio ambiente, para ello se explica con la finalidad de generar otro tipo conocimiento y agregando la motivación que otros autores busquen mejorar las propiedades de físico y mecánicas de los suelos para que se pueda ampliar sus beneficios y contribuir a una mejor calidad de vida.

Por otro lado, **la implicación del nivel metodológico**, genera un aporte muy significativo de la presente investigación, ya que en los últimos años los estudios realizados en la zona son prácticamente nulos, con una metodología y sustento técnico y detallado, lo que facilitaría que al realizar un estudio detallado de la estabilidad de trochas carrozables utilizando aserrín pueda ser replicable y comparable, contrastando desde su lugar de origen, sus propiedades físicas y mecánicas, su calidad y su uso.

A continuación, como cuarto lugar se detalla las **conclusiones** las mismas que responden a los objetivos de la investigación:

Los resultados obtenidos durante esta investigación lograron demostrar que la incorporación de aserrín en un 3% mejora el índice de CBR de los suelos en un mas del 12% con respecto al suelo en estado natural, aumentando considerablemente la resistencia del suelo y por ser la mas optima resulta ser la más trabajable, económica y sustentable para ser usada

en este tipo de terreno, puesto que; cumple con lo establecido en la NTP y MTC, concluyendo que el mencionado porcentaje estabiliza el suelo mencionado.

Se logró realizar la clasificación de suelos de las trochas carrozables mencionadas; encontrándose que para la carretera hacia Agocucho el suelo se clasifica como OL el cual se describe como suelos limos orgánicos y arcillas orgánicas limosas de baja plasticidad, y para la carretera ubicada en La Huaraclla el suelo se clasifica como CL el cual se describe como arcillas inorgánicas de plasticidad baja con gravas arenosas y arcillas limosas.

Se logró realizar los ensayos de contenido de humedad, de ambas trochas carrozables; en las dos primeras muestras correspondientes a la carretera hacia Agocucho se encontró que sus valores de primera y la segunda en ese orden tiene el valor de 5.27% y 6.98%, mientras que para las otras dos muestras los valores correspondientes son de 20.23% y 13.12% y al realizar la granulometría de las primeras muestras se encontró el porcentaje pasante de la malla 200 es mayor al 50% lo que significa que es un suelo fino compuesto por suelo limo arcilloso. Así mismo, al realizar la granulometría de las dos últimas muestras se tiene que pasa menos del 50% de la malla 200 lo que significa granular siendo grava o arena. Así mismo, se pudo determinar que los límites de plasticidad para la primera y segunda muestra tiene los valores de 17,5% y 16%, mientras que para las muestras M3 y M4 (dos últimas) estos valores son de 20.45% y 22.05%.

Luego de realizar los ensayos correspondientes se pudo determinar que la cantidad óptima de aserrín es la equivalente al 3% de la muestra, con la que funciona de manera significativa mejorando notablemente las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estudio.

Se pudo determinar la variación de la resistencia del suelo para la muestra patrón y para cada una de las muestras con adiciones de 3, 5 y 10% de aserrín, las mismas que luego de analizar detenidamente, se concluye que la más óptima es la muestra agregada con 3% de material antideslizante.

Finalmente, se pudo realizar la comparación de las muestras sin adicionar aserrín y con este material con los porcentajes considerados y explicados anteriormente, encontrándose que para la adición del 3% se puede lograr la estabilización de manera significativa mejorando las propiedades físicas y mecánicas de los suelos en estudio.

A continuación, se menciona algunas **recomendaciones** importantes, las cuales son:

Se recomienda realizar más estudios relacionados con este material y su aplicación en otro tipo de suelos y conocer su efecto y su importancia, ya que es muy importante para el desarrollo de las comunidades y los pueblos.

Así mismo, se recomienda realizar la respectiva sociabilización del tema sobre el empleo de este material para el tratamiento de estabilización de este tipo de suelos en trochas carrozables, para dar a conocer a la población como utilizarlo y emplearlo de manera correcta mediante demostraciones en el campo.

Referencias

- Asociación Mundial de la Carretera. (2014). *Importancia de la conservación de carreteras*.
<http://www.piarc.org>
- Baloochi, H., Aponte, D., & Barra, M. (2020). Estabilización de suelos mediante cenizas volantes de papel usado: Precauciones para su correcto uso. *Applied Sciences (Suiza)*, 10(23), 1–15. <https://doi.org/10.3390/app10238750>
- Botía, W. (2015). *MANUAL DE PROCEDIMIENTOS DE ENSAYOS DE SUELOS Y MEMORIA DE CÁLCULO* [Tesis de Grado]. Universidad Militar Nueva Granada.
- Bustamante, R., & Merma, L. (2022). Estabilización de Suelos Arcillosos Aplicando PET al 2%, 4% y 6% en Caminos No Asfaltados. *Proceedings of the LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education and Technology, 2022-July*.
<https://doi.org/10.18687/LACCEI2022.1.1.45>
- Cajaleón, O., & Mondragón, D. (2018). Estabilización de suelos arcillosos agregando cenizas de cáscaras de arroz para la subrasante en el km+ 17 Pimpingos, Choros 2018 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/40609>
- Cañar, E. (2017). *ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA RESISTENCIA AL CORTE Y ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARENOSOS FINOS Y ARCILLOSOS COMBINADAS CON CENIZA DE CARBÓN*. [Título profesional]. Universidad Técnica de Ambato.
- Chinchay, L. (2018). *INFLUENCIA DEL ADITIVO SIKA DUST SEAL COMO AGENTE ESTABILIZADOR DE SUELOS EN LA TROCHA CARROZABLE TRAMO LA SERMA-TAMBILLO JAEN, CAJAMARCA* [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Cajamarca.

- Cristóbal, F. (2022). Estabilización de subrasante con cenizas de eucalipto, paraje turístico Piedra Parada, Concepción, Junín 2021 [Tesis para Título Profesional, Universidad Continental]. In *Universidad Continental*.
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/11362>
- Flores, P. (2019). *EVALUACIÓN DE LA ADICIÓN DE FIBRAS PET PROVENIENTES DEL RECICLAJE DE BOTELLAS A LA SUBRASANTE DEL SUELO, EN EL ÁREA DE ESTACIONAMIENTO DE LA CLÍNICA USAT, 2018-2019* [Título Profesional]. Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo.
- Fonseca, M. (2022). Evaluación, incorporando cal y cemento para estabilización de suelos cohesivos en subrasante de carretera Corralcucho - Las Palmas, Cajamarca – 2021 [Título profesional, Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101747>
- Gálvez, P., & Santoyo, J. (2019). “*ESTABILIZACIÓN DE SUELOS COHESIVOS A NIVEL DE SUBRASANTE CON CENIZA DE CÁSCARA DE ARROZ, CARRETERA YANUYACU BAJO-SEÑOR CAUTIVO*” [Título Profesional]. Universidad nacional de Jaén.
- Hernández, J., Mejía, D., & Zelaya, C. (2016). *PROPUESTA DE ESTABILIZACIÓN DE SUELOS ARCILLOSOS PARA SU APLICACIÓN EN PAVIMENTOS RÍGIDOS EN LA FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR* [Tesis para título]. Universidad del Salvador.
- León, W. (2020). Estabilización de la subrasante añadiendo fibras de aserrín en el Asentamiento Humano Los Ángeles Comas – 2020 [Título profesional, Universidad

- Cesar César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/76551>
- López, G. (2020). *Ensayos de compactación en carreteras: Proctor Normal y Modificado*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/139866>
- MTC. (2016). *MANUAL DE CARRETERAS Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos* (El peruano, Ed.; 3ra ed.).
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J., & Romero, H. (2018). *Bogotá-México, DF 5a. Edición Metodología de la investigación Cuantitativa-Cualitativa y Redacción de la Tesis* (Adriana Gutiérrez, Ed.; 5ta ed.).
- Pérez, W., & Torres, J. (2015). *ESTUDIO DE LA CAL Y EL CLORURO DE SODIO COMO AGENTES ESTABILIZADORES DE SUELOS ARCILLOSOS EN PROPIEDADES COMO LA RESISTENCIA Y EXPANSIVIDAD* [Tesis de Grado]. Universidad de Santander.
- Pineda, J., Sánchez, F., Ramírez, A., Castillo, A., Valdés, L., & Moreno, E. (2012). ASERRÍN DE PINO COMO SUSTRATO HIDROPÓNICO. I: VARIACIÓN EN CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DURANTE CINCO CICLOS DE CULTIVO. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18(1), 95–111.
- Putra, O. A., Herman, H., Medriosa, H., & Nugroho, F. (2022). Eficacia de la ceniza de papel usado para la estabilización en suelos arcillosos. *Revista Ingenieria de Construccion*, 37(2), 253–259. <https://doi.org/10.7764/RIC.00030.21>
- Sampieri, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. In *Libro 6ta edición*.

- Segovia, K. (2022). Estabilización de subrasantes blandas modificados con cenizas de hollejo de uva, carretera IC-107, división Cocharcas – Tingue, Los Aquijes, Ica - 2022 [Título Profesional, Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/97170>
- Serrano, J. (2022). Estabilización de suelos incorporando cloruro de sodio y resina de pino en subrasante de la Avenida Santo Domingo, Abancay 2022 [Tesis para título profesional, Universidad César Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/101108>
- Tunque, F. (2021). Estabilización de subrasantes blandos empleando resina natural de pino, trocha carrozable Mayupata, San Pablo, Cusco 2021 [Universidad Cesar Vallejo]. In *Repositorio Institucional - UCV*.
<https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/70768>

Tabla 75

Matriz de consistencia

Título	Situación Problemática	Objetivos	Hipótesis	Variables e Indicadores	Metodología
		Objetivo general	Hipótesis General	Variable 1	Tipo Experimental
		Analizar el comportamiento del aserrín para estabilización de las trochas carrozable Puka Siña con Amoshulca, Cajamarca 2023.		Cantidad de aserrín	
		Objetivos específicos			
		-Clasificar el tipo de suelo de la trocha carrozable en estudio.			
		-Realizar los ensayos de contenido de humedad, granulometría, límites de consistencia, capacidad portante del suelo y CBR.	El comportamiento del aserrín mejora la estabilización de la trocha carrozable Puka Siña con Amoshulca en más del 12%, Cajamarca 2023.	Variable 2	Muestra No probabilística, conformada por 500 m en la que se encuentra el punto más crítico
		-Determinar la cantidad optima de aserrín a adicionar a la muestra.			Instrumentos
		-Determinar la variación de la resistencia del suelo en estudio cuando se le adiciona aserrín en diferentes 3, 5 y 10%.		Estabilización de trochas carrozables	Equipos y herramientas de laboratorio para realizar ensayos, manuales y normas de ensayo, equipos fotográficos y protocolos de ensayos
		-Comparar los resultados entre la muestra sin adición de aserrín con las muestras estabilizadas con aserrín.			Análisis de datos
		-Determinar la mejor opción a utilizar de aserrín comparando los resultados finales más óptimos de estabilización del suelo de la trocha carrozable en estudio.			En la investigación propuesta se utilizó la técnica de la estadística descriptiva la misma que consiste recopilar y analizar los datos recopilados en laboratorio por intermedio de tablas de frecuencias

Anexos

Revisar panel fotográfico

Contenido de humedad - figura 1

Granulometría por lavado - figura 2

Límites de Atterberg figura - 3 y 4

Peso específico figura - 5

Proctor modificado figura - 6

CBR figura - 7, 8 y 9

Calicatas figura - 10