

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“REALIZAR UNA CORRELACIÓN DEL IMPACTO
GENERADO POR LA AÑADIDURA DE CAUCHO
RECICLADO TRITURADO, EN LAS PROPIEDADES
MECÁNICAS (CAPACIDAD DE SOPORTE) Y LOS
COSTOS DE UNA BASE GRANULAR DE UNA VÍA
DEL NORTE DEL PERÚ, 2022”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Luis Felipe Aviles Gutierrez

Asesor:

MBA Ing. José Luis Neyra Torres

<https://orcid.org/0000-0002-6470-2998>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	NEICER CAMPOS VASQUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	FELIX ALEXANDRA VELASQUEZ HUAYTA
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	JOSE LUIS NEYRA TORRES
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

TESIS LUIS AVILES-VFI

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
2	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	2%
3	repositorio.continental.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	www.scribd.com Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
6	portal.mtc.gob.pe Fuente de Internet	1%
7	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
8	issuu.com Fuente de Internet	1%
9	es.slideshare.net Fuente de Internet	1%

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta Tesis, a las personas que más amo en el mundo, por sus constantes palabras de aliento y el apoyo necesario para que pueda culminar mi carrera profesional.

A mi Padre Gilmer, que fue, es y será mi mayor ejemplo a seguir, que desde niño siempre me inculcó lo importante que es el estudio en la vida y hoy que está en el cielo, estoy seguro de que se siente feliz y orgulloso de mi.

A mi Madre Lilian, que con su estricta crianza supo hacer de mí una persona de bien, gracias a ella y a su empuje forjaron en mi las ganas y el deseo de ser alguien en la vida y creo que hoy, lo estoy logrando.

A mi esposa y mis 3 hijos, a ella por sus incansables consejos para retomar mi carrera y al fin terminarla, por su apoyo y comprensión infinita y a mis hijos porque son la razón de mi vida y el mayor motivo para seguir saliendo adelante. Mi familia.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por la fortaleza, pues él es el quien decide lo que se puede y no se puede, nos acompaña, protege, da fuerza y ayuda en los momentos difíciles de la vida, gracias por permitir que esto fuera un hecho. Sin duda ha sido mucho sacrificio y esfuerzo.

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad, mucho de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este.

A mis docentes y asesores quienes se han esforzado por ayudarme a llegar al punto en el que me encuentro, a sus conocimientos y dedicación que los ha regido, he logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de esta tesis.

TABLA DE CONTENIDO

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD.....	3
DEDICATORIA	4
AGRADECIMIENTO.....	5
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE ECUACIONES	11
RESUMEN	12
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	14
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	34
CAPÍTULO III. RESULTADOS	51
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN	126
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	127
REFERENCIAS	128
ANEXOS.....	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación de suelos SUCS	20
Tabla 2: Operacionalización de Variables.....	36
Tabla 3: Resumen de Resultados de CBR.....	72
Tabla 4: Resumen de resultados de ensayo de CBR	102
Tabla 5: Resumen de costos por m ² por cada porcentaje de caucho	125

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Origen y formación de suelos	19
Figura 2: Clasificación de suelos AASHTO.....	20
Figura 3: Ensayos normados para suelos.....	21
Figura 4: Ratios de consistencia en tipos de suelo	23
Figura 5: Valores de CBR en relación a la capa del pavimento	23
Figura 6: Ficha técnica de caucho esponjoso	26
Figura 7: Composición de Pavimento Flexible	28
Figura 8: Análisis Correlacional de las Variables	51
Figura 9: Correlación Cantidad de caucho vs Costo de base granular.....	51
Figura 10: Ubicación especificada de cada calicata realizada.....	52
Figura 11: Ubicación de zona de sondeos.....	52
Figura 12: Ubicación especificada de cada calicata realizada.....	53
Figura 13: Calicata 1.....	53
Figura 14: Calicata 2.....	54
Figura 15: Calicata 3.....	54
Figura 16: Muestras extraídas.....	55
Figura 17: Muestra del suelo empleado para el ensayo de granulometría.....	55
Figura 18: Resultados de ensayos de granulometría de Muestra de Calicata 1.....	56
Figura 19: Curva granulométrica de suelos de Muestra de Calicata 1.....	56
Figura 20: Resultados de ensayos de límites de Muestra de Calicata 1.....	57
Figura 21: Gráfica correspondiente a límites de Muestra de Calicata 1.....	57
Figura 22: Resultados de ensayos de granulometría de Muestra de Calicata 2.....	58
Figura 23: Curva granulométrica de suelos de Muestra de Calicata 2.....	58
Figura 24: Resultados de ensayos de límites de Muestra de Calicata 2.....	59
Figura 25: Gráfica correspondiente a límites de Muestra de Calicata 2.....	59
Figura 26: Resultados de ensayos de granulometría de Muestra de Calicata 3.....	60
Figura 27: Curva granulométrica de suelos de Muestra de Calicata 3.....	60
Figura 28: Resultados de ensayos de límites de Muestra de Calicata 3.....	61
Figura 29: Gráfica correspondiente a límites de Muestra de Calicata 3.....	61
Figura 30: Resultados de ensayos de Proctor de Muestra de Calicata 1.....	62
Figura 31: Gráfica de Proctor de muestra 1.....	62
Figura 32: Resultados de compactación de CBR para muestra 1.....	63
Figura 33: Resultados de humedad de CBR para muestra 1.....	63
Figura 34: Resultados de expansión de CBR para muestra 1.....	63
Figura 35: Resultados de penetración de CBR para muestra 1.....	64
Figura 36: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 1.....	64
Figura 37: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 1.....	65
Figura 38: Resultados de ensayos de Proctor de Muestra de Calicata 2.....	65
Figura 39: Gráfica de Proctor de muestra 2.....	66
Figura 40: Resultados de compactación de CBR para muestra 2.....	66
Figura 41: Resultados de humedad de CBR para muestra 2.....	67
Figura 42: Resultados de expansión de CBR para muestra 2.....	67
Figura 43: Resultados de penetración de CBR para muestra 2.....	67
Figura 44: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 2.....	68

Figura 45: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 2.....	68
Figura 46: Resultados de ensayos de Proctor de Muestra de Calicata 3.	69
Figura 47: Gráfica de Proctor de muestra 3.....	69
Figura 48: Resultados de compactación de CBR para muestra 3.....	70
Figura 49: Resultados de humedad de CBR para muestra 3.	70
Figura 50: Resultados de expansión de CBR para muestra 3.....	70
Figura 51: Resultados de penetración de CBR para muestra 3.	71
Figura 52: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3.	71
Figura 53: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3.....	72
Figura 54: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93.....	77
Figura 55: Resultado del costo por m2 de B.G.I. con CBR 2%, e=0.30m.....	78
Figura 56: Neumáticos desechados.	78
Figura 57: Triturado de caucho de neumáticos de autos.	79
Figura 58: Triturado de caucho.	79
Figura 59: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 1	80
Figura 60: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 1.	80
Figura 61: Resultados Proctor muestra 2 – diseño 1	81
Figura 62: Curva de Proctor de muestra 2 – diseño 1.	81
Figura 63: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 1	82
Figura 64: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 1.	82
Figura 65: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 2	83
Figura 66: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 2.	83
Figura 67: Resultados Proctor muestra 2 – diseño 2	84
Figura 68: Curva de Proctor de muestra 2 – diseño 2.	84
Figura 69: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 2	85
Figura 70: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 2.	85
Figura 71: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 3	86
Figura 72: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 3.	86
Figura 73: Resultados Proctor muestra 2 – diseño 3	87
Figura 74: Curva de Proctor de muestra 2 – diseño 3.	87
Figura 75: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 3	88
Figura 76: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 3.	88
Figura 77: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 4	89
Figura 78: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 4.	89
Figura 79: Resultados Proctor muestra 2 – diseño 4	90
Figura 80: Curva de Proctor de muestra 2 – diseño 4.	90
Figura 81: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 4	91
Figura 82: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 4.	91
Figura 83: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 2% de adición.	92
Figura 84: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 2% de adición.....	92
Figura 85: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 2% de adición.	92
Figura 86: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 2% de adición.....	93
Figura 87: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 2% de adición....	93
Figura 88: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 2% de adición.	94
Figura 89: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 4% de adición.	94
Figura 90: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 4% de adición.....	95
Figura 91: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 4% de adición.	95
Figura 92: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 4% de adición.....	95

Figura 93: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 4% de adición....	96
Figura 94: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 4% de adición.	96
Figura 95: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 6% de adición.	97
Figura 96: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 6% de adición.....	97
Figura 97: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 6% de adición.	97
Figura 98: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 6% de adición.....	98
Figura 99: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 6% de adición....	98
Figura 100: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 6% de adición.	99
Figura 101: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 8% de adición.	99
Figura 102: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 8% de adición.....	100
Figura 103: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 8% de adición.	100
Figura 104: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 6% de adición.....	100
Figura 105: Gráficas de carga vs penetrac. en CBR para muestra 3 con 8% de adición....	101
Figura 106: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 8% de adición.	101
Figura 107: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93.....	107
Figura 108: Resultado del costo por m2 de B.G. c/caucho al 2% y CBR 3%, e=0.25m....	108
Figura 109: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93.....	113
Figura 110: Resultado del costo por m2 de B.G. c/caucho al 4% y CBR 3.5%, e=0.25m.	114
Figura 111: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93.....	118
Figura 112: Resultado del costo por m2 de B.G. c/caucho al 6% y CBR 2.3%, e=0.3m...	119
Figura 113: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93.....	124
Figura 114: Resultado del costo por m2 de B.G. c/caucho al 8% y CBR 1.9%, e=0.32m.	124

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1:	21
Ecuación 2:	22
Ecuación 3:	30
Ecuación 4:	30
Ecuación 5:	33
Ecuación 6:	33
Ecuación 7:	40
Ecuación 8:	40
Ecuación 9:	40

RESUMEN

Esta investigación utilizó caucho reciclado de neumáticos de carros para mejorar las características y propiedades del pavimento flexible, específicamente a nivel de la base granular, con el objetivo principal de estabilizar la base del material investigado para minimizarla degradación del pavimento, producto de las cargas de servicio a las que está sometido todo pavimento, tales como cargas de tránsito, cargas permanentes entre otras. Aplicado para una vía del Norte del Perú.

El objetivo de esta investigación fue mejorar las propiedades de la base granular de los estratos de una vía del Norte del Perú, mediante la correlación del impacto generado por la adición de fibra de caucho triturado reciclable, obtenido del reciclado de neumáticos de automóviles, los cuales se encontraron en estado desechable. Para el desarrollo de la investigación, se realizaron ensayos de mecánica de suelos a las muestras naturales obtenidas mediante sondeos, a su vez a otro grupo de muestra se adicionó el triturado de caucho reciclado de neumáticos de automóviles, para posteriormente someterlas a ensayos de mecánica de suelos y así obtener datos del comportamiento del diseño en propuesta para finalmente se pudiera comparar con los resultados del suelo natural.

Se realizaron ensayos respecto a mecánica de suelos, para poder determinar el porcentaje y dosificación ideal para la adición de fibra de caucho, para ello se trabajó con porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%. Los resultados se obtuvieron en base a los ensayos normados (granulometría, límites de Atterberg, Proctor modificado, CBR) tanto para la muestra natural sin adición, así como para las muestras modificadas en laboratorio haciendo uso de las fibras sintéticas de caucho obtenido de la trituración de neumático reciclados.

Los resultados sirvieron para demostrar que la correlación existente entre los costos y cantidades de caucho aplicado a la muestra son positivos.

Palabras clave: Incidencia del caucho reciclado, Estabilización de la base granular, Pavimentos flexibles.

ABSTRACT

This research used recycled rubber from car tires to improve the characteristics and properties of the flexible pavement, specifically at the level of the granular base, with the main objective of stabilizing the base of the investigated material to minimize the degradation of the pavement, as a result of the loads of service to which all pavement is subjected, such as traffic loads, permanent loads, among others. Applied for a road in Northern Peru.

The objective of this research was to improve the properties of the granular base of the strata of a road in northern Peru, by correlating the impact generated by the addition of recyclable shredded rubber fiber, obtained from recycled car tires, which were found in a disposable state. For the development of the research, soil mechanics tests were carried out on the natural samples obtained through borings, while another group of samples was added to the recycled rubber shredded from automobile tires, to later submit them to soil mechanics tests and thus obtain data on the behavior of the proposed design in order to finally compare it with the results of the natural soil.

Soil mechanics tests were carried out to determine the ideal percentage and dosage for the addition of rubber fiber, working with percentages of 2%, 4%, 6% and 8%. The results were obtained based on the standard tests (granulometry, Atterberg limits, modified Proctor, CBR) both for the natural sample without addition, as well as for the samples modified in the laboratory using synthetic rubber fibers obtained from the shredding of recycled tires.

The results served to demonstrate that the correlation between costs and quantities of rubber applied to the sample are positive.

Key words: Incidence of recycled rubber, Stabilization of granular base, Flexible pavements.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Realidad Problemática

A nivel internacional, en el país de Colombia, la red vial presenta problemas en sus pavimentos, siendo uno de los principales y más recurrentes, deterioro a causa de un repetido ciclo de carga durante el periodo de vida útil, generando pérdida en el nivel de servicio para el que fue diseñado. El reporte de INVIAS indica que solo el 47.19% del total de la red vial colombiana se encuentra en un estado bueno o excelente. (Invias, 2019).

A la par en el país de Ecuador, los pavimentos presentan fallas y deterioros sobre todo en temporadas invernales, convirtiéndose en vías de imposible acceso, debido a las distintas fallas que se dan, como fisuras y hundimientos, problemas generados por un mal diseño de los mismos, falta de estudios de suelos necesarios. Los pavimentos no cumplen con los requerimientos necesarios para su comportamiento normal o mínimo, fallando así en tiempos cortos, a lo que solo se proponen soluciones temporales que un lapso no mayor nuevamente se convierten en un real problema para la ciudadanía. (Rivera, 2020)

En el Perú, se precisan problemas en torno a la calidad de los pavimentos, encontrándose notables fallas superficiales y no superficiales, producto de una mala ejecución de obra, un mal diseño, baja calidad de los materiales, fenómenos externos. Una mala distribución de material granular y una capacidad baja son motivo de fallas y patologías en la estructura del pavimento, en el Perú no todas las vías presentan en su diseño un proceso correcto de estabilización de suelos, presentando así un gran problema que desencadena falta de eficiencia en las vías, incorrecta funcionalidad, incomodidad de ciudadanos. (Chipana, 2021)

A manera local, cualquier ciudad del Norte del Perú, no es ajena a este tipo de inconvenientes frente a las diversas fallas en el pavimento, constantemente se presentan fallas en los pavimentos producto de una baja resistencia frente a las cargas, los cuales se ven afectados seriamente por el tránsito pesado de camiones, transporte usual por la zona comercial del distrito, frente a ese problema se busca la forma de mejorar la calidad del suelo.

El informe de PCI, aplicado para una vía del Norte del Perú, aplicado para una vía de doble calzada, sumando un ancho total de 8 metros y una longitud evaluada de 4507 metros de largo, mostró que, de 62 cuadras, 28 se encontraron en pésimo estado, mientras que las 34 restantes se encontraron en estado óptimo. Del estudio también se infirió que las fallas en mayor porcentaje fueron ondulaciones en un 22%, pérdida de la capa de rodadura en un 18%

y pérdida de agregados superficiales en un 17%, demostrando así el constante deterioro de la avenida en mención. (Cruz y Diaz, 2020)

Dicho problema genera una serie de consecuencias como mal estado del pavimento, incomodidad de transeúntes y conductores frente a la serie de fallas presentadas como piel de cocodrilo, hundimientos hasta pérdidas total de la capa de rodadura, siendo esto un problema también para los habitantes de la zona, no solo por la incomodidad para el tránsito sino también representa peligrosidad y riesgo para las personas de a pie y aquellos en vehículos, así como el excesivo polvo generado por el desprendimiento de los materiales del pavimento. Esta avenida es una de las principales del distrito, siendo una de las más grandes y con mayor uso.

En la actualidad, las exigencias de poder utilizar nuevos materiales con el cual obtener resultados óptimos en la construcción de redes viales a nivel mundial ha ocasionado el interés en poder investigar nuevas adiciones. Con las cuales obtener resultados idóneos en el mejoramiento y estabilización de suelos ya que el mejoramiento de una capa granular influye directamente en la calidad de servicio y durabilidad como en el costo de construcción ya que los espesores pueden ser reducidos. (Lapa, 2018)

La base granular, es una de las capas de la carpeta asfáltica, y para el mejoramiento del comportamiento del pavimento suele ser estabilizada, es decir mejorada bajo condiciones de adición de ciertos componentes, llegando de esta forma a óptimas características, propiedades y capacidades tanto físicas como mecánicas. En su mayoría se presenta con adiciones de cemento, cal, estabilizadores químicos, entre otros. Siendo estos de un mayor costo frente a una opción de material reciclado, y siendo los primeros de mayor impacto ambiental negativo por su contacto directo frente al factor suelo en comparación con la opción de caucho reciclado, con impacto menor y con influencia positiva al ambiente por el hecho de la reducción de acumulación de residuos sólidos.

Formulación del problema

Formulación de problema general

¿Cuál es la correlación del impacto generado por la añadidura de caucho reciclado y triturado en la capacidad de soporte y los costos de la base granular en una vía del norte del Perú?

Formulación de problemas específicos

P.E.1. ¿Cuál es la capacidad portante de la base granular en su estado natural en una vía del norte del Perú?

P.E.2. ¿Cuál es el costo de la base granular en su estado natural en una vía del norte del Perú?

P.E.3. ¿Cuál es la capacidad de soporte de una base granular debido a la añadidura de caucho reciclado triturado en una vía del norte del Perú?

P.E.4. ¿Cuál es el costo de una base granular debido a la añadidura del caucho reciclado triturado en una vía del norte del Perú?

Antecedentes

Antecedentes internacionales

Blacio (2022), en Ecuador, donde su objetivo fue añadir tres tipos de materiales: madera reciclada producto del encofrado, caucho reciclado y ceniza volcánica, para mejorar las propiedades y características de la subrasante para una carretera, según su metodología, presenta un enfoque cuantitativo, secuencial y probatorio. Se trabajó con combinaciones de 85% de caucho, 5% de madera y 10% de ceniza volcánica, obteniéndose resultados para ensayo de límite líquido igual a un 72% mientras que 38% para límite de plasticidad, para un segundo diseño compuesto por 70% de caucho, 10% de madera y 20% de ceniza volcánica, obteniéndose resultados para ensayo de límite líquido igual a un 52% mientras que 21% para límite de plasticidad, finalmente para el tercer diseño 60% de caucho, 10% de madera y 30% de ceniza volcánica, obteniéndose resultados para ensayo de límite líquido igual a un 38% mientras que 13% para límite de plasticidad. Los ensayos dieron resultados para el diseño más óptimo, para el caso de Proctor un valor igual a 1.836 kg/m³, 0.1% para expansión, y 21.7 % para el ensayo de CBR. Concluyendo que las adiciones propuestas mejoraron las propiedades tanto físicas como mecánicas para el suelo en investigación. Considero importante esta investigación debido a que se utilizó el caucho reciclado, cuyos resultados servirán para la discusión de nuestros resultados por considerarse relevante.

Álvarez (2020), en su investigación tuvo como objetivo general analizar el comportamiento de la subrasante de suelos blandos con adición de polvo de caucho reciclado para la ciudad de Bogotá - Colombia, la adición en 4% de polvo de caucho

mejoró propiedades como la resistencia al corte, propiedades físicas como cohesión y ángulo de fricción para el caso de suelos blandos y arcillosos, además en la comparativa económica frente a métodos tradicionales como estabilización con cal, se comprobó que esta tecnología presenta mejores resultados, a su vez es una opción de mejora ambiental. Considero que la presente investigación es importante por el uso de polvo de caucho logrando mejorar la resistencia del suelo, siendo vital para la discusión de los resultados de mi tesis por el aporte positivo del caucho reciclado triturado.

Patiño (2017), en su investigación en Ecuador, tuvo como objetivo analizar y determinar las propiedades de CBR y la densidad para un suelo con adición de caucho reciclado proveniente de neumáticos, como resultados se encontró que la adición de caucho mejoró hasta en un 27% en cuanto al CBR, debido a las propiedades de absorción que proporciona el caucho en la muestra de suelo, a su vez se observó una disminución del peso específico del material compuesto, lo que genera la obtención de un material más ligero.

Antecedentes nacionales

Huanca (2021), en la ciudad de Ancón - Lima tuvo como objetivo evaluar la influencia de la adición de cal y polvo de caucho en la estabilización de suelos, su metodología experimental, donde trabajó con cuatro tipos de porcentajes para cada adición, siendo 2%, 4%, 6% y 8%; como resultados obtuvo que si bien la cal y el caucho no lograron mejorar las propiedades físicas del suelo, lo contrario ocurrió con las propiedades mecánicas, donde para resistencia al esfuerzo, mejoró hasta en un 30.7% para el diseño con adición de cal a un 6%, y un 20.7% para el caso de adición de caucho. Como conclusiones se tuvo que, la adición de cal y caucho por separado logran mejoras del suelo respecto a sus propiedades mecánicas hasta en 10%. Se considera relevante esta investigación toda vez que utilizó los mismos porcentajes del aditivo caucho siendo similar a mi investigación, razón por la cual nos servirá para la discusión de resultados.

Lapa (2018), en su investigación en Huancayo, tuvo como objetivo determinar y analizar las propiedades mecánicas de un suelo con adición de caucho tallado,

encontrando resultados de mejora respecto a propiedades como densidad seca, CBR y contenido de humedad. Para el caso de densidad seca, se apreció una mejora de 1.36%, para valores de contenido de humedad se encontró un aumento del 9.46% mientras que para el valor de CBR, se encontraron aumento hasta en un 39.89%. Dichos valores de resultados se dieron para la adición óptima en comparación con las demás, este porcentaje ideal se trabajó con 1.5% defibra de caucho. Concluyendo que se llega a una estabilización correcta y óptima debido a su alza de CBR, bajo costo y mitigación ambiental. Se considera interesante la presente investigación debido a que utiliza el caucho tallado en 1.5% para obtener un CBR hasta de 39,89% la cual servirá para la discusión de mis resultados.

Por último, la investigación de Padilla (2021), en Puente Piedra - Lima, donde tuvo como objetivo determinary analizar las propiedades físicas y mecánicas de suelos arcillosos con adición de caucho pulverizado y molienda de vidrio, el tipo de investigación fue aplicada y cuasi experimental. En su investigación trabajó con cuatro tipos de diseños, un primero sin adiciones, segundo diseño compuesto por 10% de cada material de adición, tercer diseño compuesto por 10% y 13% de cada material de adición, cuarto diseño compuesto por 13% y 10% de cada material de adición, finalmente el quinto diseño compuesto por 15% y 10% de cada material de adición. Como resultados obtuvo notable mejoras respecto al corte directo, hasta de 73% de incremento en promedio. Como conclusión obtuvo que para valores de CBR es mejor trabajar con diseños con los materiales de forma independiente, ya que no encontró notables mejoras para los diseños estudiados.

Definiciones conceptuales

Suelo: Se define como capa superficial perteneciente a la corteza terrestre, su origen se debe a tres formas, alteraciones del material, estas pueden ser físicas y químicas; producto de los cambios en las rocas a lo largo del tiempo, cambiando así forma y estructura química; y la desintegración de materiales, producto de distintas formas de traslado, por viento, por agua o sucesivos impactos. Según Terrones (2018), el suelo contiene materia, lo que lo convierte en único y diferente a cualquier otro suelo, separándolo respecto a sus propiedades tanto físicas como mecánicas.



Figura 1: Origen y formación de suelos
Fuente: Huanca (2021)

Para la ingeniería, la calidad de los suelos en un aspecto primordial, debido a la gran importancia y papel que tienen dentro de los diversos proyectos al ser la superficie de descanso y cimentación, para el caso de proyectos viales, un suelo inestable es una amenaza al proyecto, debido a sus bajas propiedades y riesgos que generan, por lo que es necesario y de vital importancia la estabilización y mejora de los mismos.

Clasificación de suelos, existen dos tipos de clasificación, según la clasificación SUCS (Unifield soil classification system) NTP 339.134 se puede tener:

Simbología	Clasificación de Suelo
GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poco o nada de finos
GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos
GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo
GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla
SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos
SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poco o nada de finos
SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo
SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla
ML	Limos inorgánicos, arenas muy finas, polvo de roca, limos arenosos o arcillas ligeramente plásticas

CL	Arcillas inorgánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas dobles
OL	Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad
MH	Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomáceos, limos elásticos
CH	Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas
OH	Arcillas orgánicas de media alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad
Pt	Turna y otros suelos altamente orgánicos

Tabla 1: Clasificación de suelos SUCS
Fuente: Manual de Carreteras MTC (2014)

SISTEMA DE CLASIFICACION AASHTO											
Clasificación General	Suelos granulares ($\leq 35\%$ pasa 0,08 mm)						Suelos finos ($>35\%$ Bajo 0,08 mm)				
Grupo	A-1		A-3	A-2			A-4	A-5	A-6	A-7	
Sub-grupo	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6*	A-2-7*			A-7-5** A-7-6**	
2 mm	≤ 50										
0,5 mm	≤ 30	≤ 50	≥ 51								
0,08 mm	≤ 15	≤ 25	≤ 10	≤ 35			≥ 36				
WL				≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41	≤ 40	≥ 41
IP	≤ 6		NP	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11	≤ 10	≤ 10	≥ 11	≥ 11
Descripción	Gravas y Arenas		Arena fina	Gravas y arenas Limosas o Arcillosas			Suelos Limosos		Suelos Arcillosos		
	** A-7-5 : $IP \leq (WL-30)$					A-7-6 : $IP > (WL-30)$					
	$IG = (F - 35)(0,2 + 0,005 (WL - 40)) + 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ * Para A-2-6 y A-2-7 : $IG = 0,01 (F - 15)(IP - 10)$ Si el suelo es NP $\rightarrow IG = 0$; Si $IG < 0 \rightarrow IG = 0$										

Figura 2: Clasificación de suelos AASHTO
Fuente: Manual de Carreteras MTC (2014)

Respecto a los ensayos de mecánicas de suelos, aplicados para la ingeniería, se tienen los siguientes:

Propiedades / Ensayos	Designación AASHTO	Aplicación	Usos principales en Ingeniería de Pavimentos
Contenido de humedad	T 265	Frecuente	Verificación de humedad de compactación
Gravedad específica	T 100	Frecuente	Cálculos de densidad y razón de vacíos. Identificación de los posibles componentes mineralógicos de suelos y agregados
Densidad in situ	T 191	Frecuente	Verificación de densidad de materiales compactados
Granulometría	T 88	Frecuente	Clasificación de suelos y aceptación de agregados
Límites de consistencia	T 89, T 90	Frecuente	Clasificación de suelos y aceptación de materiales de relleno / subrasante.
Compactación o densidad remoldeada (Proctor estándar y modificado)	T 99, T 180, T 224	Frecuente	Obtención de parámetros contenido de humedad óptimo y densidad seca máxima de compactación.
Valor Relativo de Soporte o California Bearing Ratio	T 190, T 193, T 292, T 294	Frecuente	Obtención del valor de CBR en los materiales de base, sub-base y sub-rasante.
Permeabilidad	T 215	Moderado	Evaluación de materiales estructurales y de subdrenajes
Compresión inconfiada	T 208	Limitado	Evaluación de la resistencia a la compresión simple o uniaxial.
Corte Directo	T 236	Limitado	Evaluación del ángulo de fricción de suelos y materiales, especialmente arenosos
Compresión triaxial	T 296, T 297	Limitado	Evaluación de la resistencia de los suelos finos y gruesos.
Consolidación	T 216	Limitado	Evaluación del potencial de asentamientos de suelos finos.

Figura 3: Ensayos normados para suelos
Fuente: Lapa (2018)

Contenido de humedad: Propiedad determinada por la relación entre el peso del agua que existe en una muestra vs el peso de la misma en su fase sólida, expresado en porcentaje. En otras palabras se entiende como el cociente entre la masa del agua y la masa del suelo. Ensayo estandarizado por la Norma Técnica Peruana, NTP 339.127. (NTP, 1999)

Ecuación 1:

$$w(\%) = \frac{M_W}{M_S} * 100$$

Donde:

M_w : Peso del agua

M_s : Peso de la fase sólida del suelo

Para casos de encontrarse la muestra secada mediante horno, el contenido de humedad se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2:

$$w(\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_2} * 100$$

Donde:

M1: Masa de la muestra de suelo M2: Masa de la muestra seca

Análisis granulométrico: Ensayo para determinar porcentajes de la distribución de tamaños de los granos del material en estudio (suelo), el tamizado es el procedimiento fundamental para esta prueba, consiste en el zarandeo de una serie de mallas normadas, calculando así las cantidades de material que queda retenido en cada malla o tamiz, para luego realizar el trabajo de gabinete, calculando de esta forma porcentajes retenidos, porcentajes que pasan, tamaños de la muestra, entre otros parámetros, finalizando en la formación de la curva granulométrica.

Este ensayo estandarizado por la Norma Técnica Peruana, NTP 339.128. (NTP, 1999).

Plasticidad de los suelos: Se determina como la propiedad de los materiales para soportar deformaciones sin presentar variaciones volumétricas y sin sufrir daños como grietas o fisuras. (Palomino, 2016)

La plasticidad propiamente dicha, tiene como fin conocer el comportamiento del suelo en función a su humedad, como variaciones volumétricas.

Límites de Atterberg: Ensayo que tiene como fin identificar, describir y clasificar los suelos cohesivos, así como también dar un alcance de las propiedades mecánicas de los mismos. Este ensayo se potenció en el año 1925 por Terzaghi, al determinar que los resultados del ensayo dependían de las mismas variables que dependían propiedades como resistencia y permeabilidad del material en estudio. (Guerrero, 2019)

Límite Líquido: Definido como estado de humedad en el que la masa en estudio se encuentra entre el estado plástico y líquido. Con el fin de determinar el contenido de agua en un material (suelo), por lo que se utiliza la copa de Casagrande. Este ensayo estandarizado por la Norma Técnica Peruana, NTP 339.129. (NTP,

1999). Utilizando el suelo en estado seco pasante por el tamiz N° 40.

Límite Plástico: Ensayo donde el contenido de humedad se encuentra en menor porcentaje, generando fracturas en el material de estudio (suelo), la muestra es amasada en pequeños cilindros alargados de diámetro igual a 3 mm. Estado donde el suelo pasa de estado plástico a estado semisólido. Este ensayo estandarizado por la Norma Técnica Peruana, NTP 339.129. (NTP, 1999)

PARÁMETROS	TIPOS DE SUELOS		
	ARENA	LIMO	ARCILLA
Límite líquido(LL)	15 - 20	30 - 40	40 - 150
Límite plástico(LP)	15 - 20	20 - 25	25 - 50
Límite de retracción(LR)	12 - 18	14 - 25	08 - 35
Índice de plasticidad(IP)	00 - 03	10 - 15	10 - 100

Figura 4: Ratios de consistencia en tipos de suelo
Fuente: Palomino (2016)

El **CBR** es una prueba que tiene como objetivo estimar la capacidad de carga de un suelo que está sujeto bajo cargas de las ruedas, es decir, su capacidad para soportar en una determinada estructura de la carretera las cargas móviles que deben recorrerlo (Valero, 1978, p.50, como se citó en Espinoza A. y Velásquez J. 2018, p. 44)

El Manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, brinda ratios a manejar en el ensayo de CBR en relación a las capas y su respectivo valor, dando así una guía para determinar la calidad de los suelos.

Categorías de Sub rasante	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante Excelente	CBR ≥ 30%

Figura 5: Valores de CBR en relación a la capa del pavimento
Fuente: Manual de Carreteras MTC (2014).

Bajo el criterio normado por el MTC, para suelos de sub rasante con un CBR mejoral 6%, se deberían aplicar métodos de mejoramiento o estabilización de suelos a fin de aumentar la resistencia.

Proctor: Ensayo de compactación, que tiene como objetivo determinar la relación del contenido de humedad y la densidad del material en estudio. El ensayo consiste en colocar una muestra de suelo, del cual se conoce el contenido de humedad, en un molde metálico de 5 capas, para proceder con la compactación. Para la determinación de los resultados se hace uso de la curva de compactación, normada por la ASTM D1557-12.

Estabilización de suelos: Según la Norma CE.020 – MVCS (2012), se define como el proceso por el cual se busca la mejora de las propiedades físicas, químicas y mecánicas de un suelo para su uso en la ingeniería, ya sea para edificaciones o pavimentos, o cual sea el proyecto a ejecutar, teniendo así como objetivo obtener un suelo adecuado a las solicitaciones. Existen tipos de estabilización, que se detallan a continuación:

Estabilización Física: Según la Norma CE.020 – MVCS (2012), se define como el proceso por el cual se presentan modificaciones físicas en el suelo mediante mezclas del mismo con otros materiales como gravas, arenas, geotextiles, entre otras. Dentro de la estabilización física se tiene:

- Mezcla de suelos
- Compactación
- Geotextiles
- Vibro flotación
- Consolidación previa

Estabilización Química: Según la Norma CE.020 – MVCS (2012), en el caso de las estabilizaciones químicas, las adiciones realizadas son sustancias químicas como iones metálicos, teniendo como objetivo la modificación de la constitución de los materiales granulares que conforman el suelo. Algunos ejemplos de estabilización química son:

- Cal
- Cemento

- Emulsiones asfálticas
- Escorias de fundición
- Cloruro de sodio
- Cloruro de calcio
- Polímeros
- Caucho de neumáticos

Estabilización Mecánica: Proceso por el cual se pretende mejorar el material del suelo que se posee, no alterando la estructura y composición básica del mismo. Si queremos lograr este tipo de estabilización tenemos que utilizar la compactación, para reducir vacíos existentes en el suelo. (Manual de Carreteras MTC 2014, p. 94).

Caucho: El caucho proviene de un producto derivado del látex, el caucho se obtiene de diferentes tipos de madera, y después de la coagulación, permite celulosa flexible e impermeable, que tiene múltiples usos. Es importante destacar que el caucho también se puede producir de forma sintética, utilizando el proceso industrial. Por lo tanto, se puede distinguir del caucho natural y del caucho sintético. En esta investigación reciclamos caucho para estabilizar el suelo, este material es de uso diario en el Perú y el mundo, cada año el impacto de sus residuos es proporcional a la venta de llantas. La basura tiene efectos ambientales y sociales, y también contamina la naturaleza, y no hay un reciclaje o procesamiento adecuado del material, por lo tanto, los restos de caucho se ven con mucha frecuencia en la calle, vale la pena enfatizar que el caucho es un neumático. Material "no degradable". (Lapa, 2018).

PROPIEDADES		UNIDADES	VALORES
NATURALEZA			Caucho celular Cloropreno + EPDM
DENSIDAD		kg/m ³	150+/-20
TRACCIÓN A LA ROTURA		kPa	≥ 450
ALARGAMIENTO A LA ROTURA		%	≥ 90
RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN AL 25%		kPa	35-63
DEFORMACIÓN PERMANENTE A COMPRESION CONSTANTE (22H, 50%, 23°C)		%	≤ 25
ABSORCIÓN DE AGUA		%	≤ 5
RANGO DE TEMPERATURAS	Tª LIMITE DE NO FRAGILIDAD	°C	-20
	ESTABILIDAD DIMENSIONAL	°C	+100
REACCIÓN AL FUEGO (UNE 23727-90)		CATEGORIA	M2
VELOCIDAD DE COMBUSTION <100 mm/min (FMVSS 302)			CONFORME
ENVEJECIMIENTO: ENCOGIMIENTO LINEAL DURANTE 7 DIAS A 70°C:		% MAX	6
RESISTENCIA AL AIRE + UV			BUENA
RESISTENCIA AL OZONO			BUENA
PROTECCIÓN MEDIOAMBIENTAL			LIBRE DE CFC & HCFC
RECICLADO			POTENCIAL RECICLABLE
ESPECIFICACIONES	ASTM D 1056 (91)		2A2,B
	SAE J 18-79		RE42

*Figura 6: Ficha técnica de caucho esponjoso
Fuente: Juntas Industriales y Navales*

Tipos de caucho: Existen diversos tipos de caucho como: cauchó silicona, neopreno, natural- NR, NBR, EPDM y el SBR el cual es el caucho utilizado para realizar las llantas y el cual utilizaremos para la siguiente investigación, sus características son las siguientes: Caucho styrene butadiene rubber (sbr)

- Considerable resistencia a la abrasión.
- Usualmente es combinado con el caucho polibutadieno (Br) para ser utilizado en la elaboración de llantas de vehículos.
- Uso masificado.
- Débil frente a los factores como el ozono y radiación UV por eso requiere de agentes de protección.

- Frecuentemente usado en prácticas como soportes, apoyos, transmisión de movimiento, entre otros.
- Su máxima temperatura de servicio es 100°C.
- Es considerado un caucho para la elaboración de artículos de uso general y de bajo costo.

El incremento del parque automotor en el año 2017 fue de un 14.9% con respecto al año 2016 lo cual tiene una relación directamente proporcional a las ventas de llantas que se registran anualmente en el país. El problema de las ventas de las llantas es que al mismo tiempo que se compran una cantidad determinada de llantas el resto se desecha, en el Perú solo se reutiliza el 4% y el resto es desechado. (Huanca, 2021)

Pavimentos: Un pavimento es una estructura capaz de soportar la constante carga de tráfico y cargas permanentes, tiene una vida útil determinada de acuerdo a su diseño. La estructura consta de capas de diferentes áridos debidamente compactados y con determinados espesores de acuerdo al diseño y parámetros normativos, por lo que puede soportar cargas diferentes. Este conjunto de capas que forman el pavimento está por encima de la subrasante o terreno de fundación. (Chuye, 2021)

Los pavimentos se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Pavimento Flexible
- Pavimento Semi Rígido
- Pavimento Rígido
- Pavimentos Articulado

Pavimento Flexible: Clasificación de los pavimentos con la cual se va a trabajar, también denominado asfáltico, conformado por una carpeta bituminosa, por encima de la base y sub base. Es preciso detallar que no necesariamente se puede presentar esta estructura, según la demanda del diseño se puede llegar a prescindir de alguna de las capas. (Solís y Vallejos, 2019).

Ventajas

- Accesible financiamiento por su bajo costo de ejecución.
- Menor tiempo de ejecución.

Desventajas

- Elevado costo de mantenimiento.

Componentes de un pavimento flexible: Un pavimento flexible presenta la siguiente estructura:



*Figura 7: Composición de Pavimento Flexible
Fuente: Chuye (2021)*

Carpeta Asfáltica: Capa superior, se encuentra en contacto directo con las distintas cargas, también llamada capa de rodadura, revestimiento asfáltico, superficie de rodamiento. Capaz de resistir fenómenos como abrasión y de impacto, presenta características de impermeabilización para así impedir el paso del agua hacia el interior de la estructura del pavimento, además debe presentar resistencia a la tensión. (Chaiña y Chaiña, 2021)

Base: Capa ubicada por debajo de la carpeta de rodadura y sobre la subbase, tiene como función de recepcionar y distribuir las cargas hacia la subbase y subrasante. Conformada por agregados, estabilizados o sin estabilizar, que permiten el drenaje del agua, impidiendo la ascensión capilar. A su vez es capaz de mitigar las deformaciones por tracción y tensiones verticales. (Chaiña y Chaiña, 2021)

Subbase: Debido a su composición de materiales granulares de fácil acceso, es la capa de menor costo, funciona de transición entre la base y la subrasante, evitando el paso de finos. Debe controlar y mitigar variaciones de volumen y elasticidad. Compuesta de concreto asfáltico, material ligante (asfalto). (Forigua y Florez, 2019)

Subrasante: Capa del terreno en donde se ejecuta la estructura del pavimento, soporta a las bases superiores (subbase, base y carpeta de rodadura),

debido al contexto del proyecto, su origen puede ser de corte o relleno, que una vez compactada ha de cumplir con las secciones transversales y pendientes según el diseño. El espesor de las siguientes capas, dependen de la calidad y estado de la subrasante, de esta manera esta ha de cumplir con parámetros de resistencia, incompresibilidad, contracción por humedad, no expandible; por lo que en algunos casos se requiere un tratamiento al terreno como impermeabilización para evitar efectos futuros como hinchamiento o retracción (variaciones de volumen). (Forigua y Florez, 2019).

Patologías en pavimentos flexibles: Las patologías en pavimentos flexibles, al avance del tiempo la tecnología que se ha innovado es con el fin de evitar fallas, deterioros y colapsos, con el fin de lograr una mejor vida útil de la estructura. Las fallas o patologías en los pavimentos dividiéndose de la siguiente forma: Patologías debido a la carencia estructural, patologías por errores o negligencias constructivas y patologías por fatiga. (Becerra V. y Villalobos M. 2021, p. 3).

Según el manual de PCI para pavimentos flexibles, las fallas en los pavimentos se producen por distintos factores, tales como procesos constructivos, materiales usados, diseño de este, tipo de tránsito vehicular, aspectos ambientales. Dichos factores se incrementan ante la ausencia de mantenimiento. (Vásquez, 2002)

Según De La Cruz (2022), las fallas pueden ser de dos tipos: estructurales y funcionales.

- **Estructurales:** cuando generan un daño de la estructura del pavimento, afectando el desarrollo de sus funciones frente a las solicitaciones de diseño.
- **Funcionales:** fallas superficiales que afectan la transitabilidad vehicular, seguridad de transeúntes y conductores, y el aspecto visual de la pavimentación.

Las fallas pueden ser medidas conforme a su severidad, por la primera sigla de la traducción al inglés: bajo (L), medio (M), y alto (H).

Correlación. Relación recíproca, grado de la relación cuantitativa y sentido de la variación de dos o más series de datos. Grado de relación entre dos o más variables. El índice de correlación puede ir de -1 (correlación negativa) pasando por

el 0 hasta el +1 (correlación positiva). (Sánchez H, Reyes C y Mejía K. 2018)

- **Correlación múltiple.** Son correlaciones que se establecen entre varias variables a la vez. Sirve de base para efectuar el análisis factorial.

Ecuación 3:

$$r = \sqrt{\frac{r_{12}^2 + r_{13}^2 - 2r_{12}^2 * r_{13}^2 * r_{23}^2}{1 - r_{23}^2}}$$

Donde:

r_{12} coeficiente de correlación entre las variables 1 y 2.

r_{13} coeficiente de correlación entre las variables 1 y 3

r_{23} coeficiente de correlación entre las variables 2 y 3. (Sánchez H, Reyes C y Mejía K. 2018).

- **Correlación negativa o inversa.** Es la correlación cuyo índice va de -0.1 a -1. Significa que a medida que una variable X sube en su puntaje, la variable Y baja, o viceversa. (Sánchez H, Reyes C y Mejía K. 2018).
- **Correlación positiva o directa.** Es la correlación cuyo índice va de +0.1 a +1. Significa que a medida que una variable X sube en su puntaje, la variable y también sube, o viceversa. (Sánchez H, Reyes C y Mejía K. 2018).
- **Correlación muestral simple (r):** es la covariancia muestral estandarizada, cuando las dos variables no dependen de las unidades de medida se deberán expresar las desviaciones en unidades de desviación estándar la cual se denota usualmente por (r), expresándose de la siguiente manera:

Ecuación 4:

$$Corr(X, Y) \equiv r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{S_X} \right) \left(\frac{y_i}{S_Y} \right)$$

Donde:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1}} \quad y \quad S_Y = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n-1}}$$

Correlación de PIRSON (r): El coeficiente de correlación lineal, cuyo valor oscila entre -1 y $+1$. Su expresión es el cociente entre la covarianza muestral entre las variables y el producto de sus respectivas desviaciones típicas, se obtiene como el cociente de la covarianza muestral y los desvíos estándar de cada variable, de la siguiente manera:

Ecuación 5:

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{S_X S_Y}$$

$$r = \frac{cov(x, y)}{S_x S_y} = \frac{\sum xy - n\bar{x}\bar{y}}{\sqrt{\sum x^2 - n\bar{x}^2} * \sqrt{\sum y^2 - n\bar{y}^2}}$$

El valor de r se aproxima a $+1$ cuando la correlación tiende a ser lineal directa (mayores valores de X significan mayores valores de Y), y se aproxima a -1 cuando la correlación tiende a ser lineal inversa (De la Fuente, D. 2014, p.9)

También el coeficiente de correlación lineal puede ser expresado de la siguiente manera:

Ecuación 6:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

(Lahura, E. 2003). En la presente investigación se utilizará esta fórmula para verificar el grado de correlación de las variables.

Rango de Valores del coeficiente de correlacio (r)

± 0.96 , ± 1.0	PERFECTA
± 0.85 , ± 0.95	FUERTE
± 0.70 , ± 0.84	SIGNIFICATIVA
± 0.50 , ± 0.69	MODERADA
± 0.20 , ± 0.49	DÉBIL
± 0.10 , ± 0.19	MUY DÉBIL
± 0.09 , ± 0.0	NULA

Objetivos

Objetivo General

Determinar la correlación del impacto generado por la añadidura del caucho reciclado triturado en la capacidad de soporte y costo de una base granular de una vía del norte del Perú.

Objetivos Específicos

- O.E.1.** Determinar la capacidad de soporte de la base granular en su estado natural en una vía del norte del Perú.
- O.E.2.** Determinar el costo de la base granular en su estado natural en una vía del norte del Perú.
- O.E.3.** Determinar la capacidad de soporte de la base granular con añadidura de caucho triturado y reciclado en una vía del norte del Perú.
- O.E.4.** Determinar el costo de una base granular con añadidura de caucho reciclado triturado en una vía del norte del Perú.

Hipótesis

Hipótesis General

Existe una correlación positiva entre el costo del caucho reciclado triturado, la cantidad de caucho utilizado y la mejora de la capacidad de soporte (CBR) de la base granular en una vía del norte del Perú.

Hipótesis Específicas

H.E.1. La capacidad de soporte (CBR) promedio de la base granular en su estado natural es 2.33% en una vía del norte del Perú.

H.E.2. El costo por metro cuadrado de una base granular en su estado natural es menor de 40 soles en una vía del norte del Perú.

H.E.3. La capacidad de soporte (CBR) de una base granular con la adición de caucho reciclado triturado en condiciones más desfavorables alcanza un valor máximo de 3.5%.

H.E.4. El costo por metro cuadrado de una base granular con la adición de caucho reciclado triturado es mayor que del suelo natural, alcanzando valores en el rango de 40 a 60 soles en una vía del norte del Perú.

Justificación

Justificación Técnica: Si nos referimos a la justificación técnica, se trata de nuevos aportes al campo de la disciplina, esto puede ser interpretado como la creación de nuevos equipos patentables. (Baena, 2017, como se citó en Fernández V. 2020). Esta investigación obedece a la necesidad de hacer las mejoras en las vías con mal estado de conservación del Norte del Perú, con respecto a la capacidad de soporte y para ello se están empleando las normas técnicas vigentes.

Justificación Práctica: Un estudio cuenta con justificación práctica cuando su desarrollo ayuda a resolver un problema o al menos propone estrategias que al ponerse en práctica contribuirán a su solución. (Bernal, 2010 y Blanco y Villalpando, 2012, como se citó en Fernández V. 2020). La presente investigación permitirá contar con una alternativa de solución en las mejoras de capacidad de soporte utilizando caucho reciclado triturado en este tipo de vías.

Justificación Económica: Se refiere a la rentabilidad de la investigación. Esto puede interpretarse en que algunas investigaciones de carácter práctico están orientadas a que algún producto derivado de la misma pueda ser comercializable o ayude a incrementar las ganancias de una empresa. (Tamayo y Tamayo, 1999, como se citó en Fernández V. 2020). La presente investigación se justifica económicamente por las mejoras que se realizará en la base granular, permitiendo subsanar los sobrecostos de mantenimiento.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

Tipos de investigación

Existen distintos tipos de investigación, pero ciertos investigadores como Solís E. 2008, Gay L.R., 1996, Rodríguez M.A., 1986, Sánchez C, Reyes Meza, 1984, Piscoya. 1982; Arista, 1984; Ander-Egge, 1974; Ñaupas y otros 2013 coinciden en que existen dos tipos de investigación: la investigación básica, pura o fundamental y la investigación aplicada, o tecnológica. (Esteban N. 2018). En el caso nuestro hemos optado por la investigación aplicada.

Investigación Aplicada: Se denomina aplicada; porque en base a investigación básica, pura o fundamental en las ciencias fácticas o formales se formulan problemas o hipótesis de trabajo para resolver los problemas de la vida productiva de la sociedad. (Esteban N. 2018). Para nuestra investigación en particular se hará uso de un plan metodológico para dar respuesta a un problema en específico, en este caso las constantes fallas y patologías encontradas en los pavimentos flexibles de una de las vías del Norte del Perú; así como también por el hecho de que para realizar la investigación los autores tendrán que realizar estudio científico de conceptos relaciones al tema en mención.

Diseño de investigación

Diseño Experimental: Se caracteriza por una asignación aleatoria probabilística de los participantes en el grupo experimental y control, de esta manera, las diferentes condiciones no controladas por el investigador, se distribuyen por el azar en ambos grupos, disminuyendo así la probabilidad de su influencia en los resultados. (Galarza, C. 2021). Por tanto, en nuestro proyecto para determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo inalterado como el suelo con adición se deberá controlar y manipular las variables en estudio con el objetivo de realizar los ensayos necesarios para encontrar el porcentaje óptimo de adición.

Nivel de investigación

Existen 04 niveles de investigación, Investigación Exploratoria, Descriptiva, Correlacional y Explicativa (Marroquín, R. 2009). En nuestro estudio estamos usando la Investigación Correlacional.

Nivel Correlacional: Tiene como finalidad establecer el grado de relación o asociación no causal existente entre dos o más variables. Se caracterizan porque primero se miden las variables y luego, mediante pruebas de hipótesis correlacionales y la aplicación de técnicas estadísticas, se estima la correlación. (Marroquín, R. 2009). En la presente investigación se buscará la correlación existente entre las cantidades de caucho reciclado triturado adicionado a la muestra y los costos correspondientes en la mejora del CBR del suelo.

Enfoques de investigación

Existen 03 enfoques de investigación, Enfoque Cuantitativo, Enfoque Cualitativo y el Enfoque Mixto de la Investigación (Otero, A. 2018). Para nuestro proyecto trabajaremos con el Enfoque Cuantitativo.

Enfoque Cuantitativo: Este enfoque cuantitativo trabaja sobre la base de una revisión de literatura que apunta al tema y da como conclusión un marco teórico orientador de la investigación. Estas recolecciones de datos derivan las hipótesis que serán sometidas a prueba para probar la veracidad del estudio. (Hernández, Fernández y Baptista, 2010, como se citó en Otero, A. 2018). En nuestra investigación se utilizará la recolección de valores numéricos para probar la hipótesis, además de comparar las variables mediante resultados numéricos obtenidos en los distintos ensayos de laboratorio en la determinación de las propiedades del suelo.

Variables

Variable Independiente: La variable independiente generan efecto a la variable dependiente, además tiene la cualidad de detallar la variable dependiente (Méndez 2009 como se citó en Arce E 2019, p.26). En el presente estudio la variable independiente es el caucho reciclado triturado que se aplica a la base granular en porcentajes de: 2%, 4%, 6% y 8%.

Variable Dependiente: Es el factor que el investigador estudia, determina y mide, para llegar a conocer el efecto que tendrá la variable independiente, la variable dependiente también es definida como variable salida (Vs) (Sánchez 2011, p,20 como se citó en Arce E 2019, p.26). La variable dependiente de la presente investigación es la capacidad de soporte de la base granular de una vía.

Tabla de Operacionalización de Variables.

OPERACIONALIZACION DE VARIABLES					
VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DEFINICION OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
VARIABLE INDEPENDIENTE. Aditivo caucho reciclado y costo.	La estabilización de suelos la definen como aquel mejoramiento de las propiedades físicas mediante los procedimientos mecánicos, incorporando productos sintéticos, naturales o químicos como por ejemplo el caucho granulado, es un complemento ideal para el desarrollo de los proyectos que provienen de los neumáticos reciclados. (Ato D y Celi L, 2019, p.22)	Las variables independientes del estudio es el caucho reciclado triturado que se aplicará a la muestra para luego mediante un proceso de mezclado con el material granular se obtenga las nuevas muestras en diferentes porcentajes compactarlas y medir la penetración para conocer la mejora en su resistencia. Por otro lado, se evaluará el costo de aplicación del caucho.	Porcentaje de Caucho triturado	2%, 4%, 6%, 8%.	El intervalo de % de caucho comprende $[0 \geq \% = 8]$, con $\% = 2n_0^4$
VARIABLE DEPENDIENTE. La capacidad de soporte de la base granular de una vía.	Es el esfuerzo que soportar un terreno bajo un peso de aplastamiento (Murga Y 2020, p.25)	Los resultados de las propiedades mecánicas (capacidad de soporte) de la estabilización de suelos de la base granular con la adición de caucho reciclado triturado, se ha de obtener en las condiciones más adversas, para la obtención del valor de la Relación de Soporte Relativo (CBR), se ha curado por 4 días sumergidos al agua las muestras para luego siguiendo el procedimiento según la norma obtener los valores de CBR. Además, se hará una correlación del caucho CBR con el costo.	Ensayo de Relación de soporte relativo (CBR)	Rango de valores de CBR en porcentajes (%)	El intervalo de % de CBR comprende $[2, 2.9, 2.3, 3, 3.5]$

*Tabla 2: Operacionalización de Variables
Fuente: Propia*

Población y muestra. Generalmente estos dos temas se tratan siempre juntos, aunque tienen sus diferencias, que conviene aclarar. Algunas veces a la población se define como universo entendiendo como un solo significado pero que según la orientación y

resultados tiene diferentes contenidos y tratamientos (Tamayo y Tamayo 2003, p.175). A continuación, se procederá a definir ambos temas de manera independiente puesto que son considerados en la presente investigación.

Población: Es la totalidad de fenómenos en estudio, incluye a la totalidad de unidades de análisis que integran dicho fenómeno las cuales deben cuantificarse integrando un terminado conjunto de entidades que participan con similar característica, y es población por cuanto constituye la totalidad de fenómenos de la investigación. (Tamayo y Tamayo 2003, p.176). En nuestro caso la población en estudio viene a ser cualquier pavimento flexible que se quiere utilizar en suelos similares al de la presente investigación.

Muestra: es una parte de la población, dicho en otras palabras, es una parte representativa del todo, por tanto, refleja las características que define la población del cual fue extraída. (Tamayo y Tamayo 2003, p.176). En nuestra investigación hemos utilizado una muestra probabilística o empírica.

Muestra No Probabilística: Conocidas como muestras dirigidas o intencionales, los elementos se eligen, pero no dependen de la probabilidad sino de las condiciones que te dan para hacer el muestreo, se obtienen con mecanismos y no aseguran la representación total de la población (Scharager y Reyes, 2001). La muestra en la presente investigación es no probabilística o empírica debido a que fueron extraídos en función a nuestra conveniencia.

Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

La recolección de datos se efectúa mediante la aplicación de los instrumentos diseñados en la metodología, utilizando una gran diversidad de métodos, técnicas y herramientas que pueden ser utilizadas por el investigador para desarrollar los sistemas de información, como la observación, la entrevista, la encuesta, los cuestionarios, los test, la recopilación documental, la observación, el diagrama de flujo, el diccionario de datos y otros (Behar-Rivero, 2008; Monje-Álvarez, 2011; Tamayo, 2003 como se citó en Gallardo E, 2017, p.72).

Técnica de correlación de datos: son los procedimientos e instrumentos que utilizamos para acceder al conocimiento que se usan en cada investigación; y están relacionadas con el método de la investigación (Rojas-Crotte, 2011; Sabino, 2002 como se citó en Gallardo E. 2017, p.18). En la presente investigación se hará un análisis correlacional entre las variables,

caucho reciclado triturado y el costo de preparación de la mezcla, para la mejora de la capacidad de soporte del suelo.

- **Coefficiente de correlación muestral:** la correlación existente se obtendrá mediante la relación lineal existente entre las dos variables a través de la covarianza de las mismas, cuando las variables no dependen de las unidades de medida se deberán expresar las desviaciones en unidades de desviación estándar, en este caso, a la covarianza muestral estandarizada se le denomina coeficiente de correlación muestral, la cual se denota usualmente por (r), expresándose de la siguiente manera:

Ecuación 7:

$$Corr(X, Y) \equiv r = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_i}{S_X} \right) \left(\frac{y_i}{S_Y} \right)$$

Donde:

$$S_X = \sqrt{\frac{\sum x_i^2}{n-1}} \quad y \quad S_Y = \sqrt{\frac{\sum y_i^2}{n-1}}$$

Por otro lado (r) se obtiene como el cociente de la covarianza muestral y los desvíos estándar de cada variable, de la siguiente manera:

Ecuación 8:

$$r = \frac{Cov(X, Y)}{S_X S_Y}$$

También el coeficiente de correlación lineal puede ser expresado de la siguiente manera:

Ecuación 9:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n y_i^2}}$$

(Lahura, E. 2003). En la presente investigación se utilizará esta fórmula para verificar el grado de correlación de las variables.

Instrumentos de recolección de datos: es el registro de datos observables representados verdaderamente en los conceptos o variables los cuales el investigador tiene en mente (Hernández, Fernández y Baptista, 2006. Como se citó en Tamayo y Tamayo 2006, p.65). En la presente investigación se describe el procedimiento realizado por cada tipo de ensayo realizado, se muestran más adelante.

Validez: Existen diferentes tipos de validez, pero todas tratan de verificar si en realidad medimos lo que nos proponemos medir. (Martínez M. 2006). Los ensayos y trabajo de gabinete se llevarán a cabo con sumo cuidado y responsabilidad, facultando así a los resultados de validez y seriedad, apoyados en los certificados de calidad y calibración del laboratorio, normados por la ASTM y la NTP.

Confiabilidad: El principal motivo que tiene la Confiabilidad es el que un investigador, siguiendo los mismos procedimientos descritos por otro investigador anterior y conduciendo el mismo estudio, pueda llegar a los mismos resultados y conclusiones (Martinez M., 2006). Respecto a la confiabilidad, cada equipo a utilizar contará con su respectivo certificado de calibración, cada procedimiento y ensayo se llevará a cabo amparados en la normativa vigente, bajo la observación del personal especializado del laboratorio.

Procedimientos

De acuerdo con el primer objetivo:

Determinación de las propiedades físicas del suelo natural (MC-MTC 2014)

Como primer paso se determinó las propiedades físicas del suelo de una de las vías del Norte del Perú, para lo cual es necesario la realización de sondeos (calicatas), para la obtención de muestras de suelo natural e inalterado perteneciente a la zona en estudio, para lo cual se procederá a realizar 3 calicatas con el fin de obtener 3 muestras de suelo natural.

Teniendo las muestras provenientes del sondeo, se procedió a realizar los ensayos demecánicas de suelos.

Granulometría (MTC E 107):

D10: tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 10% más fina del suelo. Recibe el nombre particular de diámetro efectivo.

D30: tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 30% más fina del suelo.

D60: tamaño máximo de las partículas que constituyen la porción 60% más fina del suelo. Coeficiente de uniformidad (Cu): Se refiere a la extensión de la curva granulométrica, es decir, a mayor tamaño de esta curva, se tendrá una mayor variedad de tamaños Coeficiente de curvatura (Cc): Indica si la curva es constante en cuanto a su curva granulométrica.

Equipos y materiales:

- Balanza electrónica.
- Recipientes.
- Tamices N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 50, N° 100, N° 200 y Fondo.

Procedimiento:

- En primer lugar, para la preparación de la muestra, se pesó la muestra, la cual posteriormente se dejará remojando en agua durante 24 horas.
- Pasadas las 24 horas, se lavó la muestra en un tamiz N° 200, para separar los finos de la muestra.
- Posteriormente, se colocó la muestra lavada en una tara y se ingresará al horno, por un tiempo de 24 horas.
- Después de dicho periodo de tiempo, se sacó la muestra del horno y se pesa.
- Se pasó la muestra por los tamices N° 4, N° 10, N° 20, N° 40, N° 50, N° 100, N° 200 y fondo.
- Se realizó el cálculo de porcentaje de material retenido y pasante por las mallas para poder determinar la curva granulométrica.

Determinación del contenido de humedad (MTC E 108):

Equipos y materiales:

- Horno eléctrico.
- Balanza.
- Tara.
- Tazón de aluminio.

Procedimiento:

- Primero se taró el tazón de aluminio limpio y seco que se va a utilizar para pesar la muestra.

- Luego se pesó 500 gr de muestra.
- Se colocó el tazón con la muestra en el horno por 24h.
- Después de haber transcurrido ese tiempo, se sacó el tazón del horno y se determinará el peso de la muestra seca.
- Finalmente se realizaron los cálculos pertinentes.

Determinación del Límite de los suelos (MTC E 110):

Equipos y materiales:

- Balanza con aproximación de 0.1 g.
- Tara a charola de aluminio.
- Cápsula de casa grande.
- Tamiz N°40.
- Espátula.
- Agua destilada.

Procedimiento:

Para los ensayos de límite plástico y líquido se tomaron las partículas que pasan el tamiz N° 40. Esta muestra se debió de sumergir en agua destilada por 24 horas, esto se hace porque cada suelo tiene limos y arcillas y 24 horas es el tiempo reglamentario para que la muestra de suelo se sature completamente. La cantidad de suelo que se debe de poner a saturar es de 100 gr aproximadamente, escogiendo 50 gr para límite líquido y límite plástico.

- Tener preparada la pasta de muestra de suelo en un recipiente con una humedad ligeramente menor al límite líquido.
- Se realizó una limpieza de la máquina de Casa grande, teniendo en cuenta que se encuentre seca, limpia y propiamente calibrada. No olvidar de secar después de limpiar.
- Se posicionó la cápsula en su posición para el ensayo.
- Se colocó la muestra esparciendo con la espátula hasta que tenga una altura de 1cm con el calibrador.
- Usando el acanalador separar la muestra de suelo en dos mitades según el eje de simetría de la cápsula.
- Se giró la manivela, según el número de golpes que se requiera, de manera uniforme a una velocidad de dos rev/s (2rev/seg). Respecto al número de

golpes se observa que se va cerrando el espaciamiento antes provocado.

- Se tomó una muestra de aproximadamente 5-15 g de suelo en la zona donde se cerró la masa de suelo y pesarla de inmediato para obtener su contenido de humedad, lo que permitirá obtener un punto en el gráfico semi-logarítmico de humedad vs número de golpes.
- Sobre un vidrio rugoso se colocó una muestra tomada inicialmente, en esta, se empieza a frotar y darle forma de gusanitos con un tamaño de 3 mm cada uno, esto se hace con el fin de quitarle la humedad, mas no la plasticidad.
- Se realizó el procedimiento hasta que se tenga unos 15 palillos de 3 mm cada uno y aproximadamente 5 cm. Se toma el peso de estos y se coloca al horno.

Gravedad Específica de sólidos de suelo (MTC E 113):

Equipos y materiales:

- Horno eléctrico, que mantenga la temperatura de 105° C.
- Balanza, con aproximación de 0.1 g.
- Tara o charola de aluminio.
- Agua destilada.
- Fiola.
- Tara Rectangular y Mazo.

Procedimiento:

Para este ensayo, se tomó una muestra de 600 gramos, y se deja en el horno por un tiempo de 24 horas. Para luego ser triturado en la tara rectangular, posterior a esto, se procedea tamizar la muestra triturada entre los tamices N°10 y N°40, se toma el material que pasa por la número 10 pero retenido en la 40. Una vez obtenido esta nueva muestra, se deposita en una fiola (previamente tarada). Y la fiola es llenada con agua destilada hasta la marca queesta presenta, y se procede a realizar movimientos circulares a la fiola, y también sumergirla en agua en ebullición. Este proceso se realiza las veces necesarias hasta que se diferencie los tipos de materiales presentes en nuestra muestra, para luego dejarlo reposar por un lapso de 24 horas, y finalmente retirar el agua, hasta que quede en la marca original de la fiola y así pesarla.

- Se separó 600 gramos.

- Se dejó en el horno (24 horas).
- Se trituró la muestra.
- Se volvió a pesar la muestra.
- Se pesó la fiola con el contenido de agua destilada.
- Se sumergió en el agua en ebullición y zarandear.
- Se dejó reposar.
- Se volvió a pesar con la fiola llena de agua de agua destilada (hasta el borde).
- Se dejó reposar por 24 horas.
- Se quitó los finos, otros materiales y agua (solo hasta la marca indicada en la fiola) y volver a pesar.
- Se realizó cálculos pertinentes.

De acuerdo al segundo objetivo:

Determinación las propiedades mecánicas del suelo natural

Proctor Modificado (Norma ASTM D1557)

Equipos y materiales:

- Tamiz N° 4, 3/8", 3/4".
- Bandejas.
- Martillo de compactación o pisón.
- Balanza.
- Cucharas.
- Recipientes o taras.
- Espátula.
- Molde cilíndrico metálico y extensión del molde (con su respectiva base metálica y tornillos mariposa).

Procedimiento:

- Se seleccionó el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B ó C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Se revisó el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.
- Se revisó que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo

y que sus partes no estén flojas o gastado. Realizar cualquier ajuste o reparación necesaria. Si los ajustes o reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.

- Se calibró de los aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.
- Se extrajo 30kg del suelo a ensayar.
- Se secó la muestra en su totalidad.
- Se extrajo del horno y trituró la muestra (si es que es el caso).
- Se utilizó tamiz N°4 y lo que pasa es la muestra por utilizar.
- Como la muestra estuvo demasiado húmeda, se redujo el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C. Como nuestra muestra se encontró seca no fue necesario aplicar este procedimiento.
- Utilizó el tamiz N°4 y nos quedamos con lo que se queda en la base.
- Homogeneizó la muestra y separar en tres fracciones de 3.5 kg.
- Cada muestra se dividió en 5 partes en una bandeja, las cuales se compactarán en las 5 capas con 25 golpes para cada una de ellas, siendo el molde de 101,6 mm (4 pulg).
- Se mezcló completamente cada fracción por separado agregando a cada fracción un % de agua diferente. Para nuestro ensayo utilizamos el 4,8, 12 % de humedad. (no deberá excederse del 4%).
- Se pesó y registró la masa del molde vacío sin collar.
- Se colocó el molde con su collar sobre una superficie sólida, en nuestro ensayo lo realizamos en el piso del laboratorio. Enseguida se llena el molde con la primera capa y se compacta, luego se hace lo mismo con 4 capas restantes.
- Cuidadosamente se retiró el collar y se procedió a enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. (Pesar el molde con el suelo compactado. Restar el peso

del molde para obtener el peso del suelo compactado solo. Determinar la densidad húmeda del suelo compactado dividiendo el peso del suelo por el volumen del molde.)

- Una parte de la muestra húmeda se utilizó para ser llevada al horno y obtener su % de humedad.
- Se introdujo dichas muestras al horno por 24 h. Resultados después del horno.
- Se realizó los cálculos pertinentes al ensayo.

CBR (Norma ASTM D 1883)

Equipos y materiales:

- Prensa para penetración de pistón.
- Molde metálico de $152,4\text{mm} \pm 0.66\text{ mm}$ ($6 \pm 0.026''$) de diámetro interior y de $177,8 \pm 0.46\text{ mm}$ ($7 \pm 0.018''$) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de 50.8 mm ($2.0''$) de altura y una placa de base perforada de 9.53 mm ($3/8''$) de espesor.
- Disco espaciador metálico.
- Pisón de compactación.
- Medidor de expansión.
- Pesas.

Procedimiento:

- Determinó la humedad óptima y máxima densidad del suelo (obtenido mediante el ensayo Proctor)
- Se añadió agua a la muestra hasta alcanzar la humedad óptima.
- Se procedió a compactar la muestra en los 3 moldes de CBR, se compactó en 3 capas por cada molde en golpes de 15, 30 y 60 por capa.
- Se enrazó la superficie de los moldes, se desmontaron y se volvieron a montar de manera invertida.
- Se sumergieron los moldes en agua.
- Se colocó la placa perforadora y el vástago, a su vez se colocaron los pesos requeridos.
- Se procedió a colocar el trípode sobre el molde, al borde.
- Se tomaron las medidas de las muestras durante el transcurso de 4 días.

- Se procedió a extraer las muestras del agua, y se dispusieron a secar.
- Se aplicó la carga sobre el pistón penetrante a través de la prensa CBR
- Se tomaron las lecturas de curva de presión penetración.
- Se procedió a formar las gráficas de densidad seca – índice CBR.

De acuerdo al tercer objetivo:

Determinación de las adiciones de caucho triturado

- Se determinó un punto de acopio de neumáticos en desuso, para aplicar la técnica dereciclado y reúso.
- Se trituró los neumáticos con el fin de conseguir el caucho en tamaño necesario para mezclar con el suelo.

De acuerdo al cuarto objetivo:

Determinación de las propiedades mecánicas del suelo adicionado

- Se procedió a mezclar el suelo en los porcentajes 2%, 4%, 6% y 8% respecto a lamasa total.

Proctor Modificado del suelo con adición de estabilizadores (Norma ASM D 1557)

Equipos y materiales:

- Tamiz N° 4, 3/8”, 3/4”.
- Bandejas.
- Martillo de compactación o pisón.
- Balanza.
- Cucharas.
- Recipientes o taras.
- Espátula.
- Molde cilíndrico metálico y extensión del molde (con su respectiva base metálica y tornillos mariposa).

Procedimiento:

- Se seleccionó el molde de compactación apropiado de acuerdo con el Método (A, B o C) a ser usado. Determinar y anotar su masa con aproximación a 1 gramo. Ensamblar el molde, base y collar de extensión. Se

revisó el alineamiento de la pared interior del molde y collar de extensión del molde. Ajustar si es necesario.

- Se revisó que el ensamblado del pisón esté en buenas condiciones de trabajo y que sus partes no estén flojas o gastado. Realizar cualquier ajuste o reparación necesaria. Si los ajustes o reparaciones son hechos, el martillo deberá volver a ser calibrado.
- Se calibró de los aparatos antes del uso inicial, después de reparaciones u otros casos que puedan afectar los resultados del ensayo, en intervalos no mayores que 1 000 muestras ensayadas o anualmente, cualquiera que ocurra primero; para los siguientes aparatos.
- Se extrajo 30kg del suelo a ensayar.
- Se secó la muestra en su totalidad.
- Se extrajo del horno y trituró la muestra (si es que es el caso).
- Se utilizó tamiz N°4 y lo que pasa es la muestra por utilizar.
- Como la muestra estuvo demasiado húmeda, se redujo el contenido de agua por secado al aire hasta que el material sea friable. El secado puede ser al aire o por el uso de un aparato de secado tal que la temperatura de la muestra no exceda de 60 °C. Como nuestra muestra se encontró seca no fue necesario aplicar este procedimiento.
- Utilizó el tamiz N°4 y nos quedamos con lo que se queda en la base.
- Homogeneizó la muestra y separar en tres fracciones de 3.5 kg.
- Cada muestra se dividió en 5 partes en una bandeja, las cuales se compactarán en las 5 capas con 25 golpes para cada una de ellas, siendo el molde de 101,6 mm (4 pulg).
- Se mezcló completamente cada fracción por separado agregando a cada fracción un % de agua diferente. Para nuestro ensayo utilizamos el 4,8, 12 % de humedad. (no deberá excederse del 4%).
- Se pesó y registró la masa del molde vacío sin collar.
- Se colocó el molde con su collar sobre una superficie sólida, en nuestro ensayo lo realizamos en el piso del laboratorio. Enseguida se llena el molde con la primera capa y se compacta, luego se hace lo mismo con 4 capas restantes.

- Cuidadosamente se retiró el collar y se procedió a enrasar el espécimen compactado, por medio de una regla recta a través de la parte superior e inferior del molde para formar una superficie plana en la parte superior e inferior del molde. (Pesar el molde con el suelo compactado. Restar el peso del molde para obtener el peso del suelo compactado solo. Determinar la densidad húmeda del suelo compactado dividiendo el peso del suelo por el volumen del molde.)
- Una parte de la muestra húmeda se utilizó para ser llevada al horno y obtener su % de humedad.
- Se introdujo dichas muestras al horno por 24 h. Resultados después del horno.
- Se realizó los cálculos pertinentes al ensayo.
- Se realizó todos los ensayos indicados para la muestra de suelo sin adición.
- Se comparó resultados obtenidos respecto a propiedades mecánicas del suelo adicionado en contraste con el suelo natural.

CBR del suelo con adición de estabilizadores (Norma ASTM D 1557)

Equipos y materiales:

- Prensa para penetración de pistón.
- Molde metálico de $152,4\text{mm} \pm 0,66\text{ mm}$ ($6 \pm 0,026''$) de diámetro interior y de $177,8 \pm 0,46\text{ mm}$ ($7 \pm 0,018''$) de altura, provisto de un collar de metal suplementario de $50,8\text{ mm}$ ($2,0''$) de altura y una placa de base perforada de $9,53\text{ mm}$ ($3/8''$) de espesor.
- Disco espaciador metálico.
- Pisón de compactación.
- Medidor de expansión.
- Pesas.

Procedimiento:

- Determinó la humedad óptima y máxima densidad del suelo (obtenido mediante el ensayo Proctor)
- Se añadió agua a la muestra hasta alcanzar la humedad óptima.

- Se procedió a compactar la muestra en los 3 moldes de CBR, se compactó en 3 capas por cada molde en golpes de 15, 30 y 60 por capa.
- Se enrazó la superficie de los moldes, se desmontaron y se volvieron a montar de manera invertida.
- Se sumergieron los moldes en agua.
- Se colocó la placa perforadora y el vástago, a su vez se colocaron los pesos requeridos.
- Se procedió a colocar el trípode sobre el molde, al borde.
- Se tomaron las medidas de altura durante el transcurso de 4 días.
- Se procedió a extraer las muestras del agua, y se dispusieron a secar.
- Se aplicó la carga sobre el pistón penetrante a través de la prensa CBR
- Se tomaron las lecturas de curva de presión penetración.
- Se procedió a formar las gráficas de densidad seca – índice CBR.

Aspectos Éticos

El presente documento redactado cumple con los principios de veracidad y autenticidad; el contenido que se desarrolló en los diferentes capítulos respeta las citas según APA, y conceptos que están debidamente detalladas en la referencia bibliográfica, haciendo referencia a los autores de la bibliografía utilizada para cada investigación. El trabajo que se realizó en campo es clasificado solo para el empleo en el presente estudio, cumpliendo con las normas nacionales e internacionales para los laboratorios de mecánica de suelos, brindando así seguridad sobre los resultados y procedimientos realizados bajo la guía de personal técnico. Se tuvo especial cuidado en verificar la calibración de los equipos utilizados en el laboratorio para garantizar la rigurosidad de los resultados, además la presente investigación cumple con los procedimientos del RNE en cada caso.

Limitaciones

En la presente investigación se tuvieron limitaciones durante la extracción de las muestras por motivos que al ser vía pública el lugar donde se abrieron las calicatas se interrumpió la vía y se tuvo que operar con cuidado para restituir dichas calicatas que los transeúntes lugareños nos reclamaban.

Durante la revisión bibliográfica para la presente investigación no se encontró mucha información referente al uso de caucho reciclado triturado, las cuales limitó la obtención de otros antecedentes.

Si bien es cierto que la utilidad de caucho reciclado triturado con fines de mejorar la base granular según la investigación han sido utilizados en subrasantes existían limitaciones en el uso de caucho para base granular no ha permitido comparar con otros costos como se ha desarrollado en la presente tesis sobre todo por el costo del caucho básicamente y por el tratamiento ambiental que requiere siendo difícil obtener en grandes cantidades.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

De acuerdo al objetivo general:

Determinar la correlación del impacto generado por la añadidura del caucho reciclado triturado en la capacidad de soporte y costo en soles de una base granular de una vía del norte del Perú.

ANÁLISIS CORRELACIONAL DE LAS VARIABLES

% Caucho	Costo por m2	COEFICIENTE DE CORRELACION (r)		
0	35.51	Coef.de.correl(c3:c7; d3:d7)		
2	49.49	r= 0.92		
4	49.49	El grado de correlación es FUERTE		
6	55.58			
8	57.35			

Figura 8: Análisis Correlacional de las Variables.
Fuente: Propia

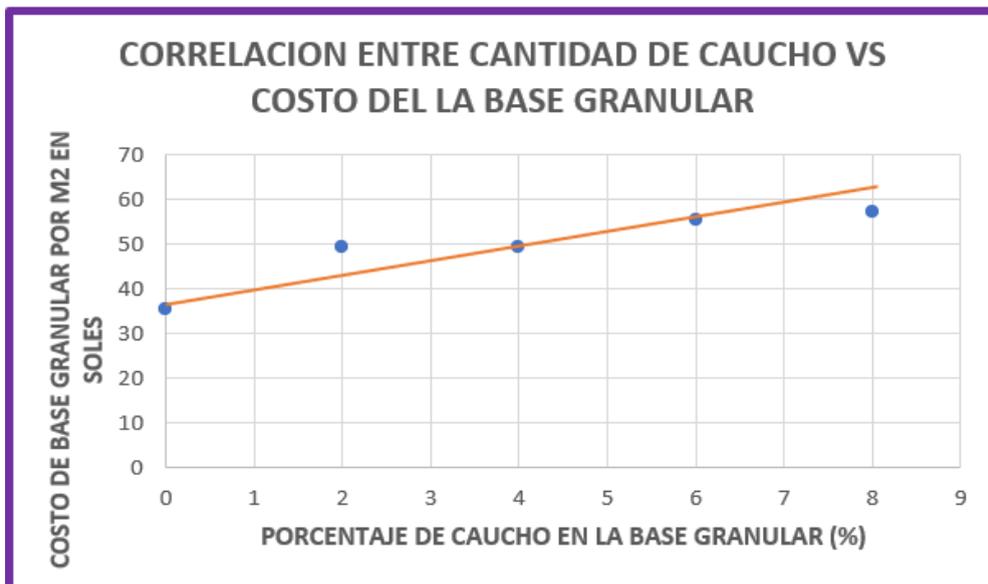


Figura 9: Correlación Cantidad de caucho vs Costo de base granular.
Fuente: Propia

De acuerdo al primer objetivo específico.

Determinar la capacidad de soporte de la base granular en su estado natural en una vía del norte del Perú.

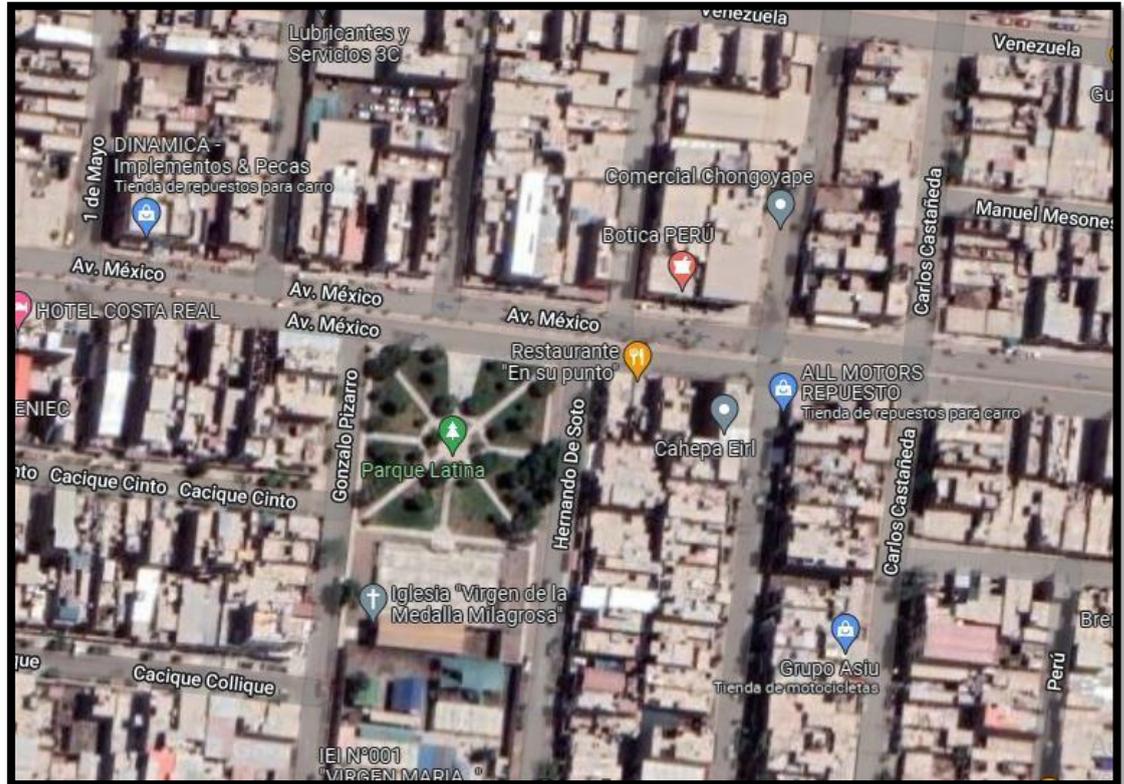


Figura 10: Zona de estudio, una de las vías del Norte del Perú
Fuente: Google Maps.



Figura 11: Ubicación de zona de sondeos.
Fuente: Google Maps.



*Figura 12: Ubicación especificada de cada calicata realizada.
Fuente: Google Maps.*



*Figura 13: Calicata 1.
Fuente: Propia.*



*Figura 14: Calicata 2.
Fuente: Propia.*



*Figura 15: Calicata 3.
Fuente: Propia.*



*Figura 16: Muestras extraídas.
Fuente: Propia.*



*Figura 17: Muestra del suelo empleado para el ensayo de granulometría
Fuente: Propia.*

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)					
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL : 500.00 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO : 95.06 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO : 500.00 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO : 43.7 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO : 20.18 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICIDAD : 23.54 %
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. AASHTO : A-7-6 (14)
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. SUCS : CL
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0	Arcilla de baja plasticidad con arena
Nº10	2.360	2.49	0.5	0.5	99.5	Ensayo Malla Nº200
Nº20	1.180	5.67	1.1	1.6	98.4	P.S. Seco P.S. Lav (%) 200
Nº40	0.600	5.31	1.1	2.7	97.3	% HUMEDAD P.S.H P.S.S. (%) Hum.
Nº50	0.300	7.35	1.5	4.2	95.8	
Nº100	0.150	43.01	8.6	12.8	87.2	MODULO DE FINEZA
Nº200	0.075	31.23	6.2	19.0	81.0	Coef. Uniformidad
< Nº 200	FONDO	404.94	81.0	100.0	0.0	Coef. Curvatura

Figura 18: Resultados de ensayos de granulometría de Muestra de Calicata 1.
Fuente: Propia.

Respecto a los ensayos de granulometría, para la primera muestra se analizó un peso total de 500 gramos de muestra de suelo extraída, procediendo a realizarse el respectivo tamizado para la conformación de la curva granulométrica, que se presenta a continuación:

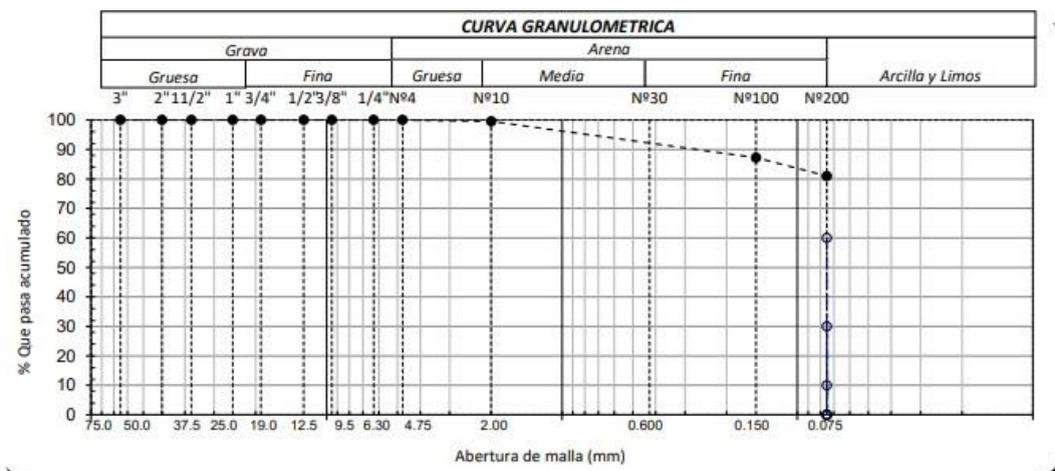


Figura 19: Curva granulométrica de suelos de Muestra de Calicata 1.
Fuente: Propia.

Respecto a la primera muestra de suelo natural, se obtuvieron resultados de Límite líquido igual a 43.72%, Límite plástico igual a 20.18% por lo tanto se obtuvo un Índice de plasticidad del 23.54%.

El suelo de la primera muestra natural recibió una clasificación SUCS de CL, denominándose de esta forma una “arcilla de baja plasticidad con arena”.

Calicata: C-01 Muestra: M-1 Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Datos de ensayo.	Límite Líquido			Límite Plástico		
	T-1	P-32	P-31			
N° de tarro				2		
N° de golpes	35	25	15			
Tarro + suelo húmedo	38.53	34.86	26.98	11.08		
Tarro + suelo seco	31.81	29.15	20.75	10.4		
Agua	6.72	5.71	6.23	0.68		
Peso del tarro	16.03	16.08	7.05	7.03		
Peso del suelo seco	15.78	13.07	13.7	3.37		
Porcentaje de humedad	42.59	43.69	45.47	20.18		

Figura 20: Resultados de ensayos de límites de Muestra de Calicata 1.
Fuente: Propia.

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	43.72
Límite Plástico	20.18
Índice de Plasticidad	23.54

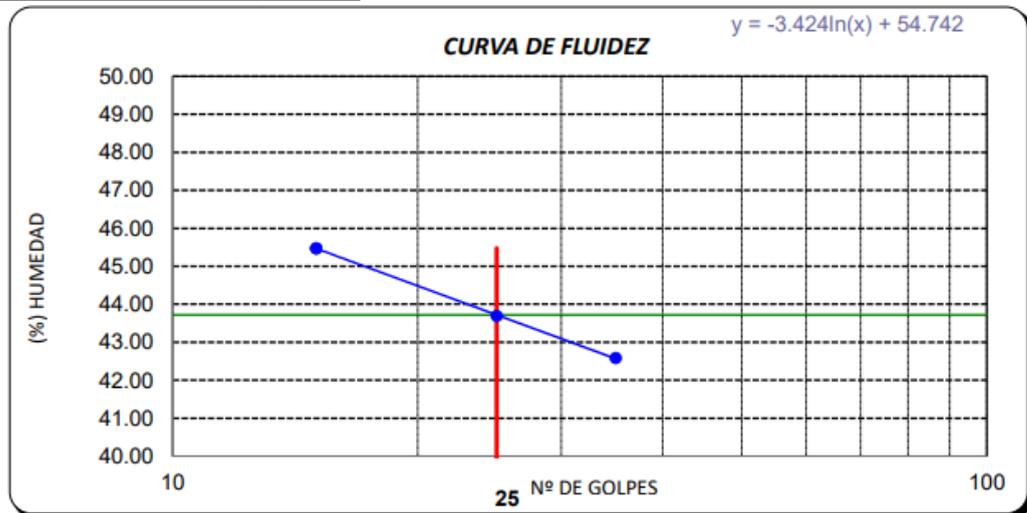


Figura 21: Gráfica correspondiente a límites de Muestra de Calicata 1.
Fuente: Propia.

TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
(Pul)	(mm)					
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL : 500.00 g.
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO : 76.27 g.
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO : 500.00 g.
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO : 51.3 %
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO : 22.83 %
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICIDAD : 28.45 %
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. AASHTO : A-7-6 (18)
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. SUCS : CH
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0	DESCRIPCION DEL SUELO :
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0	Arcilla de alta plasticidad con arena
Nº10	2.360	3.38	0.7	0.7	99.3	Ensayo Malla Nº200
Nº20	1.180	3.91	0.8	1.5	98.5	
N40	0.600	4.62	0.9	2.4	97.6	% HUMEDAD
Nº50	0.300	8.12	1.6	4.0	96.0	
Nº100	0.150	32.92	6.6	10.6	89.4	MODULO DE FINEZA
Nº200	0.075	23.32	4.7	15.3	84.7	Coef. Uniformidad
< Nº 200	FONDO	423.73	84.7	100.0	0.0	Coef. Curvatura

Figura 22: Resultados de ensayos de granulometría de Muestra de Calicata 2.
Fuente: Propia.

Respecto a los ensayos de granulometría, para la segunda muestra se analizó un peso total de 500 gramos de muestra de suelo extraída, procediendo a realizarse el respectivo tamizado para la conformación de la curva granulométrica, que se presenta a continuación:

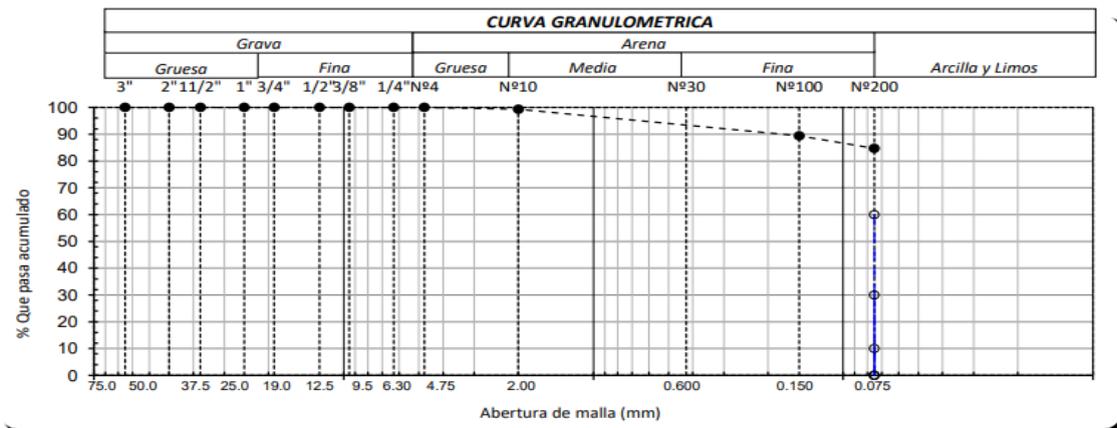


Figura 23: Curva granulométrica de suelos de Muestra de Calicata 2.
Fuente: Propia.

Respecto a la segunda muestra de suelo natural, se obtuvieron resultados de Límite líquido igual a 51.28%, Límite plástico igual a 22.83% por lo tanto se obtuvo un Índice de plasticidad del 28.45%.

El suelo de la primera muestra natural recibió una clasificación SUCS de CH, denominándose de esta forma una “arcilla de alta plasticidad con arena”.

Calicata: C-02 Muestra: M-1		Profundidad: 0.10m. - 1.50m.					
0		Límite líquido			Límite Plástico		
Datos de ensayo.							
N° de tarro		P-10	P-27	P-25	2		
N° de golpes		35	25	15			
Tarro + suelo húmedo		18.64	21.24	18.51	16.29		
Tarro + suelo seco		14.91	16.46	14.45	15.5		
Agua		3.73	4.78	4.06	0.79		
Peso del tarro		7.34	7.11	7	12.04		
Peso del suelo seco		7.57	9.35	7.45	3.46		
Porcentaje de humedad		49.27	51.12	54.50	22.83		

Figura 24: Resultados de ensayos de límites de Muestra de Calicata 2.
Fuente: Propia.

CONSISTENCIA FISICA DE LA MUESTRA	
Límite Líquido	51.28
Límite Plástico	22.83
Índice de Plasticidad	28.45

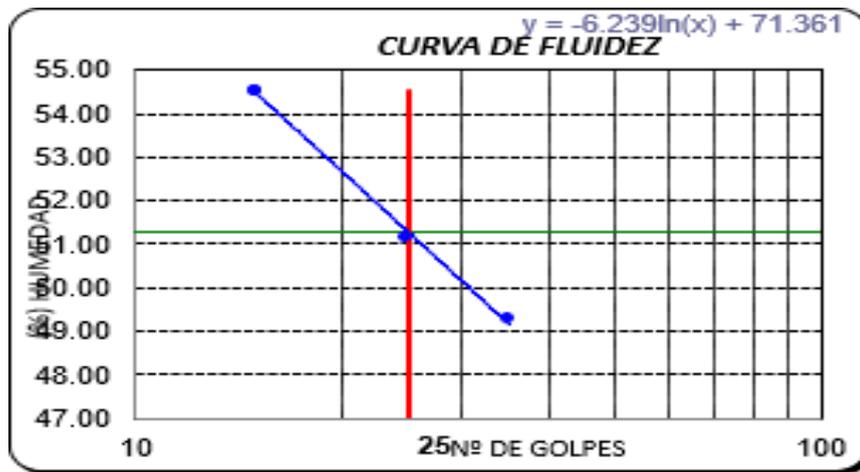


Figura 25: Gráfica correspondiente a límites de Muestra de Calicata 2.
Fuente: Propia.

ENSAYO		: SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico							
NORMA DE REFERENCIA		N.T.P. 399.128 : 1999							
Calicata: C-03		Muestra: M-1		Profundidad: 0.10m. - 1.50m.					
TAMICES		PESO RETENIDO	% RETENIDO PARCIAL	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA			
(Pul)	(mm)								
3"	75.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO TOTAL : 500.00 g.			
2 1/2"	63.000	0.0	0.0	0.0	100.0	PESO LAVADO : 101.93 g.			
2"	50.000	0.00	0.0	0.0	100.0	PESO FINO : 500.00 g.			
1 1/2"	37.500	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE LIQUIDO : 45.1 %			
1"	25.000	0.00	0.0	0.0	100.0	LIMITE PLASTICO : 20.47 %			
3/4"	19.000	0.00	0.0	0.0	100.0	INDICE PLASTICIDAD : 24.66 %			
1/2"	12.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. AASHTO : A-7-6 (15)			
3/8"	9.500	0.00	0.0	0.0	100.0	CLASF. SUCS : CL			
1/4"	6.300	0.00	0.0	0.0	100.0	DESCRIPCIÓN DEL SUELO :			
Nº4	4.750	0.00	0.0	0.0	100.0	Arcilla de baja plasticidad con arena			
Nº10	2.360	4.70	0.9	0.9	99.1	Ensayo Malla Nº200	P.S.Seco	P.S.Lav	(%) 200
Nº20	1.180	4.04	0.8	1.7	98.3				
Nº40	0.600	3.85	0.8	2.5	97.5	% HUMEDAD	P.S.H	P.S.S.	(%) Hum.
Nº50	0.300	6.21	1.2	3.7	96.3				
Nº100	0.150	44.02	8.8	12.5	87.5	MODULO DE FINEZA			
Nº200	0.075	39.11	7.8	20.3	79.7	Coef. Uniformidad			
< Nº 200	FONDO	398.07	79.6	99.9	0.1	Coef. Curvatura			

Figura 26: Resultados de ensayos de granulometría de Muestra de Calicata 3.
Fuente: Propia.

Respecto a los ensayos de granulometría, para la tercera muestra se analizó un peso total de 500 gramos de muestra de suelo extraída, procediendo a realizarse el respectivo tamizado para la conformación de la curva granulométrica, que se presenta a continuación:

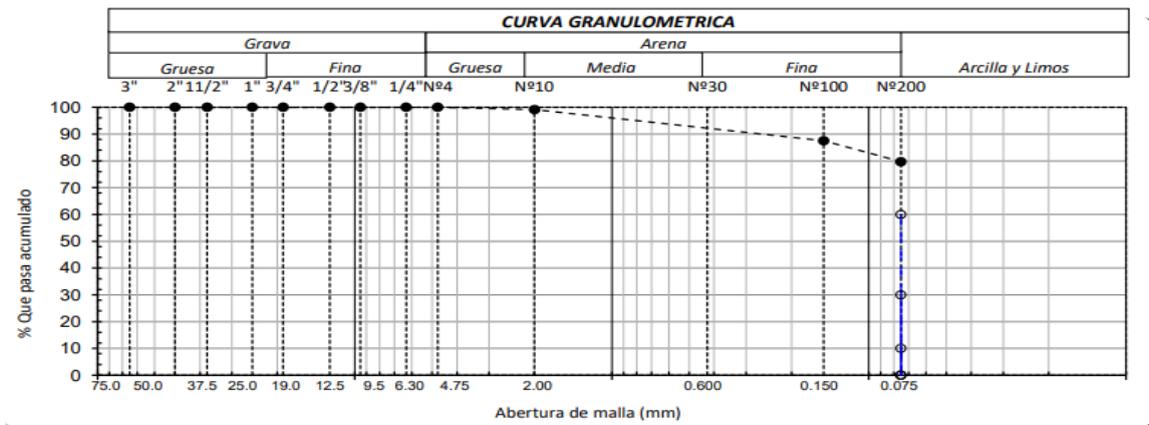


Figura 27: Curva granulométrica de suelos de Muestra de Calicata 3.
Fuente: Propia.

Calicata: C-03 Muestra: M-1		Profundidad: 0.10m. - 1.50m.					
0		Límite líquido			Límite Plástico		
Datos de ensayo.							
N° de tarro		P-10	P-27	P-25		2	
N° de golpes		35	25	15			
Tarro + suelo húmedo		20.07	21.35	17.49		18.72	
Tarro + suelo seco		16.14	16.94	14.25		17.58	
Agua		3.93	4.41	3.24		1.14	
Peso del tarro		7.26	7.2	7.25		12.01	
Peso del suelo seco		8.88	9.74	7		5.57	
Porcentaje de humedad		44.26	45.28	46.29		20.47	

Figura 28: Resultados de ensayos de límites de Muestra de Calicata 3.

Fuente: Propia

Respecto a la tercera muestra de suelo natural, se obtuvieron resultados de Límite líquido igual a 45.13%, Límite plástico igual a 20.47% por lo tanto se obtuvo un Índice de plasticidad del 24.66%.

El suelo de la primera muestra natural recibió una clasificación SUCS de CL, denominándose de esta forma una “arcilla de baja plasticidad con arena”.

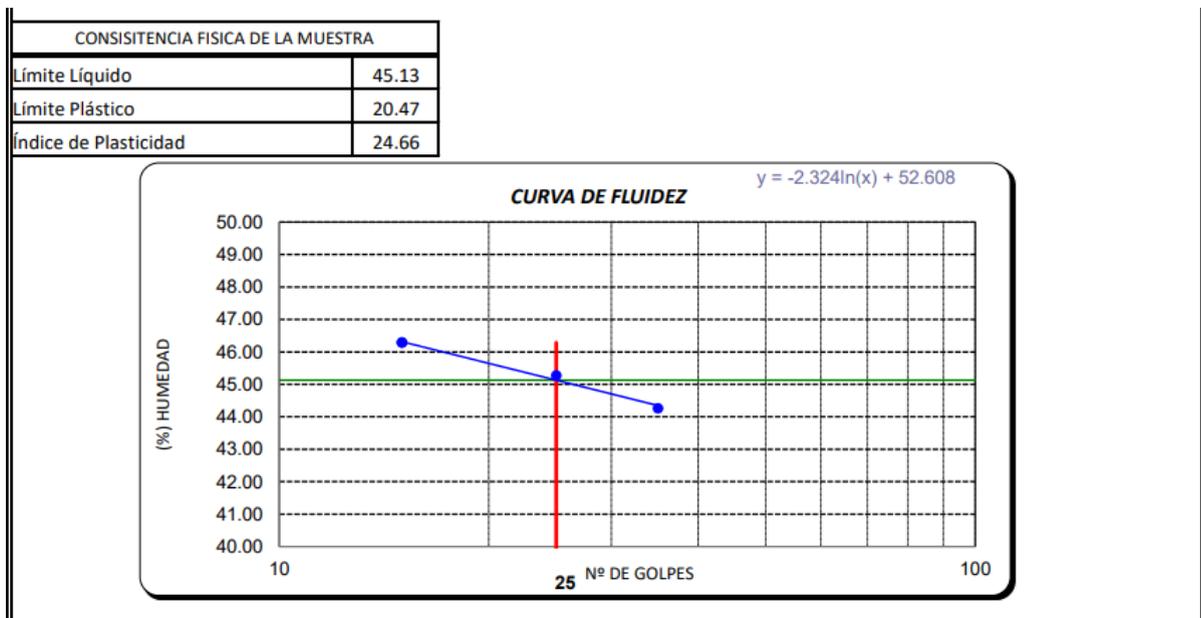


Figura 29: Gráfica correspondiente a límites de Muestra de Calicata 3.

Fuente: Propia.

Determinación de las propiedades mecánicas del suelo de una de las vías del Norte del Perú. Se realizaron los ensayos de Proctor y CBR, para así determinar la capacidad del suelo estudiado, para ello se siguió el procedimiento explicado en el respectivo capítulo de metodología. Cabe señalar que cada resultado responde a cada una de las muestras extraídas. Para la muestra 1, se obtuvieron los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.791 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 17%.

CALICATA : C-1
MUESTRA : M-1
PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g	5720	5840	5820	5830
Peso del molde	g	3858	3858	3858	3858
Peso del suelo húmedo compactado	g	1862	1982	1962	1972
Volumen del molde	cm ³	942.96	942.96	942.96	942.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.975	2.102	2.081	2.091

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g	219.77	194.91	188.63	180.24
Peso del suelo seco + tara	g	195.48	170.00	161.95	151.30
Peso de tara	g	28.35	28.21	28.51	27.86
Peso de agua	g	24.29	24.91	26.68	28.94
Peso de suelo seco	g	167.13	141.79	133.44	123.44
Contenido de agua	%	14.5	17.6	20.0	23.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.724	1.788	1.734	1.694

DENSIDAD MÁXIMA SECA	1.791	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	17.00	%

Figura 30: Resultados de ensayos de Proctor de Muestra de Calicata 1.
Fuente: Propia.

Con los resultados, se procedió a realizar la gráfica que representa el Proctor.

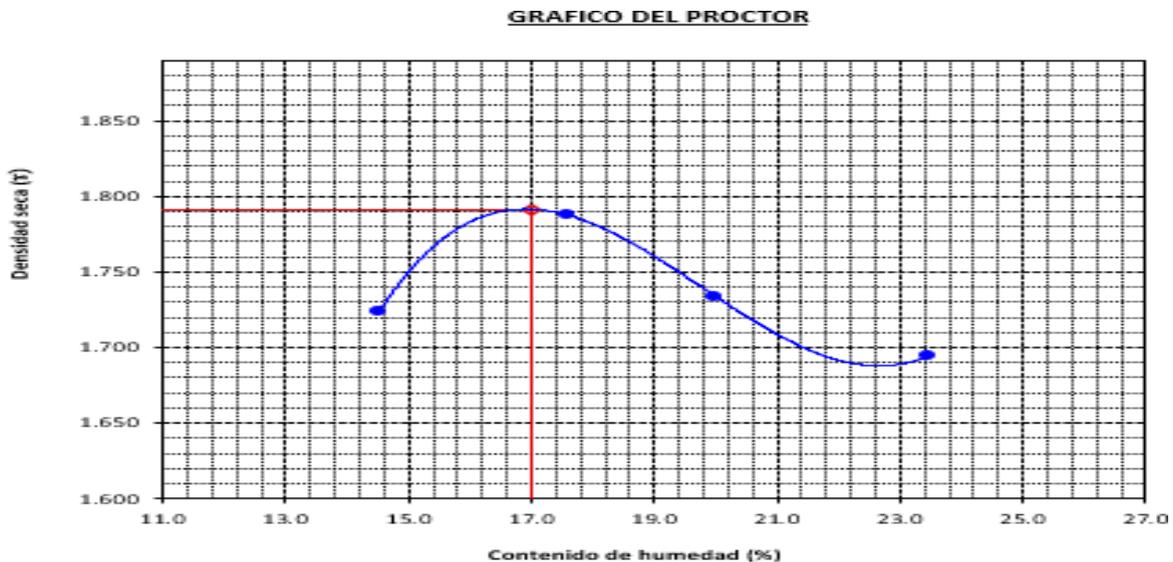


Figura 31: Gráfica de Proctor de muestra 1.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 1, se realizó el ensayo de CBR, trabajando con 3 tipos de porcentaje de máxima densidad seca (MDS), siendo estos 100%, 95% y 80%. Trabajando con números de golpes de 56, 25 y 12 respectivamente para condiciones saturadas y sin saturar, teniéndose los siguientes resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
Nº Molde	A-1		A-2		A-3	
Nº Capa	5		5		5	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	13164	13450	12808	13242	12984	13294
Peso de molde (g)	8746	8746	8704	8704	8918	8918
Peso del suelo húmedo (g)	4418	4704	4104	4538	4066	4376
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.084	2.219	1.943	2.149	1.924	2.071
% de humedad	17.30	23.89	18.29	29.04	20.03	27.78
Densidad seca (g/cc)	1.777	1.791	1.643	1.665	1.603	1.621

Figura 32: Resultados de compactación de CBR para muestra 1.

Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 1, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	212.7	212.7	4704	4704	190.0	190.0	4538	4538	213.4	213.4	4376.0	4376.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	185.4	185.4	4418	4418	165.0	165.0	4104	4104	182.5	182.5	4066.0	4066.0
Peso del Agua (gr.)	27.3	27.3	286.0	286.0	25.0	25.0	434.0	434.0	30.9	30.9	310.0	310.0
Peso del tarro (gr.)	27.83	27.83	0	0	28.35	28.35	0	0	28.52	28.52	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	157.6	157.6	4340.9	4340.9	136.6	136.6	4037.7	4037.7	154.0	154.0	4001.8	4001.8
% de humedad	17.30	17.30	23.89	23.89	18.29	18.29	29.04	29.04	20.03	20.03	27.78	27.78
Promedio de Humedad (%)	17.30		23.89		18.29		29.04		20.03		27.78	

Figura 33: Resultados de humedad de CBR para muestra 1.

Fuente: Propia.

Respecto a los resultados de expansión, se tiene:

EXPANSIÓN												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%	
15/10/2022	14.3	0	0.38	0	0	1.7	0	0	1.55	0	0	
16/10/2022	14.3	24	4.52	0.113		4.85	0.121		5.84	0.146		
17/10/2022	14.3	48	6.13	0.153		6.94	0.174		7.26	0.182		
18/10/2022	14.3	72	7.11	0.178		8.03	0.201		7.29	0.182		
19/10/2022	14.3	96	8.34	0.209		8.56	0.214		7.4	0.185		
			4.57	total	4.57	4.57	total	4.69	4.57	total	4.05	

Figura 34: Resultados de expansión de CBR para muestra 1.

Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 1, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE N° A-1				MOLDE N° A-2				MOLDE N° A-3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
				Lect. Dial	Kgf/ pulg2	kgf/ pulg2	%	Lect. Dial	Kgf/ pulg2	kgf/ pulg2	%	Lect. Dial	Kgf/ pulg2	kgf/ pulg2	%
mm.	pulg.	Lbf/in2													
0.000	0.000	0'00"		0	2			0	2			0	2		
0.640	0.025	0'30"		35	15			21	10			16	8		
1.270	0.050	1'00"		95	38			52	22			42	18		
1.910	0.075	1'30"		124	49			78	32			62	26		
2.540	0.100	2'00"	1000	204	80	50.6	5.1	96	38	33.9	3.4	84	34	31.6	3.2
3.810	0.150	3'00"		234	91			104	41			110	44		
5.080	0.200	4'00"	1500	254	99	97.5	6.5	142	56	58.2	3.9	124	49	50.3	3.4
6.350	0.250	5'00"		308	120			167	65			134	53		
7.620	0.300	6'00"		324	126			211	82			165	65		
10.160	0.400	8'00"		341	133			248	97			184	72		
12.700	0.500	10'00"		354	138			283	110			210	82		

Figura 35: Resultados de penetración de CBR para muestra 1.
Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

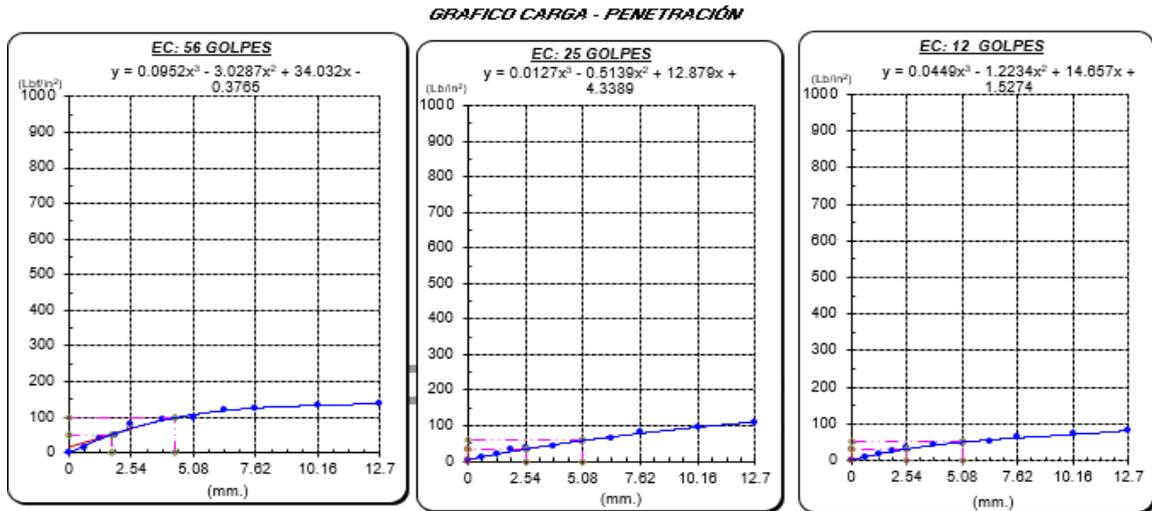


Figura 36: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 1.
Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 1, el valor correspondiente al CBR fue de 4%.

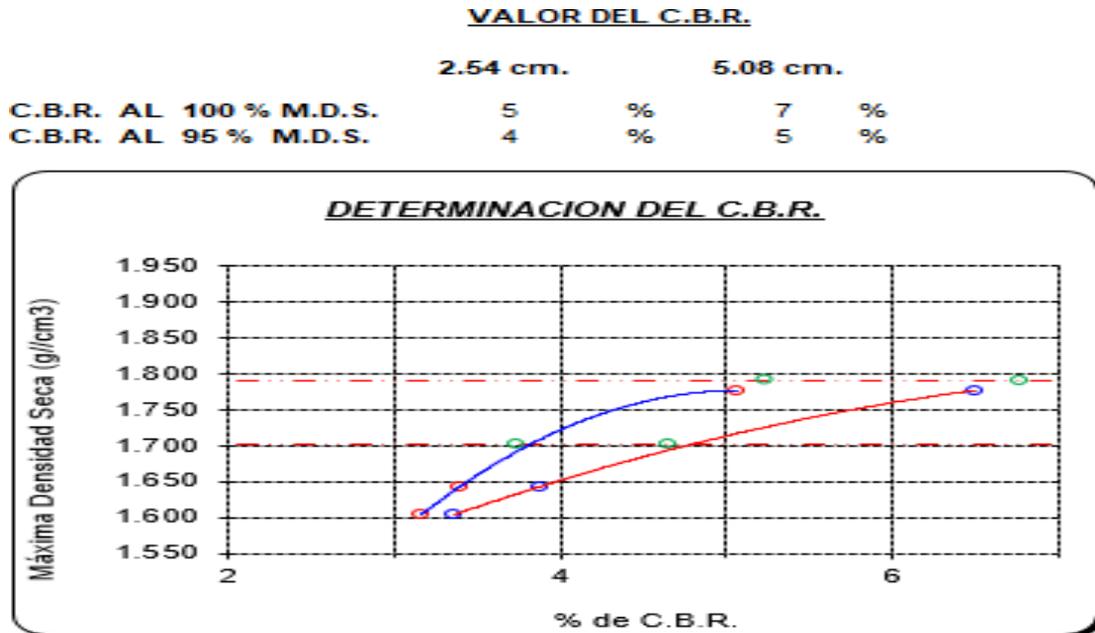


Figura 37: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 1.
Fuente: Propia.

Para la muestra 2, se obtuvieron los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.820 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 16.40%.

CALICATA:	C-2			
MUESTRA:	M-1	PROFUNDIDAD:	0.10 m - 1.50 m	

Número de ensayo	1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g. 5718	5854	5808	5748
Peso del molde	g. 3858	3858	3858	3858
Peso del suelo húmedo compactado	g. 1860	1996	1950	1890
Volumen del molde	cm ³ 942.96	942.96	942.96	942.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³ 1.973	2.117	2.068	2.004

CONTENIDO DE HUMEDAD				
Nº Recipiente	1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g. 362.90	176.21	215.96	173.08
Peso del suelo seco + tara	g. 324.61	156.92	185.08	148.39
Peso de tara	g. 50.02	38.34	28.33	38.10
Peso de agua	g. 38.29	19.29	30.88	24.69
Peso de suelo seco	g. 274.59	118.58	156.75	110.29
Contenido de agua	% 13.9	16.3	19.7	22.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³ 1.731	1.821	1.728	1.638

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.820	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	16.40	%

Figura 38: Resultados de ensayos de Proctor de Muestra de Calicata 2.
Fuente: Propia.

Con los resultados, se procedió a realizar la gráfica que representa el Proctor.

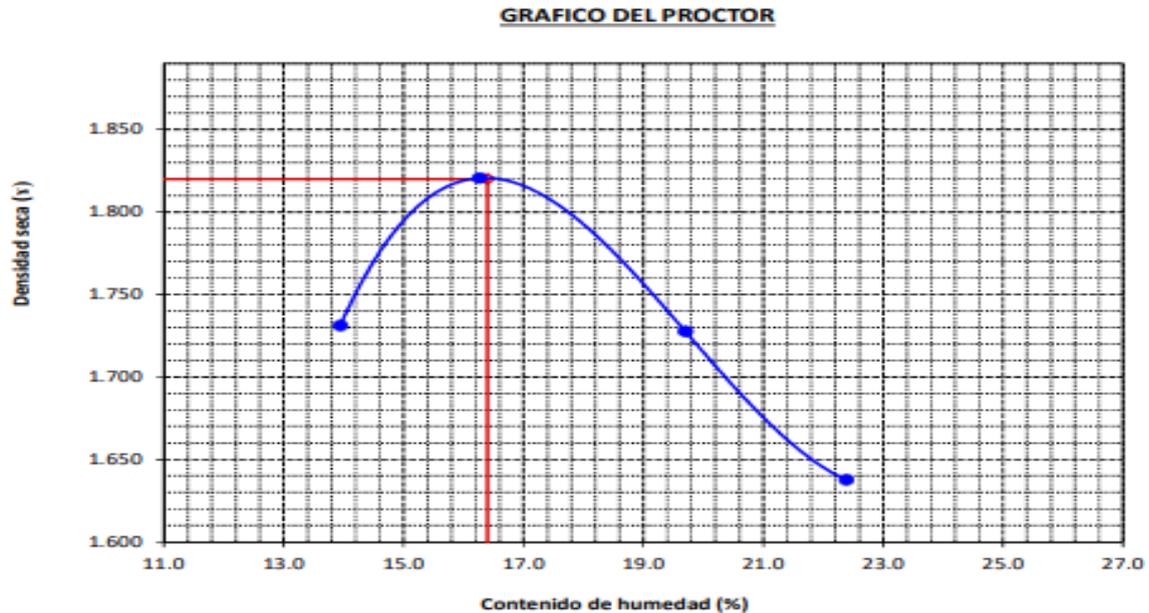


Figura 39: Gráfica de Proctor de muestra 2.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 2, se realizó el ensayo de CBR, trabajando con 3 tipos de porcentaje de máxima densidad seca (MDS), siendo estos 100%, 95% y 80%. Trabajando con números de golpes de 56, 25 y 12 respectivamente para condiciones saturadas y sin saturar, teniéndose los siguientes resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
Nº Molde	A-1		A-2		A-3	
Nº Capa	5		5		5	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	13310	13498	13328	13490	13018	13190
Peso de molde (g)	8790	8790	8836	8836	8778	8778
Peso del suelo húmedo (g)	4520	4708	4492	4654	4240	4412
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.132	2.221	2.127	2.204	2.007	2.088
% de humedad	16.35	20.59	17.05	20.72	17.26	21.38
Densidad seca (g/cc)	1.832	1.842	1.817	1.825	1.711	1.720

Figura 40: Resultados de compactación de CBR para muestra 2.
Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 2, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro N°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	158.1	158.1	4708	4708	186.5	186.5	4654	4654	187.8	187.8	4412.0	4412.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	140.8	140.8	4520	4520	165.1	165.1	4492	4492	165.8	165.8	4240.0	4240.0
Peso del Agua (gr.)	17.3	17.3	188.0	188.0	21.4	21.4	162.0	162.0	22.0	22.0	172.0	172.0
Peso del tarro (gr.)	34.88	34.88	0	0	39.7	39.7	0	0	38.27	38.27	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	105.9	105.9	4438.7	4438.7	125.4	125.4	4411.8	4411.8	127.5	127.5	4168.7	4168.7
% de humedad	16.35	16.35	20.59	20.59	17.05	17.05	20.72	20.72	17.26	17.26	21.38	21.38
Promedio de Humedad (%)	16.35		20.59		17.05		20.72		17.26		21.38	

Figura 41: Resultados de humedad de CBR para muestra 2.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 2, se tienen los resultados de expansión realizada para cada molde:

EXPANSIÓN												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%	
15/10/2022	14.3	0	1.42	0	0	2.38	0	0	6.27	0	0	
16/10/2022	14.3	24	3.5	0.088		5.4	0.135		8.95	0.224		
17/10/2022	14.3	48	4.93	0.123		7.66	0.192		12.59	0.315		
18/10/2022	14.3	72	4.55	0.114		8.35	0.209		13.22	0.331		
19/10/2022	14.3	96	6.2	0.155		8.98	0.225		13.66	0.342		
			4.57	total	3.39	4.57	total	4.92	4.57	total	7.48	

Figura 42: Resultados de expansión de CBR para muestra 2.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 2, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE N° A-1				MOLDE N° A-2				MOLDE N° A-3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
				Lect. Dial	Lbs/ pulq2	Lbs/ pulq2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulq2	Lbs/ pulq2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulq2	Lbs/ pulq2	%
mm.	pulg.	Lbf/in2													
0.000	0.000	0'00"		0	2			0	2			0	2		
0.640	0.025	0'30"		29	13			24	11			20	10		
1.270	0.050	1'00"		85	34			40	17			34	15		
1.910	0.075	1'30"		135	53			82	33			45	19		
2.540	0.100	2'00"	1000	178	70	39.9	4.0	86	35	35.1	3.5	56	23	22.3	2.2
3.810	0.150	3'00"		184	72			104	41			68	28		
5.080	0.200	4'00"	1500	196	77	78.7	5.2	142	56	56.3	3.8	73	30	31.0	2.1
6.350	0.250	5'00"		241	94			175	68			78	32		
7.620	0.300	6'00"		296	115			180	70			85	34		
10.160	0.400	8'00"		355	139			184	72			89	36		
12.700	0.500	10'00"		365	143			210	82			91	36		

Figura 43: Resultados de penetración de CBR para muestra 2.
Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

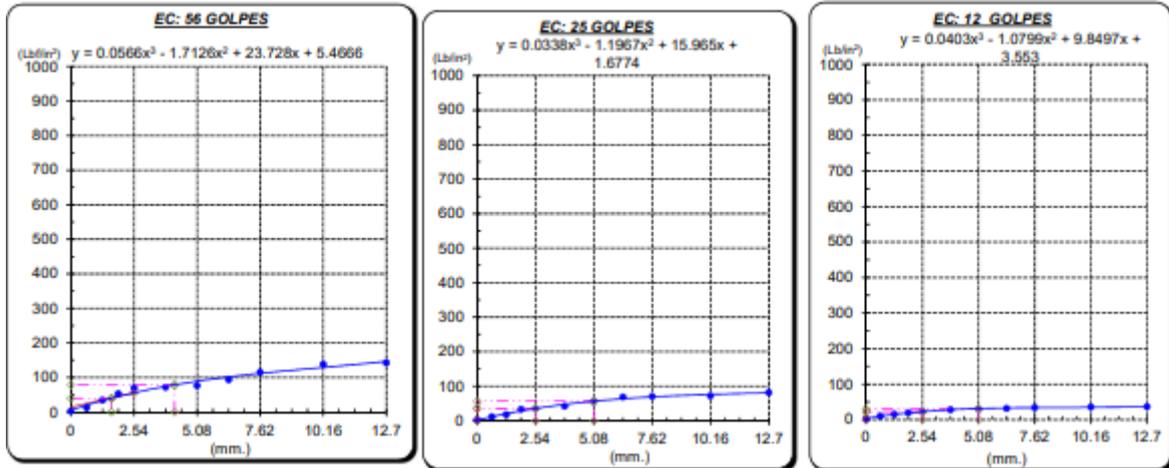


Figura 44: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 2.
Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 2, el valor correspondiente al CBR fue de 2%.

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.		5.08 cm.	
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	4	%	4	%
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	2	%	2	%



Figura 45: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 2.
Fuente: Propia.

Para la muestra 3, se obtuvieron los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.770 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 18.65%.

CALICATA : C-3
MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5738	5842	5778	5784
Peso del molde	g.	3858	3858	3858	3858
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1880	1984	1920	1926
Volumen del molde	cm ³	942.96	942.96	942.96	942.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.994	2.104	2.036	2.043

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	151.87	187.18	139.34	226.73
Peso del suelo seco + tara	g.	135.69	161.44	119.94	190.51
Peso de tara	g.	38.28	28.20	34.90	39.70
Peso de agua	g.	16.18	25.74	19.4	36.22
Peso de suelo seco	g.	97.41	133.24	85.04	150.81
Contenido de agua	%	16.6	19.3	22.8	24.0
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.710	1.763	1.658	1.647

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.770	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	18.65	%

Figura 46: Resultados de ensayos de Proctor de Muestra de Calicata 3.
Fuente: Propia.

Con los resultados, se procedió a realizar la gráfica que representa el Proctor.

GRAFICO DEL PROCTOR

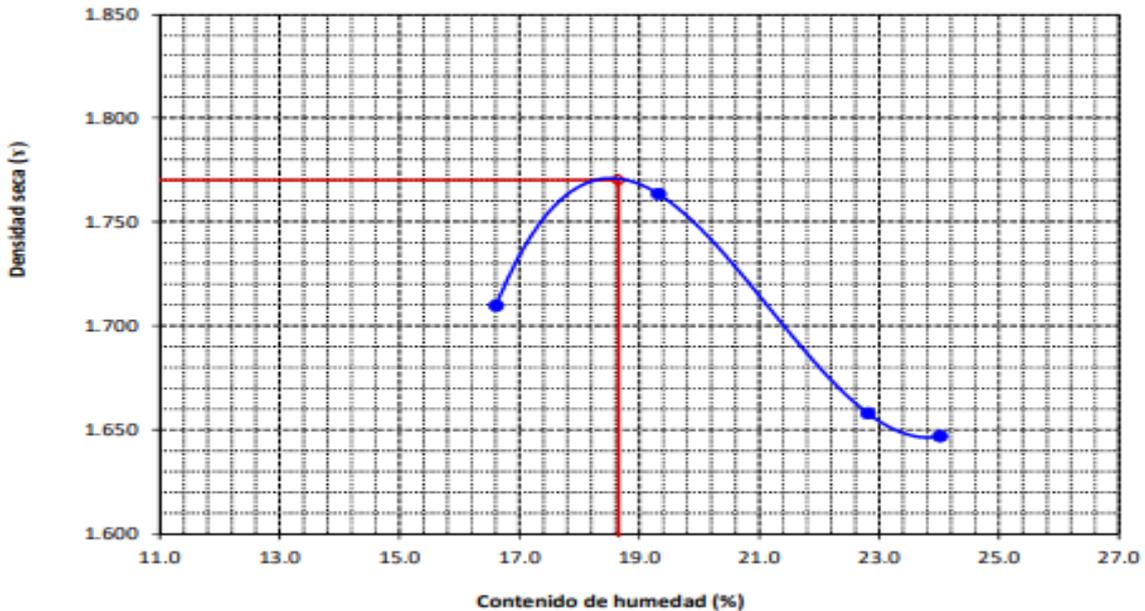


Figura 47: Gráfica de Proctor de muestra 3.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se realizó el ensayo de CBR, trabajando con 3 tipos de porcentaje de máxima densidad seca (MDS), siendo estos 100%, 95% y 80%. Trabajando con números de golpes de 56, 25 y 12 respectivamente para condiciones saturadas y sin saturar, teniéndose los siguientes resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
Nº Molde	A-1		A-2		A-3	
Nº Capa	5		5		5	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICIÓN DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	13502	13610	13170	13328	12778	12998
Peso de molde (g)	9020	9020	8794	8794	8600	8600
Peso del suelo húmedo (g)	4482	4590	4376	4534	4178	4398
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.114	2.165	2.072	2.147	1.977	2.081
% de humedad	17.52	19.97	17.11	20.79	17.75	23.10
Densidad seca (g/cc)	1.799	1.805	1.769	1.777	1.679	1.691

Figura 48: Resultados de compactación de CBR para muestra 3.
Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 3, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	212.2	212.2	4590	4590	229.5	229.5	4534	4534	216.9	216.9	4398.0	4398.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	184.8	184.8	4482	4482	200.1	200.1	4376	4376	188.5	188.5	4178.0	4178.0
Peso del Agua (gr.)	27.4	27.4	108.0	108.0	29.4	29.4	158.0	158.0	28.4	28.4	220.0	220.0
Peso del tarro (gr.)	28.43	28.43	0	0	28.28	28.28	0	0	28.49	28.49	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	156.3	156.3	4402.8	4402.8	171.9	171.9	4299.9	4299.9	160.0	160.0	4109.0	4109.0
% de humedad	17.52	17.52	19.97	19.97	17.11	17.11	20.79	20.79	17.75	17.75	23.10	23.10
Promedio de Humedad (%)	17.52		19.97		17.11		20.79		17.75		23.10	

Figura 49: Resultados de humedad de CBR para muestra 3.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se tienen los resultados de expansión realizada para cada molde:

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/09/2022	14.3	24	25	0.625	20	0.500	15	0.375	15	0.375	0.375
17/09/2022	14.3	48	26	0.650	20	0.500	15	0.375	15	0.375	0.375
18/09/2022	14.3	72	28	0.700	20	0.500	15	0.375	15	0.375	0.375
19/09/2022	14.3	96	29	0.725	20	0.500	15	0.375	15	0.375	0.375
			4.57	total	15.88	4.57	total	10.95	4.57	total	8.21

Figura 50: Resultados de expansión de CBR para muestra 3.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND. Lbf/in2	PENETRACIÓN											
				MOLDE N° A-1				MOLDE N° A-2				MOLDE N° A-3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%		
0.000	0.000	0'00"	0	2		0	2			0	2				
0.640	0.025	0'30"	20	10		19	9			12	7				
1.270	0.050	1'00"	21	10		20	10			18	9				
1.910	0.075	1'30"	43	18		38	17			26	12				
2.540	0.100	2'00"	72	29	13.4	1.3	65	27	9.4	0.9	42	18	6.5	0.7	
3.810	0.150	3'00"	136	54			114	45		95	38				
5.080	0.200	4'00"	182	71	29.3	2.0	175	68	23.2	1.5	87	35	14.9	1.0	
6.350	0.250	5'00"	257	100			248	97		192	75				
7.620	0.300	6'00"	321	125			290	113		138	54				
10.160	0.400	8'00"	377	147			330	129		278	108				
12.700	0.500	10'00"	380	148			352	137		315	123				

Figura 51: Resultados de penetración de CBR para muestra 3.
Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

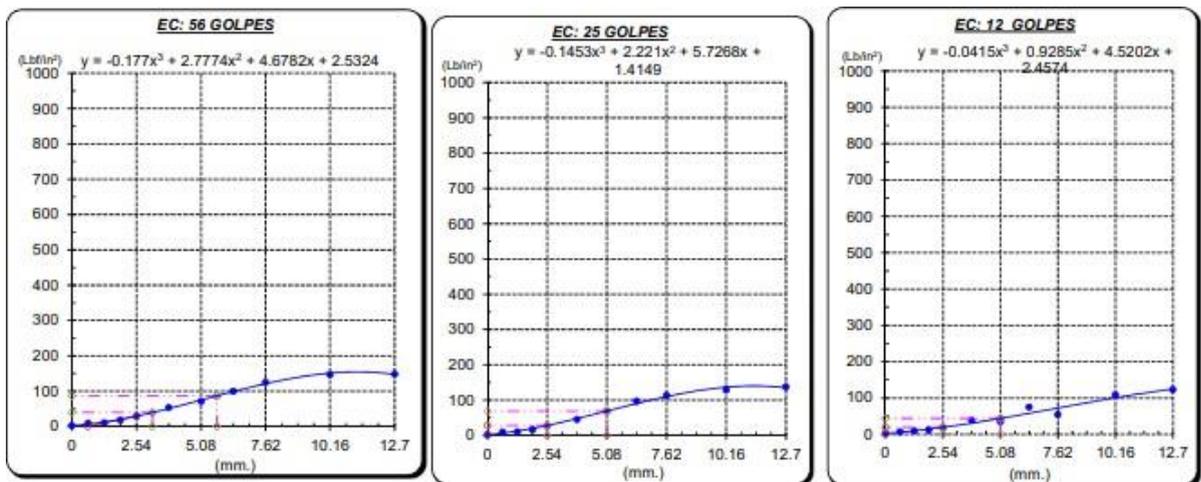


Figura 52: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3.
Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 3, el valor correspondiente al CBR fue de 1%.

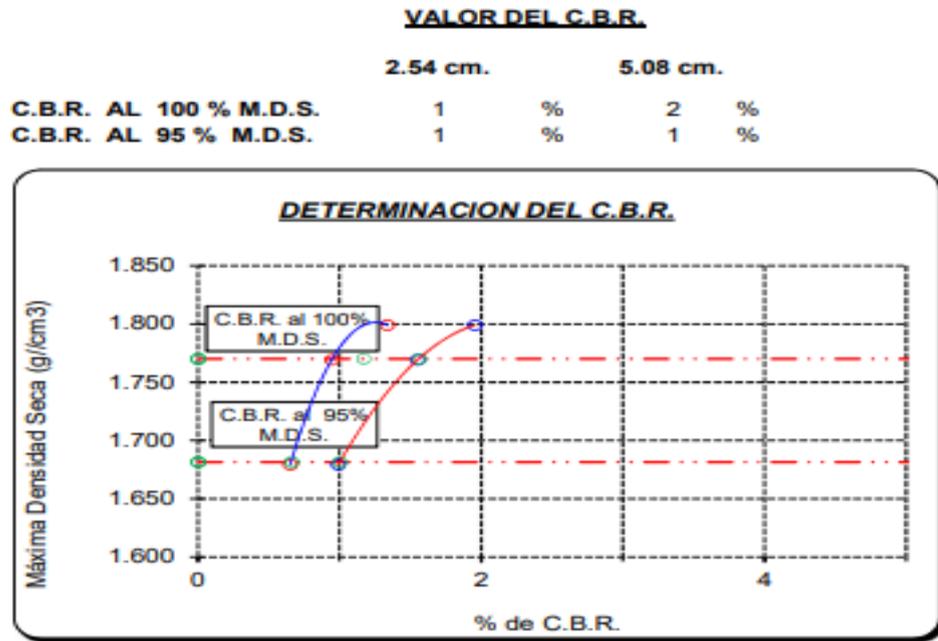


Figura 53: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3.
Fuente: Propia.

Preparación del Ensayo	CBR 1	CBR 2	CBR 3
Suelo natural	4%	2%	1%

Tabla 3: Resumen de Resultados de CBR
Fuente: Propia

De acuerdo con el segundo objetivo específico:

Determinar el costo de la base granular en su estado natural en una vía del norte del Perú.

En los ensayos de CBR para el suelo natural, se obtuvieron resultados igual a 4%, 2% y 1%; para cada muestra, cabe señalar que se tomaron los valores más desfavorables, es decir al 95% de la máxima densidad seca. Y se trabajó con el valor medio muestral, siendo este 2% de CBR.

Resultados del diseño con CBR de 2% de la muestra inalterable (sin caucho).



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO:	DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR PARA LA MEJORA DE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y SU ANALISIS DE COSTOS EN UN VIA DEL NORTE DEL PERU
OBJETIVO:	TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASHTO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{10^{0.4}} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 0.07$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(SN+1)^{5.19}}$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W ₁₈	= Tráfico (Número de ESAL's)
Z _r	= Desviación Estándar Normal
S _o	= Error Estándar Combinado de la predicción del T
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
P _o	= Serviciabilidad Inicial
P _t	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

ESTUDIO DE TRÁNSITO

1.1.- Tránsito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base 0) en veh/día.

n = Años del periodo de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico (*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un periodo consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES

WAL'=(W18)	900,000.00
WAL'=(W18)	9.00E+05

2. CONFIABILIDAD

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Tipo de Carretera	Trafico	Estadísticos acumulados	Nivel de Confiabilidad (R)
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	95%
	T ₂₀	150,000	75%
	T ₁₀	300,000	75%
	T ₂₀	500,000	80%
	T ₁₀	750,000	80%
	T ₂₀	1,000,000	85%
Rede de Carreteras	T ₁₀	1,000,000	85%
	T ₂₀	1,500,000	85%
	T ₁₀	1,500,000	85%
	T ₂₀	2,000,000	85%
	T ₁₀	2,000,000	85%
	T ₂₀	2,500,000	90%
	T ₁₀	2,500,000	90%
	T ₂₀	3,000,000	90%
	T ₁₀	3,000,000	90%
	T ₂₀	3,500,000	90%
	T ₁₀	3,500,000	90%
	T ₂₀	4,000,000	90%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la Guía AASHTO

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionada y el Rango de Tráfico

Tipo de Carretera	Traffic	Estadísticos acumulados	Desviación Estándar Normal (Zr)
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	-1.305
	T ₂₀	150,000	-1.024
	T ₁₀	300,000	-1.024
	T ₂₀	500,000	-1.042
	T ₁₀	750,000	-1.042
	T ₂₀	1,000,000	-1.042
Rede de Carreteras	T ₁₀	1,000,000	-1.024
	T ₂₀	1,500,000	-1.024
	T ₁₀	1,500,000	-1.024
	T ₂₀	2,000,000	-1.042
	T ₁₀	2,000,000	-1.042
	T ₂₀	2,500,000	-1.042
	T ₁₀	2,500,000	-1.042
	T ₂₀	3,000,000	-1.042
	T ₁₀	3,000,000	-1.042
	T ₂₀	3,500,000	-1.042
	T ₁₀	3,500,000	-1.042
	T ₂₀	4,000,000	-1.042

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la Guía AASHTO

Página

R (%) = 80.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -0.842

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado S_o, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
En construcción nueva	0.45

S_o = 0.450

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Servicio Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

$$P_o = 3.8$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (M_r)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$CBR = 2 \%$$

$$M_r = 3361.53 \text{ PSI}$$

$$\text{Número Estructural requerido } SN = 333$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente igual a (Ecuación II):

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) - Z_r \times S_o + 0.20 + 0.07$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r)$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
$a_{1,2,3}$	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase
$d_{1,2,3}$	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
$m_{2,3}$	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m₂ = 1.15

m₃ = 1

Espesor de capa Superficial **D1 = 5.00 Cm**

Espesor de Base **D2 = 30.00 Cm**

Espesor de Subbase **D3 = 30.00 Cm**

Número Estructural requerido **SN = 3.967**

Número Estructural calculado **SN = 4.054** Comparando ambos "SN" **CUMPLE**

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

	Pulg.	Cm.
Losa de Cº Asfáltico	e = 0.020	5.00
Base Granular	e = 0.118	30.00
Subbase granular	e = 0.118	30.00

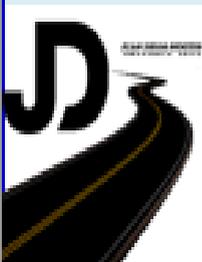
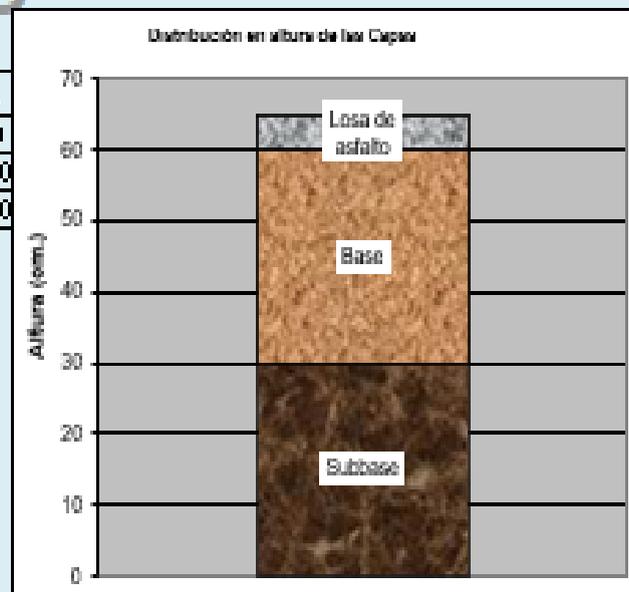


Figura 54: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93

Fuente: Juan Diego Benites

Partida	01.01.01	BASE GRANULAR INALTERADO				
Rendimiento:	m2/día= 14.00	EQ=14.00	Costo unitario por: m2			
Código	Descripción del Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Mano de Obra					18.10
1.01	PEON	hh	1.00	0.57	18.60	10.63
1.02	OPERARIO	hh	0.50	0.29	26.15	7.47
2	Materiales					16.50
2.1	MATERIAL DE BASE	Kg		432.04	0.04	16.50
3	Equipos y herramientas					
3.1	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5%		0.91
						35.51

Figura 55: Resultado del costo por m2 de Base Granular Inalterado con CBR 2%, e=0.30m
Fuente: Propia

De acuerdo con el tercer objetivo específico:

Determinar la capacidad de soporte de la base granular con añadidura de caucho triturado y reciclado en una vía del norte del Perú,

Resultados de CBR de muestras con adición de caucho en los porcentajes de: 2%, 4%, 6% y 8%.



Figura 56: Neumáticos desechados.
Fuente: Propia.

Los neumáticos encontrados en estado de desechos, pertenecían a un taller de venta y reparación de neumáticos, donde se nos obsequió los necesarios para nuestra investigación. Cabe señalar que así como este punto, existen distintos lugares en el Norte en donde se

pueden reciclar neumáticos para otros usos como investigación.

Con los neumáticos se procedió a realizar el proceso de triturado del mismo, obteniendo la materia en el estado requerido, para fines de la investigación se obtuvo un total de 15 kg de triturado de caucho.



Figura 57: Triturado de caucho de neumáticos de autos
Fuente: Propia.



Figura 58: Triturado de caucho
Fuente: Propia.

Para el diseño 1, trabajado con 2% de adición de caucho, se trabajaron 3 muestras, obteniendo los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Para la muestra 1, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.800 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 18.6%.

		Arcilla + 2% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5320	5465	5490	5510
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad húmeda	(g/cm ³)	1.970	2.129	2.156	2.178
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo húmedo	(g)	245.6	234.5	215.6	210.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	216	203	183	175
8.- Peso del agua	(g)	29.6	31.5	32.6	35.5
9.- Peso de la tara	(g)	24.5	30.6	30.2	31.2
10.- Peso de suelo seco	(g)	191.5	172.4	152.8	143.8
11.- Contenido de humedad	(%)	15.5	18.3	21.3	24.7
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.71	1.80	1.78	1.75

Máxima Densidad Seca	1.800 g/cm ³
Óptimo Contenido de Humedad	18.6 %

Figura 59: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 1.
Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

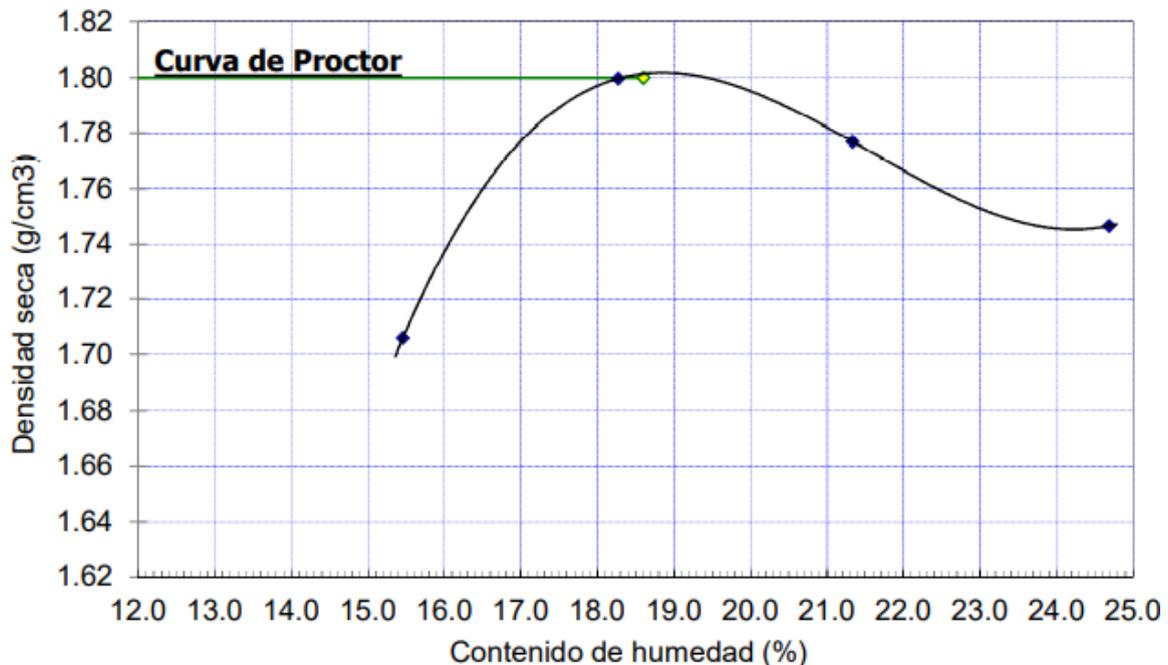


Figura 60: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 1.
Fuente: Propia.

Para el diseño 2, trabajado con 4% de adición de caucho, se trabajaron 3 muestras, obteniendo los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Para la muestra 1, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.816 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 18.0%.

		Arcilla + 4% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5390	5480	5480	5510
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad húmeda	(g/cm ³)	2.046	2.145	2.145	2.178
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo húmedo	(g)	214.5	189.5	195.4	263.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	189	165	166	217.5
8.- Peso del agua	(g)	25.5	24.5	29.4	46.0
9.- Peso de la tara	(g)	24.5	30.6	30.2	31.2
10.- Peso de suelo seco	(g)	164.5	134.4	135.8	186.3
11.- Contenido de humedad	(%)	15.5	18.2	21.6	24.7
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.77	1.81	1.76	1.75

Máxima Densidad Seca 1.816 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad 18.0 %

Figura 65: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 2.

Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

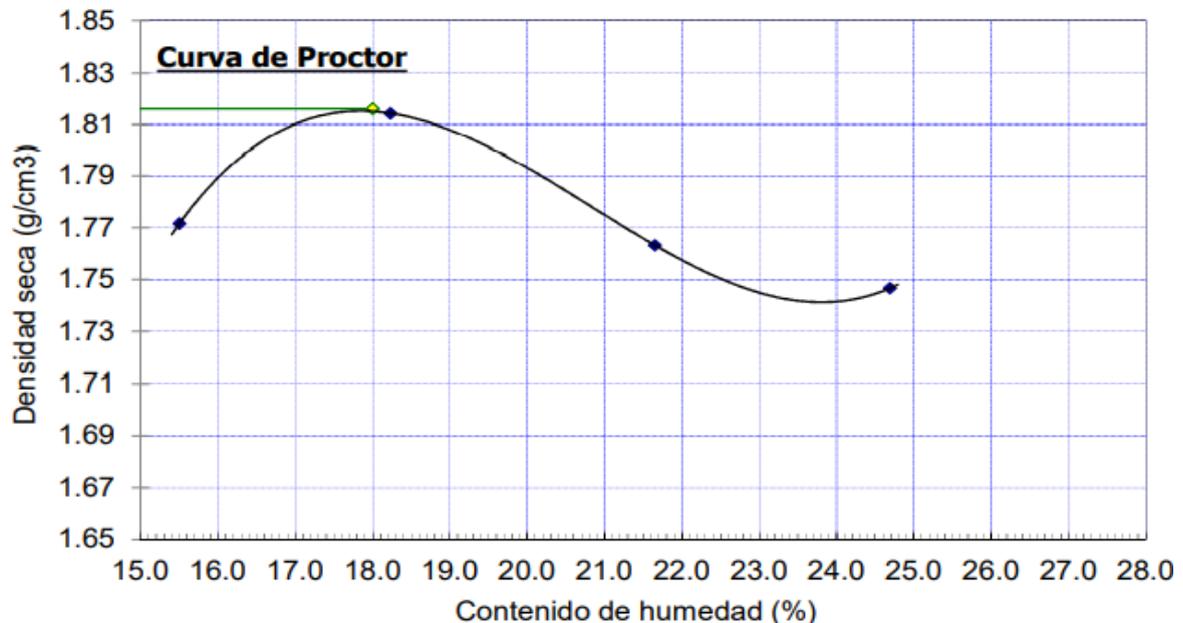


Figura 66: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 2.

Fuente: Propia.

Para la muestra 2 del diseño 2, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.820 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 18.4%.

		2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 4% de Caucho C-02 M - 1			
Volumen de molde		2114.0 cm ³	911.9				
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5320	5490	5450	5430	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumne del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.970	2.156	2.112	2.090	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	214.5	232.1	221.4	216.5	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	195	208	196	188.5	
8.-	Peso del agua	(g)	19.5	24.1	25.4	28.0	
9.-	Peso de la tara	(g)	72.2	76.8	76.4	72.0	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	122.8	131.2	119.6	116.5	
11.-	Contenido de humedad	(%)	15.9	18.4	21.2	24.0	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.70	1.82	1.74	1.69	

Máxima Densidad Seca 1.820 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 18.4 %

Figura 67: Resultados Proctor muestra 2 – diseño 2.
 Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

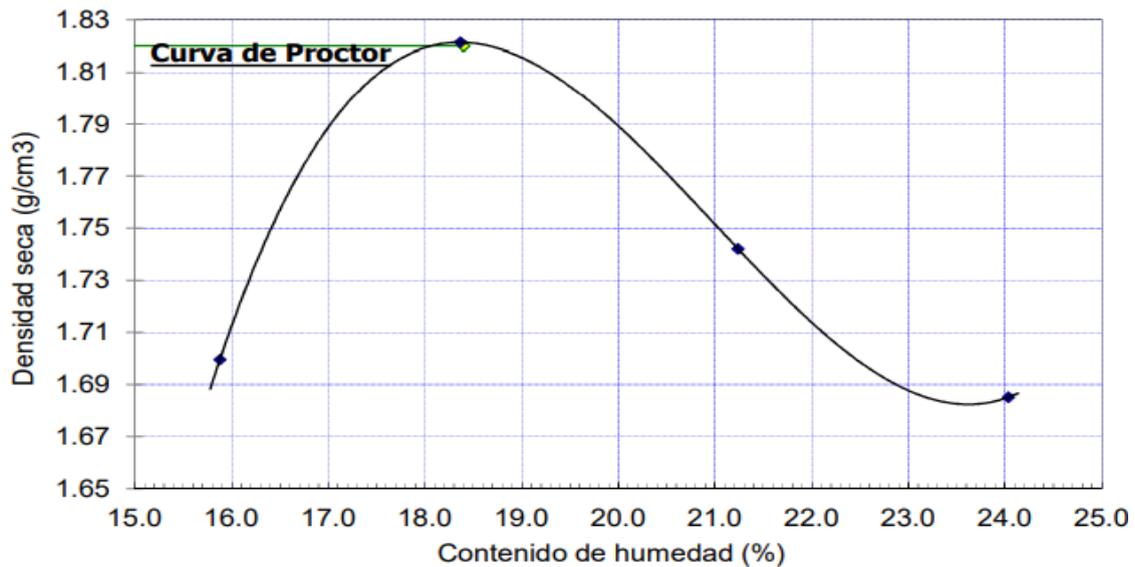


Figura 68: Curva de Proctor de muestra 2 – diseño 2.
 Fuente: Propia.

Para la muestra 3 del diseño 2, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.806 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 17.5%.

Volumen de molde		2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 4% de Caucho C-03 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5310	5450	5465	5450	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumne del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.959	2.112	2.129	2.112	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	195.5	265.5	210.4	198.8	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	175	233	184	166	
8.-	Peso del agua	(g)	20.5	32.5	26.4	32.8	
9.-	Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	142.5	190.4	131.4	140.4	
11.-	Contenido de humedad	(%)	14.4	17.1	20.1	23.4	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.71	1.80	1.77	1.71	

Máxima Densidad Seca 1.806 g/cm³
 Óptimo Contenido de Humedad 17.5 %

Figura 69: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 2.
 Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

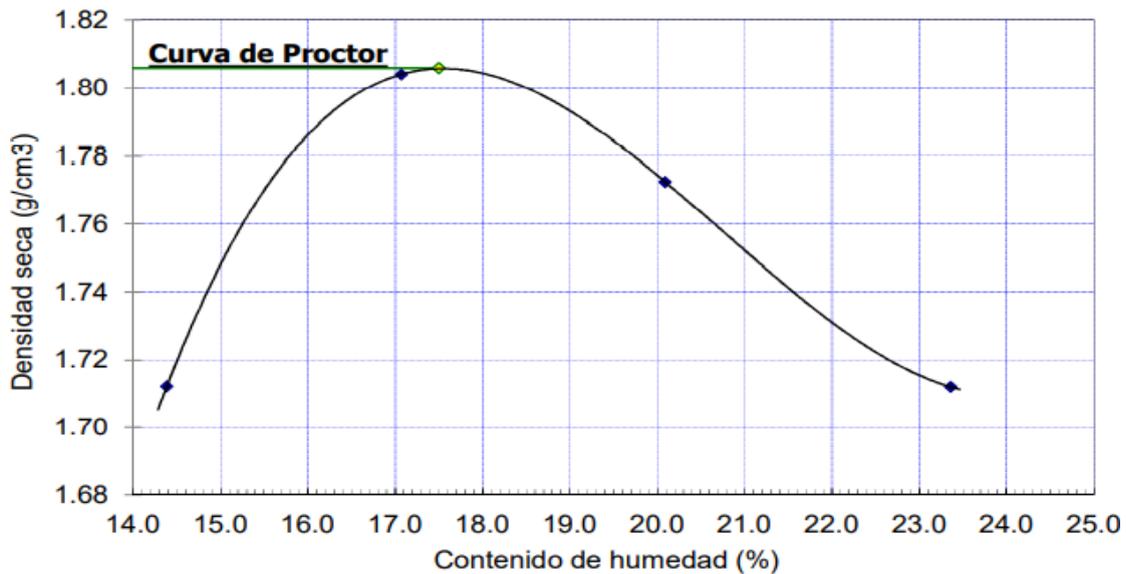


Figura 70: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 2.
 Fuente: Propia.

Para el diseño 3, trabajado con 6% de adición de caucho, se trabajaron 3 muestras, obteniendo los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Para la muestra 1, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.819 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 19.0%.

		Arcilla + 6% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5342	5490	5510	5480
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad húmeda	(g/cm ³)	1.994	2.156	2.178	2.145
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo húmedo	(g)	198.8	210.1	220.4	198.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	176	182	187	165.9
8.- Peso del agua	(g)	22.8	28.1	33.4	32.6
9.- Peso de la tara	(g)	24.5	30.6	30.2	31.2
10.- Peso de suelo seco	(g)	151.5	151.4	156.8	134.7
11.- Contenido de humedad	(%)	15.0	18.6	21.3	24.2
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.73	1.82	1.80	1.73

Máxima Densidad Seca 1.819 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad 19.0 %

Figura 71: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 3.
Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

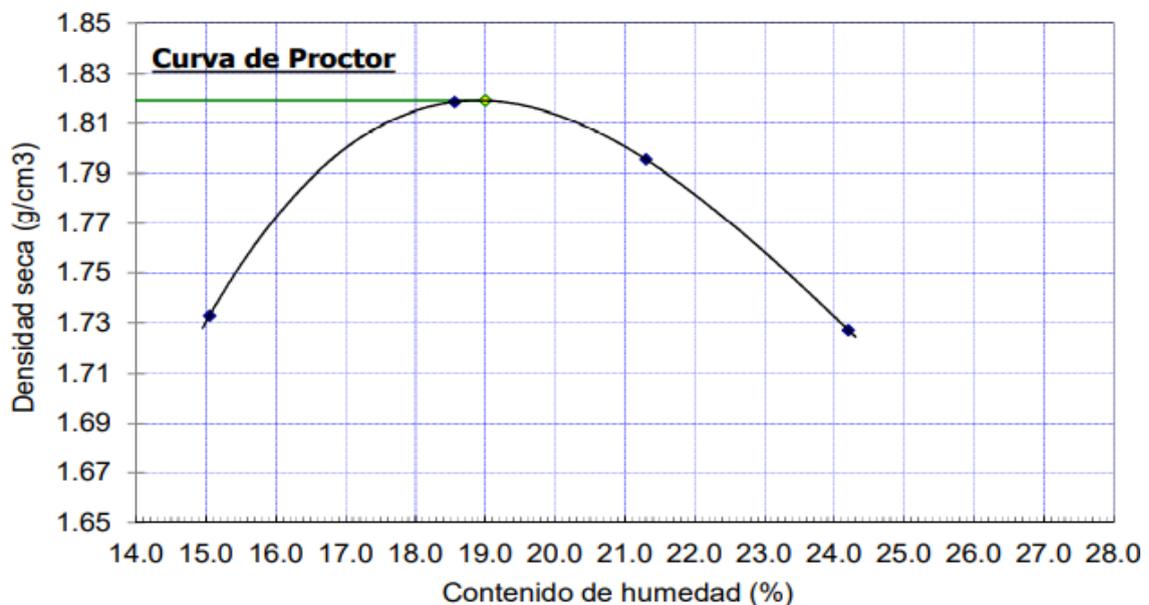


Figura 72: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 3.
Fuente: Propia.

Para la muestra 2 del diseño 3, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.774 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 18.9%.

Volumen de molde		2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 6% de Caucho C-02 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5290	5450	5410	5430	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumne del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.937	2.112	2.068	2.090	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	245.1	198.5	216.5	285.6	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	221	179	191	242	
8.-	Peso del agua	(g)	24.1	19.5	25.5	43.6	
9.-	Peso de la tara	(g)	72.2	76.8	76.4	72.0	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	148.8	102.2	114.6	170	
11.-	Contenido de humedad	(%)	16.2	19.1	22.3	25.6	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.67	1.77	1.69	1.66	

Máxima Densidad Seca 1.774 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 18.9 %

Figura 73: Resultados Proctor muestra 2 – diseño 3.
 Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

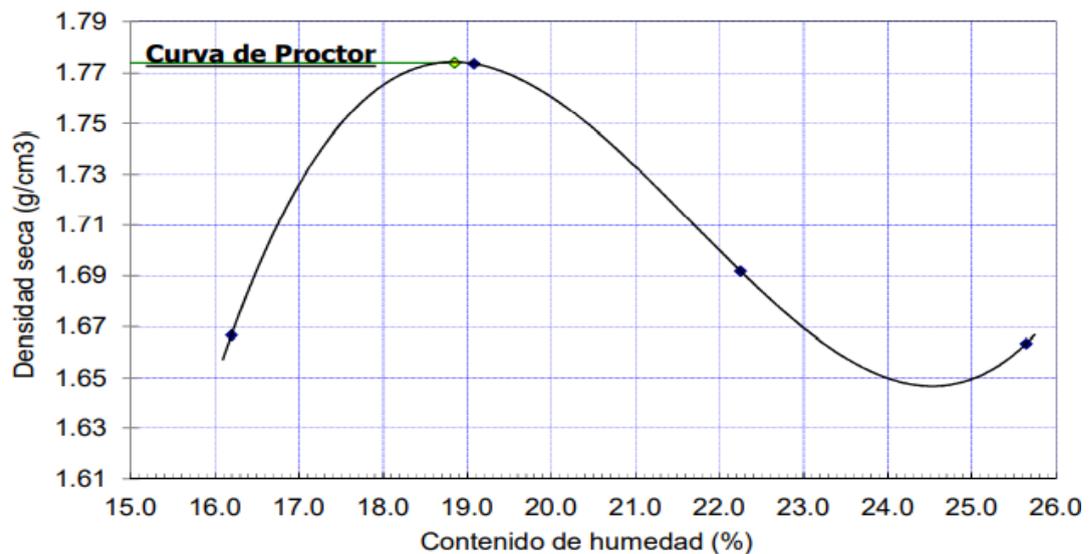


Figura 74: Curva de Proctor de muestra 2 – diseño 3.
 Fuente: Propia.

Para la muestra 3 del diseño 3, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.789 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 16.6%.

		2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 6% de Caucho C-03 M - 1			
Volumen de molde		2114.0 cm ³	911.9				
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5220	5425	5410	5370	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumne del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.860	2.085	2.068	2.024	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	210.5	198.5	240.1	186.5	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	190	176.5	210	157	
8.-	Peso del agua	(g)	20.5	22.0	30.1	29.5	
9.-	Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	157.5	133.9	157.4	131.4	
11.-	Contenido de humedad	(%)	13.0	16.4	19.1	22.5	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.65	1.79	1.74	1.65	

Máxima Densidad Seca 1.789 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 16.6 %

Figura 75: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 3.
 Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

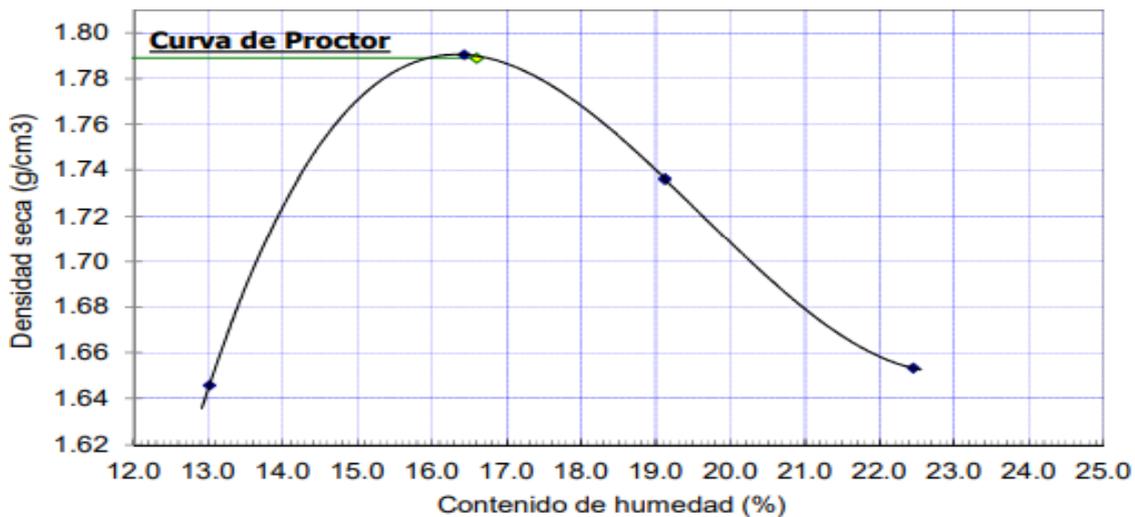


Figura 76: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 3.
 Fuente: Propia.

Para el diseño 4, trabajado con 8% de adición de caucho, se trabajaron 3 muestras, obteniendo los siguientes resultados del ensayo de Proctor. Para la muestra 1, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.809 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 21.0%.

		Arcilla + 8% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5386	5520	5490	5460
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	2.042	2.189	2.156	2.123
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	243.5	236.5	247.8	226.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	211	202.8	207	186.5
8.- Peso del agua	(g)	32.5	33.7	40.8	40.0
9.- Peso de la tara	(g)	35.6	42.5	38.1	39.6
10.- Peso de suelo seco	(g)	175.4	160.3	168.9	146.9
11.- Contenido de humedad	(%)	18.5	21.0	24.2	27.2
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.72	1.81	1.74	1.67

Máxima Densidad Seca 1.809 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad 21.0 %

Figura 77: Resultados Proctor muestra 1 – diseño 4.
Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

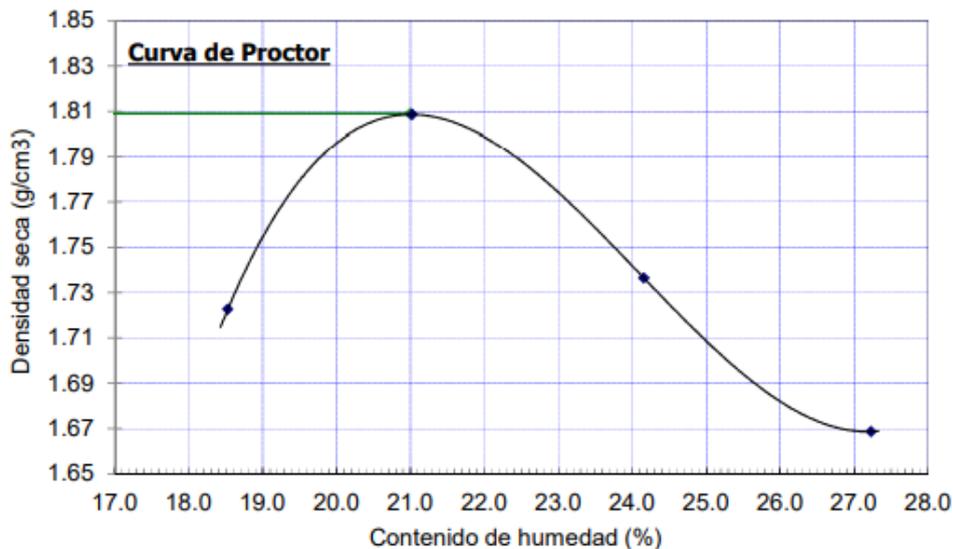


Figura 78: Curva de Proctor de muestra 1 – diseño 4.
Fuente: Propia.

Para la muestra 2 del diseño 4, se obtuvo una densidad máxima seca igual a 1.740 g/cm³ y un óptimo contenido de humedad igual a 18.2.

Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 8% de Caucho C-03 M - 1			
Peso de molde	6350 gr	3524.0				
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5260	5380	5430	5410	
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	1.904	2.035	2.090	2.068	
5.- N° de la tara		1	2	3	4	
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	245.1	236.5	198.5	210.4	
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	215	205	172	173.4	
8.- Peso del agua	(g)	30.1	31.5	26.5	37.0	
9.- Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6	
10.- Peso de suelo seco	(g)	182.5	162.4	119.4	147.8	
11.- Contenido de humedad	(%)	16.5	19.4	22.2	25.0	
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.63	1.70	1.71	1.65	

Máxima Densidad Seca 1.716 g/cm³
Óptimo Contenido de Humedad 21.2 %

Figura 81: Resultados Proctor muestra 3 – diseño 4.
Fuente: Propia.

Con los resultados del Proctor, se procedió a realizar la gráfica de curva de Proctor.

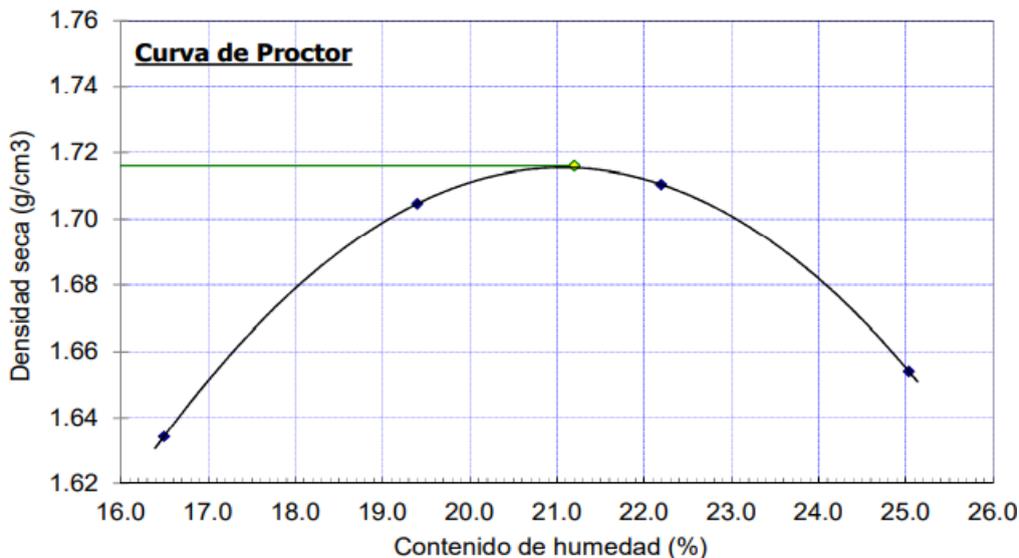


Figura 82: Curva de Proctor de muestra 3 – diseño 4.
Fuente: Propia.

A diferencia de la metodología para los ensayos de CBR en el suelo natural, para los adicionados, se realizó ensayos de CBR únicamente a las muestras más desfavorables según los resultados del Proctor, para los cuatro diseños con adiciones en porcentajes de 2%, 4%, 6% y 8%.

Para el primer diseño, suelo con adición de caucho al 2%, resultó como muestra más

desfavorable al suelo extraído de la calicata número 3, denominada C-3.

Siguiendo el mismo procedimiento de ensayo para suelo natural, se tuvo los resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
Nº Molde	A-1		A-2		A-3	
Nº Capa	5		5		5	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	12302	12610	12090	12228	11968	12198
Peso de molde (g)	7843	7843	7671	7671	7840	7840
Peso del suelo húmedo (g)	4459	4767	4419	4557	4128	4358
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.103	2.249	2.092	2.158	1.954	2.062
% de humedad	18.18	25.21	19.31	22.49	20.09	25.76
Densidad seca (g/cc)	1.780	1.796	1.754	1.762	1.627	1.640

Figura 83: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 2% de adición.
Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 3, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	249.5	249.5	4767	4767	312.5	312.5	4557	4557	278.9	278.9	4358.0	4358.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	215.5	215.5	4459	4459	266.5	266.5	4419	4419	237.0	237.0	4128.0	4128.0
Peso del Agua (gr.)	34.0	34.0	308.0	308.0	46.0	46.0	138.0	138.0	41.9	41.9	230.0	230.0
Peso del tarro (gr.)	28.43	28.43	0	0	28.28	28.28	0	0	28.49	28.49	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	187.1	187.1	4381.0	4381.0	238.2	238.2	4342.8	4342.8	208.5	208.5	4061.9	4061.9
% de humedad	18.18	18.18	25.21	25.21	19.31	19.31	22.49	22.49	20.09	20.09	25.76	25.76
Promedio de Humedad (%)	18.18		25.21		19.31		22.49		20.09		25.76	

Figura 84: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 2% de adición.
Fuente: Propia.

Respecto a los resultados de expansión, se tiene:

EXPANSIÓN											
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN	
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/09/2022	14.3	24	21	0.525		20	0.500		15	0.375	
17/09/2022	14.3	48	86	2.150		95	2.375		86	2.150	
18/09/2022	14.3	72	101	2.525		112	2.800		124	3.100	
19/09/2022	14.3	96	124	3.100		135	3.375		153	3.825	
				total	22.20		total	24.78		total	29.74

Figura 85: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 2% de adición.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN																
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND. Lbf/in2	MOLDE N° A-1				MOLDE N° A-2				MOLDE N° A-3				
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		
				Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	
mm.	pulg.															
0.000	0.000	0'00"		0	2			0	2			0	2			
0.640	0.025	0'30"		124	49			95	38			75	30			
1.270	0.050	1'00"		210	82			186	73			102	41			
1.910	0.075	1'30"		310	121			240	94			136	54			
2.540	0.100	2'00"	1000	386	151	30.0	3.0	290	113	35.2	3.5	195	76	24.8	2.5	
3.810	0.150	3'00"		486	191			310	121			265	103			
5.080	0.200	4'00"	1500	540	213	63.7	4.2	350	137	48.3	3.2	270	105	38.3	2.6	
6.350	0.250	5'00"		550	217			370	144			326	127			
7.620	0.300	6'00"		560	221			390	152			345	135			
10.160	0.400	8'00"		570	225			410	160			360	141			
12.700	0.500	10'00"		580	229			432	169			380	148			

Figura 86: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 2% de adición.

Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

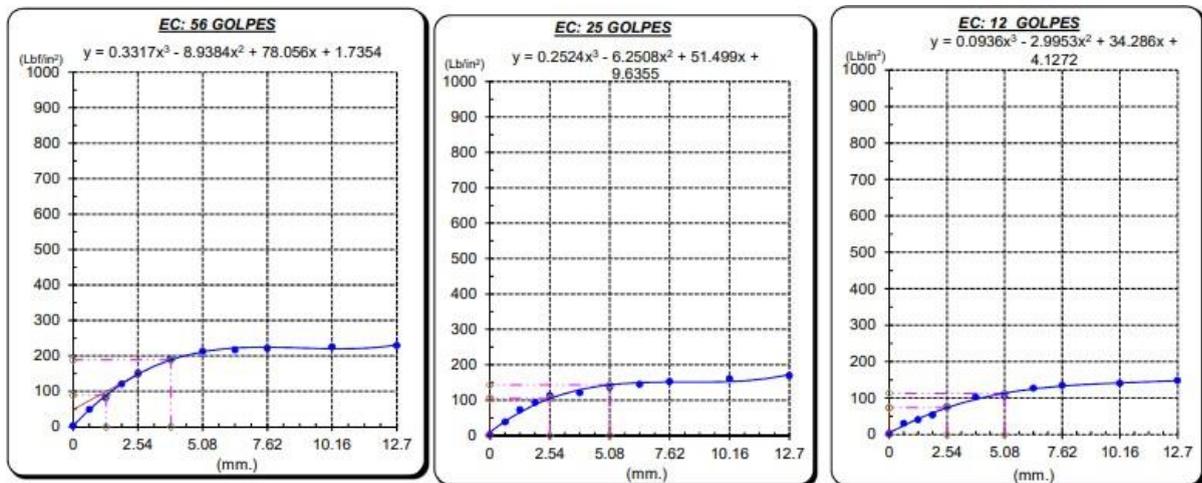


Figura 87: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 2% de adición.

Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 3, el valor correspondiente al CBR fue de 3%.

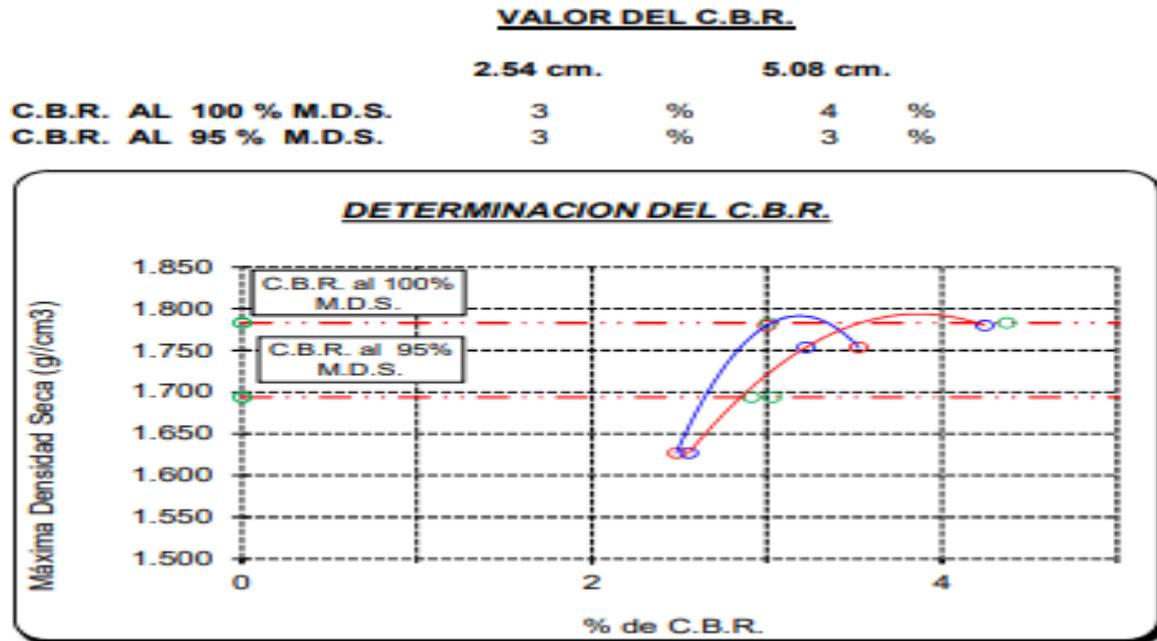


Figura 88: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 2% de adición.
Fuente: Propia.

Para el segundo diseño, suelo con adición de caucho al 4%, resultó como muestra más desfavorable al suelo extraído de la calicata número 3, denominada C-3.

Siguiendo el mismo procedimiento de ensayo para suelo natural, se tuvo los resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
	A-1		A-2		A-3	
Nº Molde	5		5		5	
Nº Capa	56		25		12	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	12345	12610	12160	12628	12068	12398
Peso de molde (g)	7855	7855	7903	7903	7828	7828
Peso del suelo húmedo (g)	4490	4755	4257	4725	4240	4570
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.118	2.243	2.016	2.237	2.007	2.163
% de humedad	17.25	23.26	18.81	29.99	19.52	27.44
Densidad seca (g/cc)	1.806	1.820	1.696	1.721	1.679	1.697

Figura 89: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 4% de adición.
Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 3, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro N°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	310.5	310.5	4755	4755	312.5	312.5	4725	4725	278.9	278.9	4570.0	4570.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	269.0	269.0	4490	4490	267.5	267.5	4257	4257	238.0	238.0	4240.0	4240.0
Peso del Agua (gr.)	41.5	41.5	265.0	265.0	45.0	45.0	468.0	468.0	40.9	40.9	330.0	330.0
Peso del tarro (gr.)	28.43	28.43	0	0	28.28	28.28	0	0	28.49	28.49	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	240.6	240.6	4410.3	4410.3	239.2	239.2	4186.0	4186.0	209.5	209.5	4170.0	4170.0
% de humedad	17.25	17.25	23.26	23.26	18.81	18.81	29.99	29.99	19.52	19.52	27.44	27.44
Promedio de Humedad (%)	17.25		23.26		18.81		29.99		19.52		27.44	

Figura 90: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 4% de adición.
Fuente: Propia.

Respecto a los resultados de expansión, se tiene:

EXPANSIÓN												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%	
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16/09/2022	14.3	24	35	0.875		26	0.650		15	0.375		
17/09/2022	14.3	48	95	2.375		110	2.750		96	2.400		
18/09/2022	14.3	72	124	3.100		126	3.150		138	3.450		
19/09/2022	14.3	96	136	3.400		152	3.800		165	4.125		
				total	21.77		total	27.16		total	32.33	

Figura 91: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 4% de adición.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND. Lbf/in2	MOLDE N°											
				A-1				A-2				A-3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%		
0.000	0.000	0'00"		0	2			0	2			0	2		
0.640	0.025	0'30"		115	46			95	38			35	15		
1.270	0.050	1'00"		235	92			124	49			51	21		
1.910	0.075	1'30"		380	148			136	54			89	36		
2.540	0.100	2'00"	1000	445	174	33.5	3.4	210	82	25.0	2.5	115	46	15.4	1.5
3.810	0.150	3'00"		540	213			236	92			165	65		
5.080	0.200	4'00"	1500	590	233	71.8	4.8	278	108	37.6	2.5	195	76	26.1	1.7
6.350	0.250	5'00"		610	242			310	121			235	92		
7.620	0.300	6'00"		620	246			340	133			246	96		
10.160	0.400	8'00"		634	251			360	141			275	107		
12.700	0.500	10'00"		640	254			370	144			280	109		

Figura 92: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 4% de adición.
Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

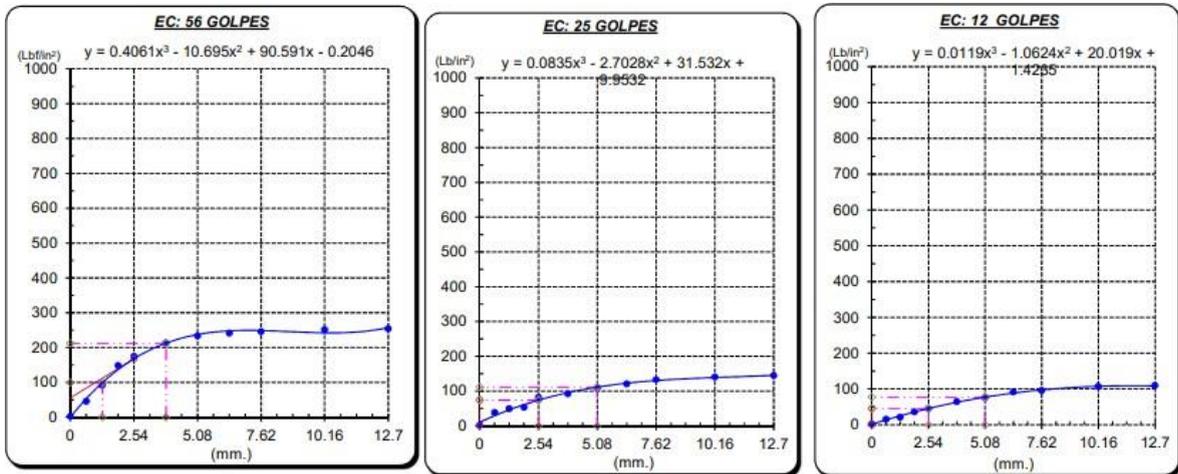


Figura 93: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 4% de adición.
Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 3, el valor correspondiente al CBR fue de 3.5%.

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.		5.08 cm.	
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	3.3	%	4.8	%
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	3.5	%	3.3	%

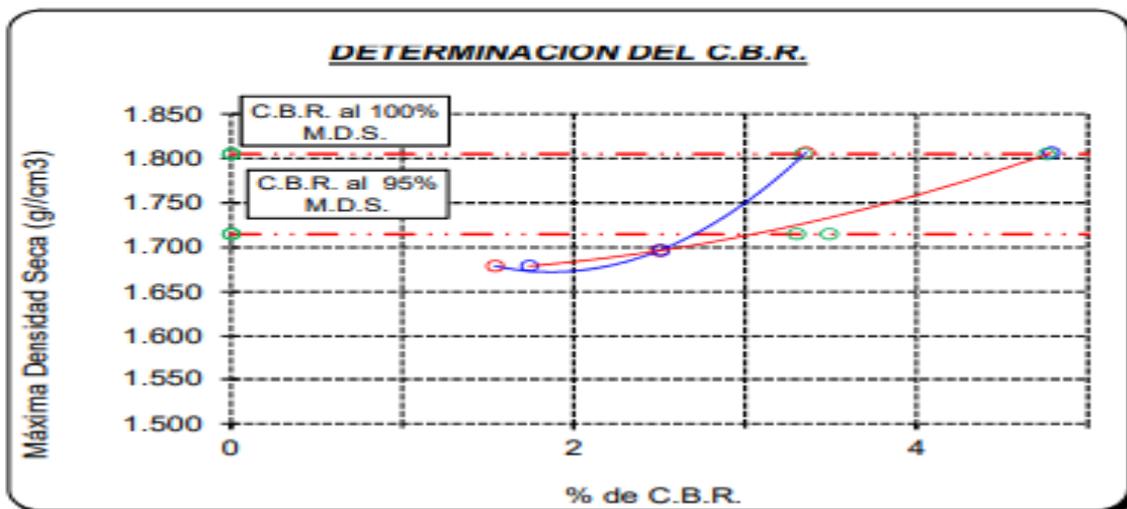


Figura 94: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 4% de adición.
Fuente: Propia.

Para el tercer diseño, suelo con adición de caucho al 6%, resultó como muestra más desfavorable al suelo extraído de la calicata número 3, denominada C-3.

Siguiendo el mismo procedimiento de ensayo para suelo natural, se tuvo los resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
Nº Molde	A-1		A-2		A-3	
Nº Capa	5		5		5	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	13445	13610	12990	13228	12498	12798
Peso de molde (g)	9020	9020	8794	8794	8600	8600
Peso del suelo húmedo (g)	4425	4590	4196	4434	3898	4198
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.087	2.165	1.987	2.099	1.845	1.987
% de humedad	16.59	20.38	16.98	22.75	17.40	25.22
Densidad seca (g/cc)	1.790	1.799	1.698	1.710	1.571	1.587

Figura 95: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 6% de adición
Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 3, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	365.5	365.5	4590	4590	380.9	380.9	4434	4434	320.5	320.5	4198.0	4198.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	313.5	313.5	4425	4425	325.6	325.6	4196	4196	273.0	273.0	3898.0	3898.0
Peso del Agua (gr.)	52.0	52.0	165.0	165.0	55.3	55.3	238.0	238.0	47.5	47.5	300.0	300.0
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	313.5	313.5	4347.2	4347.2	325.6	325.6	4125.9	4125.9	273.0	273.0	3837.7	3837.7
% de humedad	16.59	16.59	20.38	20.38	16.98	16.98	22.75	22.75	17.40	17.40	25.22	25.22
Promedio de Humedad (%)	16.59		20.38		16.98		22.75		17.40		25.22	

Figura 96: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 6% de adición.
Fuente: Propia.

Respecto a los resultados de expansión, se tiene:

EXPANSIÓN												
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%	
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
16/09/2022	14.3	24	42	1.050		36	0.900		29	0.725		
17/09/2022	14.3	48	89	2.225		95	2.375		105	2.625		
18/09/2022	14.3	72	125	3.125		119	2.975		143	3.575		
19/09/2022	14.3	96	134	3.350		145	3.625		165	4.125		
				total	19.83		total	23.49		total	29.31	

Figura 97: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 6% de adición.
Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND. Lbf/in2	MOLDE N° A-1				MOLDE N° A-2				MOLDE N° A-3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
mm.	pulg.			Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/pulg2	Lbs/pulg2	%
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2			
0.640	0.025	0'30"	96	38			68	28			25	12			
1.270	0.050	1'00"	125	49			84	34			52	22			
1.910	0.075	1'30"	180	70			140	55			86	35			
2.540	0.100	2'00"	1000	310	121	27.3	2.7	216	84	23.2	2.3	145	57	15.0	1.5
3.810	0.150	3'00"		380	148			256	100			186	73		
5.080	0.200	4'00"	1500	456	179	52.6	3.5	310	121	40.2	2.7	198	77	24.5	1.6
6.350	0.250	5'00"		470	184			380	148			224	87		
7.620	0.300	6'00"		480	188			410	160			235	92		
10.160	0.400	8'00"		490	193			425	166			245	95		
12.700	0.500	10'00"		510	201			432	169			250	97		

Figura 98: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 6% de adición.
Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

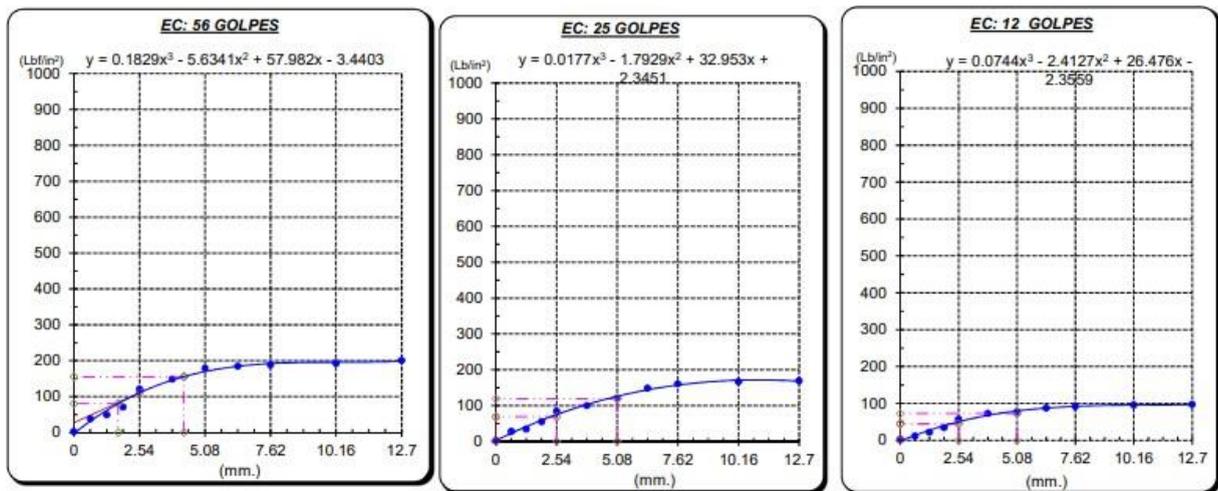


Figura 99: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 6% de adición.
Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 3, el valor correspondiente al CBR fue de 2.3%.

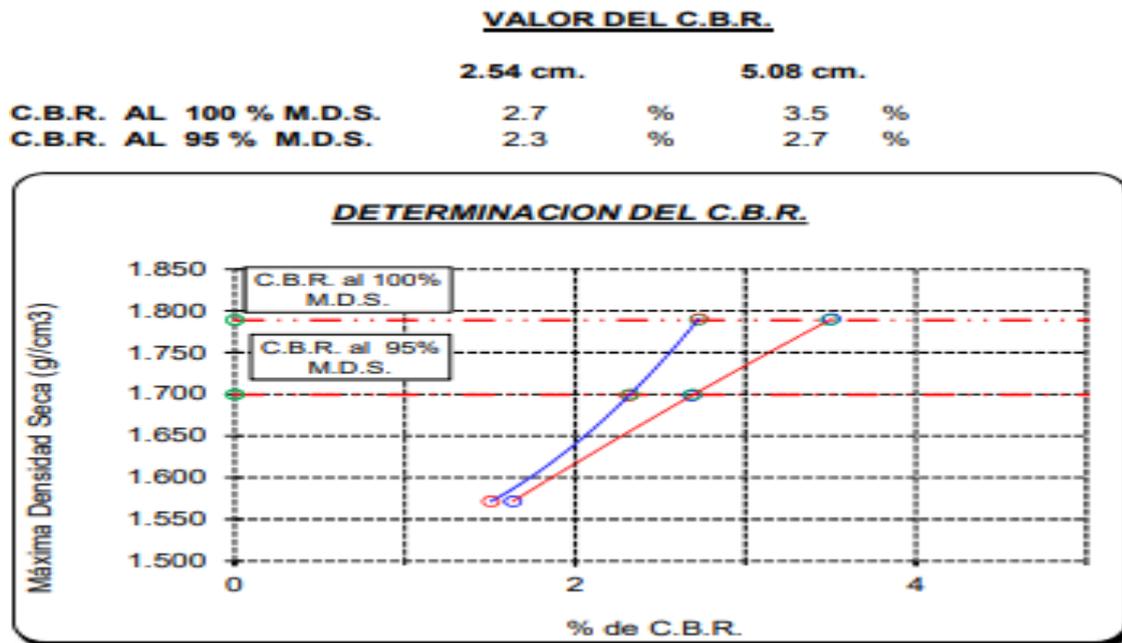


Figura 100: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 6% de adición.
Fuente: Propia.

Para el cuarto diseño, suelo con adición de caucho al 8%, resultó como muestra más desfavorable al suelo extraído de la calicata número 3, denominada C-3.

Siguiendo el mismo procedimiento de ensayo para suelo natural, se tuvo los resultados para compactación:

COMPACTACIÓN						
	A-1		A-2		A-3	
Nº Molde	5		5		5	
Nº Capa	56		25		12	
Nº Golpes por capa	56		25		12	
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado	Sin Saturado	Saturado
Peso molde + Suelo húmedo	12260	12610	11990	12228	11898	11998
Peso de molde (g)	7843	7843	7671	7671	7840	7840
Peso del suelo húmedo (g)	4417	4767	4319	4557	4058	4158
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113
Densidad húmeda (g/cc)	2.083	2.249	2.045	2.158	1.920	1.968
% de humedad	21.22	29.28	23.03	28.63	25.00	27.50
Densidad seca (g/cc)	1.719	1.739	1.662	1.677	1.536	1.543

Figura 101: Resultados de compactación de CBR para muestra 3 con 8% de adición.
Fuente: Propia.

Respecto a la humedad en la muestra 3, se obtuvieron los resultados para las tres distribuciones de trabajo, se presentan a continuación los resultados:

HUMEDAD												
Tarro N°	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	285.6	285.6	4767	4767	296.5	296.5	4557	4557	265.0	265.0	4158.0	4158.0
Tarro + Suelo seco (gr.)	235.6	235.6	4417	4417	241.0	241.0	4319	4319	212.0	212.0	4058.0	4058.0
Peso del Agua (gr.)	50.0	50.0	350.0	350.0	55.5	55.5	238.0	238.0	53.0	53.0	100.0	100.0
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Peso del suelo seco (gr.)	235.6	235.6	4342.4	4342.4	241.0	241.0	4248.4	4248.4	212.0	212.0	3996.6	3996.6
% de humedad	21.22	21.22	29.28	29.28	23.03	23.03	28.63	28.63	25.00	25.00	27.50	27.50
Promedio de Humedad (%)	21.22		29.28		23.03		28.63		25.00		27.50	

Figura 102: Resultados de humedad de CBR para muestra 3 con 8% de adición.

Fuente: Propia.

Respecto a los resultados de expansión, se tiene:

FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN								
				EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%	
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16/09/2022	14.3	24	45	1.125		48	1.200		50	1.250		
17/09/2022	14.3	48	96	2.400		112	2.800		125	3.125		
18/09/2022	14.3	72	145	3.625		146	3.650		158	3.950		
19/09/2022	14.3	96	156	3.900		162	4.050		175	4.375		
				total	23.92		total	24.57		total	26.94	

Figura 103: Resultados de expansión de CBR para muestra 3 con 8% de adición.

Fuente: Propia.

A su vez, para muestra 3, se tienen los resultados de penetración realizada para cada molde:

PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN		TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE N° A-1				MOLDE N° A-2				MOLDE N° A-3			
				CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
				Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.	Lbf/in2													
0.000	0.000	0'00"		0	2			0	2			0	2		
0.640	0.025	0'30"		74	30			56	23			21	10		
1.270	0.050	1'00"		86	35			74	30			52	22		
1.910	0.075	1'30"		145	57			105	42			78	32		
2.540	0.100	2'00"	1000	245	95	27.3	2.7	174	68	21.0	2.1	95	38	13.3	1.3
3.810	0.150	3'00"		340	133			210	82			142	56		
5.080	0.200	4'00"	1500	410	160	51.2	3.4	280	109	35.8	2.4	180	70	23.4	1.6
6.350	0.250	5'00"		480	188			320	125			210	82		
7.620	0.300	6'00"		510	201			350	137			233	91		
10.160	0.400	8'00"		520	205			380	148			280	109		
12.700	0.500	10'00"		530	209			410	160			310	121		

Figura 104: Resultados de penetración de CBR para muestra 3 con 6% de adición.

Fuente: Propia.

Con los resultados de penetración, se llevó a cabo la gráfica de carga vs penetración para molde trabajado (56, 25 y 12 golpes), teniendo así las siguientes gráficas:

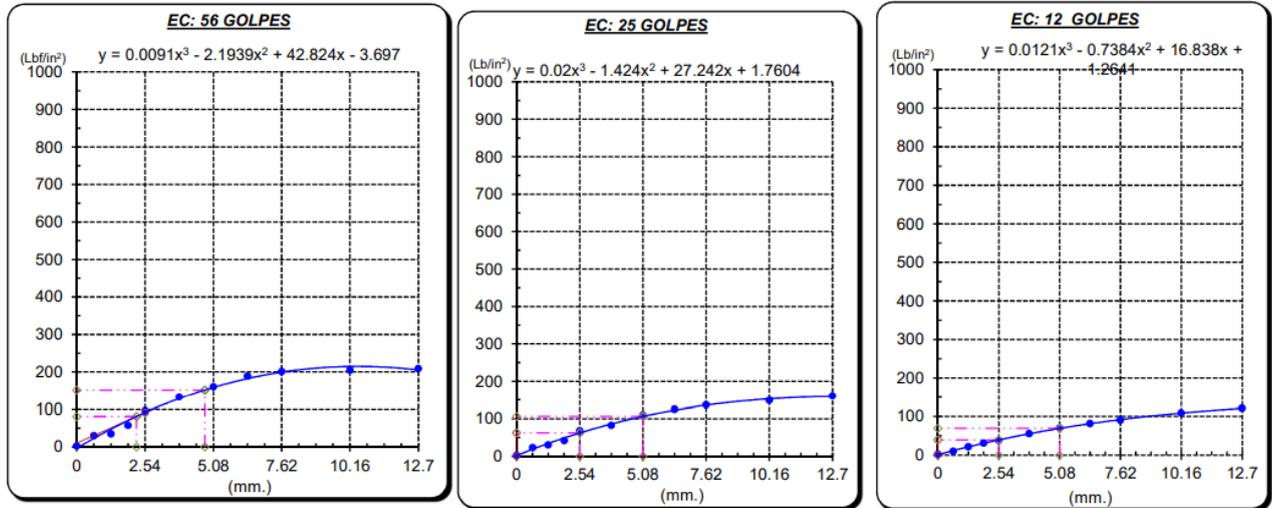


Figura 105: Gráficas de carga vs penetración en CBR para muestra 3 con 8% de adición.
Fuente: Propia.

Finalmente, con los datos obtenidos en los ensayos y los cálculos correspondientes, se realizó la gráfica propiamente dicha del CBR, trabajada para máxima densidad seca al 100% y al 95%, tanto para altura de 1 y 2 pulgadas. Cabe resaltar que para diseños de pavimentos se toma los resultados más desfavorables, para el caso de la muestra 3, el valor correspondiente al CBR fue de 1.9%.

	VALOR DEL C.B.R.	
	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	2.7 %	3.4 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	1.9 %	2.2 %

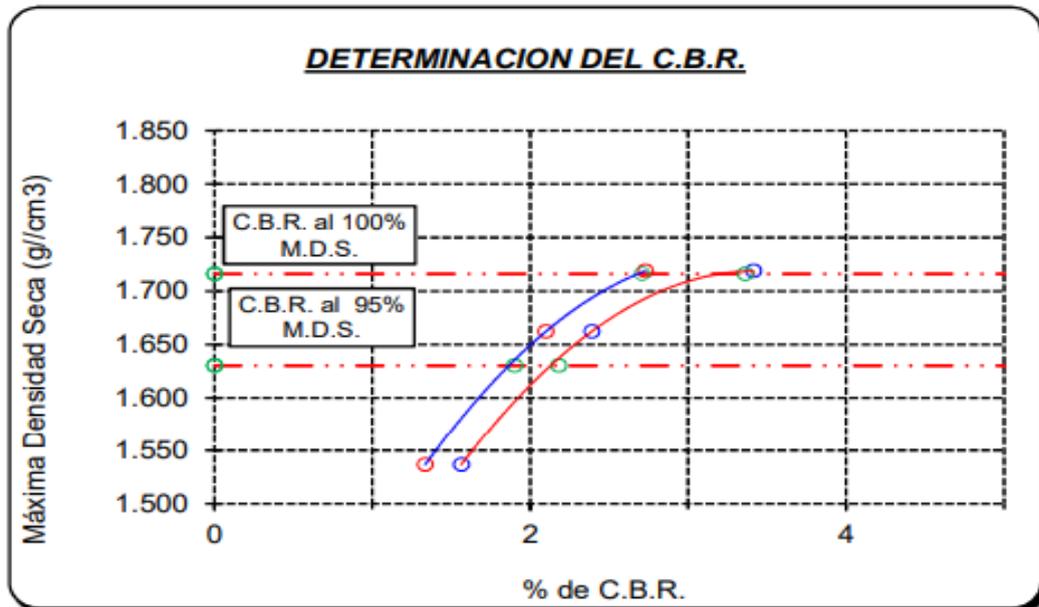


Figura 106: Gráfica de porcentaje de CBR, para muestra 3 con 8% de adición.
Fuente: Propia.

Para los resultados de ensayo de CBR del suelo con adiciones de caucho, se tomaron los resultados de Proctor más desfavorables para de esta forma tener el mejor enfoque y criterio de diseño, para suelo con adición de 2% se obtuvo un CBR de 3%, para suelo con adición de 4% se obtuvo un CBR de 3.5%, para suelo con adición de 6% se obtuvo un CBR de 2.3% y para suelo con adición de 8% se obtuvo un CBR de 1.9%.

Preparación del Ensayo	Valor de CBR
Suelo con 2% de caucho	3%
Suelo con 4% de caucho	3.5%
Suelo con 6% de caucho	2.3%
Suelo con 8% de caucho	1.9%

*Tabla 4: Resumen de resultados de ensayo de CBR
Fuente: Propia.*

De acuerdo al cuarto objetivo específico.

Determinar el costo de una base granular con añadidura de caucho reciclado triturado en una vía del norte del Perú.

RESULTADOS RELACIONADOS A LOS COSTOS DE MEJORAMIENTO DE LA BASE GRANULAR

- Resultados del diseño con CBR de 3 % de la muestra con caucho triturado al 2%



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO:	DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR PARA LA MEJORA DE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y SU ANALISIS DE COSTOS EN UN VIA DEL NORTE DEL PERU
OBJETIVO:	TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASHTO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(C_N + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2 - 1.5}\right) + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r) - 8.07}{0.4 + \frac{1094}{(C_N + 1)^{5.19}}}$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
w ₁₈	= Tráfico (Número de ESAL's)
Z _r	= Desviación Estándar Normal
S _o	= Error Estándar Combinado de la predicción del T
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (P _o -P _t)
P _o	= Serviciabilidad Inicial
P _t	= Serviciabilidad Final
M _r	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

ESTUDIO DE TRANSIT

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base 0) en veh/día.

n = Años del periodo de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo, en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES

ESAL's(¥18)	900,000.00
ESAL's(¥18)	9.00E+05

2. CONFIABILIDAD

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Tipo de Carretera	Tráfico	Equivalente Axiológico	Nivel de Confiabilidad (R)
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	95%
	T ₂₀	150,001	90%
	T ₁₀	300,001	85%
	T ₂₀	600,001	80%
Resto de Carreteras	T ₁₀	750,001	95%
	T ₂₀	1,500,001	90%
	T ₁₀	3,000,001	85%
	T ₂₀	6,000,001	80%
	T ₁₀	12,000,001	75%
	T ₂₀	24,000,001	70%
	T ₁₀	48,000,001	65%
	T ₂₀	96,000,001	60%
	T ₁₀	192,000,001	55%
	T ₂₀	384,000,001	50%
	T ₁₀	768,000,001	45%
	T ₂₀	1,536,000,001	40%

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tipo de Carretera	Tráfico	Equivalente Axiológico	Desviación Estándar Normal (Zr)
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	-1.365
	T ₂₀	150,001	-1.284
	T ₁₀	300,001	-1.214
	T ₂₀	600,001	-1.142
Resto de Carreteras	T ₁₀	750,001	-1.142
	T ₂₀	1,500,001	-1.068
	T ₁₀	3,000,001	-1.000
	T ₂₀	6,000,001	-0.936
	T ₁₀	12,000,001	-0.878
	T ₂₀	24,000,001	-0.824
	T ₁₀	48,000,001	-0.774
	T ₂₀	96,000,001	-0.726
	T ₁₀	192,000,001	-0.682
	T ₂₀	384,000,001	-0.640
	T ₁₀	768,000,001	-0.600
	T ₂₀	1,536,000,001	-0.562

Fuente: Elaboración propia, en base a datos de la Guía AASHTO 1993

Página

$$R(\%) = 80.00 \quad \alpha$$

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

$$Z_r = -0.842$$

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado S_o , cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
En construcción nueva	0.45

$$S_o = 0.450$$

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Servicios Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

$$P_o = 3.8$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$CBR = 3 \%$$

$$M_r = 5161.17 \text{ PSI}$$

número Estructural requerido $SN = 4.44$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$$\log_{10}(W_{18}) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \log_{10}(SN + 1) + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{10.94}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_r)$$

$$14.604 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2 = 1.15

m3 = 1

Esesor de capa Superficial **D1 = 5.00 Cm**

Esesor de Base **D2 = 25.00 Cm**

Esesor de Subbase **D3 = 30.00 Cm**

Íúmero Estructural requerido **SN = 3.610**

Íúmero Estructural calculado **SN = 3.755** Comparando ambos "SN" **CUMPLE**

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Losa de C* Asfálti
Base Granular
Subbase granular

	Pulg.	Cm.
e=	0.020	5.00
e=	0.098	25.00
e=	0.118	30.00

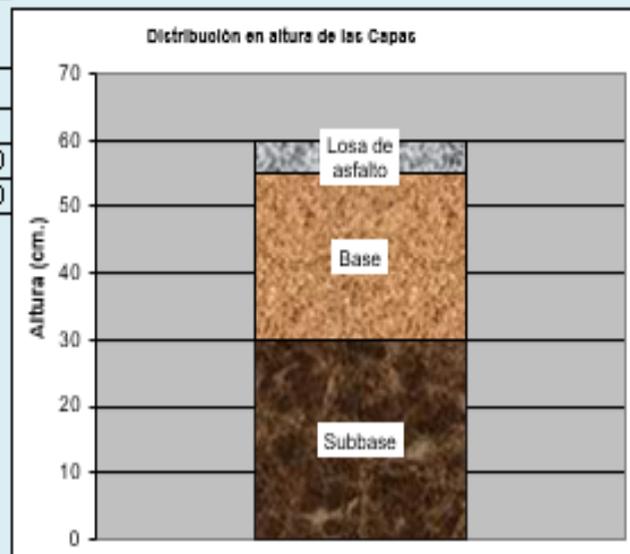


Figura 107: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93
Fuente: Juan Diego Benites

Partida	01.01.02	BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO AL 3% CBR				
Rendimiento:	m2/día= 14.00	EQ=14.00	Costo unitario por: m2			
Código	Descripción del Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Mano de Obra					18.10
1.01	PEON	hh	1.00	0.57	18.60	10.63
1.02	OPERARIO	hh	0.50	0.29	26.15	7.47
2	Materiales					30.48
2.1	MATERIAL DE BASE	Kg		345.60	0.04	13.20
2.2	CAUCHO TRITURADO	Kg		14.40	1.20	17.28
3	Equipos y herramientas					
3.1	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5%		0.91
						49.49

Figura 108: Resultado del costo por m2 de Base Granular con caucho al 2 % y CBR 3%, e=0.25m.

Fuente: Propia

- Resultados del diseño con CBR de 3.5 % de la muestra con caucho triturado al 4%



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO:	DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR PARA LA MEJORA DE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y SU ANALISIS DE COSTOS EN UN VIA DEL NORTE DEL PERU
OBJETIVO:	TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASTHO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASTHO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{10.94} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$

$$0.4 + \frac{1}{(SN+1)^{5.19}}$$

Donde	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

- ESTUDIO DE TRÁNSITO

1.1.- Tránsito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$I_n = I_0 (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

I_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

I_0 = Tránsito actual (año base 0) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario igual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ES.

ESAL's(W18) :	900,000.00
ESAL's(W18) :	9.00E+05

2. CONFIABILIDAD

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Tercer Cuadro	Trafico	Estadísticos acumulados	Nivel de Confiabilidad (R)
Cantinos de Bajo Volumen de Tráfico	Ta	75,000	90%
	Ta	150,001	80%
	Ta	300,001	70%
	Ta	500,001	60%
	Ta	750,001	50%
Resto de Cantinos	Ta	1,000,001	95%
	Ta	1,500,001	90%
	Ta	2,000,001	85%
	Ta	3,000,001	80%
	Ta	4,000,001	75%
	Ta	5,000,001	70%
	Ta	7,500,001	65%
	Ta	10,000,001	60%
	Ta	12,500,001	55%
	Ta	15,000,001	50%
	Ta	20,000,001	45%
	Ta	25,000,001	40%
	Ta	30,000,001	35%
	Ta	>30,000,001	30%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Sección 4.02.02

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tercer Cuadro	Trafico	Estadísticos acumulados	Desviación Estándar Normal (Zr)
Cantinos de Bajo Volumen de Tráfico	Ta	75,000	-0.305
	Ta	150,001	-0.578
	Ta	300,001	-0.842
	Ta	500,001	-1.040
	Ta	750,001	-1.160
Resto de Cantinos	Ta	1,000,001	-1.280
	Ta	1,500,001	-1.320
	Ta	2,000,001	-1.360
	Ta	3,000,001	-1.400
	Ta	4,000,001	-1.440
	Ta	5,000,001	-1.480
	Ta	7,500,001	-1.520
	Ta	10,000,001	-1.560
	Ta	12,500,001	-1.600
	Ta	15,000,001	-1.640
	Ta	20,000,001	-1.680
	Ta	25,000,001	-1.720
	Ta	30,000,001	-1.760
	Ta	>30,000,001	-1.800

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Sección 4.02.02

Página

R (z) = 80.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -0.842

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado So, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
En construcción nueva	0.45

So = 0.450

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Serviciabilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

$$P_o = 3.8$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$CBR = 3.5 \%$$

$$M_r = 5636.32 \text{ PSI}$$

$$\text{Número Estructural requerido } SN = 333$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente igual a (Ecuación II):

$$\text{Log}_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r)$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

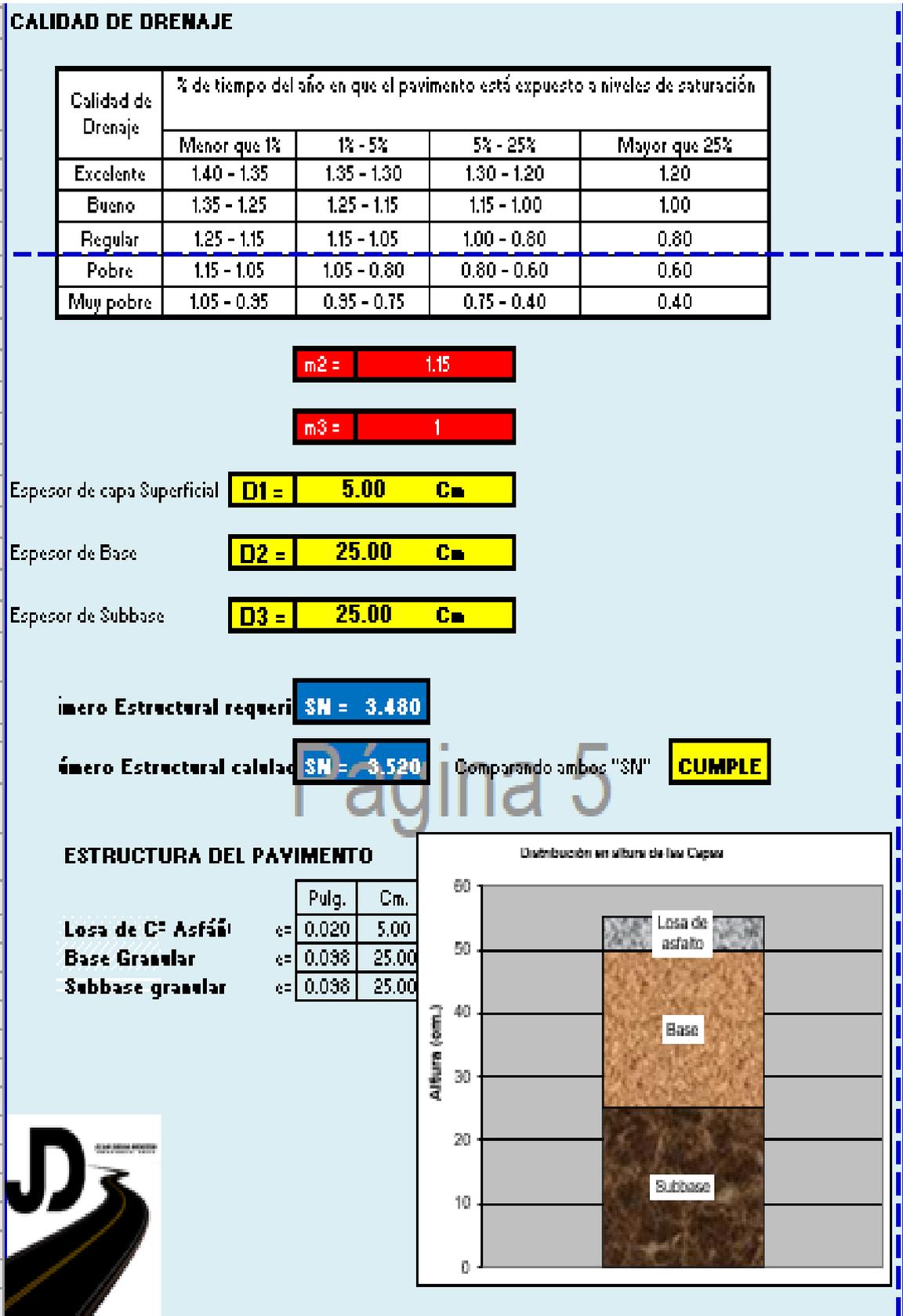


Figura 109: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93
Fuente: Juan Diego Benites

Partida		01.01.03 BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO AL 3.5% CBR				
Rendimiento: m2/día= 14.00		EQ=14.00		Costo unitario por: m2		
Código	Descripción del Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1 Mano de Obra						18.10
1.01	PEON	hh	1.00	0.57	18.60	10.63
1.02	OPERARIO	hh	0.50	0.29	26.15	7.47
2 Materiales						30.48
2.1	MATERIAL DE BASE	Kg		345.60	0.04	13.20
2.2	CAUCHO TRITURADO	Kg		14.40	1.20	17.28
3 Equipos y herramientas						
3.1	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5%		0.91
						49.49

Figura 110: Resultado del costo por m2 de Base Granular con caucho al 4% y CBR 3.5%, e=0.25m.

Fuente: Propia

- Resultados del diseño con CBR de 2.3 % de la muestra con caucho triturado al 6%



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO:	DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR PARA LA MEJORA DE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y SU ANALISIS DE COSTOS EN UN VIA DEL NORTE DEL PERI
OBJETIVO:	TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASTHO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASTHO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(M_r) - 8.07$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del T
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resilencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

ESTUDIO DE TRANSIT

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del periodo de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES

≡SAL*s(¥18)	900,000.00
≡SAL*s(¥18)	9.00E+05

2. CONFIABILIDAD

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Tipo de Carreos	Trafico	Estos equivalentes acumulados	Nivel de Confiabilidad (R)
Carreos de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	100%
	T ₁₀	100,001	90%
	T ₁₀	300,001	80%
	T ₁₀	500,001	70%
	T ₁₀	750,001	60%
	T ₁₀	1,000,001	50%
Resto de Carreos	T ₁₀	1,500,001	85%
	T ₁₀	2,000,001	80%
	T ₁₀	3,000,001	75%
	T ₁₀	4,000,001	70%
	T ₁₀	5,000,001	65%
	T ₁₀	7,500,001	60%
	T ₁₀	10,000,001	55%
	T ₁₀	12,500,001	50%
	T ₁₀	15,000,001	45%
	T ₁₀	20,000,001	40%
	T ₁₀	25,000,001	35%
	T ₁₀	>30,000,000	30%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO (2010)

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr)
Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)
Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tipo de Carreos	Traffic	Estos equivalentes acumulados	Desviación Estándar Normal (Zr)
Carreos de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	-0.100
	T ₁₀	100,001	-0.124
	T ₁₀	300,001	-0.174
	T ₁₀	500,001	-0.242
	T ₁₀	750,001	-0.320
	T ₁₀	1,000,001	-0.400
Resto de Carreos	T ₁₀	1,500,001	-0.420
	T ₁₀	2,000,001	-0.440
	T ₁₀	3,000,001	-0.460
	T ₁₀	4,000,001	-0.480
	T ₁₀	5,000,001	-0.500
	T ₁₀	7,500,001	-0.520
	T ₁₀	10,000,001	-0.540
	T ₁₀	12,500,001	-0.560
	T ₁₀	15,000,001	-0.580
	T ₁₀	20,000,001	-0.600
	T ₁₀	25,000,001	-0.620
	T ₁₀	>30,000,000	-0.640

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO (2010)

Página

R (%) = 80.00 %

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -0.642

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado S_o, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
En construcción nueva	0.45

S_o = 0.450

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El índice de Serviciosibilidad Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

Po = 3.8
Pt = 2.0
Δ PSI = Po - Pt

Δ PSI = 1.80

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

CBR = 2.3 % Mr = 4354.08 PSI

Número Estructural requerido SN = 3.840

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

Log₁₀(W 18) - Zr × Su + 0.20 + 8.07 **14.603 ... Ecuación I**

$9.36 \times \text{Log}_{10}(\text{SN}+1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta \text{PSI}}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(\text{SN}+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(\text{Mr})$ **14.603 ... Ecuación II**

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a1 \times d1 + a2 \times d2 \times m2 + a3 \times d3 \times m3$$

SN	=	Número Estructural.
a1,2,3	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d1,2,3	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m2,3	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

a1 = 0.17 /cm
a2 = 0.052 /cm
a3 = 0.047 /cm

CALIDAD DE DRENAJE

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy pobre	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

m2 = 1.15
m3 = 1

Espesor de capa Superficial **D1 = 5.00 cm**
Espesor de Base **D2 = 30.00 cm**
Espesor de Subbase **D3 = 30.00 cm**

Número Estructural requerido **SN = 3.840**
Número Estructural calculado **SN = 4.054** Comparando ambos "SN" **CUMPLE**

ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO

Losa de C= Asfálti	<=	Pulg.	Cm.
Base Granular	<=	0.118	30.00
Subbase granular	<=	0.118	30.00

Distribución en altura de las Capas

Figura 111: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93
Fuente: Juan Diego Benites

Partida	01.01.04	BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO AL 2.3% CBR				
Rendimiento:	m2/día= 14.00	EQ=14.00	Costo unitario por: m2			
Código	Descripción del Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Mano de Obra					18.10
1.01	PEON	hh	1.00	0.57	18.60	10.63
1.02	OPERARIO	hh	0.50	0.29	26.15	7.47
2	Materiales					36.58
2.1	MATERIAL DE BASE	Kg		414.76	0.04	15.84
2.2	CAUCHO TRITURADO	Kg		17.28	1.20	20.74
3	Equipos y herramientas					
3.1	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5%		0.91
						55.58

*Figura 112: Resultado del costo por m2 de Base Granular con caucho al 6% y CBR 2.3%, e=0.30m.
 Fuente: Propia*

- Resultados del diseño con CBR de 1.9 % de la muestra con caucho triturado al 8%.



DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE

PROYECTO:	DISEÑO DE UNA BASE GRANULAR PARA LA MEJORA DE SU CAPACIDAD DE SOPORTE Y SU ANALISIS DE COSTOS EN UN VIA DEL NORTE DEL PERU
OBJETIVO:	TESIS PARA OPTAR EL TITULO DE INGENIERO CIVIL

MÉTODO AASTHO -93

Es uno de los métodos mas utilizados y de mayor utilización a nivel internacional para el diseño de pavimentos rígidos.

FORMULACIÓN DE DISEÑO

La ecuación básica de diseño a la que llegó AASHTO para el diseño de pavimentos rígidos, desde un desarrollo analítico, se encuentra plasmada también en monogramas de cálculo, éstos esencialmente basados en los resultados obtenidos de la prueba experimental de la carretera AASHTO. La ecuación de diseño para pavimentos rígidos modificada para la versión actual es la que a continuación se presenta:

FORMULA GENERAL AASTHO

$$\text{Log}_{10}(W18) = Z_r \times S_o + 9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{1094} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr) - 8.07$$

$$0.4 + \frac{5.19}{(SN+1)}$$

Donde:	
SN	= Número Estructural
W18	= Tráfico (Número de ESAL's)
Zr	= Desviación Estándar Normal
So	= Error Estándar Combinado de la predicción del Tráfico
ΔPSI	= Diferencia de Serviciabilidad (Po-Pt)
Po	= Serviciabilidad Inicial
Pt	= Serviciabilidad Final
Mr	= Módulo de Resiliencia

VARIABLES DEL DISEÑO

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

En base a este número estructural, se identifican y determinan un conjunto de espesores de cada capa de la estructura del pavimento, que deben ser construidas sobre la subrasante para soportar las cargas vehiculares con aceptable serviciabilidad durante el periodo establecido en el proyecto.

1.- ESTUDIO DE TRANSITO

1.1.- Transito (demanda)

Probablemente, la variable más importante en el diseño de una vía es el tránsito, pues, si bien el volumen y dimensiones de los vehículos influyen en su diseño geométrico, el número y el peso de los ejes de éstos son factores determinantes en el diseño de la estructura del pavimento.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento, por un eje simple de dos ruedas cargado con 8.2 ton de peso, con neumáticos con presión de 80 lb./pulg².

Cálculo de tasas de crecimiento y la proyección

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando una fórmula simple:

$$T_n = T_o (1 + i)^{n-1}$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día.

T_o = Tránsito actual (año base o) en veh/día.

n = Años del período de diseño.

i = Tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio-económico(*) normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo del estudio.

La demanda o volumen de tráfico (IMDA ó TPD), requiere ser expresado en términos de Ejes Equivalentes acumulados para el periodo de diseño. Un eje equivalente (EE) equivale al efecto de deterioro causado sobre el pavimento.

1.2.- Determinación del tránsito existente.

El volumen existente en el tramo, considera el promedio diario anual del total de vehículos (ligeros y pesados) en ambos sentidos.

Para la obtención de la demanda de tránsito que circula en cada sub tramo en estudio, se requerirá como mínimo la siguiente información:

a. El tránsito promedio semanal (TPDS) mediante conteos de tránsito en cada sub tramo (incluyendo un sábado o un domingo) por un período consecutivo de 7 días (5 día de semana+Sábado+Domingo), como mínimo, de una semana que haya sido de circulación normal. Los conteos serán volumétricos y clasificados por tipo de vehículo. Así mismo en caso no hubiera información oficial, sobre pesos por eje, aplicable a la zona, se efectuara un censo de carga Vehicular durante 2 días consecutivos.

b. Número, tipo y peso de los ejes de los vehículos pesados.

c. Con los datos obtenidos, se definirá el Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes (EE) para el periodo de diseño del pavimento.

1.1. CALCULO DE LOS EJES EQUIVALENTES ESA

ESAL's(W18) =	900,000.00
ESAL's(W18) =	9.00E+05

2. CONFIABILIDAD

Se denomina confiabilidad (R%) a la probabilidad de que un pavimento desarrolle su función durante su vida útil en condiciones adecuadas para su operación. También se puede entender a la confiabilidad como un factor de seguridad, de ahí que su uso se debe al mejor de los criterios.

Cuadro 12.6
Valores recomendados de Nivel de Confiabilidad Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) según rango de Tráfico

Tercer Cuadro	Trafico	Estimaciones acumuladas	Nivel de Confiabilidad (R)
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	95%
	T ₂₀	150,001	90%
	T ₁₀	300,001	75%
	T ₂₀	500,001	60%
	T ₁₀	750,001	50%
	T ₂₀	1,000,001	40%
Rede de Carreteras	T ₁₀	1,000,001	95%
	T ₂₀	1,500,001	90%
	T ₁₀	2,000,001	85%
	T ₂₀	3,000,001	80%
	T ₁₀	4,000,001	75%
	T ₂₀	5,000,001	70%
	T ₁₀	6,000,001	65%
	T ₂₀	7,000,001	60%
	T ₁₀	8,000,001	55%
	T ₂₀	9,000,001	50%
	T ₁₀	10,000,001	45%
	T ₂₀	12,000,001	40%
+30,000,000			35%

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO

Cuadro 12.8
Coeficiente Estadístico de la Desviación Estándar Normal (Zr) Para una sola etapa de diseño (10 o 20 años) Según el Nivel de Confiabilidad seleccionado y el Rango de Tráfico

Tercer Cuadro	Traffic	Estimaciones acumuladas	Desviación Estándar Normal (Zr)
Carreteras de Bajo Volumen de Tráfico	T ₁₀	75,000	-0.265
	T ₂₀	150,001	-0.528
	T ₁₀	300,001	-0.674
	T ₂₀	500,001	-0.842
	T ₁₀	750,001	-0.842
	T ₂₀	1,000,001	-1.026
Rede de Carreteras	T ₁₀	1,000,001	-1.026
	T ₂₀	1,500,001	-1.226
	T ₁₀	2,000,001	-1.226
	T ₂₀	3,000,001	-1.462
	T ₁₀	4,000,001	-1.462
	T ₂₀	5,000,001	-1.646
	T ₁₀	6,000,001	-1.646
	T ₂₀	7,000,001	-1.826
	T ₁₀	8,000,001	-1.826
	T ₂₀	9,000,001	-2.046
	T ₁₀	10,000,001	-2.046
	T ₂₀	12,000,001	-2.246
+30,000,000			-2.246

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO

Página

R (%) = 80.00 z

2.1. DESVIACIÓN ESTÁNDAR

Es función de los niveles seleccionados de confiabilidad.

Zr = -0.842

2.2. ERROR ESTÁNDAR COMBINADO

AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar la Variabilidad o Error Estándar Combinado S_o, cuyo valor recomendado es:

Para pavimentos flexibles	0.40 - 0.50
En construcción nueva	0.45

S_o = 0.450

4. SERVICIABILIDAD (Δ PSI):

El Índice de Servicio Presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario. Su valor varía de 0 a 5. Un valor de 5 refleja la mejor comodidad teórica (difícil de alcanzar) y por el contrario un valor de 0 refleja el peor. Cuando la condición de la vía decrece por deterioro, el PSI también decrece.

ÍNDICE DE SERVICIO	CALIFICACIÓN
5	Excelente
4	Muy bueno
3	Bueno
2	Regular
1	Malo
0	Intransitable

Entonces:

$$P_o = 3.8$$

$$P_t = 2.0$$

$$\Delta PSI = P_o - P_t$$

$$\Delta PSI = 1.80$$

5. MÓDULO RESILIENTE (Mr)

El módulo resiliente es una medida de la rigidez del suelo de sub rasante, el cual para su cálculo, deberá determinarse mediante el ensayo de resiliencia determinado de acuerdo a las recomendaciones del AASHTO

$$CBR = 1.9 \%$$

$$Mr = 3852.95 \text{ PSI}$$

$$\text{Número Estructural requerido } SN = 4.013$$

Haciendo tanteos de espesor hasta que (Ecuación I) Sea aproximadamente Igual a (Ecuación II):

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) - Z_r \times S_u + 0.20 + 8.07$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación I}$$

$$9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{10^{94}}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr)$$

$$14.603 \dots \text{Ecuación II}$$

NÚMERO ESTRUCTURAL (SN).

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3$$

SN	=	Número Estructural.
a _{1,2,3}	=	Coefficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.
d _{1,2,3}	=	Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.
m _{2,3}	=	Coefficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

$$a_1 = 0.17 \text{ /cm}$$

$$a_2 = 0.052 \text{ /cm}$$

$$a_3 = 0.047 \text{ /cm}$$

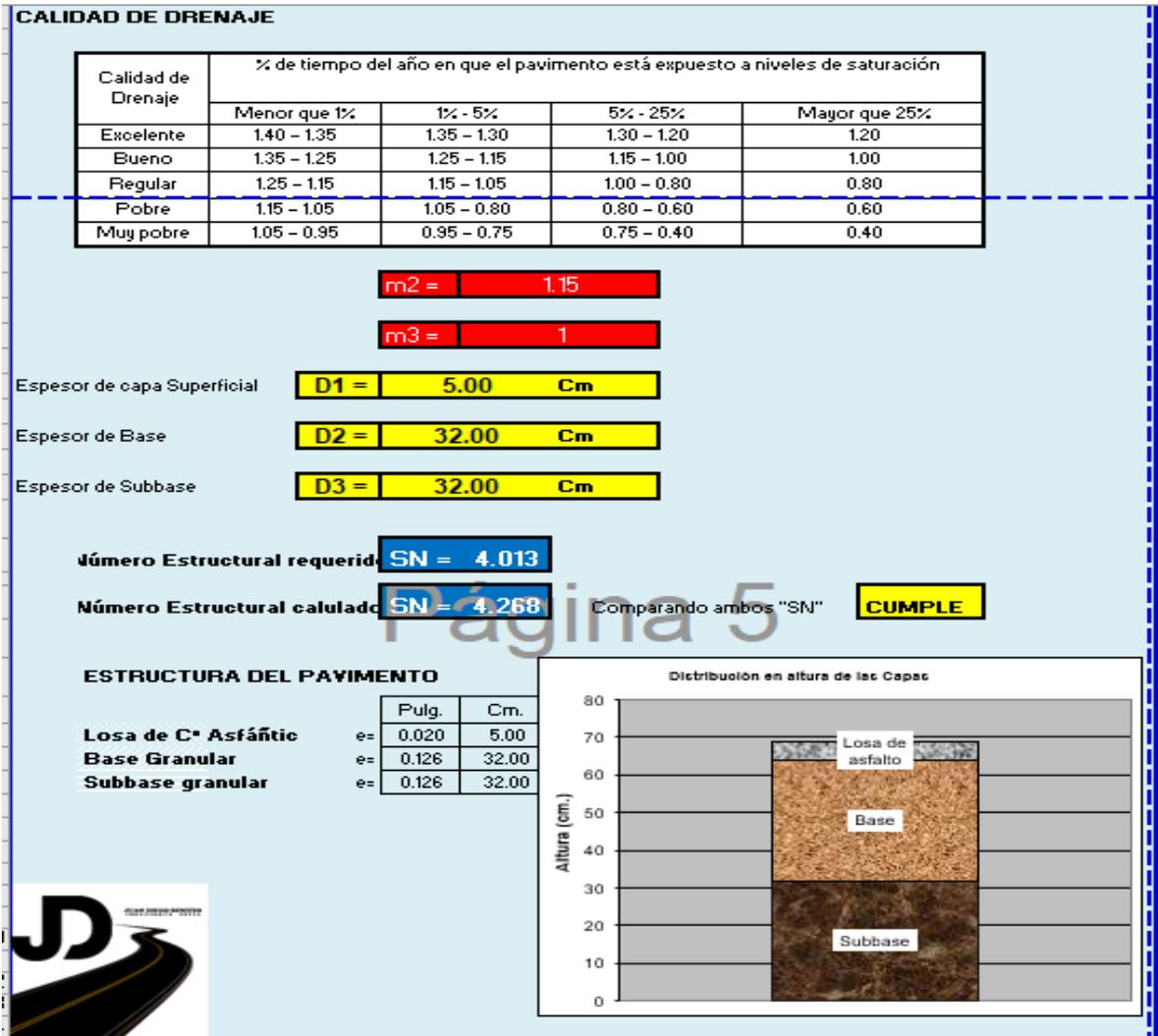


Figura 113: Diseño de Pavimento Flexible – Método AASTHO 93

Fuente: Juan Diego Benites

Partida	01.01.05	BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO AL 1.9% CBR				
Rendimiento:	m2/día= 14.00	EQ=14.00	Costo unitario por: m2			
Código	Descripción del Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
1	Mano de Obra					18.10
1.01	PEON	hh	1.00	0.57	18.60	10.63
1.02	OPERARIO	hh	0.50	0.29	26.15	7.47
2	Materiales					38.34
2.1	MATERIAL DE BASE	Kg		442.37	0.04	16.90
2.2	CAUCHO TRITURADO	Kg		17.87	1.20	21.45
3	Equipos y herramientas					
3.1	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		5%		0.91
						57.35

Figura 114: Resultado del costo por m2 de Base Granular con caucho al 8% y CBR 1.9%, e=0.32m.

Fuente: Propia

Porcentaje de caucho en la muestra	Costo por m ² (S/)
2%	49.49
4%	49.49
6%	55.58
8%	57.35

Tabla 5: Resumen de costos por m² por cada porcentaje de caucho
 Fuente: Propia.

Implicancias

Lo que se desea demostrar con la presente investigación es, cual es beneficio del uso de caucho reciclado triturado en la mejora de la base granular en una vía del norte del Perú mediante la adición de 2%, 4%, 6% y 8% de este aditivo y como va variando cada uno y cuál es el mejor con la cual se obtiene el CBR más alto para tener en cuenta a futuro.

Si se demuestra que el caucho reciclado triturado utilizado en menor porcentaje mejora la capacidad de soporte del suelo en la presente investigación se podrá recomendar su uso por los bajos costos que tiene en la mejora de una base granular de una vía del norte del Perú.

Conociendo la importancia de mejora de la capacidad de soporte con el uso de caucho reciclado triturado de una base granular o suelos en vías similares, esta investigación dará pie a futuras investigaciones sean porcentajes similares o diferentes en diferentes tipos de suelos.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN

Blacio (2022), realizó una investigación en Ecuador sobre mejoramiento de subrasante utilizando entre otros aditivos el caucho en 65%, pudiendo obtener como resultado en sus ensayos un resultado de 21.7 de CBR, en tanto que en nuestra investigación al utilizar un CBR máximo de 3.5% para las condiciones diferentes al utilizar un porcentaje de 4% de caucho reciclado triturado.

Álvarez (2020), en su investigación realizado en Bogotá Colombia analizó el comportamiento de la subrasante de suelos blandos con la adición de polvo de caucho reciclado con 4% de logrado mejorar las propiedades físicas y mecánicas del suelo, de manera similar en nuestra investigación se ha demostrado que la adición de caucho reciclado triturado a la base granular de la vía del norte del Perú mejoró su capacidad de soporte.

Huanca (2021), en la ciudad de Ancón – Lima realizó una investigación utilizando cal y polvo de caucho demolido por separado para mejorar las propiedades mecánicas del suelo utilizando porcentajes de 2%, 4%, 6%, y 8% obteniendo como mejor resultado con la adición de 6% de caucho en polvo, contrariamente en mi investigación realizado en una vía del norte del Perú se obtuvo un CBR de 2.3% con la adición de 6% de caucho en condiciones más desfavorables DSM de 85%. Siendo los valores totalmente diferentes.

Lapa (2018), realizó una investigación en Huancayo utilizando caucho tallado en para para mejorar las propiedades mecánicas del suelo, logrando obtener un resultado óptimo con 1,5% de adición de caucho y 39.89 de CBR, contrariamente en la presente investigación el CBR óptimo se logró con la adición de caucho reciclado triturado con un porcentaje de 4% siendo el resultado de CBR de 3.5% en condiciones más desfavorables DSM de 85%.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

- En la presente investigación se ha obtenido mediante el análisis Correlacional lineal PIRSON obteniendo un coeficiente de correlación $r=0.92$ cuyo valor identifica que existe una correlación de las variables de grado Fuerte, por efecto de las cantidades de caucho utilizado en las muestras las cuales se expresaron en porcentajes como 2% para el caso de muestra natural, y de 2%, 4%, 6%, y 8% con la adición de caucho reciclado triturado, obteniéndose resultados del costo como sigue, con suelo inalterado 35. 51 % con la adición caucho reciclado triturado 49.9 soles, 49.9 soles, 55.58 soles, 57. 35 soles para los porcentajes de 2%, 4%, 6%, y 8% respectivamente.
- En la presente investigación se realizó los ensayos de penetración con material de base granular inalterado utilizando tres muestras con fines de conocer la capacidad de soporte, obteniéndose valores de CBR de 4%, 2% y 1% para las condiciones más desfavorables DSM al 85% y penetración de 1”.
- Para determinar el costo de la base granular se tuvo que obtener en principio los valores de CBR de las muestras inalteradas siendo estos de 4%, 2% y 1%, con el CBR medio de 2% se procedió a diseñar el espesor de la base granular para luego calcular el costo de la base granular inalterado por m² en una vía del norte del Perú, obteniéndose finalmente el costo de 35.51 soles por m².
- En la presente investigación la capacidad de soporte de la base granular se determinó con la adición de porcentajes de caucho reciclado triturado, obteniendo valores de CBR de 3%, 3.5%, 2.3% y 1.9% para porcentajes de adición de caucho de 2%, 4%, 6% y 8% respectivamente.
- Para determinar el costo de la base granular se tuvo que obtener en principio los valores de CBR según los porcentajes utilizados de caucho reciclado triturado que fueron de 2%, 4%, 6% y 8%, con los valores de soporte se diseñó el espesor de la base granular la cual nos permitió calcular el costo de la base granular por m² en una vía del norte del Perú, siendo estos costos de 49.9 soles, 49.9 soles, 55.58 soles, 57. 35 soles en el orden de porcentajes 2%, 4%, 6%, y 8% respectivamente según el espesor de base granular.

REFERENCIAS

- ❖ Abarca Huamán, L. E. (2013). Diseño hidráulico del canal de disipación que conecta. [Tesis, Pontificia Universidad Católica del Perú].
- ❖ Arce E. (2019). Aplicación de aditivos químicos para la estabilización de suelos en el sector de Yumpe – Huayllacayan – Ancash, 2019. Tesis de bachiller. Universidad Cesar Vallejo
- ❖ Becerra V. & Villalobos M. (2021). Evaluación de las patologías superficiales en el pavimento flexible del Jirón Piura N, con el método del PCI. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo].
- ❖ Bedoya, V. H. F. (2020). Tipos de justificación en la investigación científica. Espiritu emprendedor TES, 4(3), 65-76.
- ❖ Comunicaciones, Ministerio de Transporte y. 2013b. Dirección General de Caminos y Ferrocarriles. 2013b.
- ❖ Comunicaciones, Ministerio de Transportes y Manual de carreteras - Especificaciones técnicas generales para construcción - EG -2013.
- ❖ Comunicaciones, secretaria de Transportes y. 2006. Coordinación de Infraestructura del Instituto Mexicano del Transporte. México: s.n., 2006.
- ❖ Cordero Carballo, D. A. (2011). Importancia de la Geotecnia Vial. *Programa de ingeniería en infraestructura del transporte*, 2(11), 1-3.
- ❖ De la Fuente, B. (2014). Relación entre variables: causalidad, correlación y regresión
- ❖ De La Pared Condo, D. (2017). Estabilización del suelo mediante adiciones de caucho reciclado. [Tesis de Pregrado, Universidad de los Andes].
- ❖ Espinoza A. y Velásquez J. (2018). Estabilización De Suelos Arcillosos Adicionando Ceniza De Caña De Azúcar En El Tramo De Pinar-Marian, Distrito De Independencia 2018. [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]
- ❖ Esteban Nieto, N. (2018). Tipos de investigación.

- ❖ Galarza, C. A. R. (2021). Diseños de investigación experimental. *CienciAmérica: Revista de divulgación científica de la Universidad Tecnológica Indoamérica*, 10(1), 1-7.
- ❖ García, J. (2015). Diseño de pavimentación en la habilitación urbana las dunas de Lambayeque. [Tesis, Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo].
- ❖ Gil, E, Núñez, I. (2018). Influencia de la Adición de Fibras de PET Reciclado Sobre la Resistencia, Cohesión y Angulo de Fricción Interna de Suelos Arcillosos Aplicado a la Estabilidad de Taludes. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional de Trujillo].
- ❖ Lahura, E. (2003). El coeficiente de correlación y relaciones espurias, extraído de <http://www.pucp.edu.pe/economia/pdf/DDD218.pdf>
- ❖ Laica Moposita, J. (2016). Influencia de la inclusión de polímero reciclado (caucho) en Ambato – Ecuador. [Tesis, Universidad Técnica de Ambato].
- ❖ Martínez Miguélez, M. (2006). Validez y confiabilidad en la metodología cualitativa. *Paradigma*, 27(2), 07-33.
- ❖ MTC. (2014). Manual de Carreteras - Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. En Sección Suelos y Pavimentos. Lima.
- ❖ MTC. (2018). Manual de Carreteras. En Diseño Geométrico (DG-2018). Lima.
- ❖ Murga Y, (2020). Capacidad de soporte de un suelo de la carretera Cruz del siglo - Jimbe adicionando ceniza de concha de abanico y ceniza de bagazo de caña de azúcar. Tesis de bachiller. Universidad San Pedro.
- ❖ Otero, A. (2018). Enfoques de investigación. Métodos para el diseño urbano–Arquitectónico, 1.
- ❖ Rodríguez Rincón, E. (2006). Influencia de la inclusión de desecho de PVC sobre el CBR de un material granular tipo subbase. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 5(9), 21-30.
- ❖ Ruiz, J. (2016). Comparación técnico – económica del uso de pavimento rígido y pavimento flexible en Nicaragua. [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua].
- ❖ Sánchez H, Reyes C y Mejía K. (2018) Manual de términos en investigación científica,

tecnológica y humanística.

- ❖ Sánchez, F. y Campagnoli, S. (2016). Pavimentos Asfálticos de Carreteras: Guía práctica para los estudios y diseños (1era Ed). Bogotá, Colombia: Escuela colombiana de Ingeniería.
- ❖ Scharager, J., & Reyes, P. (2001). Muestreo no probabilístico. Pontificia Universidad Católica de Chile, Escuela de Psicología, 1, 1-3.
- ❖ Tamayo M, y Tamayo (2003). El proceso de la Investigación científica. Editorial Limusa S.A.
- ❖ Ugaz Palomino, R. (2006). Estabilización de suelos y su aplicación en el mejoramiento de la subrasante [Tesis, Universidad Nacional de Ingeniería].
- ❖ Valle, E. G. Y. (2009). Metodología de la investigación. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/usmac2005/metodologa-de-la-investigacin-proyecto-de-grado-12506310>.

ANEXOS



Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA
 Lugar : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 399.127: 1998

Calicata: C-01

Muestra: M-1

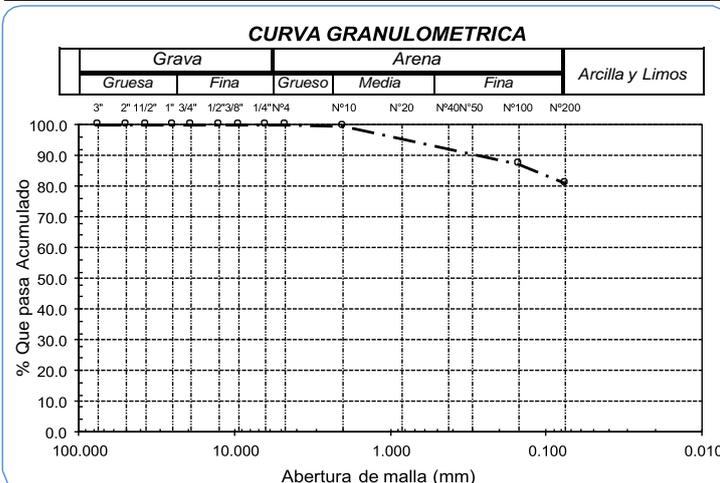
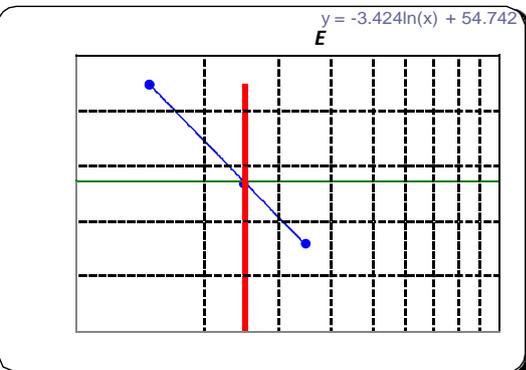
Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
N° 4	4.750	0.0	100.0
N° 10	2.000	0.5	99.5
N° 20	0.850	1.6	98.4
N° 50	0.300	4.2	95.8
N° 100	0.150	12.8	87.2
N° 200	0.075	19.0	81.0

Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	0.0	0.0
	G.F %	0.0	
% Arena	A.G %	0.5	19.0
	A.M %	2.2	
	A.F %	16.3	
% Arcilla y Limo		81.0	81.0
Total			100.0

Contenido de Humedad	
	19.9

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	43.72 (%)
Límite Plástico (LP)	20.18 (%)
Índice Plástico (IP)	23.54 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	
Arcilla de baja plasticidad con arena	
Clasificación (AASHTO)	A-7-6 (14)
Descripción	
MALO	



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA
 Lugar : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 339.127: 1998

Calicata: C-02

Muestra: M-1

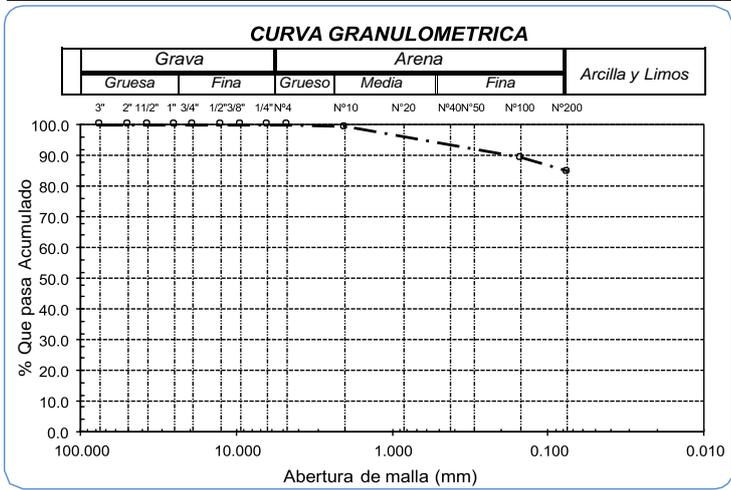
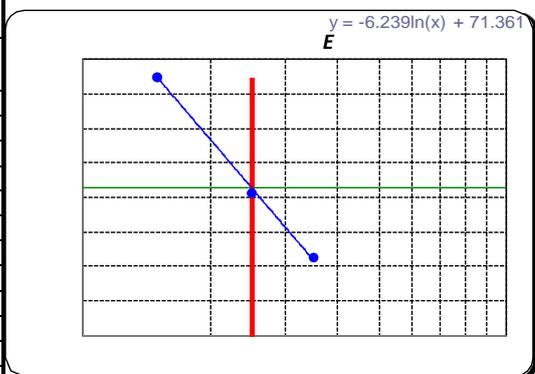
Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
N° 4	4.750	0.0	100.0
N° 10	2.000	0.7	99.3
N° 20	0.850	1.5	98.5
N° 50	0.300	4.0	96.0
N° 100	0.150	10.6	89.4
N° 200	0.075	15.3	84.7

Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	0.0	0.0
	G.F. %	0.0	
% Arena	A.G. %	0.7	15.3
	A.M. %	1.7	
	A.F. %	12.9	
% Arcilla y Limo		84.7	84.7
Total			100.0

Contenido de Humedad	
	21.0

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	51.28 (%)
Límite Plástico (LP)	22.83 (%)
Índice Plástico (IP)	28.45 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CH
Descripción del suelo	
Arcilla de alta plasticidad con arena	
Clasificación (AASHTO)	A-7-6 (18)
Descripción	
MALO	



German Gastelo Chirinos

 Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA
 Lugar : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELO. Método de ensayo para el análisis granulométrico
 : SUELO. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad del
 : SUELOS. Métodos de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. 1a. ed.
 NORMA DE REFERENCIA : N.T.P. 399.128 : 1999
 : N.T.P. 399.131
 : N.T.P. 399.127: 1998

Calicata: C-03

Muestra: M-1

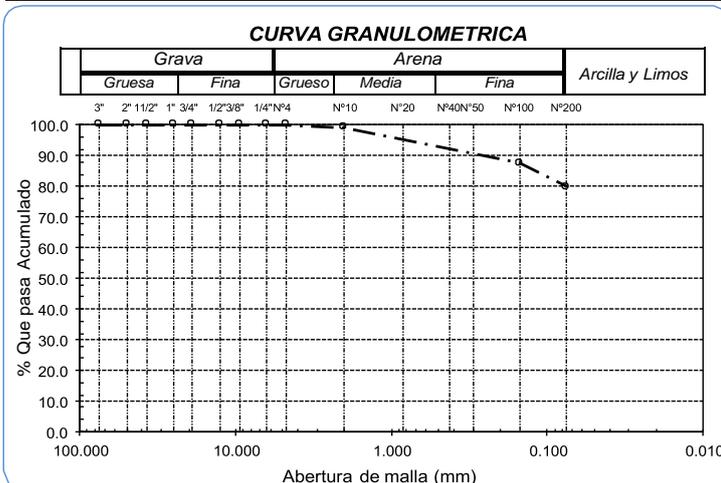
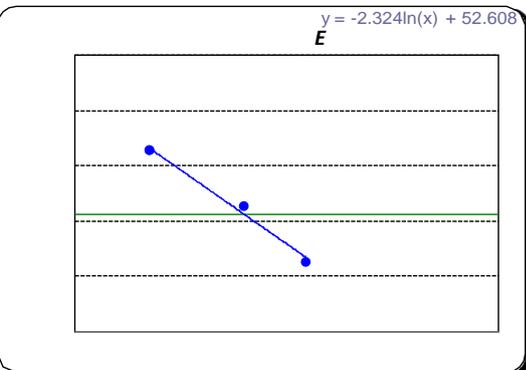
Profundidad: 0.10m. - 1.50m.

Análisis Granulométrico por tamizado			
N° Tamiz	Abertura (mm)	% Acumulados	
		Retenido	Que pasa
3"	75.000	0.0	100.0
2"	50.000	0.0	100.0
1 1/2"	37.500	0.0	100.0
1"	25.000	0.0	100.0
3/4"	19.000	0.0	100.0
1/2"	12.500	0.0	100.0
3/8"	9.500	0.0	100.0
1/4"	6.300	0.0	100.0
N° 4	4.750	0.0	100.0
N° 10	2.000	0.9	99.1
N° 20	0.850	1.7	98.3
N° 50	0.300	3.7	96.3
N° 100	0.150	12.5	87.5
N° 200	0.075	20.3	79.7

Distribución granulométrica			
% Grava	G.G. %	0.0	0.0
	G.F %	0.0	
% Arena	A.G %	0.9	20.3
	A.M %	1.6	
	A.F %	17.8	
% Arcilla y Limo		79.7	79.7
Total			100.0

Contenido de Humedad	
	19.7

Ensayo de Límite de Atterberg	
Límite líquido (LL)	45.13 (%)
Límite Plástico (LP)	20.47 (%)
Índice Plástico (IP)	24.66 (%)
Clasificación (S.U.C.S.)	CL
Descripción del suelo	
Arcilla de baja plasticidad con arena	
Clasificación (AASHTO)	A-7-6 (15)
Descripción	
MALO	



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-1**
MUESTRA : **M-1** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

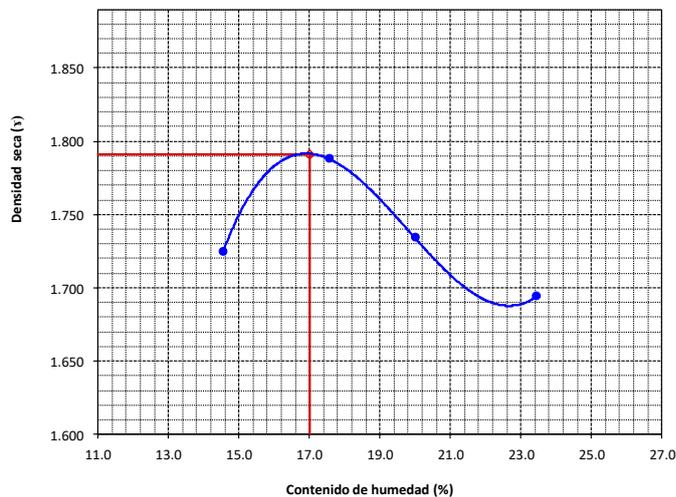
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5720	5840	5820	5830
Peso del molde	g.	3858	3858	3858	3858
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1862	1982	1962	1972
Volumen del molde	cm ³	942.96	942.96	942.96	942.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.975	2.102	2.081	2.091

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	219.77	194.91	188.63	180.24
Peso del suelo seco + tara	g.	195.48	170.00	161.95	151.30
Peso de tara	g.	28.35	28.21	28.51	27.86
Peso de agua	g.	24.29	24.91	26.68	28.94
Peso de suelo seco	g.	167.13	141.79	133.44	123.44
Contenido de agua	%	14.5	17.6	20.0	23.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.724	1.788	1.734	1.694

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.791	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	17.00	%

GRAFICO DEL PROCTOR



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
JUAN CARLOS FIRME OJEDA AYESTA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 123351



Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022
 Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-1

MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde		A-1				A-2				A-3					
Nº Capa		5				5				5					
Nº Golpes por capa		56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo		13164	13450	12808	13242	12984	13294								
Peso de molde (g)		8746	8746	8704	8704	8918	8918								
Peso del suelo húmedo (g)		4418	4704	4104	4538	4066	4376								
Volumen del molde (cc)		2120	2120	2112	2112	2113	2113								
Densidad húmeda (g/cc)		2.084	2.219	1.943	2.149	1.924	2.071								
% de humedad		17.30	23.89	18.29	29.04	20.03	27.78								
Densidad seca (g/cc)		1.777	1.791	1.643	1.665	1.603	1.621								
HUMEDAD															
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		212.7	212.7	4704	4704	190.0	190.0	4538	4538	213.4	213.4	4376.0	4376.0		
Tarro + Suelo seco (gr.)		185.4	185.4	4418	4418	165.0	165.0	4104	4104	182.5	182.5	4066.0	4066.0		
Peso del Agua (gr.)		27.3	27.3	286.0	286.0	25.0	25.0	434.0	434.0	30.9	30.9	310.0	310.0		
Peso del tarro (gr.)		27.83	27.83	0	0	28.35	28.35	0	0	28.52	28.52	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)		157.6	157.6	4340.9	4340.9	136.6	136.6	4037.7	4037.7	154.0	154.0	4001.8	4001.8		
% de humedad		17.30	17.30	23.89	23.89	18.29	18.29	29.04	29.04	20.03	20.03	27.78	27.78		
Promedio de Humedad (%)		17.30	23.89	18.29	29.04	20.03	27.78								
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
15/10/2022	14.3	0	0.38	0	0	1.7	0	0	1.55	0	0				
16/10/2022	14.3	24	4.52	0.113		4.85	0.121		5.84	0.146					
17/10/2022	14.3	48	6.13	0.153		6.94	0.174		7.26	0.182					
18/10/2022	14.3	72	7.11	0.178		8.03	0.201		7.29	0.182					
19/10/2022	14.3	96	8.34	0.209		8.56	0.214		7.4	0.185					
			4.57	total	4.57	4.57	total	4.69	4.57	total	4.05				
PENETRACION															
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3				
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		
			Lect. Dial	Kgf/ pulg2	kgf/ pulg2	%	Lect. Dial	Kgf/ pulg2	kgf/ pulg2	%	Lect. Dial	Kgf/ pulg2	kgf/ pulg2	%	
mm.	pulg.	Lbf/in2													
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2			
0.640	0.025	0'30"	35	15			21	10			16	8			
1.270	0.050	1'00"	95	38			52	22			42	18			
1.910	0.075	1'30"	124	49			78	32			62	26			
2.540	0.100	2'00"	1000	204	80	50.6	5.1	96	38	33.9	3.4	84	34	31.6	3.2
3.810	0.150	3'00"		234	91			104	41			110	44		
5.080	0.200	4'00"	1500	254	99	97.5	6.5	142	56	58.2	3.9	124	49	50.3	3.4
6.350	0.250	5'00"		308	120			167	65			134	53		
7.620	0.300	6'00"		324	126			211	82			165	65		
10.160	0.400	8'00"		341	133			248	97			184	72		
12.700	0.500	10'00"		354	138			283	110			210	82		

German Gastelo Chirinos

Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

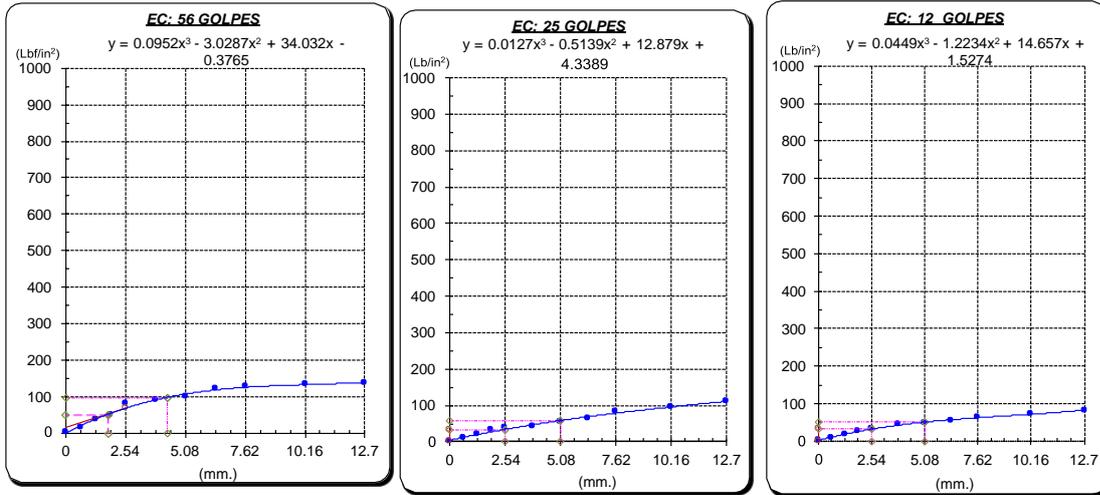


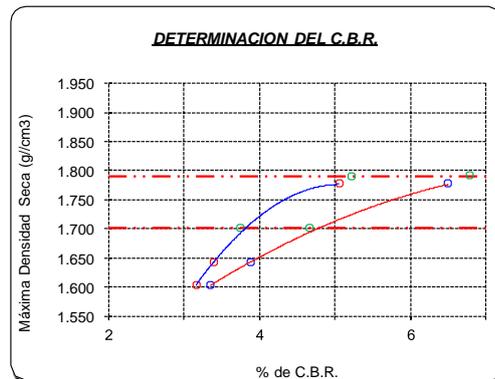
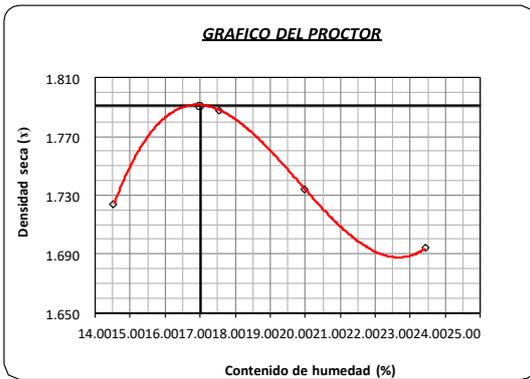
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.791 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.701 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	17.00 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	5 %	7 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	4 %	5 %



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"
Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-2**
MUESTRA : **M-1** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

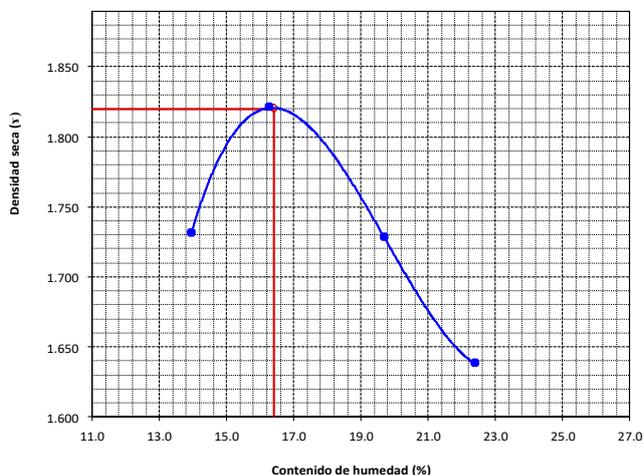
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5718	5854	5808	5748
Peso del molde	g.	3858	3858	3858	3858
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1860	1996	1950	1890
Volumen del molde	cm ³	942.96	942.96	942.96	942.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.973	2.117	2.068	2.004

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	362.90	176.21	215.96	173.08
Peso del suelo seco + tara	g.	324.61	156.92	185.08	148.39
Peso de tara	g.	50.02	38.34	28.33	38.10
Peso de agua	g.	38.29	19.29	30.88	24.69
Peso de suelo seco	g.	274.59	118.58	156.75	110.29
Contenido de agua	%	13.9	16.3	19.7	22.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.731	1.821	1.728	1.638

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.820	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	16.40	%

GRAFICO DEL PROCTOR



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 123351

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"
 Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-2
 MUESTRA : M-1

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde	A-1				A-2				A-3						
Nº Capa	5				5				5						
Nº Golpes por capa	56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo	13310	13498	13328	13490	13018	13190									
Peso de molde (g)	8790	8790	8836	8836	8778	8778									
Peso del suelo húmedo (g)	4520	4708	4492	4654	4240	4412									
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113									
Densidad húmeda (g/cc)	2.132	2.221	2.127	2.204	2.007	2.088									
% de humedad	16.35	20.59	17.05	20.72	17.26	21.38									
Densidad seca (g/cc)	1.832	1.842	1.817	1.825	1.711	1.720									
HUMEDAD															
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	158.1	158.1	4708	4708	186.5	186.5	4654	4654	187.8	187.8	4412.0	4412.0			
Tarro + Suelo seco (gr.)	140.8	140.8	4520	4520	165.1	165.1	4492	4492	165.8	165.8	4240.0	4240.0			
Peso del Agua (gr.)	17.3	17.3	188.0	188.0	21.4	21.4	162.0	162.0	22.0	22.0	172.0	172.0			
Peso del tarro (gr.)	34.88	34.88	0	0	39.7	39.7	0	0	38.27	38.27	0	0			
Peso del suelo seco (gr.)	105.9	105.9	4438.7	4438.7	125.4	125.4	4411.8	4411.8	127.5	127.5	4168.7	4168.7			
% de humedad	16.35	16.35	20.59	20.59	17.05	17.05	20.72	20.72	17.26	17.26	21.38	21.38			
Promedio de Humedad (%)	16.35		20.59		17.05		20.72		17.26		21.38				
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
15/10/2022	14.3	0	1.42	0	0	2.38	0	0	6.27	0	0				
16/10/2022	14.3	24	3.5	0.088		5.4	0.135		8.95	0.224					
17/10/2022	14.3	48	4.93	0.123		7.66	0.192		12.59	0.315					
18/10/2022	14.3	72	4.55	0.114		8.35	0.209		13.22	0.331					
19/10/2022	14.3	96	6.2	0.155		8.98	0.225		13.66	0.342					
			4.57	total	3.39	4.57	total	4.92	4.57	total	7.48				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3				
			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			CARGA	CORRECCIÓN			
mm.	pulg.	Lbf/in2	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2			
0.640	0.025	0'30"	29	13			24	11			20	10			
1.270	0.050	1'00"	85	34			40	17			34	15			
1.910	0.075	1'30"	135	53			82	33			45	19			
2.540	0.100	2'00"	1000	178	70	39.9	4.0	86	35	35.1	3.5	56	23	22.3	2.2
3.810	0.150	3'00"		184	72			104	41			68	28		
5.080	0.200	4'00"	1500	196	77	78.7	5.2	142	56	56.3	3.8	73	30	31.0	2.1
6.350	0.250	5'00"		241	94			175	68			78	32		
7.620	0.300	6'00"		296	115			180	70			85	34		
10.160	0.400	8'00"		355	139			184	72			89	36		
12.700	0.500	10'00"		365	143			210	82			91	36		

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

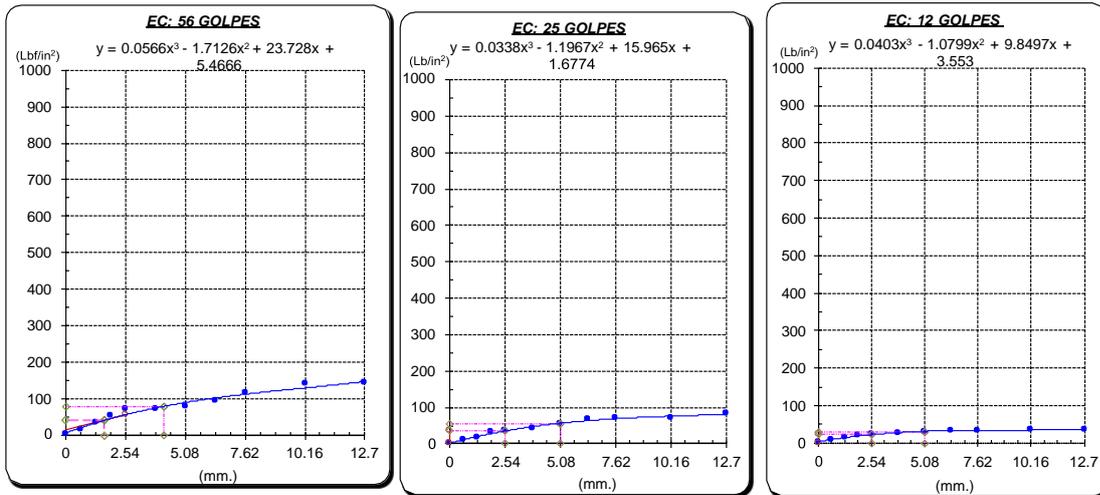


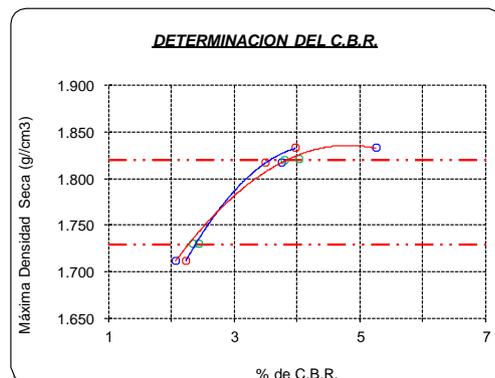
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.820 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.729 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	16.40 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	4 %	4 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	2 %	2 %



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"
Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**
MUESTRA : **M-1** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

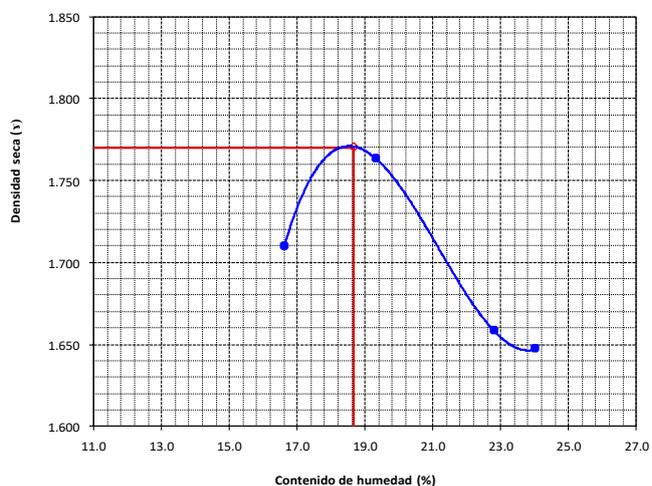
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5738	5842	5778	5784
Peso del molde	g.	3858	3858	3858	3858
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1880	1984	1920	1926
Volumen del molde	cm ³	942.96	942.96	942.96	942.96
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.994	2.104	2.036	2.043

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	151.87	187.18	139.34	226.73
Peso del suelo seco + tara	g.	135.69	161.44	119.94	190.51
Peso de tara	g.	38.28	28.20	34.90	39.70
Peso de agua	g.	16.18	25.74	19.4	36.22
Peso de suelo seco	g.	97.41	133.24	85.04	150.81
Contenido de agua	%	16.6	19.3	22.8	24.0
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.710	1.763	1.658	1.647

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.770	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	18.65	%

GRAFICO DEL PROCTOR



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ujeda Ayesta
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 123351

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"
 Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**
 MUESTRA : **M-1**

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde		A-1				A-2				A-3					
Nº Capa		5				5				5					
Nº Golpes por capa		56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo		13502		13610		13170		13328		12778		12998			
Peso de molde (g)		9020		9020		8794		8794		8600		8600			
Peso del suelo húmedo (g)		4482		4590		4376		4534		4178		4398			
Volumen del molde (cc)		2120		2120		2112		2112		2113		2113			
Densidad húmeda (g/cc)		2.114		2.165		2.072		2.147		1.977		2.081			
% de humedad		17.52		19.97		17.11		20.79		17.75		23.10			
Densidad seca (g/cc)		1.799		1.805		1.769		1.777		1.679		1.691			
HUMEDAD															
Tarro Nº		-		-		-		-		-		-			
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		212.2	212.2	4590	4590	229.5	229.5	4534	4534	216.9	216.9	4398.0	4398.0		
Tarro + Suelo seco (gr.)		184.8	184.8	4482	4482	200.1	200.1	4376	4376	188.5	188.5	4178.0	4178.0		
Peso del Agua (gr.)		27.4	27.4	108.0	108.0	29.4	29.4	158.0	158.0	28.4	28.4	220.0	220.0		
Peso del tarro (gr.)		28.43	28.43	0	0	28.28	28.28	0	0	28.49	28.49	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)		156.3	156.3	4402.8	4402.8	171.9	171.9	4299.9	4299.9	160.0	160.0	4109.0	4109.0		
% de humedad		17.52	17.52	19.97	19.97	17.11	17.11	20.79	20.79	17.75	17.75	23.10	23.10		
Promedio de Humedad (%)		17.52		19.97		17.11		20.79		17.75		23.10			
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
16/09/2022	14.3	24	25	0.625		20	0.500		15	0.375					
17/09/2022	14.3	48	26	0.650		20	0.500		15	0.375					
18/09/2022	14.3	72	28	0.700		20	0.500		15	0.375					
19/09/2022	14.3	96	29	0.725		20	0.500		15	0.375					
			4.57	total	15.88	4.57	total	10.95	4.57	total	8.21				
PENETRACION															
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3				
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	
mm.	pulg.	Lbf/in2													
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2			
0.640	0.025	0'30"	20	10			19	9			12	7			
1.270	0.050	1'00"	21	10			20	10			18	9			
1.910	0.075	1'30"	43	18			38	17			26	12			
2.540	0.100	2'00"	1000	72	29	13.4	1.3	65	27	9.4	0.9	42	18	6.5	0.7
3.810	0.150	3'00"		136	54			114	45			95	38		
5.080	0.200	4'00"	1500	182	71	29.3	2.0	175	68	23.2	1.5	87	35	14.9	1.0
6.350	0.250	5'00"		257	100			248	97			192	75		
7.620	0.300	6'00"		321	125			290	113			138	54		
10.160	0.400	8'00"		377	147			330	129			278	108		
12.700	0.500	10'00"		380	148			352	137			315	123		

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

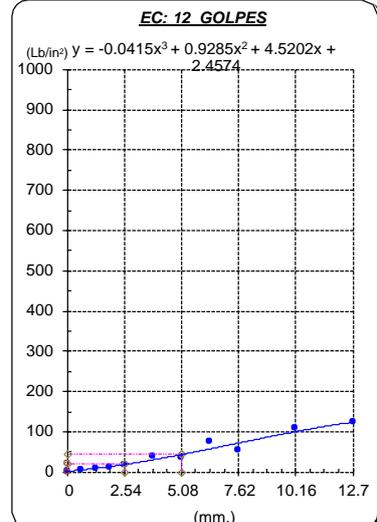
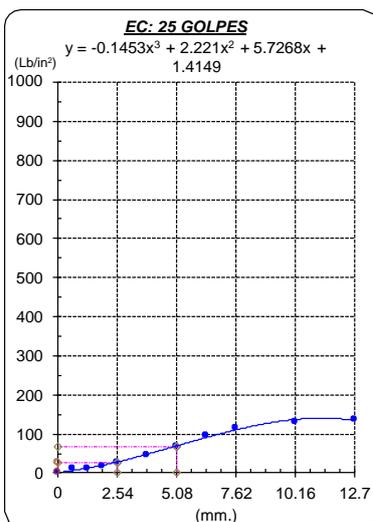
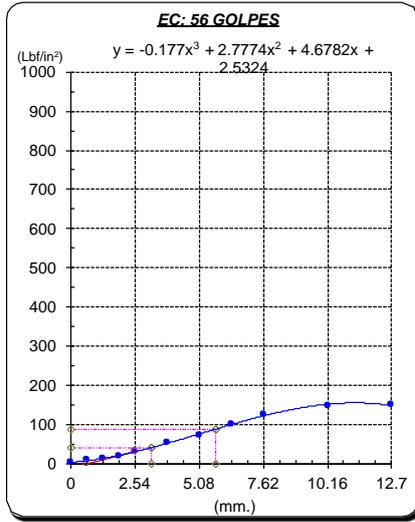


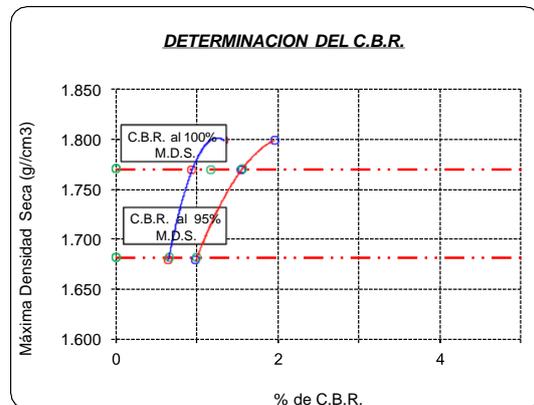
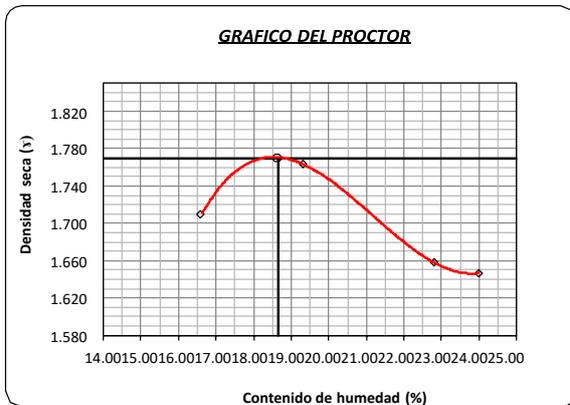
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.770 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.682 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	18.65 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	1 %	2 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	1 %	1 %



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto/Tesi : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

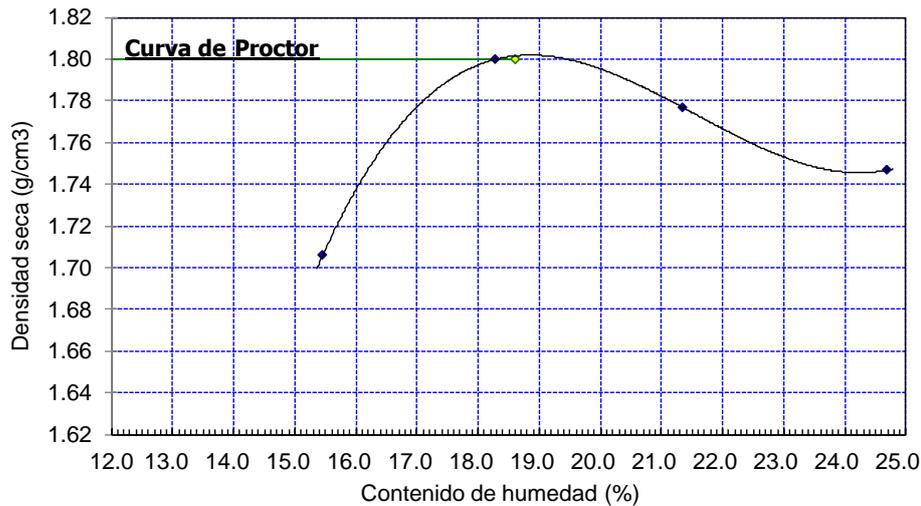
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/pe³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde		2114.0	911.9	Arcilla + 2% de Caucho C-01 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5320	5465	5490	5510	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumne del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.970	2.129	2.156	2.178	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	245.6	234.5	215.6	210.5	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	216	203	183	175	
8.-	Peso del agua	(g)	29.6	31.5	32.6	35.5	
9.-	Peso de la tara	(g)	24.5	30.6	30.2	31.2	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	191.5	172.4	152.8	143.8	
11.-	Contenido de humedad	(%)	15.5	18.3	21.3	24.7	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.71	1.80	1.78	1.75	

Máxima Densidad Seca 1.800 g/cm³
 Óptimo Contenido de Humedad 18.6 %
 Calicata : C -01
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES:

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Arevalo
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

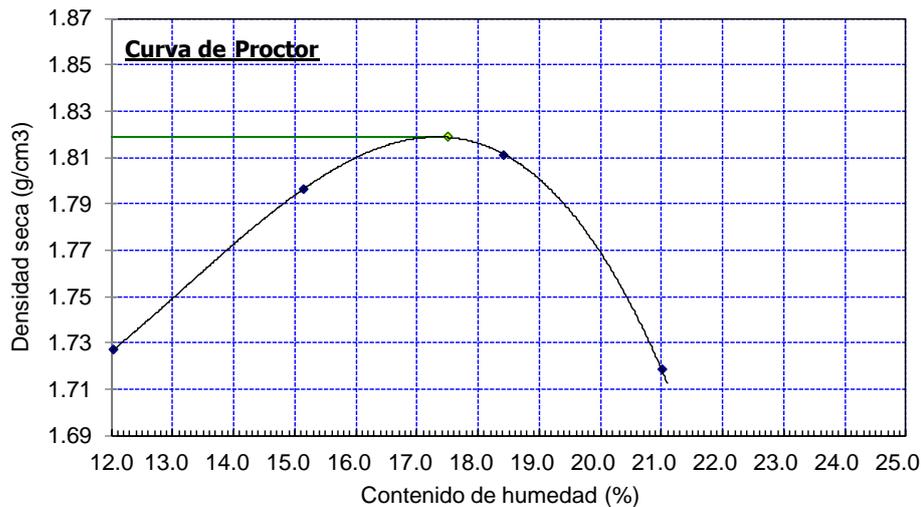
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe3))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 2% de Caucho C-02 M - 1		
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5288	5410	5480	5420
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	1.934	2.068	2.145	2.079
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	175.6	215.2	198.5	204.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	164.5	197	179.5	181.5
8.- Peso del agua	(g)	11.1	18.2	19.0	23.0
9.- Peso de la tara	(g)	72.2	76.8	76.4	72.0
10.- Peso de suelo seco	(g)	92.3	120.2	103.1	109.5
11.- Contenido de humedad	(%)	12.0	15.1	18.4	21.0
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.73	1.80	1.81	1.72

Máxima Densidad Seca 1.819 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 17.5 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Areta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

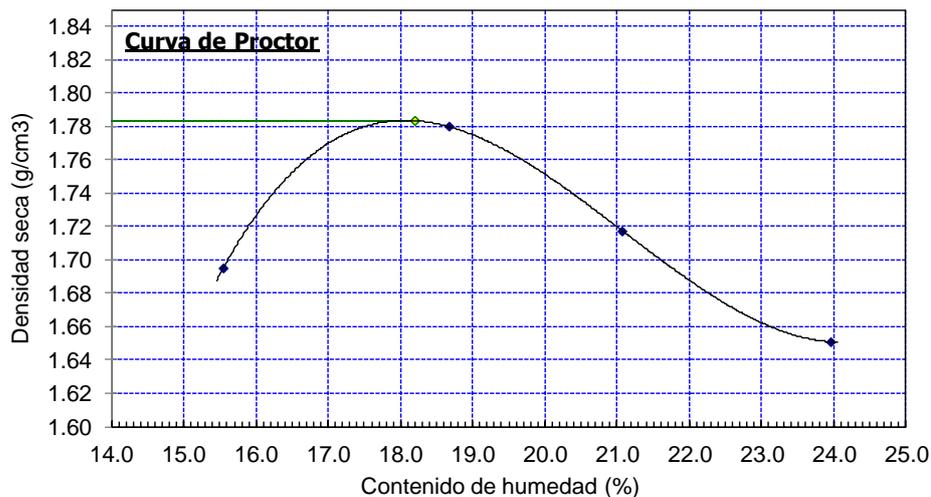
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 2% de Caucho C-03 M - 1		
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5310	5450	5420	5390
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	1.959	2.112	2.079	2.046
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	185.6	210.4	245.6	204.6
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	165	184	212	170
8.- Peso del agua	(g)	20.6	26.4	33.6	34.6
9.- Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6
10.- Peso de suelo seco	(g)	132.5	141.4	159.4	144.4
11.- Contenido de humedad	(%)	15.5	18.7	21.1	24.0
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.70	1.78	1.72	1.65

Máxima Densidad Seca 1.783 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 18.2 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto/Tesi : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

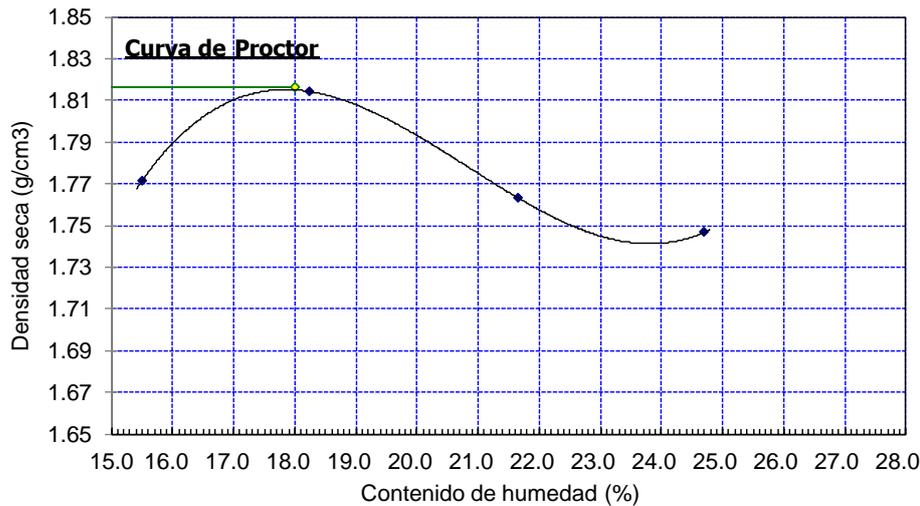
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

		Arcilla + 4% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5390	5480	5480	5510
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	2.046	2.145	2.145	2.178
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	214.5	189.5	195.4	263.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	189	165	166	217.5
8.- Peso del agua	(g)	25.5	24.5	29.4	46.0
9.- Peso de la tara	(g)	24.5	30.6	30.2	31.2
10.- Peso de suelo seco	(g)	164.5	134.4	135.8	186.3
11.- Contenido de humedad	(%)	15.5	18.2	21.6	24.7
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.77	1.81	1.76	1.75

Máxima Densidad Seca 1.816 g/cm³
 Óptimo Contenido de Humedad 18.0 %
 Calicata : C -01
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES:

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"


 German Gastelo Chirinos




 Juan Carlos Firme Ojeda Arevalo
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

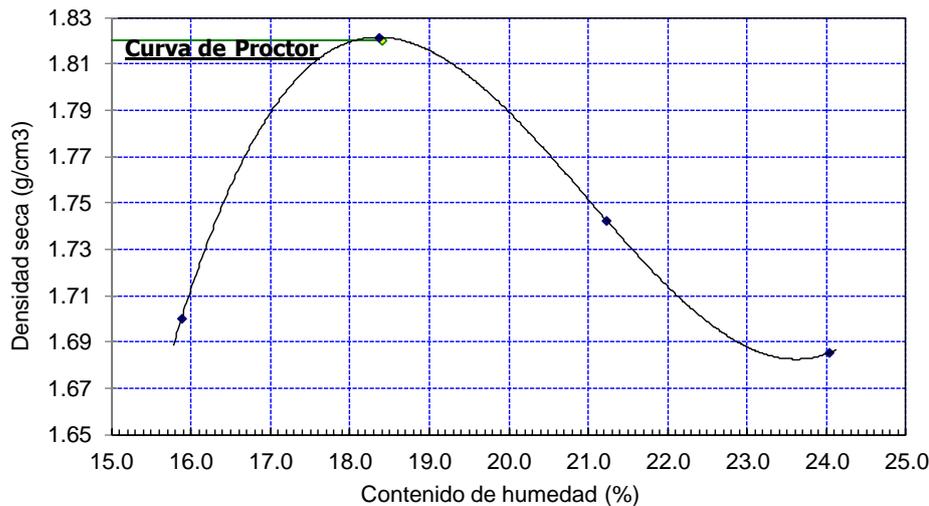
Volumen de molde		2114.0	Arcilla + 4% de Caucho C-02 M - 1				
Peso de molde		6350 gr	911.9	5320	5490	5450	5430
			3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5320	5490	5450	5430	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumne del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.970	2.156	2.112	2.090	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	214.5	232.1	221.4	216.5	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	195	208	196	188.5	
8.-	Peso del agua	(g)	19.5	24.1	25.4	28.0	
9.-	Peso de la tara	(g)	72.2	76.8	76.4	72.0	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	122.8	131.2	119.6	116.5	
11.-	Contenido de humedad	(%)	15.9	18.4	21.2	24.0	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.70	1.82	1.74	1.69	

Máxima Densidad Seca 1.820 g/cm³

Óptimo Contenido de Humedad 18.4 %

Calicata : C -02

Muestra : M-01



OBSERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"


German Gastelo Chirinos




Juan Carlos Firme Ojeda Arevalo
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

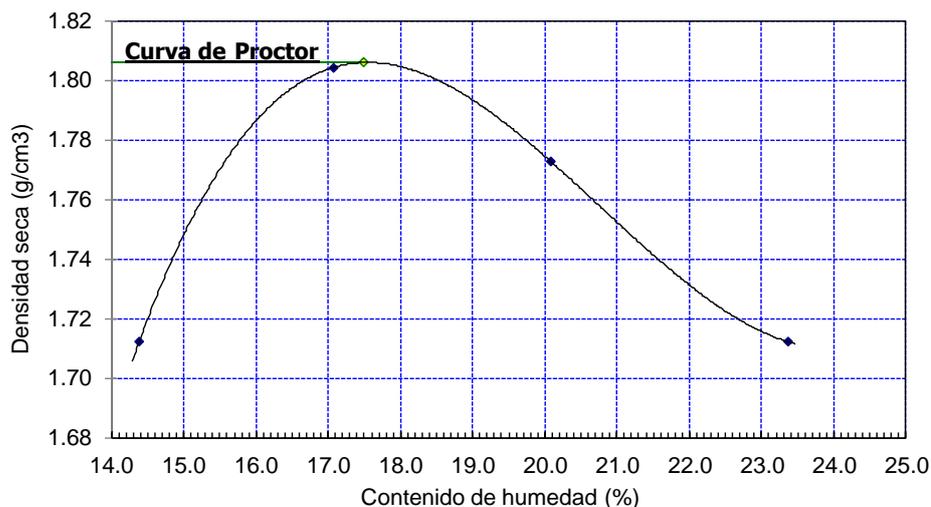
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde		2114.0	Arcilla + 4% de Caucho C-03 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	911.9			
			3524.0			
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5310	5450	5465	5450
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.-	Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.-	Densidad húmeda	(g/cm ³)	1.959	2.112	2.129	2.112
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4
6.-	Peso de la tara + suelo húmedo	(g)	195.5	265.5	210.4	198.8
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	175	233	184	166
8.-	Peso del agua	(g)	20.5	32.5	26.4	32.8
9.-	Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6
10.-	Peso de suelo seco	(g)	142.5	190.4	131.4	140.4
11.-	Contenido de humedad	(%)	14.4	17.1	20.1	23.4
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.71	1.80	1.77	1.71

Máxima Densidad Seca 1.806 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 17.5 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"





Tesista : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto/Tesi : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

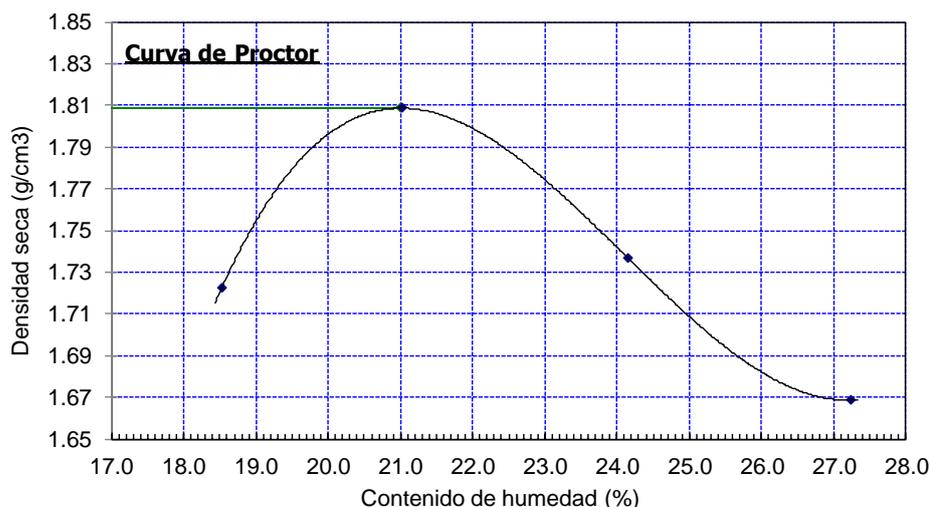
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

		Arcilla + 8% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5386	5520	5490	5460
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	2.042	2.189	2.156	2.123
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	243.5	236.5	247.8	226.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	211	202.8	207	186.5
8.- Peso del agua	(g)	32.5	33.7	40.8	40.0
9.- Peso de la tara	(g)	35.6	42.5	38.1	39.6
10.- Peso de suelo seco	(g)	175.4	160.3	168.9	146.9
11.- Contenido de humedad	(%)	18.5	21.0	24.2	27.2
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.72	1.81	1.74	1.67

Máxima Densidad Seca 1.809 g/cm³
 Óptimo Contenido de Humedad 21.0 %
 Calicata : C -01
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES:

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

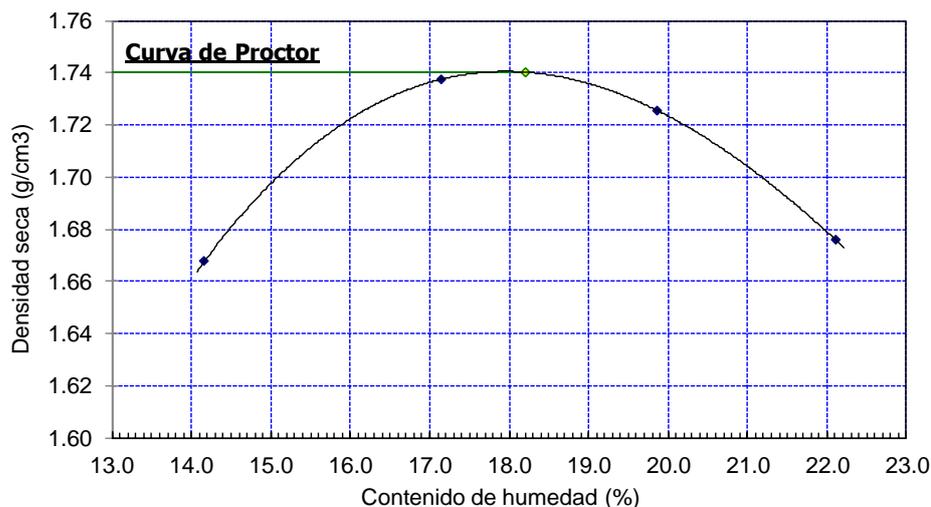
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde		2114.0	911.9	Arcilla + 8% de Caucho C-02 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5260	5380	5410	5390	
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	
3.-	Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.904	2.035	2.068	2.046	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	198.5	223.5	246.2	236.5	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	182	196	213.5	203	
8.-	Peso del agua	(g)	16.5	27.5	32.7	33.5	
9.-	Peso de la tara	(g)	65.5	35.6	48.9	51.5	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	116.5	160.4	164.6	151.5	
11.-	Contenido de humedad	(%)	14.2	17.1	19.9	22.1	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.67	1.74	1.73	1.68	

Máxima Densidad Seca 1.740 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 18.2 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"


 German Gastelo Chirinos


 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

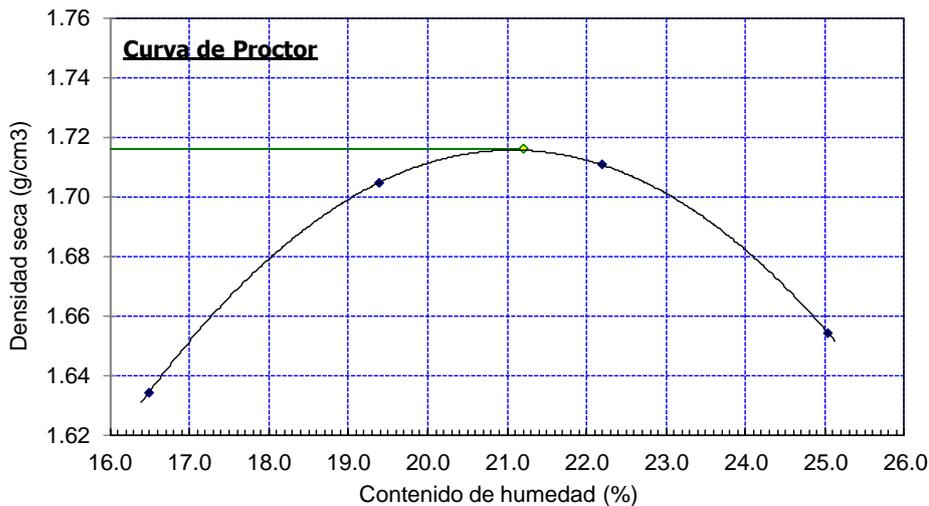
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde		2114.0	911.9	Arcilla + 8% de Caucho C-03 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.-	Peso de la muestra compactada + molde	(g)		5260	5380	5430	5410
2.-	Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524	3524
3.-	Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9	911.9
4.-	Densidad humeda	(g/cm ³)	1.904	2.035	2.090	2.068	
5.-	Nº de la tara		1	2	3	4	
6.-	Peso de la tara + suelo humedo	(g)	245.1	236.5	198.5	210.4	
7.-	Peso de la tara + suelo seco	(g)	215	205	172	173.4	
8.-	Peso del agua	(g)	30.1	31.5	26.5	37.0	
9.-	Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6	
10.-	Peso de suelo seco	(g)	182.5	162.4	119.4	147.8	
11.-	Contenido de humedad	(%)	16.5	19.4	22.2	25.0	
12.-	Densidad seca	(g/cm ³)	1.63	1.70	1.71	1.65	

Máxima Densidad Seca 1.716 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 21.2 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"


 German Gastelo Chirinos




 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Proyecto/Tesi : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

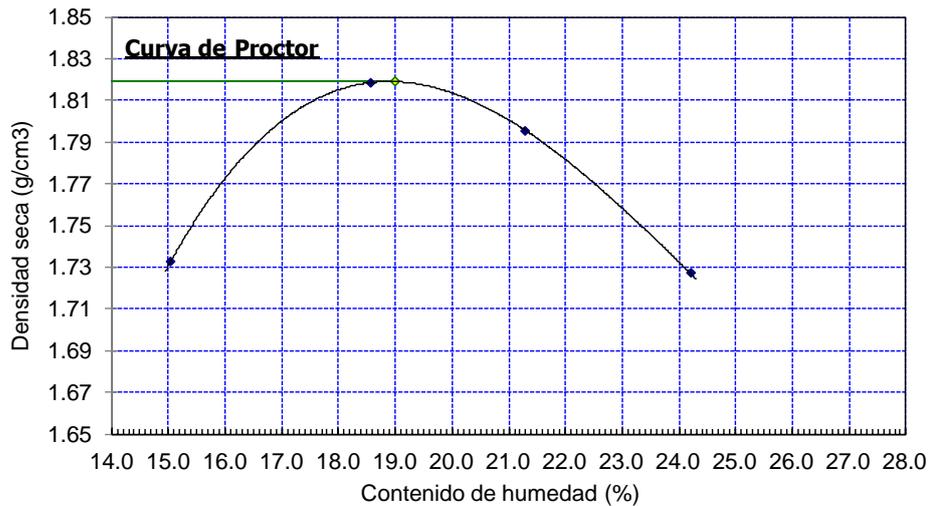
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

		Arcilla + 6% de Caucho C-01 M - 1			
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9			
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5342	5490	5510	5480
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	1.994	2.156	2.178	2.145
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	198.8	210.1	220.4	198.5
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	176	182	187	165.9
8.- Peso del agua	(g)	22.8	28.1	33.4	32.6
9.- Peso de la tara	(g)	24.5	30.6	30.2	31.2
10.- Peso de suelo seco	(g)	151.5	151.4	156.8	134.7
11.- Contenido de humedad	(%)	15.0	18.6	21.3	24.2
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.73	1.82	1.80	1.73

Máxima Densidad Seca 1.819 g/cm³
 Óptimo Contenido de Humedad 19.0 %
 Calicata : C -01
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES:

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

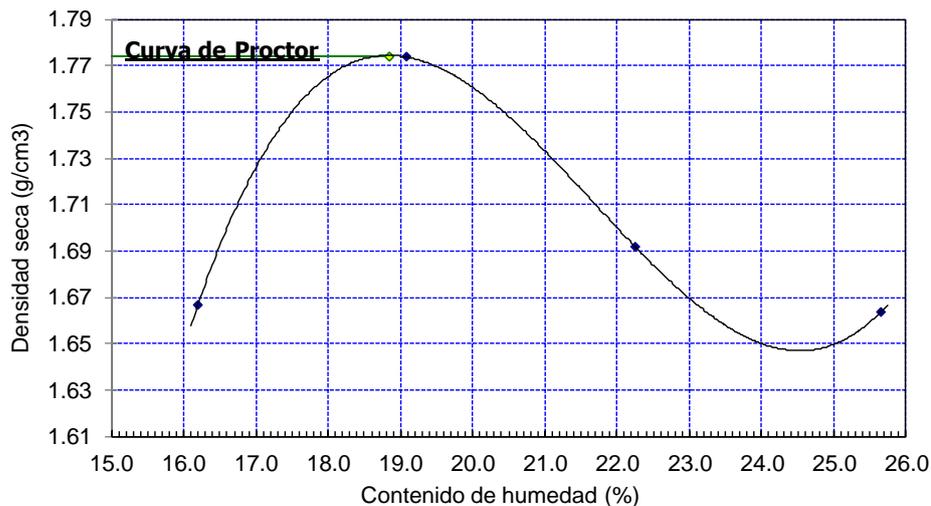
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/ pie³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

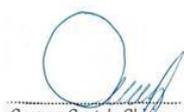
Volumen de molde	2114.0 cm ³	911.9	Arcilla + 6% de Caucho C-02 M - 1		
Peso de molde	6350 gr	3524.0			
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5290	5450	5410	5430
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	1.937	2.112	2.068	2.090
5.- N° de la tara		1	2	3	4
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	245.1	198.5	216.5	285.6
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	221	179	191	242
8.- Peso del agua	(g)	24.1	19.5	25.5	43.6
9.- Peso de la tara	(g)	72.2	76.8	76.4	72.0
10.- Peso de suelo seco	(g)	148.8	102.2	114.6	170
11.- Contenido de humedad	(%)	16.2	19.1	22.3	25.6
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.67	1.77	1.69	1.66

Máxima Densidad Seca 1.774 g/cm³
 Óptimo Contenido de Humedad 18.9 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBSERVACIONES:

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"





Solicitante : Aviles Gutierrez Luis, Lopez Vargas Julio

Atención : ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Obra : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, DEPARTAMENTO DE LAMBAYEQUE

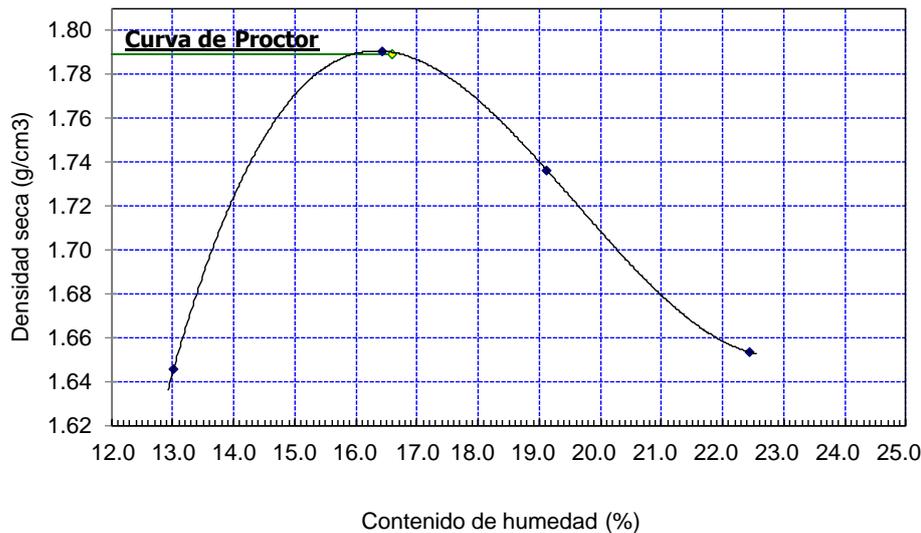
Fecha de emi : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

ENSAYO : SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lb/pe³))

REFERENCIA : N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Volumen de molde		2114.0	911.9	Arcilla + 6% de Caucho C-03 M - 1			
Peso de molde		6350 gr	3524.0				
1.- Peso de la muestra compactada + molde	(g)	5220	5425	5410	5370		
2.- Peso del molde	(g)	3524.0	3524	3524	3524		
3.- Volumen del molde	(cm ³)	911.9	911.9	911.9	911.9		
4.- Densidad humeda	(g/cm ³)	1.860	2.085	2.068	2.024		
5.- N° de la tara		1	2	3	4		
6.- Peso de la tara + suelo humedo	(g)	210.5	198.5	240.1	186.5		
7.- Peso de la tara + suelo seco	(g)	190	176.5	210	157		
8.- Peso del agua	(g)	20.5	22.0	30.1	29.5		
9.- Peso de la tara	(g)	32.5	42.6	52.6	25.6		
10.- Peso de suelo seco	(g)	157.5	133.9	157.4	131.4		
11.- Contenido de humedad	(%)	13.0	16.4	19.1	22.5		
12.- Densidad seca	(g/cm ³)	1.65	1.79	1.74	1.65		

Máxima Densidad Seca 1.789 g/cm³
 Optimo Contenido de Humedad 16.6 %
 Calicata : C -02
 Muestra : M-01



OBERVACIONES :

Método de compactación utilizado ASTM D-1557 - "A"





SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis,
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**
 MUESTRA : **Arcilla+ 2% de caucho** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

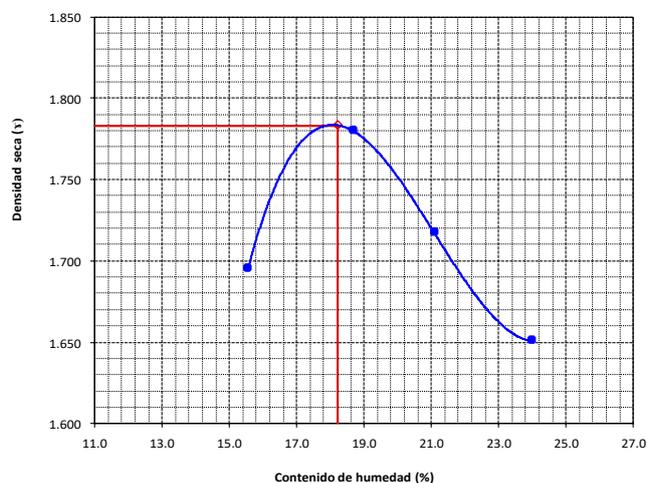
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5310	5450	5420	5390
Peso del molde	g.	3524	3524	3524	3524
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1786	1926	1896	1866
Volumen del molde	cm ³	911.9	911.9	911.9	911.9
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.959	2.112	2.079	2.046

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	185.60	210.40	245.60	204.60
Peso del suelo seco + tara	g.	165.00	184.00	212.00	170.00
Peso de tara	g.	32.50	42.60	52.60	25.60
Peso de agua	g.	20.60	26.4	33.6	34.6
Peso de suelo seco	g.	132.50	141.4	159.4	144.4
Contenido de agua	%	15.5	18.7	21.1	24.0
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.695	1.780	1.717	1.651

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.783	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	18.20	%

GRAFICO DEL PROCTOR







German Gastelo Chirinos
 Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"
 Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3

MUESTRA : Arcilla+ 2% de caucho

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN															
Nº Molde	A-1				A-2				A-3						
Nº Capa	5				5				5						
Nº Golpes por capa	56				25				12						
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado				
Peso molde + Suelo húmedo	12302	12610	12090	12228	11968	12198									
Peso de molde (g)	7843	7843	7671	7671	7840	7840									
Peso del suelo húmedo (g)	4459	4767	4419	4557	4128	4358									
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113									
Densidad húmeda (g/cc)	2.103	2.249	2.092	2.158	1.954	2.062									
% de humedad	18.18	25.21	19.31	22.49	20.09	25.76									
Densidad seca (g/cc)	1.780	1.796	1.754	1.762	1.627	1.640									
HUMEDAD															
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-									
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	249.5	249.5	4767	4767	312.5	312.5	4557	4557	278.9	278.9	4358.0	4358.0			
Tarro + Suelo seco (gr.)	215.5	215.5	4459	4459	266.5	266.5	4419	4419	237.0	237.0	4128.0	4128.0			
Peso del Agua (gr.)	34.0	34.0	308.0	308.0	46.0	46.0	138.0	138.0	41.9	41.9	230.0	230.0			
Peso del tarro (gr.)	28.43	28.43	0	0	28.28	28.28	0	0	28.49	28.49	0	0			
Peso del suelo seco (gr.)	187.1	187.1	4381.0	4381.0	238.2	238.2	4342.8	4342.8	208.5	208.5	4061.9	4061.9			
% de humedad	18.18	18.18	25.21	25.21	19.31	19.31	22.49	22.49	20.09	20.09	25.76	25.76			
Promedio de Humedad (%)	18.18	25.21	19.31	22.49	20.09	25.76									
EXPANSIÓN															
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN					
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%				
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				
16/09/2022	14.3	24	21	0.525	20	0.500	15	0.375							
17/09/2022	14.3	48	86	2.150	95	2.375	86	2.150							
18/09/2022	14.3	72	101	2.525	112	2.800	124	3.100							
19/09/2022	14.3	96	124	3.100	135	3.375	153	3.825							
				total	22.20		total	24.78		total	29.74				
PENETRACIÓN															
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3				
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	
mm.	pulg.	Lbf/in2	0	2	0	2	0	2	0	2					
0.640	0.025	0'30"	124	49	95	38	75	30							
1.270	0.050	1'00"	210	82	186	73	102	41							
1.910	0.075	1'30"	310	121	240	94	136	54							
2.540	0.100	2'00"	1000	386	151	30.0	3.0	290	113	35.2	3.5	195	76	24.8	2.5
3.810	0.150	3'00"	486	191	310	121	265	103							
5.080	0.200	4'00"	1500	540	213	63.7	4.2	350	137	48.3	3.2	270	105	38.3	2.6
6.350	0.250	5'00"	550	217	370	144	326	127							
7.620	0.300	6'00"	560	221	390	152	345	135							
10.160	0.400	8'00"	570	225	370	160	360	141							
12.700	0.500	10'00"	580	229	370	169	380	148							

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3
 MUESTRA : Arcilla+ 2% de caucho

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACION

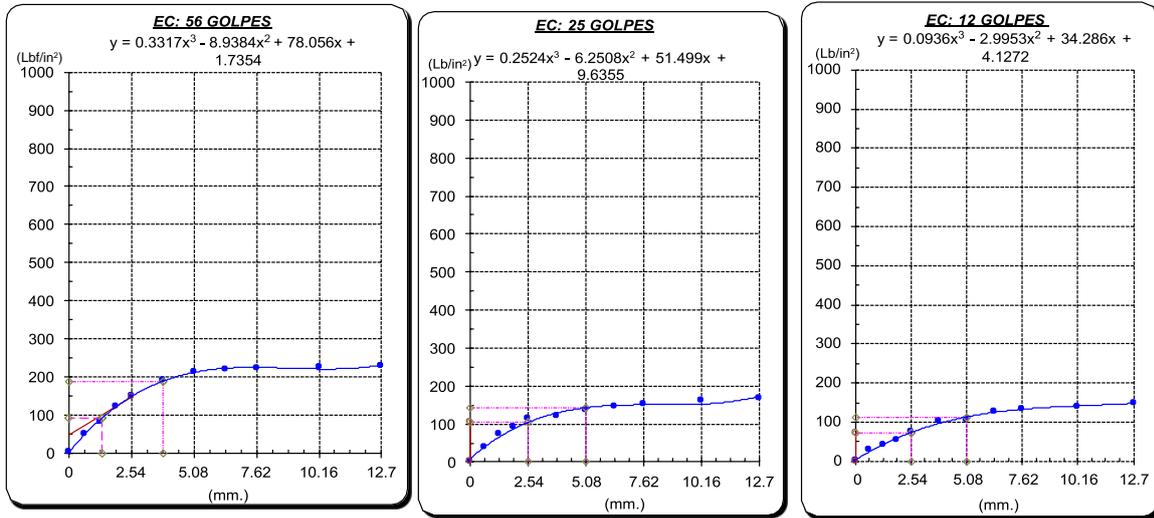


GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

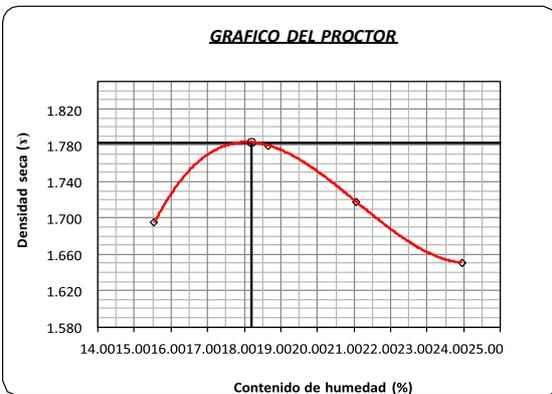
DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.783 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.694 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	18.20 %

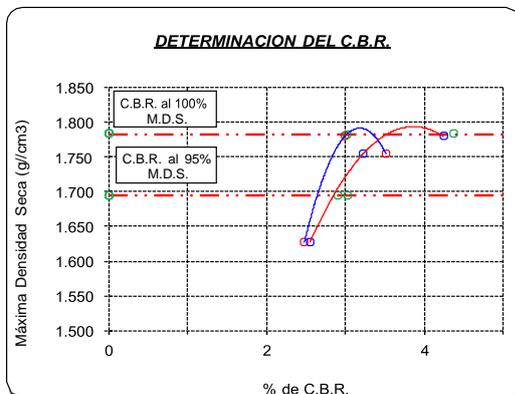
VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	3 %	4 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	3 %	3 %

GRAFICO DEL PROCTOR



DETERMINACION DEL C.B.R.



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Areta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**
 MUESTRA : **Arcilla+ 8% de caucho** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

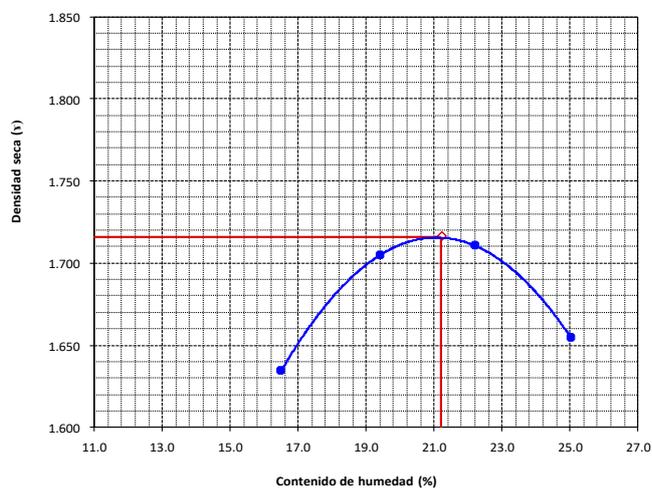
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5260	5380	5430	5410
Peso del molde	g.	3524	3524	3524	3524
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1736	1856	1906	1886
Volumen del molde	cm ³	911.9	911.9	911.9	911.9
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.904	2.035	2.090	2.068

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	245.10	236.50	198.50	210.40
Peso del suelo seco + tara	g.	215.00	205.00	172.00	173.40
Peso de tara	g.	32.50	42.60	52.60	25.60
Peso de agua	g.	30.10	31.5	26.5	37
Peso de suelo seco	g.	182.50	162.4	119.4	147.8
Contenido de agua	%	16.5	19.4	22.2	25.0
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.634	1.705	1.711	1.654

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.716	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	21.20	%

GRAFICO DEL PROCTOR



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022
 Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3
 MUESTRA : Arcilla+ 8% de caucho PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde		A-1				A-2				A-3				
Nº Capa		5				5				5				
Nº Golpes por capa		56				25				12				
CONDICION DE LA MUESTRA		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		
Peso molde + Suelo húmedo		12260	12610	11990	12228	11898	11998							
Peso de molde (g)		7843	7843	7671	7671	7840	7840							
Peso del suelo húmedo (g)		4417	4767	4319	4557	4058	4158							
Volumen del molde (cc)		2120	2120	2112	2112	2113	2113							
Densidad húmeda (g/cc)		2.083	2.249	2.045	2.158	1.920	1.968							
% de humedad		21.22	29.28	23.03	28.63	25.00	27.50							
Densidad seca (g/cc)		1.719	1.739	1.662	1.677	1.536	1.543							
HUMEDAD														
Tarro Nº		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tarro + Suelo húmedo (gr.)		285.6	285.6	4767	4767	296.5	296.5	4557	4557	265.0	265.0	4158.0	4158.0	
Tarro + Suelo seco (gr.)		235.6	235.6	4417	4417	241.0	241.0	4319	4319	212.0	212.0	4058.0	4058.0	
Peso del Agua (gr.)		50.0	50.0	350.0	350.0	55.5	55.5	238.0	238.0	53.0	53.0	100.0	100.0	
Peso del tarro (gr.)		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Peso del suelo seco (gr.)		235.6	235.6	4342.4	4342.4	241.0	241.0	4248.4	4248.4	212.0	212.0	3996.6	3996.6	
% de humedad		21.22	21.22	29.28	29.28	23.03	23.03	28.63	28.63	25.00	25.00	27.50	27.50	
Promedio de Humedad (%)		21.22	29.28	23.03	28.63	25.00	27.50							
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
16/09/2022	14.3	24	45	1.125		48	1.200		50	1.250				
17/09/2022	14.3	48	96	2.400		112	2.800		125	3.125				
18/09/2022	14.3	72	145	3.625		146	3.650		158	3.950				
19/09/2022	14.3	96	156	3.900		162	4.050		175	4.375				
				total	23.92		total	24.57		total	26.94			
PENETRACION														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.	Lbf/in2												
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2		
0.640	0.025	0'30"	74	30			56	23			21	10		
1.270	0.050	1'00"	86	35			74	30			52	22		
1.910	0.075	1'30"	145	57			105	42			78	32		
2.540	0.100	2'00"	1000	95	27.3	2.7	174	68	21.0	2.1	95	38	13.3	1.3
3.810	0.150	3'00"		133			210	82			142	56		
5.080	0.200	4'00"	1500	160	51.2	3.4	280	109	35.8	2.4	180	70	23.4	1.6
6.350	0.250	5'00"		188			320	125			210	82		
7.620	0.300	6'00"		201			350	137			233	91		
10.160	0.400	8'00"		205			380	148			280	109		
12.700	0.500	10'00"		530			410	160			310	121		

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firmo Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3
 MUESTRA : Arcilla+ 8% de caucho

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

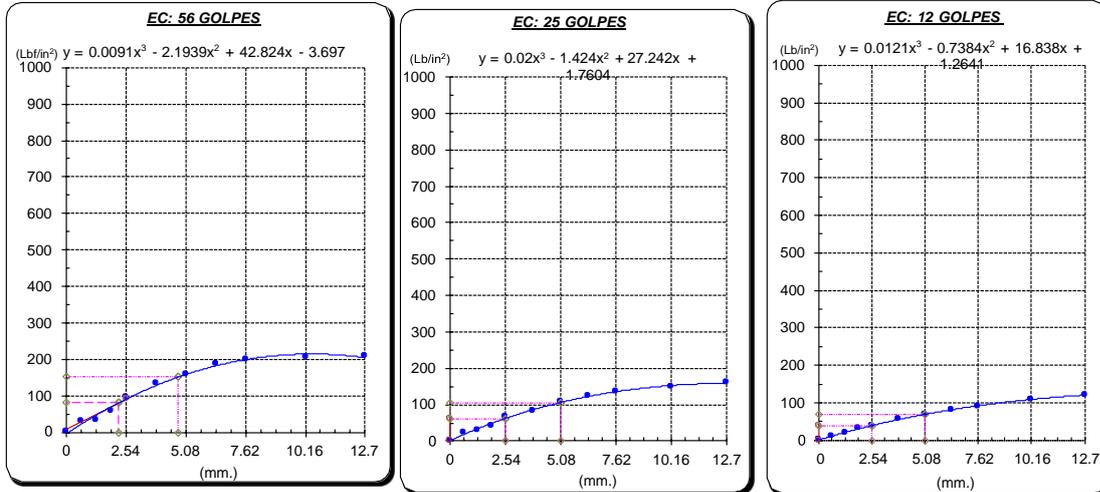


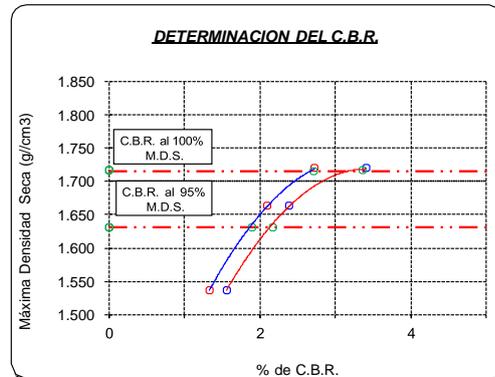
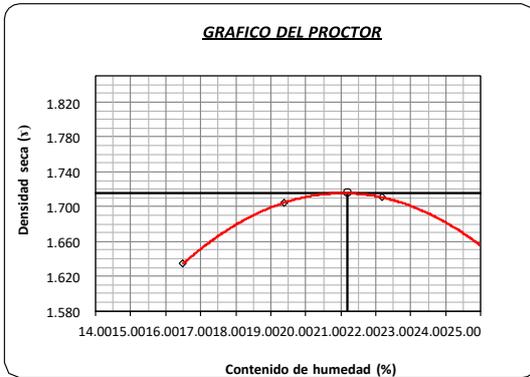
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.716 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.630 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	21.20 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	2.7 %	3.4 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	1.9 %	2.2 %



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pe³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022"
Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**
MUESTRA : **Arcilla+ 4% de caucho** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

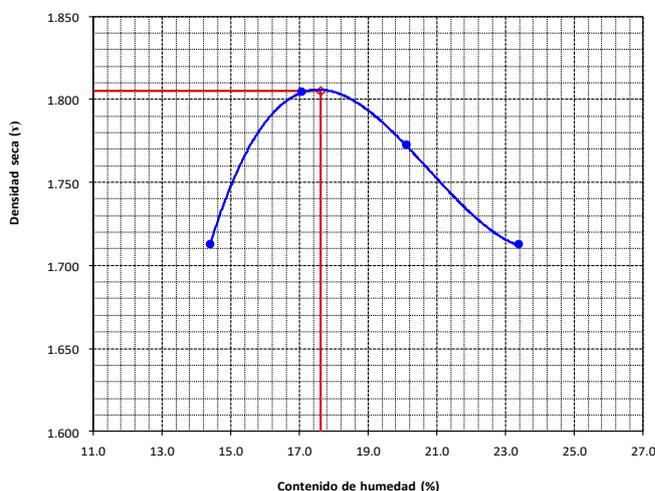
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5310	5450	5465	5450
Peso del molde	g.	3524	3524	3524	3524
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1786	1926	1941	1926
Volumen del molde	cm ³	911.9	911.9	911.9	911.9
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.959	2.112	2.129	2.112

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	195.50	265.50	210.40	198.80
Peso del suelo seco + tara	g.	175.00	233.00	184.00	166.00
Peso de tara	g.	32.50	42.60	52.60	25.60
Peso de agua	g.	20.50	32.5	26.4	32.8
Peso de suelo seco	g.	142.50	190.4	131.4	140.4
Contenido de agua	%	14.4	17.1	20.1	23.4
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.712	1.804	1.772	1.712

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.805	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	17.60	%

GRAFICO DEL PROCTOR



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
JUAN CARLOS FIRME OJEDA AYESTA
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 123351

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.

Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**

MUESTRA : **Arcilla+ 4% de caucho**

PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN																
Nº Molde	A-1				A-2				A-3							
Nº Capa	5				5				5							
Nº Golpes por capa	56				25				12							
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado					
Peso molde + Suelo húmedo	12345	12610	12160	12628	12068	12398										
Peso de molde (g)	7855	7855	7903	7903	7828	7828										
Peso del suelo húmedo (g)	4490	4755	4257	4725	4240	4570										
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113										
Densidad húmeda (g/cc)	2.118	2.243	2.016	2.237	2.007	2.163										
% de humedad	17.25	23.26	18.81	29.99	19.52	27.44										
Densidad seca (g/cc)	1.806	1.820	1.696	1.721	1.679	1.697										
HUMEDAD																
Tarro Nº	-		-		-		-		-		-					
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	310.5	310.5	4755	4755	312.5	312.5	4725	4725	278.9	278.9	4570.0	4570.0				
Tarro + Suelo seco (gr.)	269.0	269.0	4490	4490	267.5	267.5	4257	4257	238.0	238.0	4240.0	4240.0				
Peso del Agua (gr.)	41.5	41.5	265.0	265.0	45.0	45.0	468.0	468.0	40.9	40.9	330.0	330.0				
Peso del tarro (gr.)	28.43	28.43	0	0	28.28	28.28	0	0	28.49	28.49	0	0				
Peso del suelo seco (gr.)	240.6	240.6	4410.3	4410.3	239.2	239.2	4186.0	4186.0	209.5	209.5	4170.0	4170.0				
% de humedad	17.25	17.25	23.26	23.26	18.81	18.81	29.99	29.99	19.52	19.52	27.44	27.44				
Promedio de Humedad (%)	17.25		23.26		18.81		29.99		19.52		27.44					
EXPANSIÓN																
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN						
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%					
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
16/09/2022	14.3	24	35	0.875		26	0.650		15	0.375						
17/09/2022	14.3	48	95	2.375		110	2.750		96	2.400						
18/09/2022	14.3	72	124	3.100		126	3.150		138	3.450						
19/09/2022	14.3	96	136	3.400		152	3.800		165	4.125						
				total	21.77		total	27.16		total	32.33					
PENETRACION																
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3					
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN			
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%		
mm.	pulg.	Lbf/in2														
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2				
0.640	0.025	0'30"	115	46			95	38			35	15				
1.270	0.050	1'00"	235	92			124	49			51	21				
1.910	0.075	1'30"	380	148			136	54			89	36				
2.540	0.100	2'00"	445	174	33.5	3.4	210	82	25.0	2.5	115	46	15.4	1.5		
3.810	0.150	3'00"	540	213			236	92			165	65				
5.080	0.200	4'00"	590	233	71.8	4.8	278	108	37.6	2.5	195	76	26.1	1.7		
6.350	0.250	5'00"	610	242			310	121			235	92				
7.620	0.300	6'00"	620	246			340	133			246	96				
10.160	0.400	8'00"	634	251			360	141			275	107				
12.700	0.500	10'00"	640				370	144			280	109				

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3
 MUESTRA : Arcilla+ 4% de caucho

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

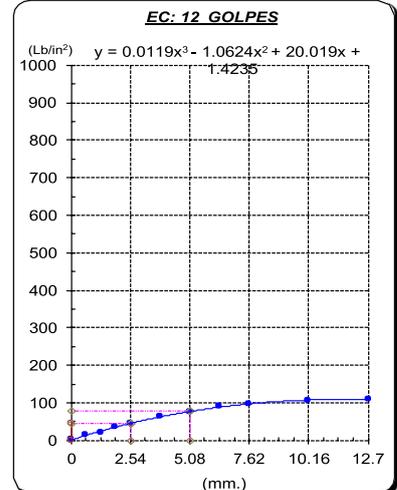
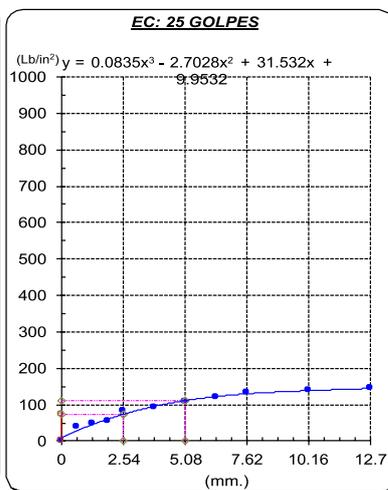
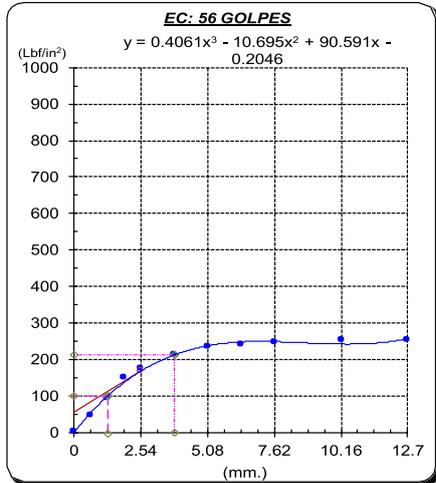


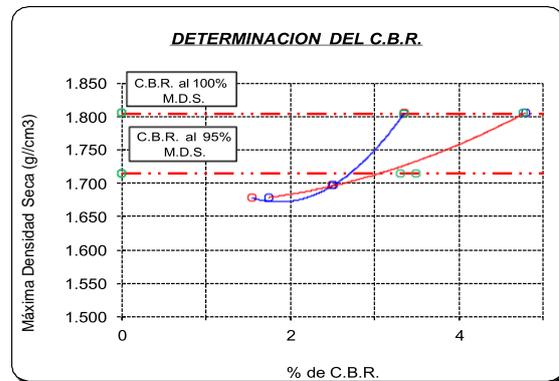
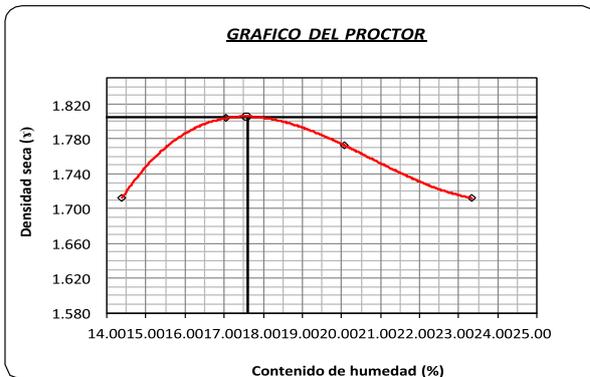
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.805 g./cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.715 g./cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	17.60 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	3.3 %	4.8 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	3.5 %	3.3 %



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. C.I.P. 123351

SUELOS. Método de ensayo para la compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada (2700 kN-m/m³ (56000 pie-lbf/pie³))
N.T.P. 339.141 ASTM D - 1557

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
Escuela : Ingeniería Civil
Proyecto/Tesis : ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022
Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : **C-3**
MUESTRA : **Arcilla+ 6% de caucho** PROFUNDIDAD : **0.10 m - 1.50 m**

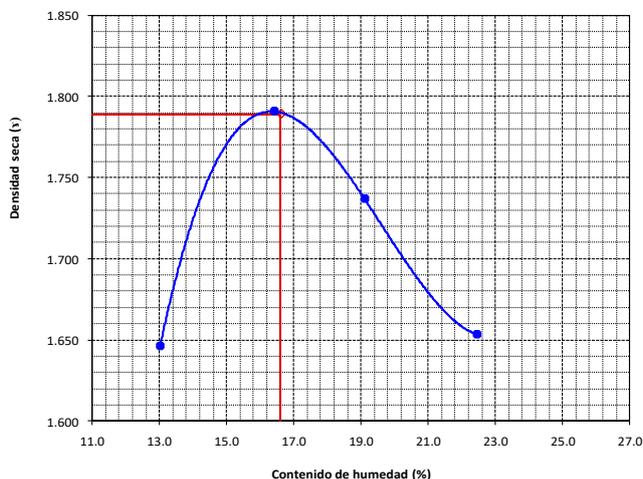
Número de ensayo		1	2	3	4
Peso del suelo + molde	g.	5220	5425	5410	5370
Peso del molde	g.	3524	3524	3524	3524
Peso del suelo húmedo compactado	g.	1696	1901	1886	1846
Volumen del molde	cm ³	911.9	911.9	911.9	911.9
Peso del volumen húmedo	g/cm ³	1.860	2.085	2.068	2.024

CONTENIDO DE HUMEDAD

Nº Recipiente		1	2	3	4
Peso del suelo húmedo + tara	g.	210.50	198.50	240.10	186.50
Peso del suelo seco + tara	g.	190.00	176.50	210.00	157.00
Peso de tara	g.	32.50	42.60	52.60	25.60
Peso de agua	g.	20.50	22	30.1	29.5
Peso de suelo seco	g.	157.50	133.9	157.4	131.4
Contenido de agua	%	13.0	16.4	19.1	22.5
Peso volumétrico seco	g/cm ³	1.646	1.790	1.736	1.653

DENSIDAD MAXIMA SECA	1.789	g/cm ³
ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD	16.60	%

GRAFICO DEL PROCTOR



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
INGENIERO CIVIL
Reg. CIP. 123351

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022
 Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3
 MUESTRA : Arcilla+ 6% de caucho PROFUNDIDAD : 0.10 m - 1.50 m

COMPACTACIÓN														
Nº Molde	A-1				A-2				A-3					
Nº Capa	5				5				5					
Nº Golpes por capa	56				25				12					
CONDICION DE LA MUESTRA	Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado		Sin Saturado		Saturado			
Peso molde + Suelo húmedo	13445	13610	12990	13228	12498	12798								
Peso de molde (g)	9020	9020	8794	8794	8600	8600								
Peso del suelo húmedo (g)	4425	4590	4196	4434	3898	4198								
Volumen del molde (cc)	2120	2120	2112	2112	2113	2113								
Densidad húmeda (g/cc)	2.087	2.165	1.987	2.099	1.845	1.987								
% de humedad	16.59	20.38	16.98	22.75	17.40	25.22								
Densidad seca (g/cc)	1.790	1.799	1.698	1.710	1.571	1.587								
HUMEDAD														
Tarro Nº	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Tarro + Suelo húmedo (gr.)	365.5	365.5	4590	4590	380.9	380.9	4434	4434	320.5	320.5	4198.0	4198.0		
Tarro + Suelo seco (gr.)	313.5	313.5	4425	4425	325.6	325.6	4196	4196	273.0	273.0	3898.0	3898.0		
Peso del Agua (gr.)	52.0	52.0	165.0	165.0	55.3	55.3	238.0	238.0	47.5	47.5	300.0	300.0		
Peso del tarro (gr.)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Peso del suelo seco (gr.)	313.5	313.5	4347.2	4347.2	325.6	325.6	4125.9	4125.9	273.0	273.0	3837.7	3837.7		
% de humedad	16.59	16.59	20.38	20.38	16.98	16.98	22.75	22.75	17.40	17.40	25.22	25.22		
Promedio de Humedad (%)	16.59		20.38		16.98		22.75		17.40		25.22			
EXPANSIÓN														
FECHA	HORA	TIEMPO Hr.	DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN		DIAL	EXPANSIÓN				
				Pulg	%		Pulg	%		Pulg	%			
15/09/2022	14.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0			
16/09/2022	14.3	24	42	1.050		36	0.900		29	0.725				
17/09/2022	14.3	48	89	2.225		95	2.375		105	2.625				
18/09/2022	14.3	72	125	3.125		119	2.975		143	3.575				
19/09/2022	14.3	96	134	3.350		145	3.625		165	4.125				
				total	19.83		total	23.49		total	29.31			
PENETRACION														
PENETRACIÓN	TIEMPO	CARGA STAND.	MOLDE Nº A-1				MOLDE Nº A-2				MOLDE Nº A-3			
			CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN		CARGA		CORRECCIÓN	
			Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%	Lect. Dial	Lbs/ pulg2	Lbs/ pulg2	%
mm.	pulg.	Lbf/in2												
0.000	0.000	0'00"	0	2			0	2			0	2		
0.640	0.025	0'30"	96	38			68	28			25	12		
1.270	0.050	1'00"	125	49			84	34			52	22		
1.910	0.075	1'30"	180	70			140	55			86	35		
2.540	0.100	2'00"	310	121	27.3	2.7	216	84	23.2	2.3	145	57	15.0	
3.810	0.150	3'00"	380	148			256	100			186	73		
5.080	0.200	4'00"	456	179	52.6	3.5	310	121	40.2	2.7	198	77	24.5	
6.350	0.250	5'00"	470	184			380	148			224	87		
7.620	0.300	6'00"	480	188			410	160			235	92		
10.160	0.400	8'00"	490	193			425	166			245	95		
12.700	0.500	10'00"	510	201			432	169			250	97		

German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Firme Ojeda Ayesta
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351

Tesista : Aviles Gutierrez Luis
 Escuela : Ingeniería Civil
 Proyecto/Tesis : "ESTABILIZACIÓN DE SUELOS A NIVEL DE BASE GRANULAR CON CAUCHO RECICLADO TRITURADO PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES EN EL DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ, CHICLAYO, 2022

Ubicación : Chiclayo, Prov. Lambayeque, Reg. Lambayeque.
 Fecha de emisión : Chiclayo, 23 de Septiembre del 2022

CALICATA : C-3
 MUESTRA : Arcilla+ 6% de caucho

Método de ensayo de CBR (Relación de Soporte de California) de suelos compactados en el laboratorio. / Diagrama de penetración

N.T.P. 339.145 / ASTM D-1883
GRAFICO CARGA - PENETRACIÓN

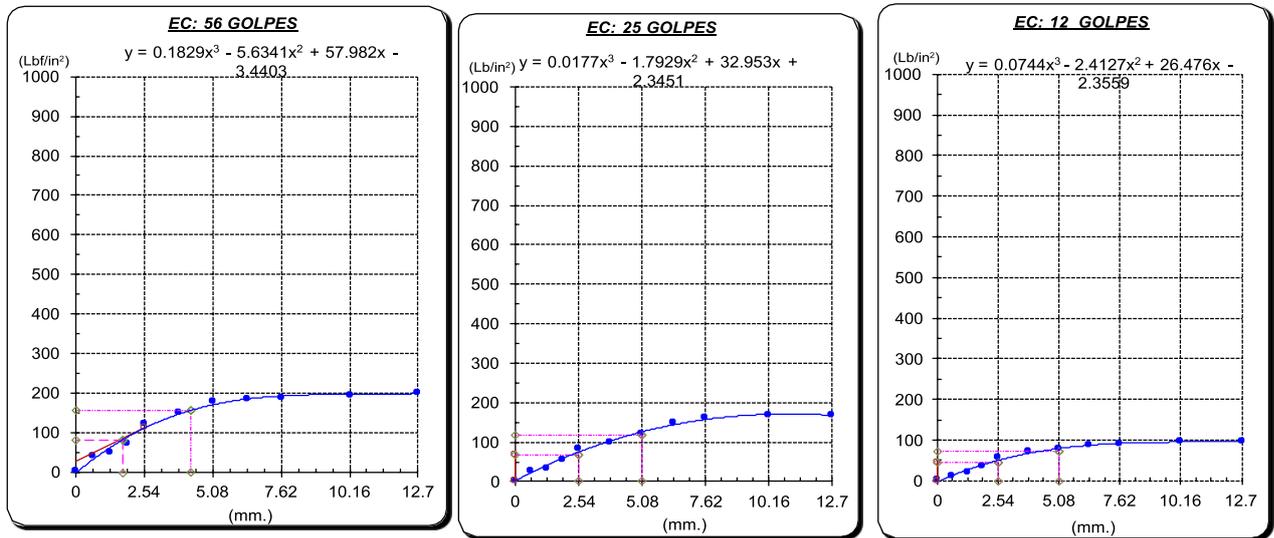


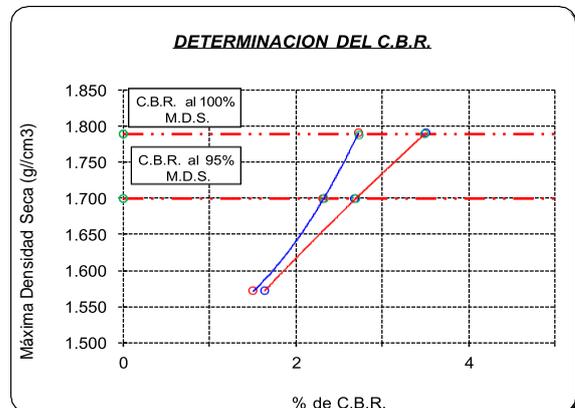
GRAFICO PARA DETERMINAR EL C.B.R.

DATOS DEL PROCTOR

DENSIDAD SECA AL 100%	1.789 g/cm ³
DENSIDAD SECA AL 95%	1.700 g/cm ³
OPTIMO CONT. DE HUMEDAD	16.60 %

VALOR DEL C.B.R.

	2.54 cm.	5.08 cm.
C.B.R. AL 100 % M.D.S.	2.7 %	3.5 %
C.B.R. AL 95 % M.D.S.	2.3 %	2.7 %



German Gastelo Chirinos



Juan Carlos Forno Ojeda Agüero
 INGENIERO CIVIL
 Reg. CIP. 123351