

UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PARA MEJORAR LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA VÍA DE ACCESO AL CERRO
CHASTUDAL, TRAMO RIO SECO DEL DISTRITO GREGORIO
ALBARRACIN TACNA – 2022”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. DAYAN SAMIR MELENDEZ ROJAS

Bach. BIMBI MELISSA TORRES RIVEROS

TACNA – PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

TESIS

**“DISEÑO DE PAVIMENTO ASFÁLTICO PARA MEJORAR LA
TRANSITABILIDAD VEHICULAR DE LA VÍA DE ACCESO AL CERRO
CHASTUDAL, TRAMO RIO SECO DEL DISTRITO GREGORIO
ALBARRACIN TACNA – 2022”**

Tesis sustentada y aprobada el 25 de marzo de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTE : Mtro. JUAREZ ROLANDO GONZALO SALAZAR CALDERON

SECRETARIA : Mtro. ELIANA NANCY CHAMBILLA VELO

VOCAL : Mtro. ULIANOV FARFAN KEHUARUCHO

ASESOR : Mtro. ELVIRA ALVARADO AMONES

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Dayan Samir Melendez Rojas identificado con documento de identidad 70674544 y Bimbi Melissa Torres Riveros identificada con documento de identidad 70836334, en calidad de Bachilleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna. Declaramos bajo juramento que:

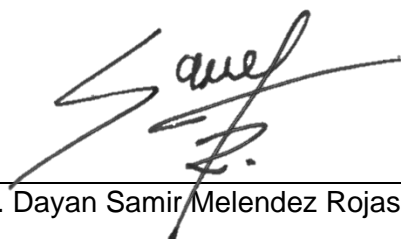
1. Somos autores de la tesis titulada: *“Diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022”* la misma que presentamos para optar el *Título Profesional de Ingeniero Civil*.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
3. La tesis presentada no atenta contra derechos de terceros.
4. La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
5. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados, ni duplicados, ni copiados.

Por lo expuesto, mediante la presente asumimos frente a La Universidad cualquier responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra.

En consecuencia, nos hacemos responsables frente a La Universidad y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumimos las consecuencias y sanciones que de nuestra acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Tacna, 27 de junio del 2023

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Samir M.', written over a horizontal line.

Bach. Dayan Samir Melendez Rojas

DNI: 70674544

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Bimbi M.', written over a horizontal line.

Bach. Bimbi Melissa Torres Riveros

DNI: 70836334

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme estar en este mundo protegiéndome de todos los males y ayudándome a cumplir todas mis metas.

A mis amados padres, Gloria y Juan Carlos por educarme con valores y principios sólidos, ofreciéndome su apoyo y motivación en cada paso que doy.

A mis hermanos, por confiar en mí y alentarme a seguir cumpliendo más objetivos.

A mi compañero tesista, por su responsabilidad y esmero para llevar a cabo nuestra investigación.

Bach. Bimbi Melissa Torres Riveros

DEDICATORIA

A DIOS, que siempre está a mi lado, quien me da fuerza en mi vida.

A mi familia, a mis padres Nancy y Eloy por tenerme paciencia y confianza para lograr un paso más en mis metas.

A mis hermanos, por apoyarme en todo momento cuando lo necesité y confidente a lo largo de mi vida.

Para mi compañera tesista, por su constancia, asertividad y responsabilidad para llevar a cabo nuestra tesis.

Bach. Dayan Samir Melendez Rojas

AGRADECIMIENTO

Agradecemos primeramente a DIOS, que nos guía y ciñe nuestro camino estando con nosotros cuidándonos de cualquier adversidad.

Agradecemos a nuestros padres, por todo el amor y afecto demostrado, por la comprensión que nos dan motivándonos a ser mejores cada día.

Agradecemos a nuestros hermanos, por ser nuestros cómplices de travesuras, por la paciencia y confianza que nos dan impulsándonos a mejorar.

Agradecemos a todos los docentes, que nos dictaron cátedra durante nuestra etapa universitaria impartieron conocimientos en todo el ámbito de la vida.

Bach. Bimbi Melissa Torres Riveros

Bach. Dayan Samir Melendez Rojas

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS.....	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
ABSTRACT.....	xvii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	iii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: EI PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1. Descripción del problema.....	2
1.2. Formulación del problema.....	4
1.2.1. Problema general.....	4
1.2.2. Problemas específicos.....	4
1.3. Justificación e importancia.....	4
1.3.1 Justificación Teórica.....	4
1.3.2 Justificación Técnica.....	4
1.3.3 Justificación socioeconómica.....	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos.....	5
1.5. Hipótesis.....	5
1.5.1 Hipótesis General.....	5
1.5.2 Hipótesis Específicas.....	6

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	7
2.1. Antecedentes	7
2.1.1. Antecedentes internacionales	7
2.1.2. Antecedentes nacionales	8
2.1.3. Antecedentes locales	8
2.2. Bases teóricas.....	10
2.2.1 Red vial	10
2.2.2 Pavimento	10
2.2.3 Capa de rodadura	10
2.2.4 Pavimento flexible	10
2.2.5 Base	11
2.2.6 Subbase	11
2.2.7 Subrasante	11
2.2.8 Estudio de tráfico vehicular	11
2.2.9. Pasos para calcular el ESAL de diseño	12
2.2.9.1. IMD (Índice Medio Diario).....	12
2.2.9.2. Factor de corrección de vehículos ligeros y pesados	13
2.2.9.3. IMDA (Índice Medio Diario Anual).....	16
2.2.9.4. ESAL (Equivalent Simple Axial Load)	16
2.2.9.5. Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados.....	16
2.2.9.6. Factor direccional y factor carril	17
2.2.9.7. Pesos y medidas máximas permitidas	18
2.2.9.8. Tasa de crecimiento y proyección.....	25
2.2.9.9. Factores de crecimiento acumulado (Fca).....	26
2.2.9.10. Número de repeticiones de ejes equivalentes	26
2.2.10. Ensayo de Compactación Proctor Modificado	28
2.2.11. Ensayo del CBR	28
2.2.12. Cálculos para el Diseño de Pavimento Asfáltico.....	30
2.2.12.1. Metodología AASHTO – 93.....	30

2.2.12.2. Formulación de diseño	31
2.2.12.3. Confiabilidad.....	31
2.2.12.4. Desviación estándar (Zr)	32
2.2.12.5. Índice de Serviciabilidad.....	33
2.2.12.6. Módulo de resiliencia (Mr)	34
2.2.12.7. Número estructural propuesto (SN)	34
2.2.12.8. Coeficiente de drenaje	36
2.3. Definición de términos.....	37
2.3.1 Transitabilidad	37
2.3.2 Serviciabilidad	37
2.3.3 Carretera	38
2.3.4 Asfalto	38
2.3.5 Trocha Carrozable.....	38
2.3.6 Estudio de Tráfico Vehicular	38
2.3.7 Resistencia de la estructura de pavimento	38
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO	39
3.1. Diseño de la investigación	39
3.2. Acciones y actividades.....	39
3.2.1 Recopilación de información	39
3.2.2 Inspección de campo y toma de datos.....	39
3.2.3 Análisis y evaluación de la toma de datos de campo.....	40
3.3. Materiales y/o instrumentos	40
3.4. Población y/o muestra de estudio	41
3.4.1. Población.....	41
3.4.2. Muestra	42
3.5. Operacionalización de variables	42
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	43
4.1. Estudio de Tráfico Vehicular	43
4.1.1. Estación de conteo.....	43

4.1.2 Duración del conteo vehicular en campo	43
4.1.3 Tabla resumen del conteo vehicular	43
4.2 ESAL de Diseño (Equivalent Simple Axial Load).....	45
4.2.1 Cálculo del IMD (Índice Medio Diario).....	45
4.2.2 Cálculo del IMDa (Índice Medio Diario anual)	47
4.2.3 Cálculo del ESAL	48
4.3 Ensayos de laboratorio	51
4.3.1 Ensayo de compactación Proctor Modificado	51
4.3.2 Ensayo C.B.R.....	52
4.4 Diseño de pavimento asfáltico	57
4.4.1 Módulo de Resiliencia (Mr).....	57
4.4.2 Confiabilidad (%R)	58
4.4.3 Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)	59
4.4.4 Desviación Estándar Combinada (So)	60
4.4.5 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI).....	60
4.4.6 Número Estructural Propuesto (SNR).....	60
4.4.7 Coeficiente Estructural de las capas	61
4.4.8 Espesores de capa.....	61
4.4.9 Estructura del pavimento.....	62
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....	63
5.1 Estudio de Tráfico Vehicular	63
5.2 ESAL de Diseño (Equivalent Simple Axial Load).....	63
5.3 Ensayos de laboratorio	63
5.4 Diseño de pavimento asfáltico	63
CONCLUSIONES	64
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
ANEXOS	68

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros.....	18
Tabla 2. Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados.....	19
Tabla 3. Factores de Distribución Direccional y de Carril.....	20
Tabla 4. Configuración de Ejes.....	30
Tabla 5. Relación de Cargas por Eje para Pavimentos Flexibles.....	31
Tabla 6. Nivel de confiabilidad	36
Tabla 7. Desviación estándar normal.....	37
Tabla 8. Índice de serviciabilidad inicial.....	38
Tabla 9. Índice de serviciabilidad final.....	39
Tabla 10. Módulo resiliente.	40
Tabla 11. Coeficientes estructurales de la capa superficial.	42
Tabla 12. Coeficientes estructurales de la capa base.....	43
Tabla 13. Coeficientes estructurales de la capa Subbase.....	43
Tabla 14. Valores recomendados del coeficiente de drenaje (m)	44
Tabla 15. Herramientas empleadas en la recolección de datos.	49
Tabla 16. Tabla resumen del conteo vehicular.....	54
Tabla 17. Índice Medio Diario.....	56
Tabla 18. IMD y clasificación vehicular corregido	57
Tabla 19. Índice medio diario anual.....	58
Tabla 20. Resumen de Pesos y medidas máximas permitidas.....	59
Tabla 21. Resultados de la relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes para afirmados.....	60
Tabla 22. Resultados del Índice Medio Diario Proyectado.....	61
Tabla 23. Resultados Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo.....	62
Tabla 24. Resultados del ensayo Proctor Modificado.....	63
Tabla 25. Resultados del ensayo CBR.....	68

Tabla 26. Comprobación del Módulo de Resiliencia (Mr).....	69
Tabla 27. Selección del nivel de Confiabilidad.....	70
Tabla 28. Desviación estándar normal.....	70
Tabla 29. Estructura del pavimento.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vía de acceso al cerro Chastudal	4
Figura 2. Características de la trocha carrozable del sector de investigación	4
Figura 3. Plantilla de conteo y clasificación vehicular	13
Figura 4. Factores de corrección de vehículos ligeros por unidad de peaje.....	15
Figura 5. Factores de corrección de vehículos pesados por unidad de peaje	16
Figura 6. Pesos y medidas máximas permitidas.....	21
Figura 7. Instrumento para realizar el ensayo compactación Proctor modificado....	32
Figura 8. Esquema del equipo para el ensayo CBR	33
Figura 9. Máquina automática para ensayos de CBR.....	34
Figura 10. Capas de la estructura de pavimento.	45
Figura 11. Delimitación del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna	50
Figura 12. Zona de estudio.....	51
Figura 13. Estación de conteo.....	52
Figura 14. Determinación del CBR – C1.....	64
Figura 15. Determinación del CBR – C2.....	65
Figura 16. Determinación del CBR – C3.....	66
Figura 17. Determinación del CBR – C4.....	67
Figura 18. Nomograma para encontrar el SN	72
Figura 19. Distribución en altura de las capas.....	74
Figura 20. Realización de la calicata 2 para el estudio de suelo.....	102

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia	82
Anexo 2. Conteo Vehicular día Lunes.	83
Anexo 3. Conteo Vehicular día Martes.....	84
Anexo 4. Conteo Vehicular día Miércoles.....	85
Anexo 5. Conteo Vehicular día Jueves.	86
Anexo 6. Conteo Vehicular día Viernes.....	87
Anexo 7. Conteo Vehicular día Sábado.....	88
Anexo 8. Conteo Vehicular día Domingo	89
Anexo 9. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 1.....	90
Anexo 10. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 2.....	91
Anexo 11. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 3.....	92
Anexo 12. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 4.....	93
Anexo 13. Ensayo de CBR Calicata 1.....	94
Anexo 14. Ensayo de CBR Calicata 2.....	96
Anexo 15. Ensayo de CBR Calicata 3.....	98
Anexo 16. Ensayo de CBR Calicata 4.....	100
Anexo 17. Panel Fotográfico	102

RESUMEN

El presente proyecto de investigación titulado “Diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022”, es una trocha carrozable de tres kilómetros de doble sentido que cuenta con pendiente moderada y curvas, se observa que en la trocha carrozable en ciertos tramos hay ahuellamientos, depresiones, desprendimientos de tierra y piedra, por lo cual, el objetivo de esta tesis fue diseñar la estructura del pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular mediante el estudio de tráfico y suelos, se utilizó la metodología de la guía American Association of State Highway and Transportation Officials para el diseño de estructuras de pavimentos del año 1993, los procedimientos del Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, el Reglamento Nacional de Vehículos, el Método de ensayo para la compactación del suelo de laboratorio utilizando una energía modificada y el método de ensayo de relación de Soporte California. Se efectuaron los procedimientos pertinentes para determinar los espesores de cada capa que constituye la estructura del pavimento asfáltico resultando 40 cm.

Palabras claves: Diseño de pavimento; pavimento asfáltico; transitabilidad vehicular; trocha carrozable.

ABSTRACT

This research project entitled "Asphalt pavement design to improve vehicular trafficability of the access road to Chastudal hill, dry river section of the Gregorio Albarracín Tacna district - 2022", is a two-way, three-kilometer carriageway trail that has moderate slope and curves, it is observed that in certain sections of the carriageway trail there are rutting, depressions, landslides and stone, therefore, the objective of this thesis was to design the structure of the asphalt pavement to improve vehicular traffic through the study of traffic and soils, the methodology of the American Association of State Highway and Transportation Officials guide was used for the design of pavement structures of the year 1993, the procedures of the Highway Manual of the Ministry of Transport and Communications, the National Regulation of Vehicles, the Test method for laboratory soil compaction using an in Modified ergy and California Support ratio test method. The pertinent procedures were carried out to determine the thickness of each layer that constitutes the structure of the asphalt pavement, resulting in 40 cm.

Keywords: Pavement design; asphalt pavement; vehicular passability; carrozable trail.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, el desarrollo socio-económico de la población que se sitúa en zonas alejadas de los centros urbanos se ven desfavorecidos por falta de vías de comunicación, este es el caso de la vía de acceso al Cerro Chastudal en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna, que, por ser una vía afirmada causa malestar en los vecinos como la contaminación por partículas de fracción respirable, averías en los vehículos y/o accidentes.

Por esta razón se realizó el diseño del pavimento asfáltico de tres kilómetros para que en un futuro la población pueda desplazarse por una vía pavimentada, se empezó realizando un estudio de tráfico vehicular por siete días continuos para precisar los volúmenes y proyecciones de tránsito, luego se hizo estudio de suelos donde se realizaron los ensayos de laboratorio tales como el ensayo de compactación Proctor Modificado y el ensayo de Relación de Soporte de California CBR. Los estudios mencionados sirvieron para aplicar la metodología de la guía American Association of State Highway and Transportation Officials para el diseño de estructuras de pavimentos 1993.

Se propuso en la investigación el pavimento asfáltico, siendo el más utilizado y con una demanda mayor en el ámbito del diseño de pavimentos para poder evaluar el adecuado funcionamiento de la transitabilidad vehicular como es el caso de la vía de acceso al cerro Chastudal, donde se emplearon diferentes espesores que puedan ofrecer una correcta y óptima resistencia para la estructura vial y los elementos que la componen, teniendo en mente las limitaciones que tuvo el territorio de investigación.

La estructura de la tesis está compuesta por cinco capítulos los cuales son: Capítulo I. Abarca la descripción y formulación del problema, Justificación e Importancia, Objetivos e Hipótesis. Capítulo II. Implica los antecedentes de estudio, Bases teóricas y Definición de términos. Capítulo III. Engloba el diseño de la investigación, acciones, materiales y operacionalización de variables. Capítulo IV. Comprende la parte de resultados donde se plasmó la ejecución de los métodos aplicados. Capítulo V. Contiene el significado de los estudios realizados en la investigación. Conclusiones. Donde se muestra los resultados finales con su debida explicación aportando a la sociedad información clave para concretar el proyecto. Recomendaciones. Donde se sugieren cambios y mejoramientos a entidades gubernamentales.

CAPÍTULO I: EI PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Descripción del problema

La ciudad de Tacna presenta un elevado aumento poblacional, esto genera el surgimiento de nuevas zonas urbanas las cuales necesitan los servicios básicos como agua, alcantarillado e infraestructura de transporte de uso público para facilitar las actividades cotidianas del día a día.

Las trochas carrozables son vías transitables indispensables para las zonas que empiezan a surgir, tal como es el caso de la vía de acceso al cerro Chastudal donde se observa la concurrida movilización de motos, autos, y camiones de carga pesada.

La vía de estudio que permite el acceso al cerro Chastudal cuenta con 3,00 kilómetros de longitud, 8 metros de ancho y está compuesta por dos carriles de ambos sentidos como se observa en la Figura número 1 y 2. Esta zona comprende 18 asociaciones con más de 1 000 familias

La zona de investigación se encuentra en una geografía accidentada debido a que presenta pendientes pronunciadas. Esta vía no se encuentra pavimentada por lo que no brinda una buena condición de serviciabilidad en vista de que la superficie de rodadura se encuentra deteriorada por la condición de tránsito y se observa en algunos tramos baches y ahuellamientos.

El costo operativo de esta zona es elevado a consecuencia de que el transporte vehicular es más complejo por las deficiencias mencionadas anteriormente, esto genera que no haya una economía dinámica reflejando un alza en los precios de traslado de pobladores, en los productos que utilizan para sus labores agropecuarias y la movilización de sus productos hacia los locales de venta.

Esta vía cuenta con bifurcaciones a lo largo de la trocha carrozable que llegan a diferentes puntos de la ciudad siendo el más importante el complejo fronterizo Santa Rosa, por lo tanto, su demanda es alta y a consecuencia se registran accidentes de tránsito.

Figura 1

Vía de acceso al cerro Chastudal



Nota. En la figura se visualiza el tramo inicial de la zona de estudio.

Figura 2

Características de la trocha carrozable del sector de investigación



Nota. En la figura se observa ahuellamiento, la pendiente existente en el terreno y se evidencia el ancho del carril.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿De qué manera influye el diseño de pavimento asfáltico en mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022?

1.2.2. Problemas específicos

¿Cómo influye el estudio de tráfico en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022?

¿Cómo influye el estudio de suelos en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022?

1.3. Justificación e importancia

1.3.1 Justificación Teórica

En esta investigación se emplearon normas y manuales vigentes que nos permitieron realizar con certeza los procedimientos y métodos para ejecutar el diseño de pavimento asfáltico y así mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín.

1.3.2 Justificación Técnica

La presente investigación colabora con el estudio de tráfico, estudio de suelos y así poder efectuar los ensayos de laboratorio, también se aplicará la metodología AASHTO 93 con el fin de obtener resultados que permitan realizar el diseño del pavimento asfáltico que facultará mejorar el tránsito de las zonas aledañas, dando como resultado una mejor calidad de vida a estas zonas emergentes.

1.3.3 Justificación socioeconómica

En las zonas alejadas, la población se encuentra mayormente olvidada de los beneficios que otorga el estado y se ven con la necesidad de sobrellevar las malas condiciones que afectan su calidad de vida, en la zona de investigación se encuentran más de 18 asociaciones con familias que se sustentan mediante la actividad agropecuaria que se desplazan para ofrecer sus productos y son sometidos a precios elevados de transporte ya que la vía es una trocha en mal estado que dificulta la circulación de vehículos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar la estructura del pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

Determinar el estudio de tráfico en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.

Determinar el estudio de suelos en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis General

El diseño de pavimento asfáltico mejora considerablemente la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.

1.5.2 Hipótesis Específicas

El estudio de tráfico influye de manera determinante mediante el ESAL en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.

La determinación del método AASHTO-93 por intermedio del estudio de suelos aporta favorablemente en la mejora de la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Fontalba (2015), en su tesis: “Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1° etapa” se orientó puntualmente en el cálculo de un pavimento asfáltico el cual se diseñó haciendo uso del método mexicano Dispav – 5 y el diseño AASHTO 93. Para ello, se realizó un estudio de tráfico en el sector correspondiente para caracterizar el flujo de vehículos pesados. Además, se contó con el estudio de suelos y las especificaciones técnicas del proyecto original. En la etapa final se efectúa una comparación de los resultados que entregan ambos métodos. Se analiza principalmente las diferencias en las dimensiones en las distintas capas del pavimento, para concluir con un análisis de costos del pavimento para ambos métodos de diseño. En esta comparación se obtiene que las diferencias principales entre los métodos se presentan a nivel de las capas granulares, más no en la capa estructural de asfalto. En cuanto a los costos asociados a ambos métodos las diferencias son mínimas, teniendo un menor costo de ejecución el método AASHTO 93.

López (2016), en su tesis: “Diseño de un pavimento flexible por método AASHTO para la carretera 9 Este del municipio de Pitalito Huila” desarrolló el diseño de un pavimento flexible, como opción al diseño en concreto hidráulico que se construiría en mencionado tramo, es así que implementando el método AASHTO pudo determinar la estructura óptima del pavimento para que sea capaz de resistir las cargas que transitarán sobre ella.

Madrigal (2008), en su tesis: “Diseño del pavimento de la ruta alterna Sector A que enlaza las rutas nacionales No. 224 y No. 10 en el distrito Central del Cantón de Paraíso” consistió en exponer el diseño del pavimento del tramo mencionado con el objetivo de posibilitar un tránsito fluido y seguro de los vehículos livianos y pesados procedentes de los distritos aledaños. Para realizar el diseño del pavimento se utilizó el método AASHTO 1993.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Rengifo (2014), en su tesis: "Diseño de los pavimentos de la nueva carretera panamericana norte en el tramo de Huacho a Pativilca (KM 188 a 189)". El objetivo principal es realizar la investigación y diseño de pavimentos rígidos y flexibles teniendo en cuenta la investigación previa y el presupuesto más económico. En su conclusión, el pavimento rígido tiene un costo mayor, pero cabe señalar que el pavimento flexible requerirá mantenimiento a lo largo del tiempo, siendo un costo promedio entre los dos. La tesis presentó los conocimientos y la investigación básica que sirvió como ayuda esencial para llevar a cabo la investigación ya que contiene capítulos muy relevantes que ayudaron a la implementación del diseño.

Vega (2018), en su tesis: "Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000)", menciona que la carretera de acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas juega un papel principal porque conecta las rutas comerciales terrestres y fluviales porque permite el transporte de mercancías proveniente del puerto marítimo de Paita. En esta tesis se realiza el diseño del pavimento de un kilómetro de carretera de pavimento flexible y rígido utilizando la metodología de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la del Instituto del Asfalto (IA), mientras que para el pavimento rígido se utilizaron dos metodologías; la de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) y la de la Portland Cement Association (PCA). Finalmente, una vez realizados los diseños finales de los dos tipos de aceras, se realizará una comparación económica de los costos iniciales de construcción y mantenimiento de ambas estructuras para finalmente seleccionar la mejor alternativa de diseño.

Gómez (2014), en su tesis: "Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau - Trujillo - La Libertad", tiene por objetivo principal, determinar los criterios estructurales y funcionales según las normas para el diseño correcto del pavimento flexible así lograr una mejor transitabilidad y nivel de servicio para la vida de la población en la zona de influencia.

2.1.3. Antecedentes locales

Serrano y Montoya (2021), en su tesis: "Determinación del índice de rugosidad internacional y propuesta de diseño de pavimento flexible en la avenida Tarapacá, tramo óvalo Cuzco - Av. Gustavo Pinto, Tacna - 2021", Se realizó con la finalidad de determinar el índice de rugosidad internacional y adoptar una propuesta de diseño para mejorar la

condición elástica del pavimento de la avenida, con base en el método IRI y AASHTO 93. Utilizando la rugosidad MERLIN, la rugosidad calculada es de 6,08 m/km en la banda y 6,26 m/km en el carril derecho, con un IRI medio de 6,17 m/km en la pista de prueba. los resultados de las pruebas dan como resultado "pobres". Después de obtener los resultados de la condición del pavimento, proponen mejorar la construcción de nueva infraestructura vial mediante el diseño de pavimento flexible utilizando el método AASHTO 93, que requiere determinar la capacidad de carga de vehículos y la secuencia de excavación en el sitio para que se pueda determinar el CBR y el diseño. Los cálculos pueden continuar, El espesor resultante de la capa asfáltica, la subestructura hace que el pavimento sea más resistente que las demandas automotrices actuales en la zona.

Valverde y Calisaya (2019), en su tesis: "Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna", esta investigación fue diseñar la estructura del pavimento flexible para la carretera Panamericana Sur, centrándose en realizar diferentes estudios como el estudio de tráfico, estudio de suelos CBR y en el diseño estructural del pavimento flexible dando como resultado un Índice Medio Diario de 800 vehículos por día, la capacidad portante CBR igual a 9,1 %, el módulo resiliente igual a 12 603 PSI, por último se obtuvo los espesores de diseño, carpeta asfáltica de 6 centímetros, base granular de 30 centímetros y subbase granular de 37 centímetros, por lo cual se tiene un espesor estructural del pavimento de 73 centímetros.

Pari y Chipana (2019), en su tesis: "Diseño de pavimento flexible por método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad vial en el camino vecinal, tramo Río Seco – límite Calana, distrito de Pocollay, Tacna – 2019", siguiendo los lineamientos del método AASHTO lograron realizar el diseño de un pavimento flexible que tuvo por objetivo mejorar la accesibilidad vial de las carreteras locales. Se realizó una recolección de datos a través del método Índice Medio Diario (IMD) y con esto se estableció el IMD semanal en 114 y el IMD anual en 153 concluyendo que aumentará 62,09 % sobre el año base para 2039 así mismo se realizó el ensayo del Proctor Modificado y ensayo CBR para obtener las propiedades del suelo arrojando un CBR de 12 % y un método Proctor Modificado de 1,836 % y 11,0 % gr. /cm³, respectivamente. Por último, con base en los resultados obtenidos, se hizo posible diseñar un pavimento flexible en una vía adyacente en un tramo de río seco ubicado en el distrito de Pocollay de Tacna.

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Red vial

La red vial en transportes se refiere al conjunto de carreteras, autopistas, calles y caminos que forman un sistema de transporte terrestre. Esto incluye las vías principales y secundarias que conectan diferentes ciudades, pueblos y áreas rurales, y permite el movimiento de vehículos y peatones. La red vial es esencial para el transporte de mercancías y personas, y es un factor clave en el desarrollo económico y la movilidad urbana (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.2 Pavimento

Pavimento es el material utilizado para cubrir la superficie de un camino, calle o carretera. Puede ser de diferentes tipos, como asfalto, concreto o adoquines. El objetivo del pavimento es proporcionar una superficie sólida y segura para el tráfico vehicular y peatonal. Además de mejorar la seguridad y la comodidad de los usuarios, un buen pavimento también puede ayudar a prolongar la vida útil de la carretera y reducir los costos de mantenimiento (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.3 Capa de rodadura

Es la capa superior del pavimento y sobre esta transitan los vehículos durante la vida útil de esta. Debe ser resistente al desgaste por tráfico y erosión ambiental.

La capa de rodadura puede estar compuesta de diferentes materiales; se clasifica de acuerdo a la rigidez que esta presenta con respecto a la acción del esfuerzo de las cargas y descargas del tráfico vehicular: pavimento flexible, pavimento rígido, pavimento semi rígido o semi flexible y no pavimentado (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.4 Pavimento flexible

Es la superficie de carretera compuesto principalmente por asfalto o concreto asfáltico. Es más flexible y menos rígido que el pavimento rígido, como el concreto, lo que lo hace más capaz de resistir el desgaste y las variaciones climáticas. A menudo se utiliza en carreteras y autopistas con un alto volumen de tráfico y en áreas con suelo de baja calidad. El pavimento flexible también es más económico y fácil de reparar que el pavimento rígido (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.5 Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, de material selecto y procesado por lo cual debe cumplir con una granulometría según las especificaciones técnicas del proyecto y su misión es absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.6 Subbase

La subbase es una capa intermedia en la construcción de carreteras Se coloca debajo de la capa de base y encima del terreno natural. La subbase es responsable de distribuir la carga del tráfico vehicular y proporcionar una superficie plana y nivelada para la capa de base. La subbase se compone generalmente de materiales granulares como la grava o la arena, y su objetivo es proporcionar una capa de apoyo para la capa de base, y ayudar a drenar el agua de lluvia para evitar erosiones y deslizamientos del suelo. Esto contribuye a aumentar la vida útil de la carretera y asegurar una mayor seguridad en el tránsito vehicular (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014).

2.2.7 Subrasante

La subrasante es la capa de suelo natural que se encuentra debajo de la subbase en la construcción de carreteras. Es la capa más profunda de la estructura de la carretera y su función es proporcionar una base sólida y resistente para el resto de las capas de la carretera. La subrasante se compone generalmente de materiales como roca, arcilla o suelo consolidado. Su función es soportar las cargas de la carretera y distribuir las de manera uniforme, evitando así la formación de hundimientos y grietas. La subrasante también ayuda a drenar el agua de lluvia ya mantener la estabilidad del terreno. Es esencial para garantizar la seguridad en el tránsito vehicular y prolongar la vida útil de la carretera (Ministerio de transportes y comunicaciones, 2014)

2.2.8 Estudio de tráfico vehicular

Los estudios de tráfico son parte de las actividades reparación, mejora, construcción y mantenimiento para determinar el diseño de carreteras, el propósito de un estudio de tráfico puede ser determinar los pares iniciales y finales de flujos de carga y pasajeros entre carreteras o determinar el número de vehículos en una sección de carretera. Para realizar este estudio se utilizó las plantillas de clasificación vehicular del ministerio de

$$IMD = \frac{VS}{7} \quad (1)$$

VS = Volumen Promedio Semanal

2.2.9.2. Factor de corrección de vehículos ligeros y pesados por unidad de peaje

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) a través del sector Transportes y Comunicaciones publicó la "Ficha Técnica Estándar, Instructivo y Líneas de Corte para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas" donde facilitó las Figuras 4 y 5 con los Factores de corrección de vehículos ligeros y pesados por unidad de peaje.

2.2.9.3. IMDA (Índice Medio Diario Anual)

Es el producto de la valoración volumétrica y clasificación vehicular en campo durante una semana que se multiplica por un factor de corrección estacional y los 365 días del año.

2.2.9.4. ESAL (Equivalent Simple Axial Load)

Es el Número de Repeticiones de Carga Equivalente de un Eje Simple de Ruedas Duales de Carga Standard de 8.2 toneladas, este cálculo establece una relación de daño y compara los efectos de los ejes que llevan diferentes cargas basándose en conteos de movimientos de giro periódicos y determinaciones de tráfico diario anual para pronosticar las necesidades de mantenimiento y mejoras de caminos.

2.2.9.5. Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados

Interpreta la evolución de la colectividad vehicular con respecto a los años, se da en porcentaje y se diferencia con cada región del país clasificándolos en Vehículos Ligeros y Vehículos Pesados así como se observa en la Tabla 1.

Tabla 1*Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros y Pesados*

Tasa de Crecimiento de Vehículos Ligeros		Tasa de Crecimiento de Vehículos Pesados	
Amazonas	0.62%	Amazonas	3.42%
Ancash	0.59%	Ancash	1.05%
Apurímac	0.59%	Apurímac	6.65%
Arequipa.	1.07%	Arequipa.	3.37%
Ayacucho	1.18%	Ayacucho	3.60%
Cajamarca.	0.57%	Cajamarca.	1.29%
Callao	1.56%	Cusco.	4.43%
Cusco.	0.75%	Huancavelica.	2.33%
Huancavelica.	0.83%	Huánuco.	3.85%
Huánuco.	0.91%	Ica.	3.54%
Ica.	1.15%	Junín.	3.90%
Junín.	0.77%	La Libertad	2.83%
La Libertad	1.26%	Lambayeque.	3.45%
Lambayeque.	0.97%	Callao	3.41%
Lima Provincia	1.45%	Lima Provincia	3.07%
Lima.	1.45%	Lima.	3.69%
Loreto.	1.30%	Loreto.	1.29%
Madre de Dios	2.58%	Madre de Dios	1.98%
Moquegua	1.08%	Moquegua	0.27%
Pasco.	0.84%	Pasco.	0.36%
Piura.	0.87%	Piura.	3.23%
Puno.	0.92%	Puno.	3.21%
San Martín.	1.49%	San Martín.	3.84%
Tacna.	1.50%	Tacna.	2.88%
Tumbes.	1.58%	Tumbes.	2.60%
Ucayali	1.51%	Ucayali	2.77%

Nota. Adaptado de la ficha técnica estándar para la formulación y evaluación de proyectos de inversión en carreteras interurbanas del MTC.

2.2.9.6. Factor direccional y factor carril

El factor de distribución direccional se ajusta al número de vehículos pesados que se mueven en un rumbo y el factor carril es empleado para aminorar el estimado ESAL acumulativo de un rumbo para las secciones que tienen tres o más carriles en una dirección.

Tabla 2

Factores de Distribución Direccional y de Carril

Número de calzadas	Número de sentidos	Número de carriles por sentido	Factor Direccional (Fd)	Factor Carril (Fc)	Factor Ponderado Fd x Fc para carril de diseño
1 calzada (para IMDa total de calzada)	1 sentido	1	1	1	1
	1 sentido	2	1	0.8	0.8
	1 sentido	3	1	0.6	0.6
	1 sentido	4	1	0.5	0.5
	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.5	1	0.5
	2 sentidos	2	0.5	0.8	0.4
	2 sentidos	3	0.5	0.6	0.3
	2 sentidos	4	0.5	0.5	0.25

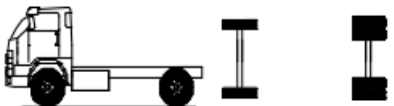
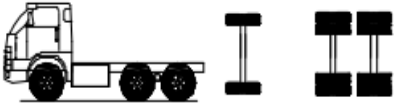


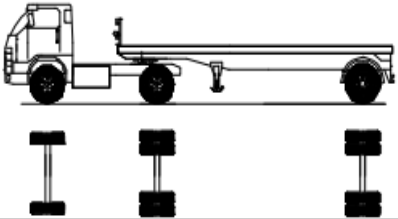
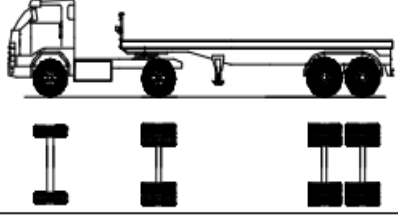
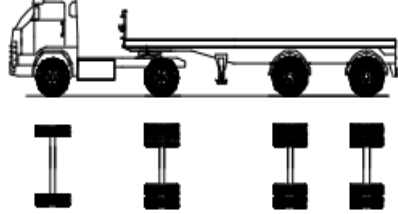
Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

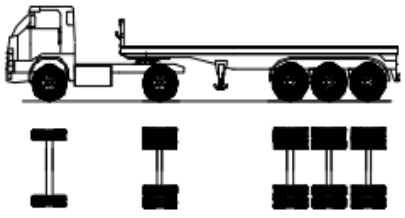
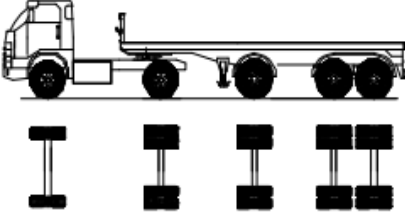
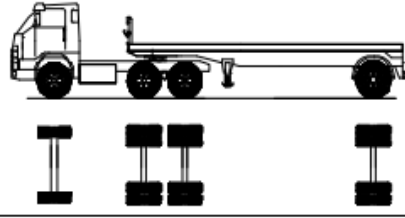
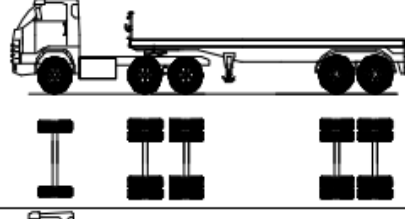
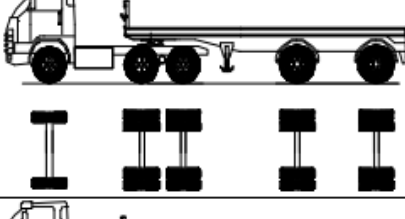
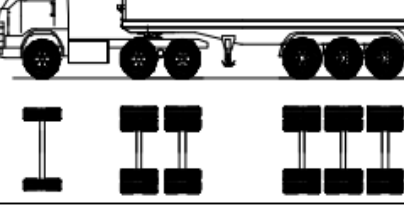
2.2.9.7. Pesos y medidas máximas permitidas

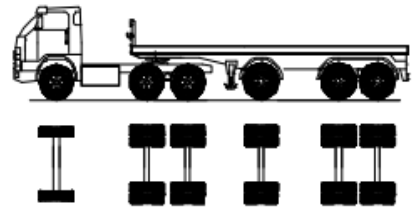
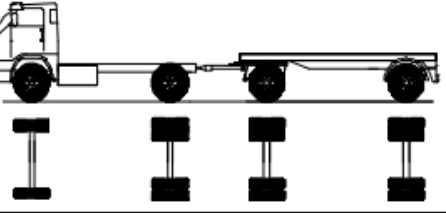
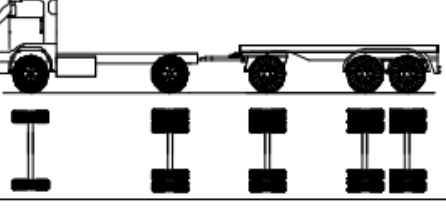
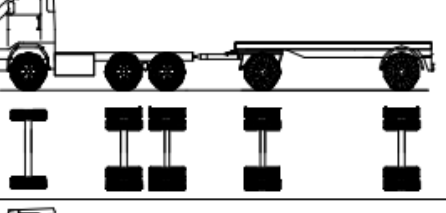
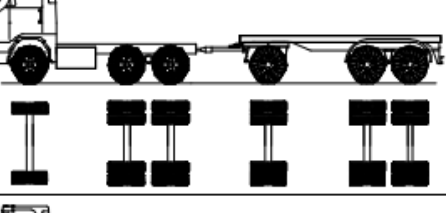
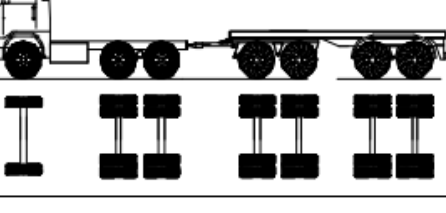
Cada vehículo tiene su propia configuración o característica vehicular diferenciándose según su longitud máxima, peso máximo de los ejes delanteros y posteriores y su peso bruto máximo. Los datos de la Figura 6 controla el peso límite permitido por eje simple o combinación de ejes, por lo tanto, el peso bruto vehicular máximo permitido es de 48 toneladas lo cual no se debería desbordar dicho límite.

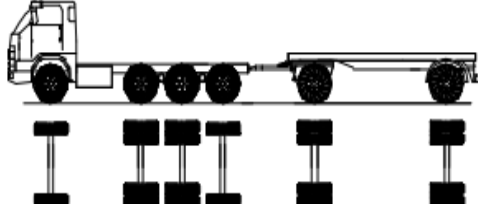
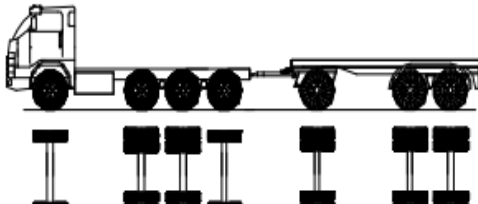
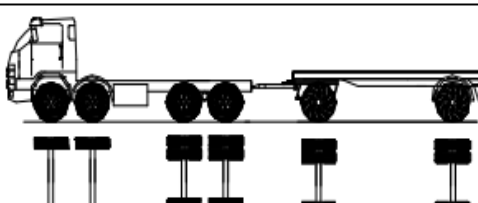
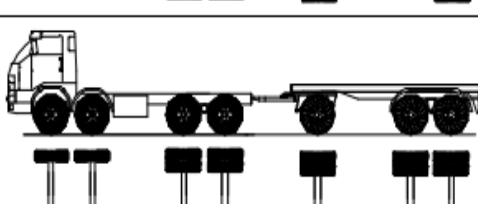
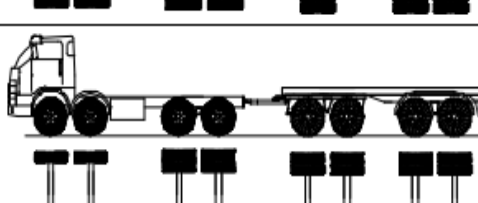
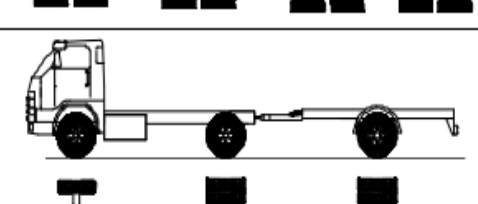
Figura 6

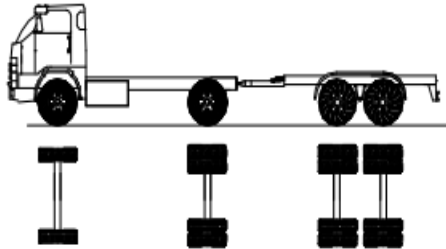
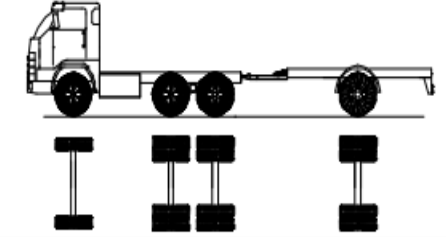
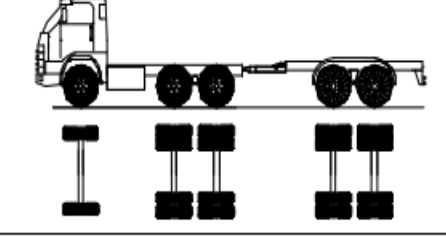
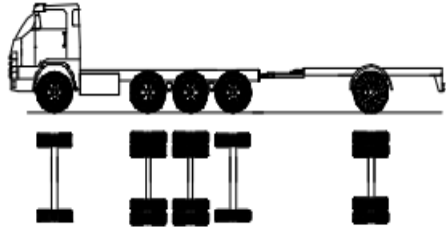
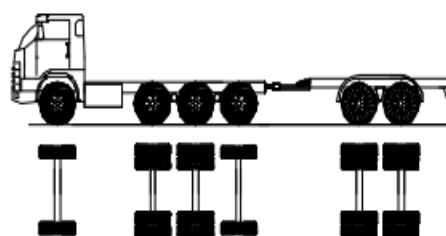
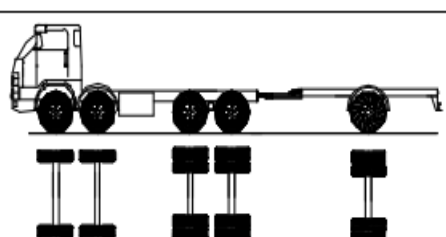
Pesos y medidas máximas permitidas

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS									
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)						Peso bruto máx. (t)
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores					
				1º	2º	3º	4º		
C2		12,30	7	11	---	---	---	18	
C3		13,20	7	18	---	---	---	25	
C4		13,20	7	23 ⁽¹⁾	---	---	---	30	
8x4		13,20	7+7 ⁽⁵⁾	18	---	---	---	32	
T2S1		20,50	7	11	11	---	---	29	
T2S2		20,50	7	11	18	---	---	36	
T2Se2		20,50	7	11	11	11	---	40	

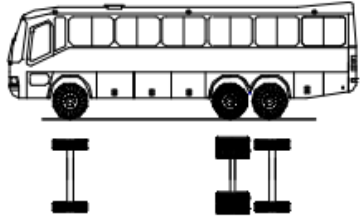
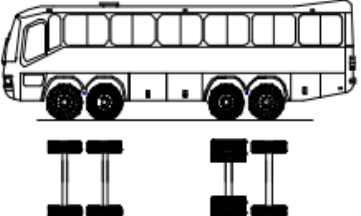
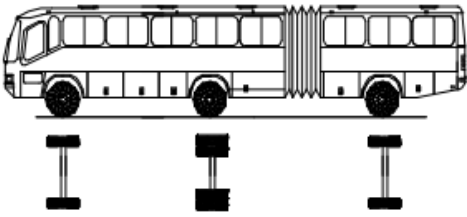
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
T2S3		20,50	7	11	25	---	---	43
T2Se3		20,50	7	11	11 ⁽⁴⁾	18	---	47
T3S1		20,50	7	18	11	---	---	36
T3S2		20,50	7	18	18	---	---	43
T3Se2		20,50	7	18	11	11	---	47
T3S3		20,50	7	18	25	---	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
T3Se3		20,50	7	18	11 ⁽⁴⁾	18	---	48 ⁽²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	---	40
C2R3		23,00	7	11	11	18	---	47
C3R2		23,00	7	18	11	11	---	47
C3R3		23,00	7	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
C3R4		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C4R2		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	11	---	48 ⁽²⁾
C4R3		23,00	7	23 ⁽¹⁾	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R2		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	11	---	48 ⁽²⁾
8x4R3		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	18	---	48 ⁽²⁾
8x4R4		23,00	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
C2RB1		20,50	7	11	11	---	---	29

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
C2RB2		20,50	7	11	18	---	---	36
C3RB1		20,50	7	18	11	---	---	36
C3RB2		20,50	7	18	18	---	---	43
C4RB1		20,50	7	23 ⁽¹⁾	11	---	---	41
C4RB2		20,50	7	23 ⁽¹⁾	18	---	---	48
8x4 RB1		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	11	---	---	43

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
8x4 RB2		20,50	7+7 ⁽⁵⁾	18	18	---	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S2		23,00	7	18	18	18	---	48 ⁽²⁾
T3Se2 Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11 + 11 ⁽³⁾	---	48 ⁽²⁾
T3S2 S1S2		23,00	7	18	18	11	18	48 ⁽²⁾
T3Se2 S1Se2		23,00	7	18	11 + 11 ⁽³⁾	11	11 + 11 ⁽³⁾	48 ⁽²⁾
B2		13,20	7	11	---	---	---	18

Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)	
			Eje Delant	Conjunto de ejes posteriores				
				1º	2º	3º		4º
B3-1		14,00	7	16	---	---	---	23
B4-1		15,00	7+7 ⁽⁵⁾	16	---	---	---	30
BA-1		18,30	7	11	7	---	---	25

Nota. Adaptado del Reglamento Nacional de Vehículos (2003).

2.2.9.8. Tasa de crecimiento y proyección

La tasa de crecimiento del tránsito se encuentra enlazada con la tasa anual del crecimiento de la economía expresada como el Producto Bruto Interno (PIB) y se obtiene aplicando la siguiente fórmula donde sus indicadores están detallados.

La ecuación 2, permite calcular la circulación proyectada al año en una unidad vehicular por día.

$$T_n = T_0(1 + r)^{(n-1)} \quad (2)$$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año en vehículo por día

T_0 = Tránsito actual (año base) en vehículo por día

n = Año futuro de proyección

r = Tasa anual de crecimiento de tránsito

2.2.9.9. Factores de crecimiento acumulado (Fca)

La ecuación 3, facilita la obtención del valor del incremento según el año del año posterior y la tasa anual de crecimiento de tránsito.

$$Fca = \frac{(1 + r)^n - 1}{r} \quad (3)$$

Donde:

n = Año futuro de proyección
r = Tasa anual de crecimiento de tránsito

2.2.9.10. Número de repeticiones de ejes equivalentes

El tráfico pesado debe priorizarse en el diseño del pavimento ya que puede causar más daño a la estructura del pavimento que los vehículos livianos, el eje equivalente es un factor equivalente que refleja los factores destructivos de diferentes cargas dependiendo de la composición de cada tipo de eje específicamente del tipo de vehículo pesado.

La ecuación 4, muestra el número de reproducciones por eje equivalente.

$$Nrep \text{ de } EE_{8.2tn} = \sum [(EE_{\text{día-carril}} * Fca * 365)] \quad (4)$$

Donde:

Nrep de EE= Número de repeticiones de ejes equivalentes
Fca= Factor de crecimiento acumulado
365 = Número de días del año
 Σ = Sumatoria de Ejes Equivalentes de vehículos pesados



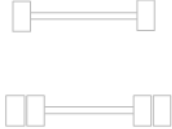

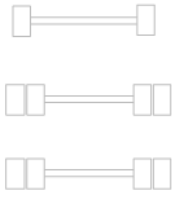
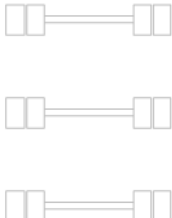
La ecuación 5, arroja el número de reproducciones por día – carril.

$$EE_{\text{día-carril}} = IMD_{PI} * F_D * F_C * F_{VPI} * F_{PI} \quad (5)$$

Donde:

IMDpi = Índice Medio Diario según el tipo de vehículo seleccionado
Fd = Factor direccional
Fc = Factor carril de diseño
Fvp = Factor vehículo pesado del tipo seleccionado
Fp = Factor de precisión de neumáticos

Tabla 4
Configuración de Ejes

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	N° de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	2	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	4	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	6	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	8	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

Tabla 5
Relación de Cargas por Eje para Pavimentos Flexibles

Tipo de Eje	Eje Equivalente $EE_{8,2 \text{ tn}}$
Eje Simple de ruedas simples EE_{S1}	$EE_{TR2} = [P/6,6]^{4,0}$
Eje Simple de ruedas dobles EE_{S2}	$EE_{S2} = [P/8,2]^{4,0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) EE_{TA1}	$EE_{TA1} = [P/14,8]^{4,0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles) EE_{TA2}	$EE_{TA2} = [P/15,1]^{4,0}$
Eje Tandem (2 ejes de ruedas dobles + 1 eje rueda simple) EE_{TR1}	$EE_{TR1} = [P/20,7]^{3,9}$
Eje Tandem (3 ejes ruedas dobles) EE_{TR2}	$EE_{TR2} = [P/21,8]^{3,9}$
P = Peso real por eje en toneladas	

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.2.10. Ensayo de Compactación Proctor Modificado

Se utiliza para determinar el grado de compactación de diferentes tipos de suelo y las propiedades del suelo en función del contenido de humedad, para lo cual se utilizarán las muestras extraídas de cada calicata; En la figura 7 se puede apreciar los instrumentos utilizados para el ensayo de compactación proctor modificado.

1. Juntar cerca de 4 kg de suelo extraído del terreno de fundación y secarlo al aire libre, luego pasar por el tamiz No. 4 y lo que pase por este tamiz se tendrá que combinar con una cantidad determinada de agua.

2. Pesarse el molde vacío sin collar y con la placa de la base acomodada.

3. Ubicar el molde con el collar unido encima de una base sólida y compactar la muestra distribuyendo los golpes homogéneamente sobre la extensión de cada capa, serán cinco capas con 25 golpes cada una con un pisón de 4,5 kg descendiendo desde una altura de 45 cm.

4. Retirar el collar con precaución para enrasar a la altura del molde con una regla de acero y luego pesar el molde más el suelo compactado.

5. Retirar la muestra de suelo compactado del molde y extraer una muestra para determinar el contenido de humedad.

Figura 7

Instrumento para realizar el ensayo de compactación Proctor modificado



Nota. Adaptado de Shanghai Civil Road Instrument (2023) del sitio web <https://cotly.me/bniYB>.

2.2.11. Ensayo del CBR

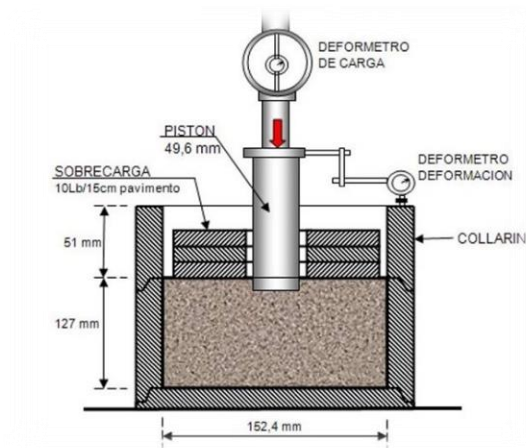
El ensayo CBR (California Bearing Ratio) es un método utilizado para medir la resistencia de un suelo a la compresión. Es comúnmente utilizado en la construcción de

carreteras y aeropuertos para determinar la calidad del suelo y la capacidad del suelo para soportar cargas. El ensayo se lleva a cabo mediante la aplicación de una carga estática a un pequeño cilindro de suelo, y se mide la relación entre la carga necesaria para causar un cierto grado de deformación en el suelo y la carga necesaria para causar la misma deformación en una muestra de referencia de suelo de alta calidad. El resultado se expresa como un porcentaje, con un valor CBR más alto que indica un suelo más resistente. El ensayo CBR es una herramienta valiosa para evaluar la calidad del suelo y diseñar estructuras de carreteras para realizar este ensayo se deberá seguir los siguientes pasos.

1. Se debe compactar 3 probetas de unos 7 kg cada una de forma que sus densidades de compactado oscilen entre el 95 % y el 100 %.
2. Pesar el molde vacío.
3. Añadir agua a la primera muestra en empezar a compactar cada probeta a 12, 25 y 56 golpes por capa respectivamente.
4. Después de compactar retirar el collar con precaución para nivelar la superficie con una regla de acero y luego pesar el molde más el suelo compactado.
5. Retirar la muestra de suelo compactado del molde y extraer una muestra para determinar el contenido de humedad.
6. Colocar la probeta en un depósito de agua sumergiéndolo en su totalidad por 4 días.
7. Después del tiempo transcurrido tomar la lectura del dial para los cálculos respectivos.
8. Retirar el molde del depósito de agua y dejar drenar.
9. Llevar el molde a la máquina automática para ensayos de CBR.

Figura 8

Esquema del equipo para el ensayo CBR



Nota. Adaptado de Ingeniería Civil Bolivia (2021) del sitio web <https://cotly.me/GBUpq>.

Figura 9

Máquina automática para ensayos de CBR



Nota. Adaptado de CROMTEK Ciencia analítica tecnológica (2022) del sitio web <https://cotly.me/RrbvS>.

2.2.12. Cálculos para el Diseño de Pavimento Asfáltico

Para realizar el diseño de pavimento asfáltico se aplicó el método AASHTO - 93 ya que se basa única y exclusivamente en datos experimentales lo que lo hace un método bastante popular y confiable a nivel internacional.

2.2.12.1. Metodología AASHTO – 93

En el método AASHTO - 93 para el diseño de estructuras de pavimento asfáltico, se propone un modelo o ecuación mediante el cual se obtiene un parámetro denominado

número de estructura (SN), cuyo valor además de indicar el espesor total deseado del pavimento es Una función de tráfico, confiabilidad, etc. Para la determinación de este parámetro se utiliza un ábaco, en el cual se ingresa el valor de confiabilidad y se conocen los valores de otros parámetros como el tránsito, desviación estándar, confiabilidad e índice de servicio, SN es el valor básico a determinar. el espesor final de las diferentes capas que componen la estructura del pavimento.

2.2.12.2. Formulación de diseño

La ecuación básica de diseño AASHTO-93 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:

La ecuación 6, es la ecuación general del método de diseño utilizado.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \times S_o + 9,36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \quad (6)$$

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 Serviabilidad (Po-Pt).
Po =	Serviabilidad Inicial.
Pt =	Serviabilidad Final.
Mr =	Módulo de Resiliencia.

2.2.12.3. 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.

Tabla 6

Nivel de confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	75,000	150,000	65%
	Tp1	150,001	300,000	70%
	Tp2	300,001	500,000	75%
	Tp3	500,001	750,000	80%
	Tp4	750,001	1,000,000	80%
Restos de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	90%
	Tp9	7,500,001	10,000,000	90%
	Tp10	10,000,001	12,500,000	90%
	Tp11	12,500,001	15,000,000	90%
	Tp12	15,000,001	20,000,000	95%
	Tp13	20,000,001	25,000,000	95%
	Tp14	25,000,001	30,000,000	95%
	Tp15		>30,000,000	95%

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.2.12.4. Desviación estándar (Zr)

Son parámetros rígidos en función de los ejes equivalentes acumulados así hallando la desviación estándar.

Tabla 7

Desviación estándar normal

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACION ESTANDAR NORMAL
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito		75,000	150,000	-0.385
		150,001	300,000	-0.524
		300,001	500,000	-0.674
		500,001	750,000	-0.842
		750,001	1,000,000	-0.842
Restos de Caminos		1,000,001	1,500,000	-1.036
		1,500,001	3,000,000	-1.036
		3,000,001	5,000,000	-1.036
		5,000,001	7,500,000	-1.282
		7,500,001	10,000,000	-1.282
		10,000,001	12,500,000	-1.282
		12,500,001	15,000,000	-1.282
		15,000,001	20,000,000	-1.645
		20,000,001	25,000,000	-1.645
		25,000,001	30,000,000	-1.645
			>30,000,000	-1.645

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.2.12.5. Índice de Serviciabilidad

Tiene como fin obtener el valor de confort y seguridad, teniendo así el pavimento un natural desplazamiento con respecto al viaje de los vehículos.

Tabla 8

Índice de serviciabilidad inicial

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	75,000	150,000	3,8
	Tp1	150,001	300,000	3,8
	Tp2	300,001	500,00	3,8
	Tp3	500,001	750,000	3,8
	Tp4	750,001	1,000,000	4,00
Restos de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	4,00
	Tp6	1,500,001	3,000,000	4,00
	Tp7	3,000,001	5,000,000	4,00
	Tp8	5,000,001	7,500,000	4,00
	Tp9	7,500,001	10,000,000	4,00
	Tp10	10,000,001	12,500,000	4,00
	Tp11	12,500,001	15,000,000	4,00
	Tp12	15,000,001	20,000,000	4,20
	Tp13	20,000,001	25,000,000	4,20
	Tp14	25,000,001	30,000,000	4,20
	Tp15		>30,000,000	4,20

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

Tabla 9

Índice de serviciabilidad final

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	75,000	150,000	2,00
	Tp1	150,001	300,000	2,00
	Tp2	300,001	500,00	2,00
	Tp3	500,001	750,000	2,00
	Tp4	750,001	1,000,000	2,50
Restos de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	2,50
	Tp6	1,500,001	3,000,000	2,50
	Tp7	3,000,001	5,000,000	2,50
	Tp8	5,000,001	7,500,000	2,50
	Tp9	7,500,001	10,000,000	2,50
	Tp10	10,000,001	12,500,000	2,50
	Tp11	12,500,001	15,000,000	2,50
	Tp12	15,000,001	20,000,000	3,00
	Tp13	20,000,001	25,000,000	3,00
	Tp14	25,000,001	30,000,000	3,00
	Tp15		> 30,000,000	3,00

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.2.12.6. Módulo de resiliencia (M_r)

Es la capacidad que tiene el suelo, cuando está sometida a fuerzas, y mide la capacidad para recuperarse. La ecuación 7, permite calcular el módulo de resiliencia guardando una relación con el CBR.

Donde:

$$M_r = 2555 * CBR^{0.64} \quad (7)$$

Tabla 10

Módulo de resiliencia

CBR% SUB RASANTE	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (PSI)	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (Mpa)
6	8,043.00	55.45
7	8,877.00	61.20
8	9,669.00	66.67
9	10,426.00	71.88
10	11,153.00	76.90
11	11,854.00	81.73
12	12,533.00	86.41
13	13,192.00	90.96
14	13,833.00	95.38
15	14,457.00	99.68
16	15,067.00	103.88
17	15,663.00	107.99
18	16,247.00	112.02
19	16,819.00	115.96
20	17,380.00	119.83
21	17,931.00	123.63
22	18,473.00	127.37
23	19,006.00	131.04
24	19,531.00	134.66
25	20,048.00	138.23
26	20,558.00	141.74
27	21,060.00	145.20
28	21,556.00	148.62
29	22,046.00	152.00
30	22,529.00	155.33

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.2.12.7. Número estructural propuesto (SN)

El número estructural (SN) es un parámetro utilizado en el diseño de pavimentos para determinar la capacidad de carga de una estructura de pavimento. Se calcula a partir de la espesura de la capa de rodamiento y la resistencia del material subyacente, se utiliza junto con la demanda de tráfico esperada para determinar si una estructura de pavimento será adecuada o si se necesitarán mejoras adicionales. Un número

estructural más alto indica una mayor capacidad de carga y un menor riesgo de fallas en el pavimento.

La ecuación 8, facilita hallar el número estructural de un modelo de pavimento asfáltico.

$$SN = a_1 \times d_1 + a_2 \times d_2 \times m_2 + a_3 \times d_3 \times m_3 \quad (8)$$

- SN = Número Estructural.
 a_{1,2,3} = Coeficientes 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} = Coeficiente de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

Donde mediante tablas se podrá calcular el valor de cada coeficiente estructural de capas, espesores de las capas, coeficiente de drenaje para las capas como observaremos en las tablas dadas por el manual de carreteras de la MTC sección suelos y pavimentos.

Tabla 11

Coeficientes estructurales de la capa superficial

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a ₁ (cm)	OBSERVACIÓN
capa superficial			
Carpeta Asfáltica en Caliente, modulo 2,965 Mpa (430,000 PSI) a 20 °C (68°F)	a ₁	0.170/cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Trafico
Carpeta Asfáltica en Frio, mezcla asfáltica con emulsion.	a ₁	0.125/cm	Capa Superficial recomendada para Trafico ≤ 1000,000 EE
Micropavimento 25 mm	a ₁	0.130/cm	Capa Superficial recomendada para Trafico ≤ 1000,000 EE Capa Superficial recomendada para Trafico ≤ 500,000 EE.
Tratamiento Superficial Bicapa.	a ₁	(*)	No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en vias con curvas pronunciadas, curvas de volteo, curvas y contracurvas, y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos Capa Superficial recomendada para Trafico ≤ 500,000 EE.
Lechada asfáltica (slurry y seal) de 12 mm	a ₁	(*)	No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos

(*) no se considera por no tener aporte estructural

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

Tabla 12*Coefficientes estructurales de la capa base*

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a1 (cm)	OBSERVACIÓN
BASE			
Base Granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS	a2	0.052/cm	Capa de Base recomendada para Trafico \leq 10000,000 EE
Base Granular CBR 100% compactada al 100% de la MDS	a2	0.052/cm	Capa de Base recomendada para Trafico >10000,000 EE
Base Granular tratada con Asfalto (Estabilidad marshall=1500 lb)	a2a	0.115/cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Trafico
Base Granular tratada con cemento (resistencia a la compresion 7 dias= 35kg/cm2)	a2b	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Trafico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresion 7 dias= 12kg/cm2)	a2c	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Trafico

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

Tabla 13*Coefficientes estructurales de la capa Subbase*

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a1 (cm)	OBSERVACIÓN
SUBBASE			
Subbase granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS	a3	0.047/cm	Capa de Subbase recomendada con CBR mínimo 40%, para todos los tipos de Trafico

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.2.12.8. Coeficiente de drenaje

El coeficiente de drenaje es un parámetro para indicar la capacidad de una estructura de pavimento para drenar el agua de lluvia y el agua subterránea. Se calcula como la relación entre la cantidad de agua que se drena a través de la estructura de pavimento y la cantidad de agua que se acumula en la superficie del pavimento. Un coeficiente de drenaje más alto indica una mayor capacidad de drenaje y un menor riesgo de fallas en el pavimento debido a la acumulación de agua. Es un factor importante a tener en cuenta en el diseño de pavimentos para evitar problemas de erosiones, deslizamientos de tierra, entre otros.

Los valores elegidos serán de acuerdo al tiempo en el que está expuesto el pavimento con relación a la humedad y la calidad de drenaje como se ve en la tabla 14.

Tabla 14

Valores recomendados del coeficiente de drenaje

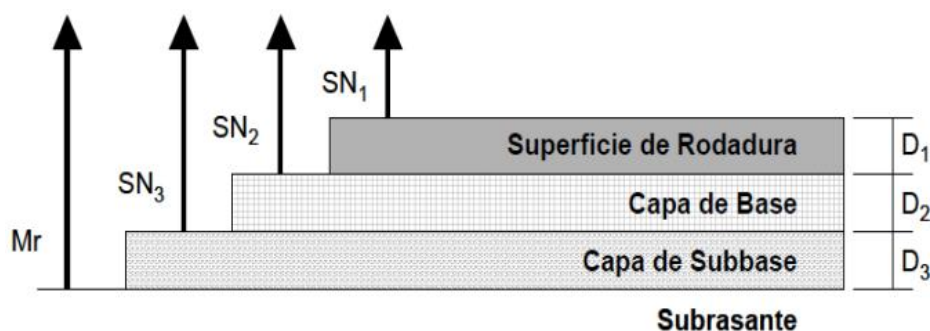
CALIDAD DEL DRENAJE	P=% DEL TIEMPO EN QUE EL PAVIMENTO ESTÁ EXPUESTO A NIVELES DE HUMEDAD CERCANO A LA SATURACIÓN.			
	Menor que 1%	1%-5%	5%-25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-0.80	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.05-0.80	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

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

Con los parámetros obtenidos se podrá encontrar los espesores de cada capa que conforma la estructura del pavimento como se puede observar en la figura 10.

Figura 10

Capas de la estructura de pavimento



Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

2.3. Definición de términos

2.3.1 Transitabilidad

Infraestructura vial que asegura y permite un flujo regular de tránsito en un tiempo determinado. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3.2 Serviciabilidad

La serviciabilidad funcional del pavimento interpreta la percepción de la calidad de la superficie de rodadura que experimenta el usuario (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3.3 Carretera

Camino para el tránsito de vehículos motorizados de por lo menos dos ejes, cuyas características geométricas, tales como: pendiente longitudinal, pendiente transversal, sección transversal, superficie de rodadura y demás elementos de la misma, deben cumplir las normas técnicas vigentes del Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3.4 Asfalto

Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3.5 Trocha Carrozable

Vía transitable que no alcanza ciertas características que propone el Ministerio de Transportes de Carreteras (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3.6 Estudio de Tráfico Vehicular

Se denomina al estudio que tiene por finalidad cuantificar, clasificar y conocer el volumen de los vehículos que se movilizan a través de una carretera, siendo este estudio indispensable para la determinación de las características de diseño del pavimento (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

2.3.7 Resistencia de la estructura de pavimento

Se define por el Número estructural (SN), el cual es en función del espesor de las capas, de los coeficientes estructurales de ellas y del coeficiente de drenaje (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la investigación

Este estudio tiene un diseño no experimental, de corte transversal. Esto se debe a que los fenómenos se observan en entornos naturales y los datos se recopilan en momentos específicos sin manipular las variables.

3.2. Acciones y actividades

3.2.1 Recopilación de información

Se reunió toda la información previa posible de la zona de estudio mediante mapas, revistas, artículos, etc. Se utilizó el manual de carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones para organizar y recopilar las técnicas de diseño vial y de igual manera se utilizó el manual de ensayos de laboratorio para lograr realizar el proceso de cada ensayo teniendo en cuenta la normativa.

Además, se coordinó con la Municipalidad Distrital de Gregorio Albarracín para que pueda facilitar el Plan Vial a fin de que nos guíe sobre las modificaciones del sector transporte y podamos obtener los planos actualizados. Finalmente, se empleó el Plan de Desarrollo Urbano que proporcionó las previsiones para la organización y desarrollo futuro de la ciudad, esta información permite cumplir con los objetivos de la investigación y posibilitó el siguiente paso que fue la visita a campo.

3.2.2 Inspección de campo y toma de datos

Con la información obtenida se visitó la zona de estudio, allí se identificó el tramo de la investigación y se tomó datos superficiales del estado actual de la vía con el objetivo de determinar y evidenciar las deficiencias de esta, ubicados en campo se ideará el lugar estratégico de las calicatas y el conteo vehicular.

En la siguiente visita a campo se realizó las calicatas en los lugares seleccionados, la profundidad de estas dependió de los estratos encontrados en campo. Luego se ejecutó los ensayos de campo in situ y se tomarán los datos para ser analizados en gabinete, también se extrajeron muestras de cada calicata para ser analizadas próximamente en laboratorio. De igual modo se tomaron los datos del conteo vehicular por una semana en horarios determinados realizando la toma de datos en los

formatos de estudio de tráfico vehicular según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

3.2.3 Análisis y evaluación de la toma de datos de campo




En gabinete se analizó y evaluó los datos obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio. Al realizar el estudio de suelos se conseguirá el valor del CBR y se verificó si cumple los parámetros normativos. Además, se contó con la recopilación de datos del conteo vehicular que permitió calcular la Carga Estándar por Eje Equivalente (ESAL) con la ayuda de fórmulas, con estos datos se pudo efectuar la metodología AASHTO 93 lo cual nos permitió realizar un adecuado diseño de pavimento y mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal del distrito Gregorio Albarracín Lanchipa.

3.3. Materiales y/o instrumentos

Durante la investigación se empleó diferentes materiales como lo muestra la Tabla 13, también se realizaron ensayos de laboratorio en el Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la Universidad Privada de Tacna, cabe recalcar que este laboratorio se encuentra acreditado por el Instituto Nacional de Calidad (INACAL) en donde se usaron distintos instrumentos.

Tabla 15

Herramientas empleadas en la recolección de datos

Equipo, herramienta e instrumento	Imagen	Función
Computador portátil		Sirve para almacenar y manipular toda clase de información.
Cámara fotográfica		Sirve para capturar imágenes o fotografías
Wincha métrica		Es un instrumento de medición que cuenta las longitudes con precisión.

Zapatos de seguridad

Sirve para la protección de riesgos en los dedos y plantas de pie .

Conos de seguridad

Para advertir a los conductores de zonas de trabajo o accidentes .

Pala y pico de construcción

Se usa para excavar y hacer canaletas en superficies duras.

Chaleco de seguridad

Sirve para la visualización al usuario y que cualquier persona identifique al usuario.

Cascos de seguridad

Se utilizan para cubrir la cabeza de los trabajadores y proteger la integridad física.

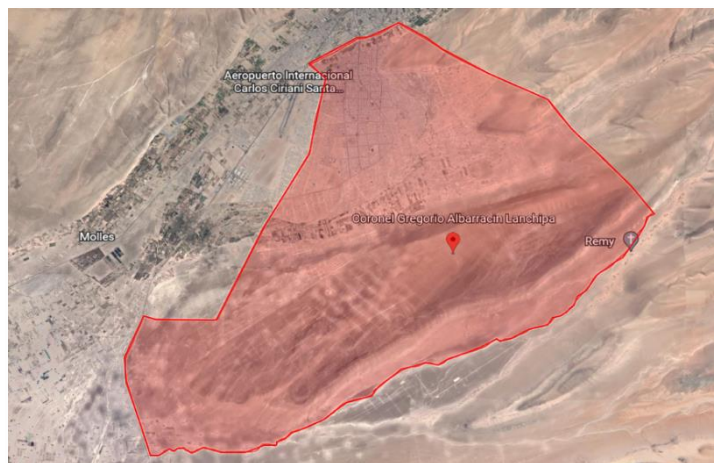
Nota. Elaboración Propia.

3.4. Población y/o muestra de estudio**3.4.1. Población**

La población para la investigación será todas las trochas carrozables que se encuentren en el distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna; Como se muestra en la figura 11.

Figura 11

Delimitación del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna



Nota. Adaptado de Google Earth.

3.4.2. Muestra

La muestra para la investigación será la trocha carrozable de la vía de acceso al cerro Chastudal, que tiene una longitud de 3.00 kilómetros aproximadamente como se muestra en la figura 12.

Figura 12

Zona de estudio



Nota. Adaptado de Google Earth.

3.5. Operacionalización de variables

a) Variable independiente

Diseño de pavimento asfáltico.

b) Variable dependiente

Mejorar la transitabilidad vehicular.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Estudio de Tráfico Vehicular

El estudio de tráfico vehicular tuvo como objetivo contabilizar el volumen vehicular que se desplazó por la vía de estudio y categorizarlos según su clase ya sea vehículos ligeros o pesados, posteriormente mediante fórmulas se realizó los cálculos respectivos.

4.1.1. Estación de conteo

En una visita a campo, se recorrió el tramo de estudio y se localizó un punto estratégico como se observa en la figura 13, donde se realizó la contabilización de los vehículos y su agrupación correspondiente según el formato de clasificación vehicular del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Figura 13

Estación de conteo



Nota. Adaptado de Google Earth.

4.1.2 Duración del conteo vehicular en campo

Siguiendo los lineamientos del Manual de Carreteras: Diseño Geométrico del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, se efectuó el conteo vehicular desde el lunes 24 de octubre al domingo 30 de octubre, por 7 días consecutivos de la semana con un total de 24 horas al día.

4.1.3 Tabla resumen del conteo vehicular

Tabla 16

Tabla resumen del conteo vehicular

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION				SEMITRAYLER			TRAYLERS				TOTAL
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
LUNES																				
24/10/2022																				
ENTRADA	199	136	160	0	0	0	0	1	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	501
SALIDA	176	146	147	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	470
Ambos	375	282	307	0	0	0	0	1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	971
MARTES																				
25/10/2022																				
ENTRADA	188	137	157	2	11	0	2	0	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	515
SALIDA	145	113	132	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	396
Ambos	333	250	289	2	11	0	2	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	911
MIERCOLES																				
26/10/2022																				
ENTRADA	126	136	168	0	5	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	437
SALIDA	209	190	188	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	590
Ambos	335	326	356	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1027
JUEVES																				
27/10/2022																				
ENTRADA	199	201	184	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	585
SALIDA	183	171	178	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	533
Ambos	382	372	362	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1118
VIERNES																				
28/10/2022																				
ENTRADA	170	183	128	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	482
SALIDA	158	156	160	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	475
Ambos	328	339	288	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	957
SABADO																				
29/10/2022																				
ENTRADA	157	143	157	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	458
SALIDA	160	150	151	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	464
Ambos	317	293	308	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	922
DOMINGO																				
30/10/2022																				
ENTRADA	133	153	120	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	409
SALIDA	120	105	138	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	368
Ambos	253	258	258	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	777
TOTAL	2323	2120	2168	4	16	0	2	1	45	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6683

Nota. Adaptado del formato de clasificación vehicular del MTC.

4.2 ESAL de Diseño (Equivalent Simple Axial Load)

4.2.1 Cálculo del IMD (Índice Medio Diario)

Se realizó el cálculo del Índice Medio Diario obteniendo el volumen total del promedio semanal de los vehículos que transitaron durante los 7 días de estudio. Luego se aplicó la ecuación (1) dando como resultado la tabla 17.

Tabla 17*Índice Medio Diario*

DIA	VEHICULOS LIGEROS							VEHICULOS PESADOS													TOTAL	PORC. %
	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYER				TRAYLERS						
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
LUNES	375	282	307	0	0	0	0	1	2	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	971	14.53
MARTES	333	250	289	2	11	0	2	0	24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	911	13.63
MIERCOLES	335	326	356	0	5	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1027	15.37
JUEVES	382	372	362	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1118	16.73
VIERNES	328	339	288	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	957	14.32
SABADO	317	293	308	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	922	13.80
DOMINGO	253	258	258	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	777	11.63
TOTAL	2323	2120	2168	4	16	0	2	1	45	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6683	100.00
IMD	332	303	310	1	2	0	0	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	955	
%	34.76	31.73	32.46	0.10	0.21	0.00	0.00	0.00	0.63	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Nota. Elaboración propia.

Posteriormente se visualizó en la Figura 4 y 5 los Factores de corrección de vehículos ligeros y pesados por unidad de peaje (FC) correspondientes al mes de octubre ya que en ese mes se realizó el estudio de tráfico vehicular, tomando los valores del peaje más cercano al área de investigación se seleccionó el peaje Tomasiri de la ciudad de Tacna, con los cuales se realizó el nuevo Índice Medio Diario como se puede observar en la Tabla 18.

$$\begin{aligned} \text{Fc Veh. Ligeros} &= 1.037661 \\ \text{Fc Veh. Pesados} &= 0.999317 \end{aligned}$$

Tabla 18

IMD y clasificación vehicular corregido

Tipo de Vehículos	IMD	Distrib %
Autos	345	34,81%
Satation Wagon	314	31,69%
Camioneta Pick Up	322	32,49%
Camioneta Panel	1	0,10%
COMBI RURAL	2	0,20%
Micro	0	0,00%
Omnibus 2E y 3E	0	0,00%
Camión 2E	6	0,61%
Camión 3E	1	0,10%
Camión 4E	0	0,00%
Semi trayler	0	0,00%
Trayler	0	0,00%
TOTAL IMD	991	100,00%

Nota. Elaboración propia.

4.2.2 Cálculo del IMDa (Índice Medio Diario anual)

El Índice Medio Diario anual representa el volumen total de tráfico de vehículos en un tramo de carretera durante un año completo.

Tabla 19*Índice Medio Diario anual*

Tipo de Vehículo	IMDs	FC	IMD
Autos	332	1,037661	345
Satation Wagon	303	1,037661	314
Camioneta Pick Up	310	1,037661	322
Camioneta Panel	1	1,037661	1
COMBI RURAL	2	1,037661	2
Micro	0	0,999317	0
Omnibus 2E y 3E	0	0,999317	0
Camión 2E	6	0,999317	6
Camión 3E	1	0,999317	1
Camión 4E	0	0,999317	0
Semi trayler	0	0,999317	0
Trayler	0	0,999317	0
TOTAL	955		991
IMDa		361,715 vehículos por año	

Nota. Elaboración propia.**4.2.3 Cálculo del ESAL**

Se diseñó el ESAL para un periodo de 20 años por lo cual se determinó la Tasa de Crecimiento (TC) de la región Tacna para vehículos ligeros y pesados que se encuentra en la Tabla 1 y 2. Se continuó hallando los factores de Distribución Direccional y Carril mediante la Tabla 3.

$$\text{Fuerza de presión (Fb)} = 1,$$

$$\text{Factor direccional (Fd)} = 0,5$$

$$\text{Factor carril (Fc)} = 1.$$

Seguidamente se obtuvo el resumen de Pesos y Medidas máximas permitidas de la Tabla 20 a través de la Figura 6. A continuación, se hicieron los cálculos de la relación de cargas según el tipo de eje como se puede apreciar en la Tabla 21 por medio de la Tabla 5 aplicando las fórmulas respectivas.

Tabla 20*Resumen de Pesos y medidas máximas permitidas.*

CONFIGURACIÓN VEHICULAR	EJE DELANTERO	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES		
		1RO	2DO	3RO
B3-1	7	16		
C2	7	11		
C3	7	18		
C4	7	23		
2S1 /2S2	7	11	18	
2S3	7	11	25	
3S1 /3S2	7	18	18	
T3S3	7	18	25	
T2Se2	7	11	11	11
T2Se3	7	11	11	18
T3Se2	7	18	11	11
T3Se3	7	18	11	18

*Nota. Elaboración Propia.***Tabla 21***Resultados de la relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes para afirmados*

	EJE DELANTERO	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES			
		1	2	3	Fvp,
B3-1	1,27	1,37			2,63
C2	1,27	3,24			4,50
C3	1,27	2,02			3,28
C4	1,27	1,51			2,77
2S1 /2S2	1,27	3,24	2,02		6,52
2S3	1,27	3,24	1,71		6,21
3S1 /3S2	1,27	2,02	2,02		5,30
T3S3	1,27	2,02	1,71		4,99
T2Se2	1,27	3,24	3,24	3,24	10,98
T2Se3	1,27	3,24	3,24	2,02	9,76
T3Se2	1,27	2,02	3,24	3,24	9,76
T3Se3	1,27	2,02	3,24	2,02	8,54

Nota. Elaboración Propia.

Posteriormente se efectuó la fórmula (2) de la demanda proyectada otorgando como resultado la Tabla 22.

Tabla 22

Resultados del Índice Medio Diario Proyectado

DEMANDA PROYECTADA		
Tipo de Vehículo	IMDpi	Distribución (%)
Automovil	458	34,74
Camioneta	417	31,62
C.R.	427	32,43
Micro	1	0,10
Bus Grande	3	0,20
Camión 2E	0	0,00
Camión 3E	0	0,00
Camión 4E	0	0,00
Semi Trayler 2S1 /2S2	10	0,78
Semi Trayler 2S3	2	0,13
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0,00
Semi Trayler ≥3S3	0	0,00
Trayler 2T2	0	0,00
Trayler 2T3	0	0,00
Trayler 3T2	0	0,00
Trayler ≥3T3	0	0,00
IMD	1318	100,00

Nota. Elaboración Propia.

Luego se aplicó la fórmula para obtener el factor de crecimiento acumulado para vehículos ligeros y pesados.

$$\text{Fca V. Ligeros} = 23.12$$

$$\text{Fca V. Pesados} = 26.54$$

Después se halló los Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo ejecutando la ecuación número 5.

$$EE_{\text{día-carril}} = IMD_{PI} * F_D * F_C * F_{VPI} * F_{PI} \quad (5)$$

Tabla 23

Resultados Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo

EJES EQUIVALENTES POR CADA TIPO DE VEHÍCULO		
Tipo de Vehículo	EE día-carril	Distribución (%)
Bus Grande	3	8.24
Camión 2E	0	0.00
Camión 3E	0	0.00
Camión 4E	0	0.00
Semi Trailer 2S1 /2S2	34	79.20
Semi Trayler 2S3	5	12.57
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Trayler ≥3S3	0	0.00
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler ≥3T3	0	0.00
IMD	42	100.00

Nota. Elaboración Propia.

Con los resultados obtenidos se realizó el cálculo del Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 toneladas usando la siguiente ecuación número 4.

$$N_{\text{rep de } EE_{8.2tn}} = \sum [(EE_{\text{día-carril}} * Fca * 365)] \quad (4)$$

$$N_{\text{rep de } EE_{8.2tn}} = 410,601 \text{ EE}$$

4.3 Ensayos de laboratorio

4.3.1 Ensayo de compactación Proctor Modificado

El presente ensayo fue empleado para obtener el vínculo entre la densidad seca del suelo y la humedad de compactación, poniendo a prueba el material que fue extraído del terreno de fundación que se realizó en esta investigación. Para esta prueba se utilizó la norma ASTM D-1557 y NTP 339.142, la cual implicó colocar el suelo seleccionado en un molde de compactación de 6 pulgadas y compactar un total de 5 capas con 56 golpes cada una mediante el pisón metálico.

Tabla 24

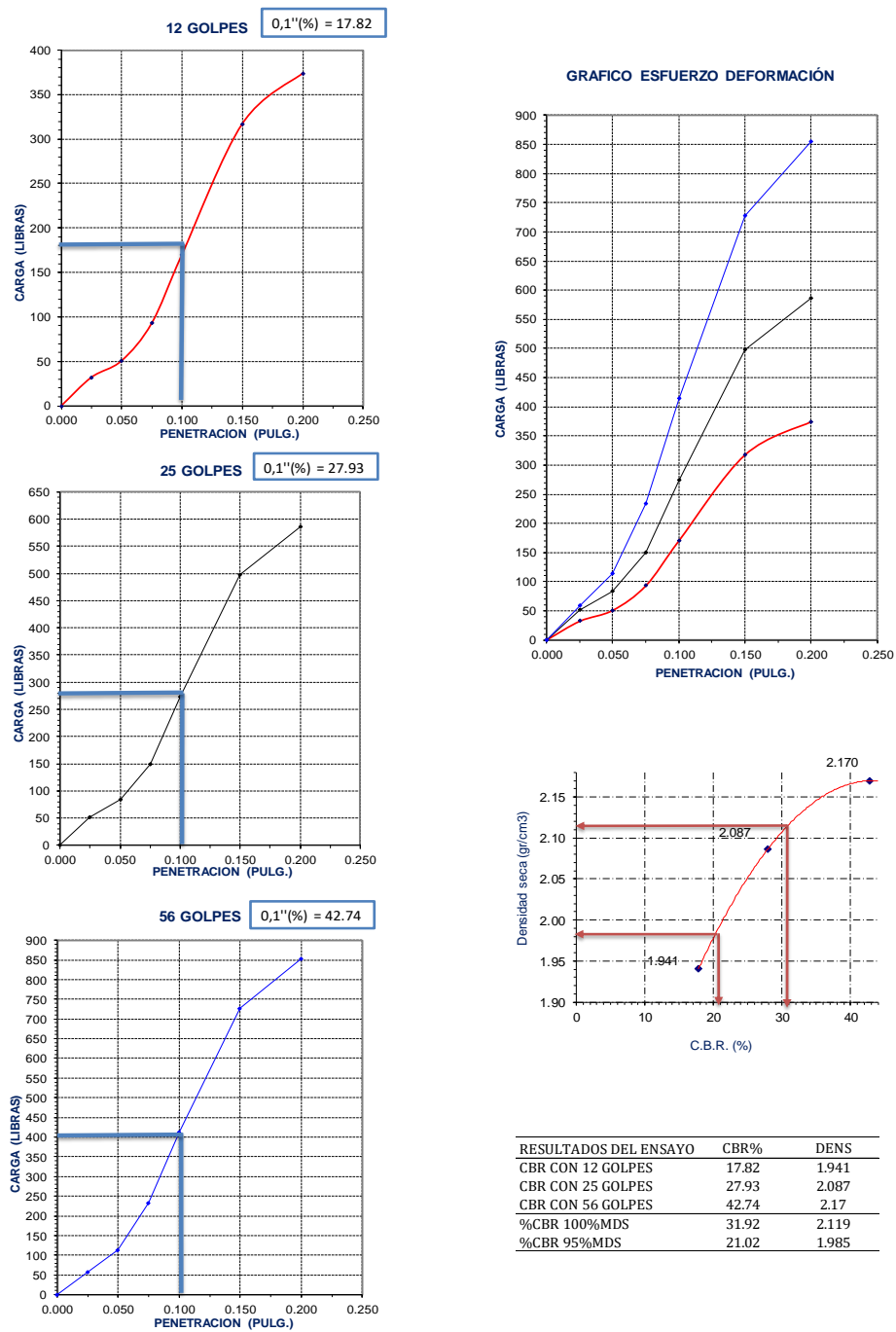
Resultados del ensayo Proctor Modificado

Calicata	Max, Densidad seca gr/cc Suelo Propio	humedad Optima % Suelo Propio
1	2,089	6,11
2	2,076	5,97
3	2,049	5,89
4	2,089	6,12

Nota. Elaboración Propia.**4.3.2 Ensayo C.B.R**

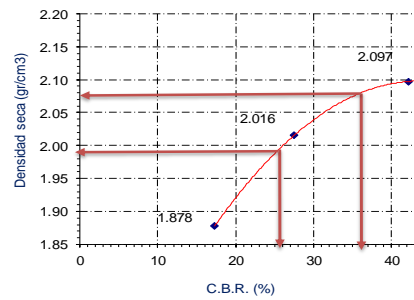
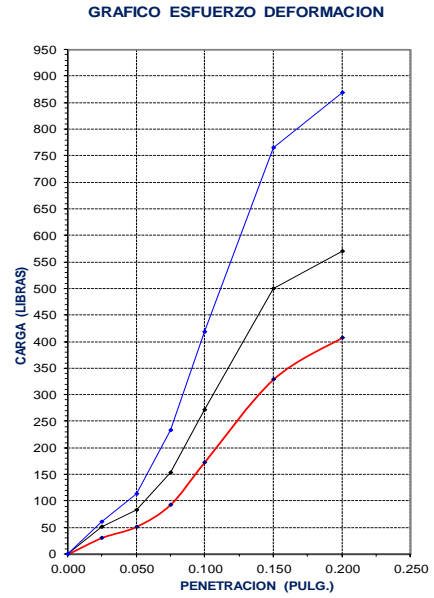
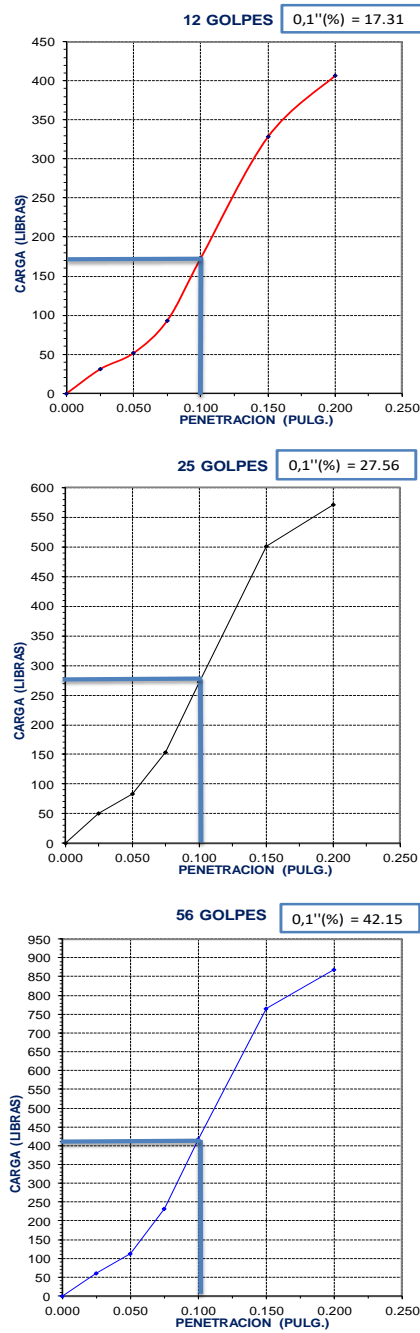
El fin de este ensayo fue obtener la capacidad de resistencia a la compresión del suelo para examinar la resistencia de las subrasantes y los materiales de la capa base. Se basó en utilizar tres moldes de compactación C.B.R y dividir la muestra del suelo en 5 capas en cada molde con la diferencia de que los moldes debían recibir 12, 25 y 56 golpes respectivamente, Como se observa en la figura 14, 15, 16 y 17 obteniendo los resultados para cada calicata. Para esta prueba se utilizó la norma ASTM D-4429 y NTP 339.145.

Figura 14
Determinación del CBR – C1



Nota. Elaboración Propia.

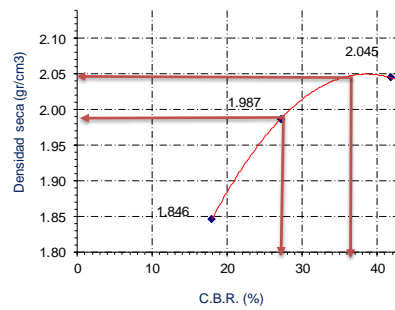
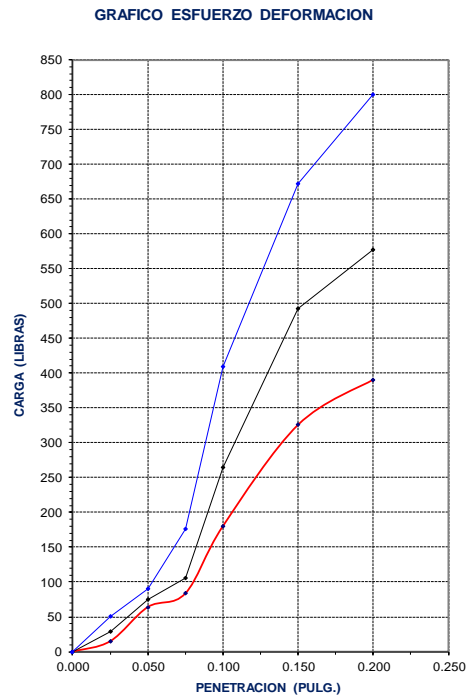
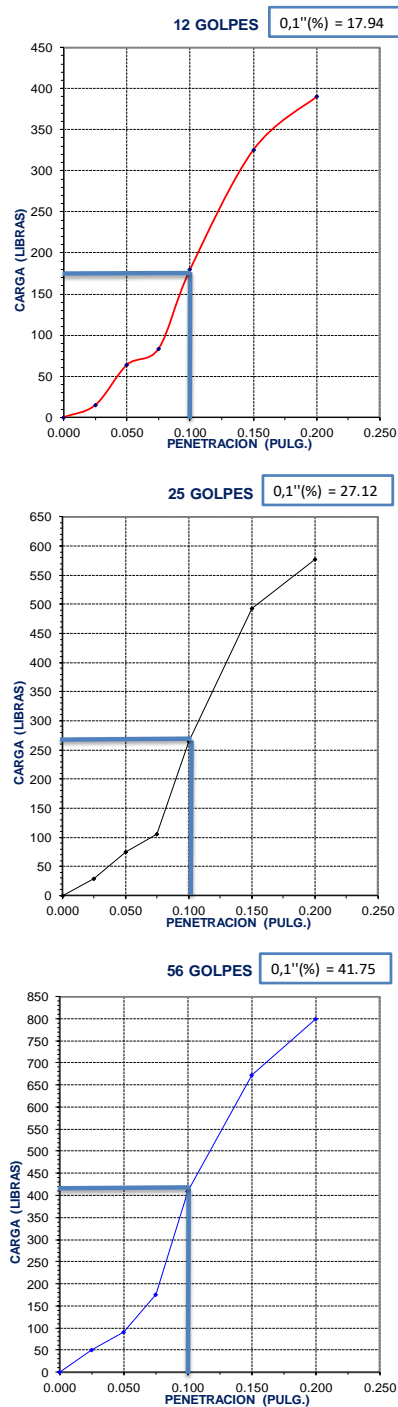
Figura 15
Determinación del CBR – C2



RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	17.31	1.878
CBR CON 25 GOLPES	27.56	2.016
CBR CON 56 GOLPES	42.15	2.097
%CBR 100%MDS	37.61	2.080
%CBR 95%MDS	26.27	1.999

Nota. Elaboración Propia.

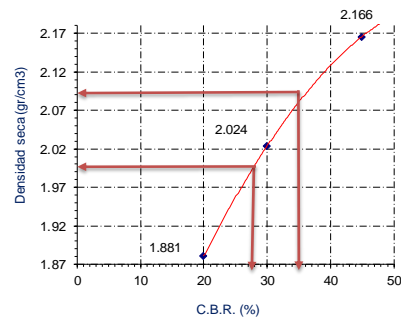
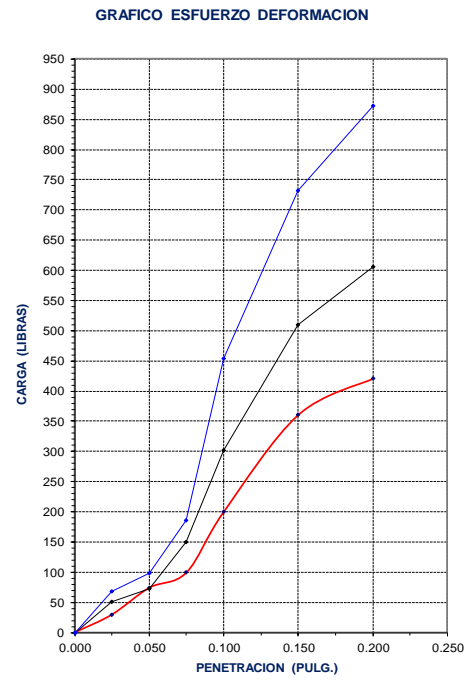
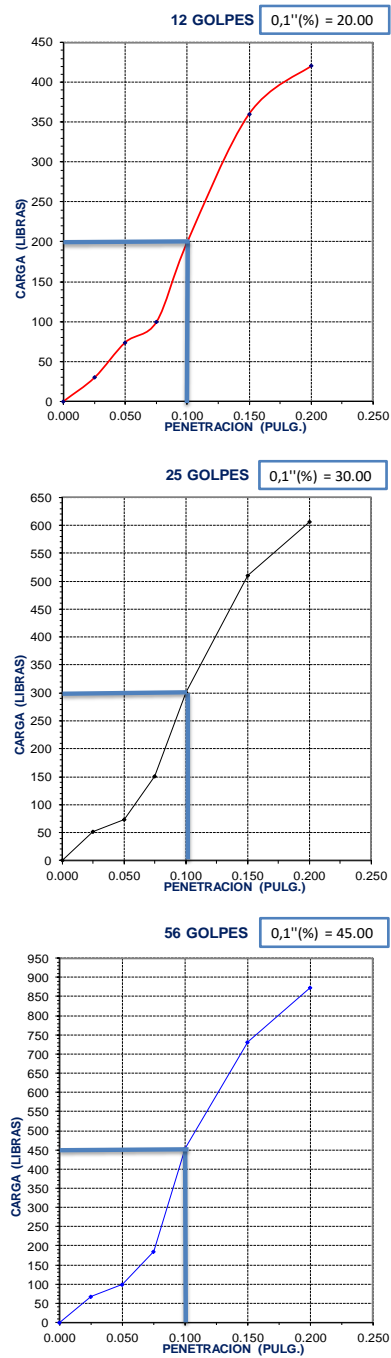
Figura 16
Determinación del CBR – C3



RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	17.95	1.846
CBR CON 25 GOLPES	27.12	1.987
CBR CON 56 GOLPES	41.75	2.045
%CBR 100%MDS	38.75	2.049
%CBR 95%MDS	27.52	1.991

Nota. Elaboración Propia.

Figura 17
Determinación del CBR – C4



RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	20	1.881
CBR CON 25 GOLPES	30	2.024
CBR CON 56 GOLPES	45	2.166
%CBR 100%MDS	37.40	2.101
%CBR 95%MDS	28.25	2.005

Nota. Elaboración Propia.

Tabla 25

Resultados del ensayo CBR

Calicata	Progresiva	CBR 95%
1	0+000	21,02
2	1+000	26,3
3	2+000	27,5
4	3+000	28,2

Nota. Resumen del CBR al 95 %.

4.4 Diseño de pavimento asfáltico

Se aplicó el método AASHTO para la investigación ya que se basa única y exclusivamente en datos experimentales lo que lo hace un método bastante popular y confiable a nivel internacional. Este método consistió en aplicar una ecuación que despeja como resultado el número estructural (SN), este valor fue crucial para calcular el espesor de la carpeta asfáltica, base granular y sub base granular ya que deberán ser construidas sobre la subrasante con el fin de soportar las cargas vehiculares con una capacidad de servicio aceptable durante la vida útil planificada del proyecto.

4.4.1 Módulo de Resiliencia (Mr)

Para aplicar esta fórmula debemos contar con el valor del CBR al 95%, por lo cual se calculó el promedio de los ensayos resultando 25,8 %. El Módulo de Resiliencia también se puede obtener mediante la Tabla 26 ubicando el CBR aproximado.

$$M_r = 2555 * CBR^{0.64}$$

$$M_r = 2555 * 25.8^{0.64} \quad (7)$$

$$M_r = 20,456.32 \text{ PSI}$$

Tabla 26*Comprobación del Módulo de Resiliencia (Mr)*

CBR% SUB RASANTE	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (PSI)	MÓDULO RESILENTE SUB RASANTE (Mpa)
6	8,043.00	55.45
7	8,877.00	61.20
8	9,669.00	66.67
9	10,426.00	71.88
10	11,153.00	76.90
11	11,854.00	81.73
12	12,533.00	86.41
13	13,192.00	90.96
14	13,833.00	95.38
15	14,457.00	99.68
16	15,067.00	103.88
17	15,663.00	107.99
18	16,247.00	112.02
19	16,819.00	115.96
20	17,380.00	119.83
21	17,931.00	123.63
22	18,473.00	127.37
23	19,006.00	131.04
24	19,531.00	134.66
25	20,048.00	138.23
26	20,558.00	141.74
27	21,060.00	145.20
28	21,556.00	148.62
29	22,046.00	152.00
30	22,529.00	155.33

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

4.4.2 Confiabilidad (%R)

Se determinó que nuestra investigación se encuentra en caminos de bajo volumen de tránsito ya que el resultado de los Ejes Equivalentes Acumulados fue de 410,601 y se ubica entre el rango de 300,00 a 500,000.

$$R (\%) = 75.00\%$$

Tabla 27
Selección del nivel de Confiabilidad

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	75,000	150,000	65%
	Tp1	150,001	300,000	70%
	Tp2	300,001	500,000	75%
	Tp3	500,001	750,000	80%
	Tp4	750,001	1,000,000	80%
Restos de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	85%
	Tp6	1,500,001	3,000,000	85%
	Tp7	3,000,001	5,000,000	85%
	Tp8	5,000,001	7,500,000	90%
	Tp9	7,500,001	10,000,000	90%
	Tp10	10,000,001	12,500,000	90%
	Tp11	12,500,001	15,000,000	90%
	Tp12	15,000,001	20,000,000	95%
	Tp13	20,000,001	25,000,000	95%
	Tp14	25,000,001	30,000,000	95%
	Tp15		>30,000,000	95%

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

4.4.3 Coeficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal (Zr)

De igual manera que el punto anterior se utilizó la Tabla 28 para obtener la Desviación Estándar Normal.

$$Z_r = -0.674$$

Tabla 28
Desviación estándar normal

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACION ESTANDAR NORMAL
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	Tp0	75,000	150,000	-0.385
	Tp1	150,001	300,000	-0.524
	Tp2	300,001	500,000	-0.674
	Tp3	500,001	750,000	-0.842
	Tp4	750,001	1,000,000	-0.842
Restos de Caminos	Tp5	1,000,001	1,500,000	-1.036
	Tp6	1,500,001	3,000,000	-1.036
	Tp7	3,000,001	5,000,000	-1.036
	Tp8	5,000,001	7,500,000	-1.282
	Tp9	7,500,001	10,000,000	-1.282
	Tp10	10,000,001	12,500,000	-1.282
	Tp11	12,500,001	15,000,000	-1.282
	Tp12	15,000,001	20,000,000	-1.645
	Tp13	20,000,001	25,000,000	-1.645
	Tp14	25,000,001	30,000,000	-1.645
	Tp15		>30,000,000	-1.645

Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

4.4.4 Desviación Estándar Combinada (So)

El método AASHTO propuso los siguientes valores para seleccionar el Error Estándar Combinado So, nuestra investigación está proyectada a ser una construcción nueva por la tanto optamos por 0.45.

$$\begin{aligned} \text{Para pavimentos flexibles:} & \quad 0.40 - 0.50 \\ \text{En construcción nueva:} & \quad 0.45 \\ \text{So} & = 0.45 \end{aligned}$$

4.4.5 Índice de Serviciabilidad Presente (PSI)

Para obtener el Índice de Serviciabilidad se usó la Tabla 8 del Índice de Serviciabilidad Inicial junto a la Tabla 9 del Índice de Serviciabilidad Final y luego de seleccionar los datos requeridos se procedió a restarlos para sacar su variación.

La ecuación 9, admite calcular la variación entre la serviciabilidad inicial y final.

$$\begin{aligned} \Delta \text{ PSI} & = P_o - P_t \\ \Delta \text{ PSI} & = 3.8 - 2.0 \\ \Delta \text{ PSI} & = 1.8 \end{aligned} \tag{9}$$

4.4.6 Número Estructural Propuesto (SNR)

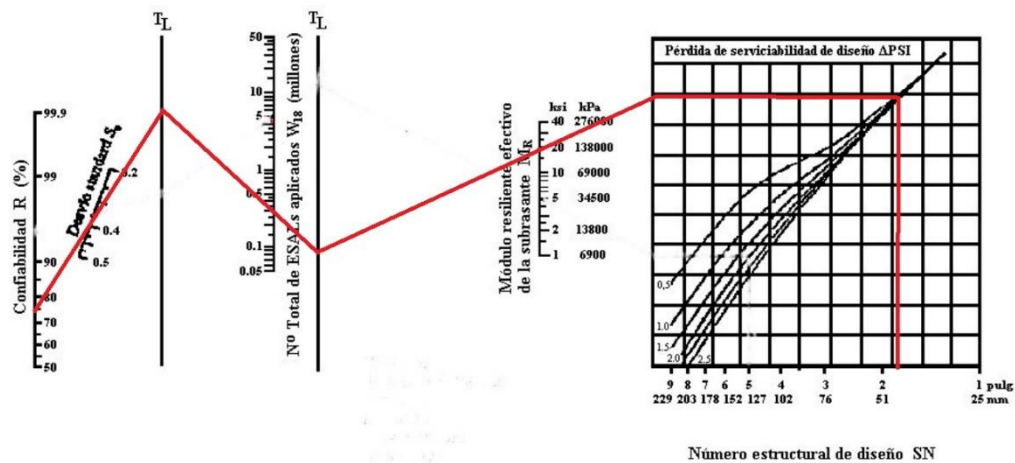
Se aplicó la fórmula aportada por el Método AASHTO - 93 para hallar el Número Estructural Requerido dando como resultado 1.823. A continuación, se corroboró este resultado mediante el ábaco como se muestra en la Figura 18.

$$\begin{aligned} \log_{10}(W_{18}) & = Z_R \times S_o + 9,36 \times \log_{10}(\text{SN} + 1) - 0,20 + \\ & \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta \text{ PSI}}{4,2 - 1,5} \right]}{0,40 + \frac{1094}{(\text{SN} + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10}(M_R) - 8,07 \end{aligned} \tag{6}$$

$$\text{SN} = 1.823$$

Figura 18

Nomograma para encontrar el SN



Nota. Adaptado de la guía AASHTO (1993).

4.4.7 Coeficiente Estructural de las capas

Se halló los coeficientes estructurales de la capa superficial, base y subbase mediante la Tabla 11, Tabla 12 y Tabla 13 respectivamente.

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

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

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

Seguidamente se determinó los coeficientes de drenaje que también se visualizaron en la Tabla 14.

$$m_2 = 1.15$$

$$m_3 = 1.05$$

4.4.8 Espesores de capa

Luego, teniendo los valores calculados se reemplazó en la ecuación 8 para hallar los espesores de cada una de las capas.

(8)

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

Donde

SN = Número Estructural.

$a_{1,2,3}$ = Coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y sub base.

$d_{1,2,3}$ = Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y sub base.

$m_{2,3}$ = Coeficiente de drenaje para las capas: superficial, base y sub base.

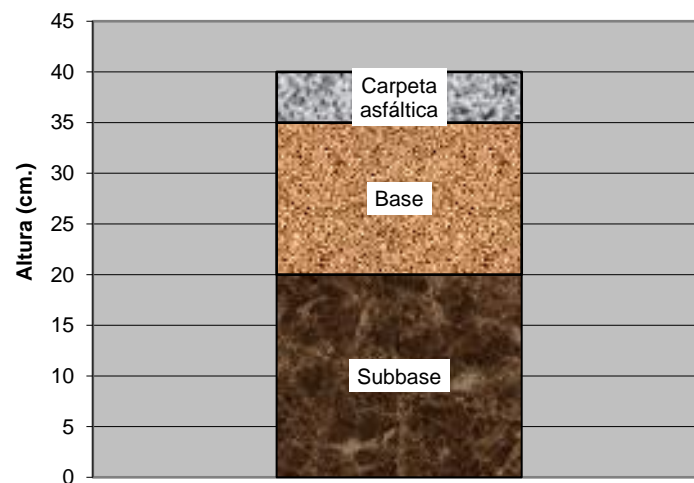
D1 =5 Cm

D2 =15 Cm

D3 =20 Cm

Figura 19

Distribución en altura de las capas



Nota. Elaboración propia.

4.4.9 Estructura del pavimento

Finalmente, se halló la estructura del pavimento en pulgadas de la carpeta asfáltica, base granular y sub base granular mostrados en la Tabla 29.

Tabla 29

Estructura del pavimento

		Pulg.	Cm.
Carpeta asfáltica	e=	2	5.00
Base Granular	e=	6	15.00
Subbase granular	e=	8	20.00
Estructura del pavimento			40 cm

Fuente. Elaboración propia.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1 Estudio de Tráfico Vehicular

Se ubicó a una brigada rotativa en el punto estratégico elegido y se realizó el conteo vehicular, plasmando los datos en los formatos de clasificación vehicular del Ministerio de Transportes y Comunicaciones por 7 días calendarios continuos durante las 24 horas del día. Resultó un total de 6,683 vehículos que transitaron por la vía en ambos sentidos.

5.2 ESAL de Diseño (Equivalent Simple Axial Load)

El cálculo de los Ejes Equivalentes se realizó con una proyección de diseño de 20 años. Se obtuvo los resultados del IMD corregido de 991 vehículos y una demanda proyectada de 1 318 vehículos. Se detectó un camino con bajo volumen de tránsito ya que se obtuvo un ESAL de 410,601 EE.

5.3 Ensayos de laboratorio

Se efectuó el ensayo de compactación Proctor Modificado para las cuatro muestras de fundición luego, se obtuvo la Densidad Seca Máxima y Humedad Optima, cada uno de estos valores contribuyeron al resultado del CBR al 95 % dando un producto final de 25,8 %.

5.4 Diseño de pavimento asfáltico

El diseño de pavimento asfáltico se realizó siguiendo las indicaciones del método AASHTO de la guía de diseño y se consiguió los espesores de las capas del pavimento asfáltico tales como la subbase granular de 20 centímetros, base granular de 15 centímetros y la carpeta asfáltica de 5 centímetros dándonos un total de 40 centímetros.

CONCLUSIONES

La aplicación del método AASHTO 93 consiguió calcular adecuadamente los espesores del pavimento asfáltico que está compuesto por la carpeta asfáltica de 2 pulgadas, base granular de 6 pulgadas y subbase granular de 8 pulgadas, con estos resultados podemos afirmar que los espesores de la estructura del pavimento asfáltico garantizarán una correcta y estable transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal cumpliendo el tiempo de vida útil de proyección.

El resultado del Índice Medio Diario fue 955 vehículos por día, por lo cual se realizó el ESAL de diseño para un periodo proyectado de 20 años dando como resultado los ejes equivalentes de 410,601 EE, esto nos indica que es un camino de bajo volumen de tránsito porque se encuentra entre el rango de 300,000 a 500,000 EE.

En cuanto al valor del CBR de diseño fue de 25.8 %, según la clasificación cualitativa del suelo nos indica que tenemos una subrasante excelente ya que se encuentra en el rango de 20 % a 30 %.

RECOMENDACIONES

Se recomienda al gestor del proyecto tener criterio al optimizar el cálculo los espesores que componen las capas del pavimento para que el presupuesto no sea sobreestimado.

Se recomienda al responsable del aforo vehicular tener prudencia al momento de realizar el conteo vehicular del estudio de tráfico, ya que tiene dependencia con el valor del Índice Medio Diario Anual (IMDa) lo que influye en los volúmenes de tránsito total de vehículos.

Se recomienda emplear el resultado del CBR mínimo dado que tiene un margen de seguridad más propenso a la realidad y que los ensayos realizados sean en laboratorios certificados

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. (1993). *Guía para el diseño de estructuras de pavimentos*.
- Fontalba Gallardo, E. (2015). *Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1° etapa* [Tesis de pregrado, Universidad Austral de Chile] Tesis electrónicas UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2015/bmfcif678d/doc/bmfcif678d.pdf>
- Gómez Vallejos, S. (2014), *Diseño estructural del pavimento flexible para el anillo vial del Óvalo Grau - Trujillo - La Libertad* [Tesis de pregrado, Universidad Privada Antenor Orrego] Repositorio UPAO. [https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/638/1/REP_ING.CIVIL_SUSAN.GOMEZ_DISE%
_SUSAN.GOMEZ_DISE%
ANILLO.VIAL.%
https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/5826](https://repositorio.upao.edu.pe/bitstream/20.500.12759/638/1/REP_ING.CIVIL_SUSAN.GOMEZ_DISE%c3%91O.ESTRUCTURAL.PAVIMENTO.FLEXIBLE.ANILLO.VIAL.%c3%93VALO.GRAU.TRUJILLO.LA.LIBERTAD.pdf)
- López Araque, S. (2016), *Diseño de un pavimento flexible por método AASHTO para la carretera 9 Este del municipio de Pitalito Huila* [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada] Repositorio UMNG. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/20410>
- Madrigal Morales, J. (2008), *Diseño del pavimento de la ruta alterna Sector A que enlaza las rutas nacionales No. 224 y No. 10 en el distrito Central del Cantón de Paraíso* [Proyecto final de Licenciatura, Instituto Tecnológico de Costa Rica] Repositorio TEC. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/6172>
- Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras, Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos*. [https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%
RMAS/ARCH_PDF/MAN_7%
https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NO](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/MTC%20NORMAS/ARCH_PDF/MAN_7%20SGGP-2014.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2003), *Reglamento Nacional de Vehículos*. [https://www.sutran.gob.pe/wp-
content/uploads/2020/06/Reglamento-Nacional-de-Veh%C3%ADculos-
%E2%80%93-DS-N%C2%BA-058-2003-MTC.pdf](https://www.sutran.gob.pe/wp-content/uploads/2020/06/Reglamento-Nacional-de-Veh%C3%ADculos-%E2%80%93-DS-N%C2%BA-058-2003-MTC.pdf)
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2017), *Ficha Técnica Estándar, Instructivo y Líneas de Corte para la Formulación y Evaluación de Proyectos de Inversión en Carreteras Interurbanas*.

<https://www.gob.pe/institucion/mtc/informes-publicaciones/345336-ficha-tecnica-estandar-para-formulacion-y-evaluacion-de-proyectos-de-inversion-de-carreteras-interurbanas>

- Pari, S. y Chipana, L. (2019), *Diseño de pavimento flexible por método AASHTO 93 para mejorar la transitabilidad vial en el camino vecinal, tramo Río Seco – límite Calana, distrito de Pocollay, Tacna – 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna] Repositorio UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2093>
- Rengifo Arakaki, K. (2014), *Diseño de los pavimentos de la nueva carretera panamericana norte en el tramo de Huacho a Pativilca (KM 188 a 189)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú] Repositorio PUCP.
- Serrano, R. y Montoya, J. (2021), *Determinación del índice de rugosidad internacional y propuesta de diseño de pavimento flexible en la avenida Tarapacá, tramo óvalo Cuzco - Av. Gustavo Pinto, Tacna - 2021* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna] Repositorio UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2031>
- Universidad Privada de Tacna Facultad de Ingeniería. (2022). *Manual para el desarrollo de trabajos de investigación.* https://www.upt.edu.pe/upt/sgc/assets/ckeditor/kcfinder/upload/files/MANUAL_TRABAJOS_INVESTIGACION_FAING.pdf
- Valverde, E y Calisaya, W. (2019), *Diseño estructural del pavimento flexible para la carretera Panamericana sur- tramo km 1300+00 a km 1330+00 de la ciudad de Tacna* [Tesis de pregrado, Universidad Privada de Tacna] Repositorio UPT. <https://repositorio.upt.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12969/1705/Valverde-Villares-Calisaya-Musaja.pdf?sequence=6&isAllowed=y>
- Vázquez, L. (2002), *Pavement Condition Index (PCI) para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.* <https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-pci1.pdf>
- Vega Pérrigo, D. (2018), *Diseño de los pavimentos de la carretera de acceso al Nuevo Puerto de Yurimaguas (km 1+000 a 2+000)* [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú] Repositorio PUCP. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12088>

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES E INDICADORES	METODOLOGIA
1. Interrogante principal	1. Objetivo general	1. Hipótesis general	Variable independiente (X)	Tipo de investigación
¿De qué manera influye el diseño de pavimento asfáltico en mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022?	Diseñar la estructura del pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.	El diseño de pavimento asfáltico mejora considerablemente la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.	X1. Diseño de pavimento asfáltico.	· Tipo aplicada no experimental de corte transversal.
			Indicadores :	Diseño de la investigación
			· Ensayo de Proctor Modificado.	· No experimental.
			· Ensayo del CBR.	Población
2. Interrogantes específicas	2. Objetivos específicos	2. Hipótesis específica	· Metodología AASHTO 93.	Todas las trochas carrozables del distrito de Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna.
¿Cómo influye el estudio de tráfico en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022?	Determinar el estudio de tráfico en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.	El estudio de tráfico influye de manera determinante mediante el ESAL en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.	· Estructura del pavimento.	Muestra
			· Espesores de las capas .	La trocha carrozable de la vía de acceso al cerro Chastudal, que tiene una longitud de 3.00 kilómetros.
			Variable dependiente (Y)	
			Y1. Mejorar la transitabilidad vehicular.	Técnicas de recolección de datos
¿Cómo influye el estudio de suelos en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022?	Determinar el estudio de suelos en el diseño de pavimento asfáltico para mejorar la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.	La determinación del método AASHTO-93 por intermedio del estudio de suelos aporta favorablemente en la mejora de la transitabilidad vehicular de la vía de acceso al cerro Chastudal, tramo río seco del distrito Gregorio Albarracín Tacna - 2022.	Indicadores :	· Visualización en campo
			· Serviciabilidad	· Estudio de tráfico
			· Cálculo de Índice Medio Diario (IMD)	· Ensayo de laboratorio
			· Cálculo del ESAL	Instrumentos
				· Pico y pala
				· Cinta métrica
				· Pistón normalizado
				· Máquina para ensayo CBR
				· Molde de 6 pul.

Anexo 5. Conteo Vehicular día Jueves.

Tramo		RIO SECO DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN										Ubicacion		VALLE 2000 - GREGORIO ALBARRACIN							
Cod Estación		-										Sentido		AMBOS							
Estación		E-1										Dia		JUEVES							
														Fecha 27-Oct-22							
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.09
01-02	3	4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	12	1.07
02-03	8	5	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	1.79
03-04	3	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	0.89
04-05	20	15	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	4.29
05-06	24	21	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66	5.90
06-07	27	23	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	74	6.62
07-08	20	28	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	5.72
08-09	21	28	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	5.99
09-10	27	25	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	6.53
10-11	22	22	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	5.99
11-12	24	26	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	6.71
12-13	24	20	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66	5.90
13-14	27	24	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	75	6.71
14-15	21	18	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	5.72
15-16	24	16	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60	5.37
16-17	20	16	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	4.92
17-18	16	15	19	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	4.65
18-19	18	15	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	4.83
19-20	21	27	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	6.17
20-21	6	13	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	2.42
21-22	6	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	1.70
22-23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	382	372	362	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,118	100.00
%	34.17	33.27	32.38	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Anexo 6. Conteo Vehicular día Viernes.

Tramo RIO SECO DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN Ubicacion VALLE 2000 - GREGORIO ALBARRACIN
 Cod Estación - Sentido AMBOS
 Estación E-1 Dia VIERNES Fecha 28-Oct-22

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.10
01-02	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	0.42
02-03	6	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	1.67
03-04	4	11	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	18	1.88
04-05	9	6	6	-	-	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	2.19
05-06	18	7	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	35	3.66
06-07	20	18	26	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	6.69
07-08	19	28	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	6.37
08-09	24	21	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	6.37
09-10	24	17	19	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	6.37
10-11	18	15	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	5.12
11-12	20	25	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	6.17
12-13	20	23	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	5.96
13-14	14	26	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	6.48
14-15	23	24	24	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	72	7.52
15-16	25	21	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	66	6.90
16-17	16	23	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	5.54
17-18	25	18	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	6.17
18-19	23	23	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	6.17
19-20	13	15	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	4.60
20-21	3	15	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	3.45
21-22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
22-23	-	2	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	0.21
23-24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
TOTAL	328	339	288	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	957	100.00
%	34.27	35.42	30.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

Anexo 7. Conteo Vehicular día Sábado.

Tramo		RIO SECO DEL DISTRITO DE GREGORIO ALBARRACIN																		Ubicacion	
Cod Estación		-																		Sentido	
Estación		E-1																		Dia	
																				Fecha	
																				29-Oct-22	
HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMITRAYLER				TRAYLERS				TOTAL	PORC. %
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL		2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
00-01	1	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.33
01-02	5	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	0.65
02-03	1	7	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	1.84
03-04	4	4	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20	2.17
04-05	6	4	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	2.28
05-06	13	7	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	3.58
06-07	18	24	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	65	7.05
07-08	14	18	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	5.86
08-09	17	18	28	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	6.94
09-10	13	13	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	47	5.10
10-11	18	16	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	6.40
11-12	20	16	21	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	58	6.29
12-13	20	20	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	59	6.40
13-14	26	17	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	67	7.27
14-15	24	18	21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	63	6.83
15-16	19	21	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	51	5.53
16-17	24	20	5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50	5.42
17-18	11	16	13	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	41	4.45
18-19	25	10	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	4.77
19-20	22	22	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	6.07
20-21	10	12	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	2.49
21-22	6	8	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	15	1.63
22-23	-	1	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0.54
23-24	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	0.11
TOTAL	317	293	308	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	922	100.00
%	34.38	31.78	33.41	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100.00	

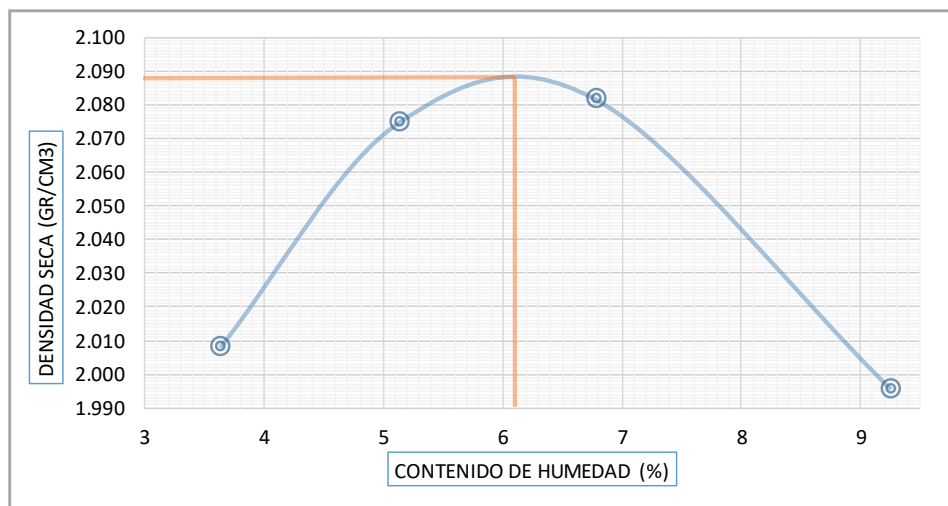
Anexo 9. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 1

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
CALICATA : 1	MOLDE No :	1	
KM. : 0+000	No DE CAPAS :	5	
FECHA : 07/11/2022	GOLPES POR CAPA :	56	

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 cm^3			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	9615	9828	9916	9826
Peso molde	gr	5195	5195	5195	5195
Peso suelo humedo compactado	gr	4420	4633	4721	4631
Peso suelo humedo + tara	gr	373.3	376.5	379.2	378.8
Peso del suelo seco + tara	gr	360.2	358.1	355.1	346.7
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	13.1	18.4	24.1	32.1
Peso del suelo seco	gr	360.2	358.1	355.1	346.7
Contenido de agua	%	3.64	5.14	6.79	9.26
Densidad suelo humedo	gr/cm ³	2.081	2.181	2.223	2.180
Densidad suelo seco	gr/cm ³	2.008	2.075	2.081	1.996
DENSIDAD SECA MAXIMA - MDS (gr/cm³)					2.089
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					6.11



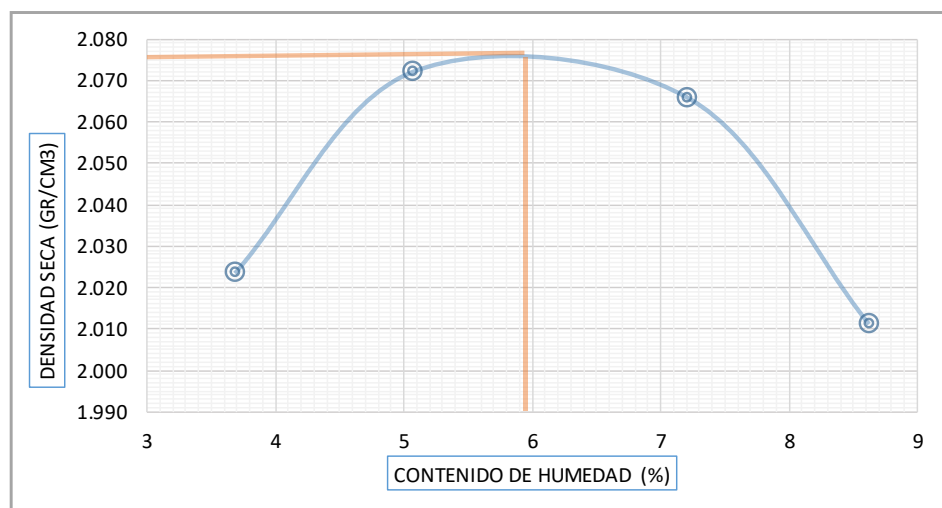
Anexo 10. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 2

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
CALICATA : 2	MOLDE No :		1
KM. : 1+000	No DE CAPAS :		5
FECHA : 08/11/2022	GOLPES POR CAPA :		56

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 cm^3			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	9651	9819	9899	9835
Peso molde	gr	5195	5195	5195	5195
Peso suelo humedo compactado	gr	4456	4624	4704	4640
Peso suelo humedo + tara	gr	377.5	373.3	375	370.5
Peso del suelo seco + tara	gr	364.1	355.3	349.8	341.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	13.4	18	25.2	29.4
Peso del suelo seco	gr	364.1	355.3	349.8	341.1
Contenido de agua	%	3.68	5.07	7.20	8.62
Densidad suelo humedo	gr/cm3	2.098	2.177	2.215	2.185
Densidad suelo seco	gr/cm3	2.023	2.072	2.066	2.011
DENSIDAD SECA MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.076
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					5.97



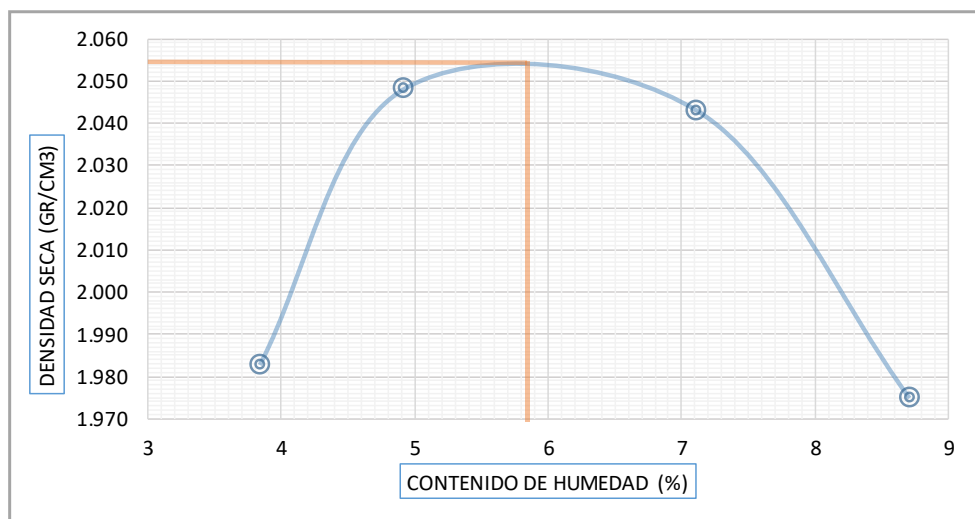
Anexo 11. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 3

ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
CALICATA	: 3	MOLDE No	: 1
KM.	: 2+000	No DE CAPAS	: 5
FECHA	: 09/11/2022	GOLPES POR CAPA	: 56

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 cm^3			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	9568	9759	9843	9755
Peso molde	gr	5195	5195	5195	5195
Peso suelo humedo compactado	gr	4373	4564	4648	4560
Peso suelo humedo + tara	gr	379.1	373.6	379.5	373.4
Peso del suelo seco + tara	gr	365.1	356.1	354.3	343.5
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	14	17.5	25.2	29.9
Peso del suelo seco	gr	365.1	356.1	354.3	343.5
Contenido de agua	%	3.83	4.91	7.11	8.70
Densidad suelo humedo	gr/cm3	2.059	2.149	2.188	2.147
Densidad suelo seco	gr/cm3	1.983	2.048	2.043	1.975
DENSIDAD SECA MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.049
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					5.89



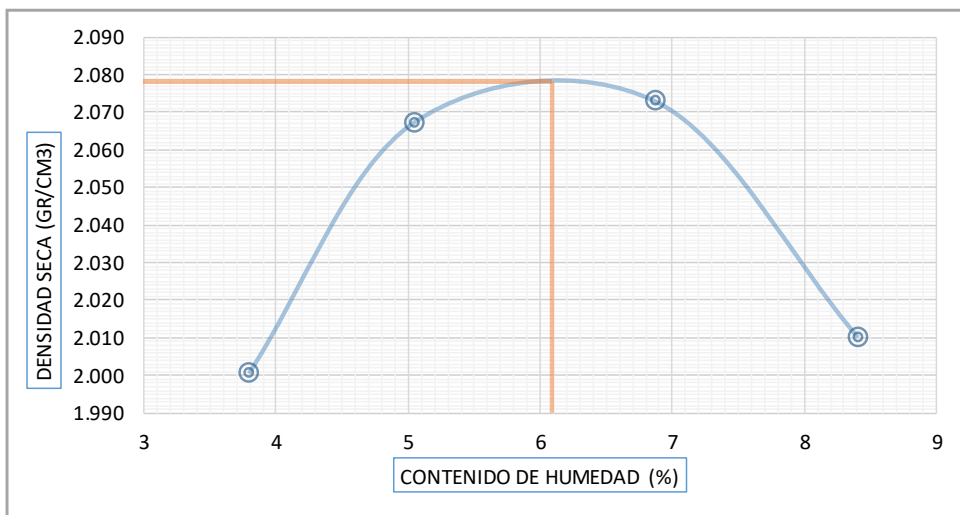
Anexo 12. Ensayo de Compactación Proctor Modificado Calicata 4

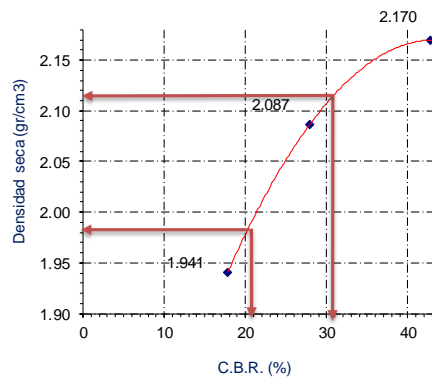
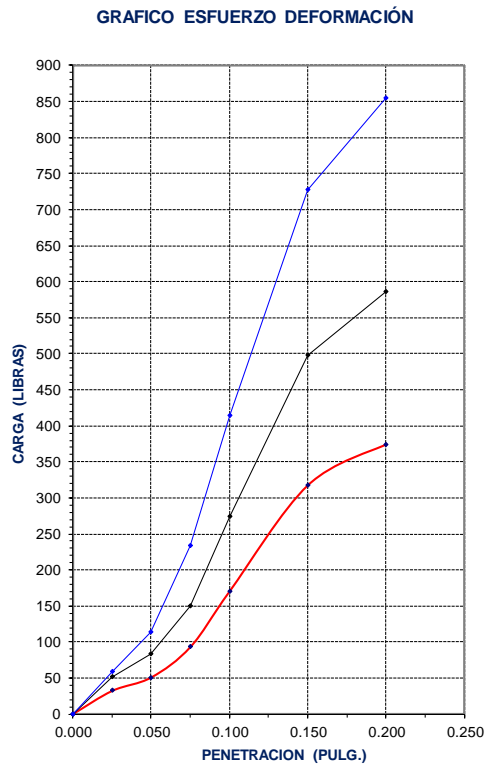
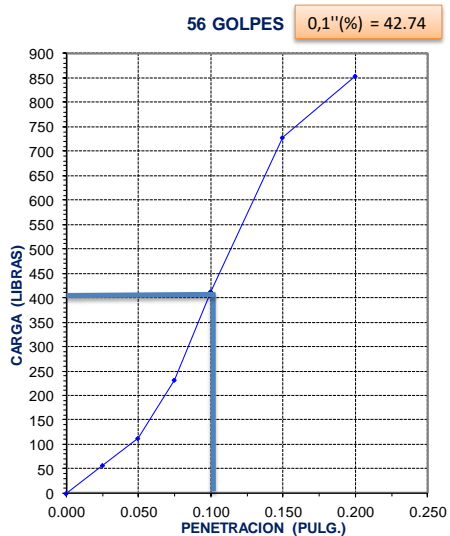
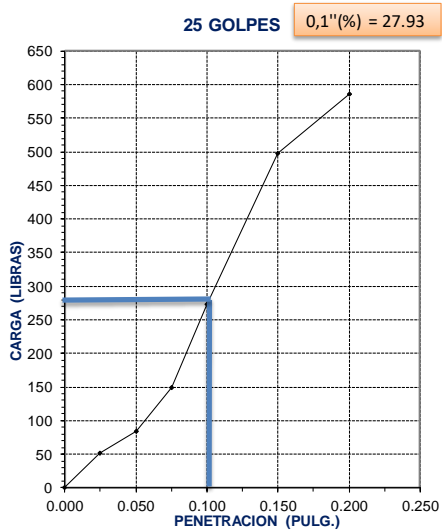
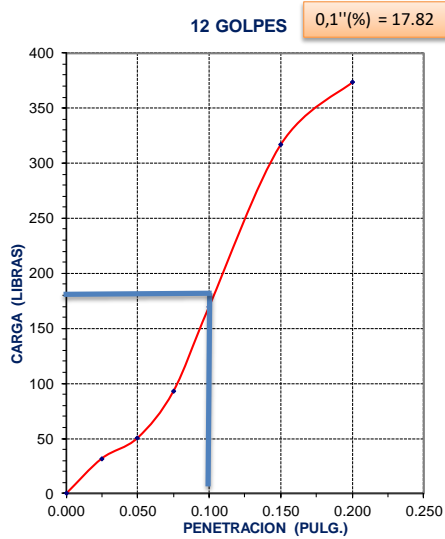
ENSAYO PROCTOR MODIFICADO

(NORMA AASHTO T-180, ASTM D 1557)

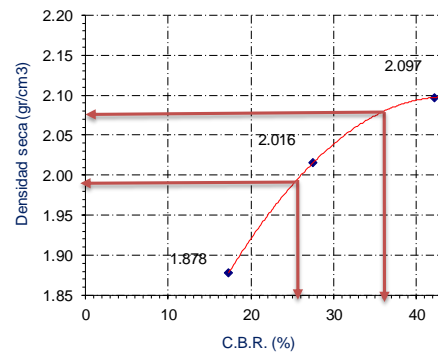
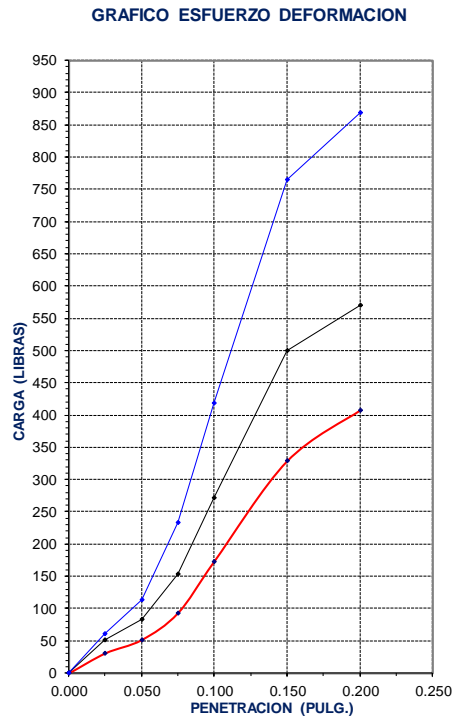
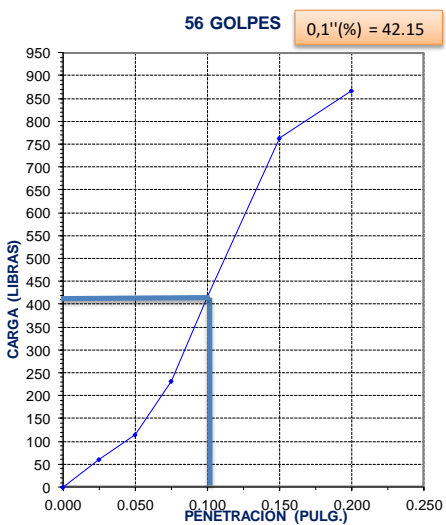
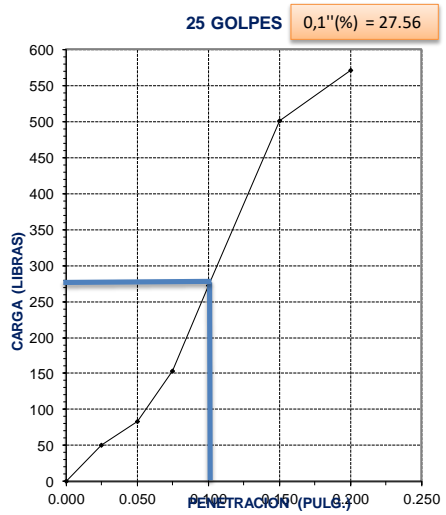
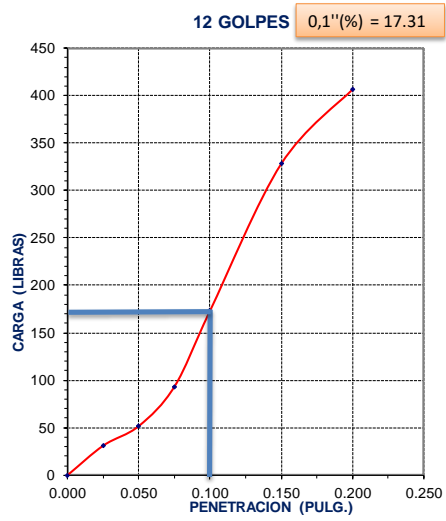
LABORATORIO MECÁNICA DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS			
CALICATA	: 4	MOLDE No	: 1
KM.	: 3+000	No DE CAPAS	: 5
FECHA	: 10/11/2022	GOLPES POR CAPA	: 56

VOLUMEN DEL MOLDE :		2124.00 cm^3			
PRUEBA N°		1	2	3	4
Peso suelo + molde	gr	9605	9807	9900	9823
Peso molde	gr	5195	5195	5195	5195
Peso suelo humedo compactado	gr	4410	4612	4705	4628
Peso suelo humedo + tara	gr	372.2	374.9	379.5	374.1
Peso del suelo seco + tara	gr	358.6	356.9	355.1	345.1
Tara	gr	0	0	0	0
Peso del agua	gr	13.6	18	24.4	29
Peso del suelo seco	gr	358.6	356.9	355.1	345.1
Contenido de agua	%	3.79	5.04	6.87	8.40
Densidad suelo humedo	gr/cm3	2.076	2.171	2.215	2.179
Densidad suelo seco	gr/cm3	2.000	2.067	2.073	2.010
DENSIDAD SECA MAXIMA - MDS (gr/cm3)					2.089
HUMEDAD OPTIMA - OCH (%)					6.12





RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	17.82	1.941
CBR CON 25 GOLPES	27.93	2.087
CBR CON 56 GOLPES	42.74	2.17
%CBR 100%MDS	31.92	2.119
%CBR 95%MDS	21.02	1.985



RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	17.31	1.878
CBR CON 25 GOLPES	27.56	2.016
CBR CON 56 GOLPES	42.15	2.097
%CBR 100%MDS	37.61	2.080
%CBR 95%MDS	26.27	1.999

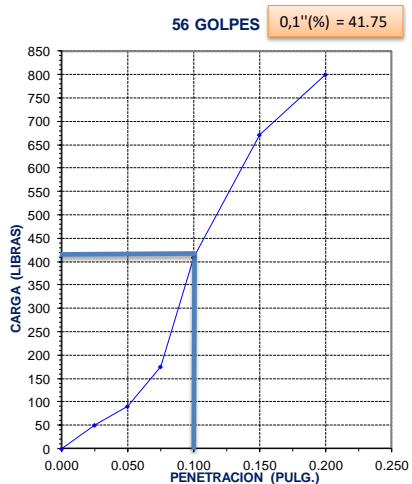
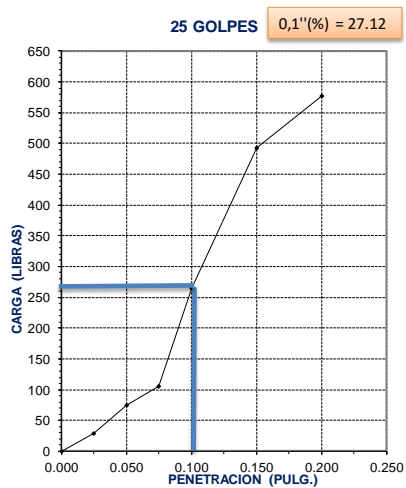
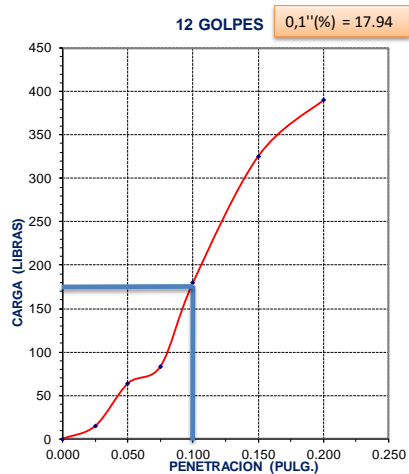
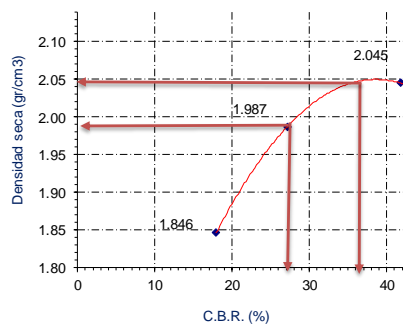
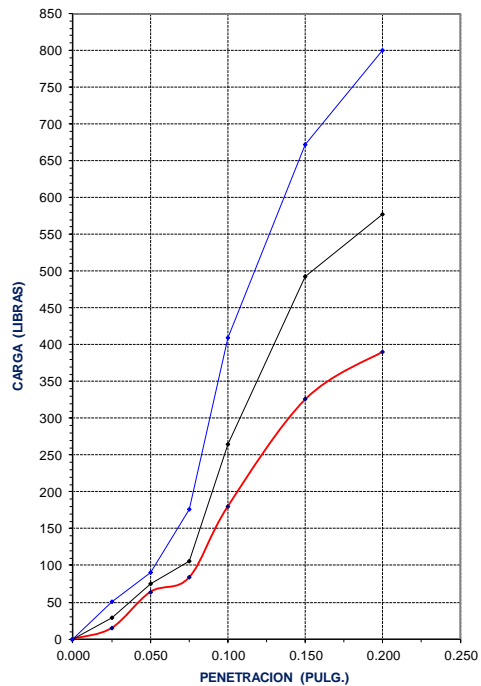
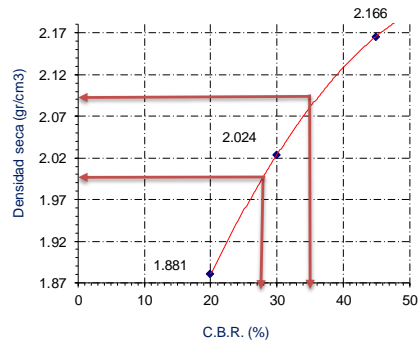
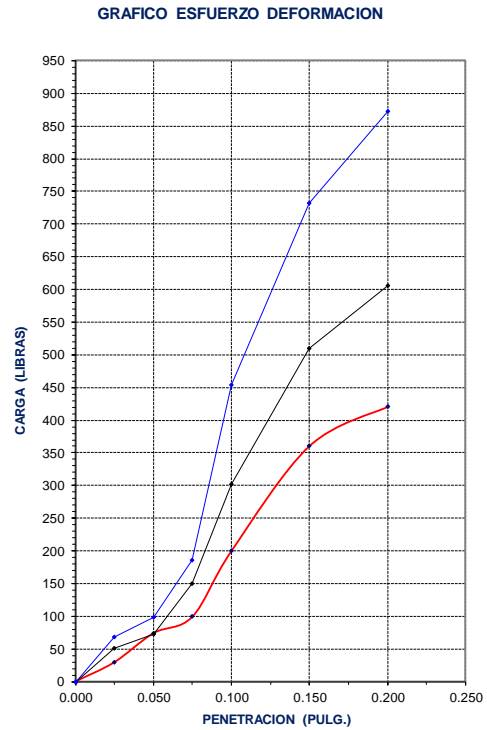
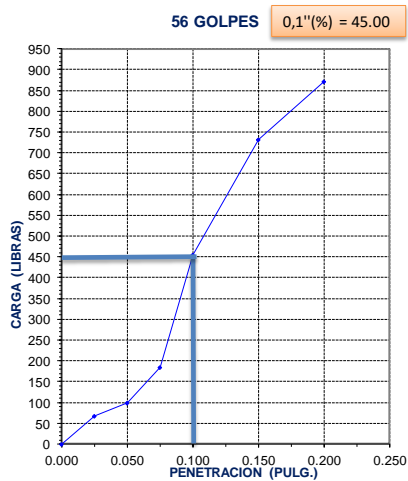
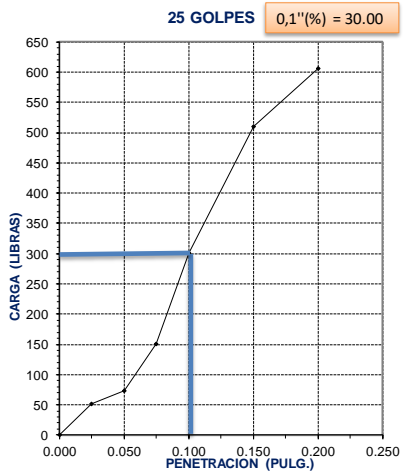
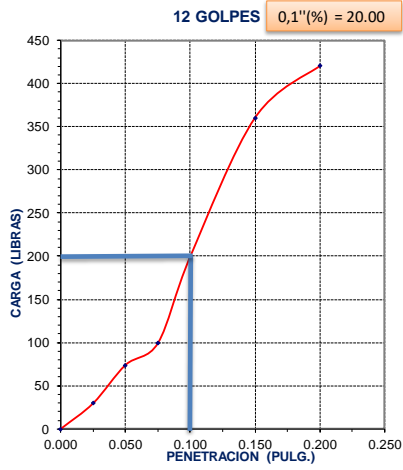


GRAFICO ESFUERZO DEFORMACION



RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	17.95	1.846
CBR CON 25 GOLPES	27.12	1.987
CBR CON 56 GOLPES	41.75	2.045
%CBR 100%MDS	38.75	2.049
%CBR 95%MDS	27.52	1.991



RESULTADOS DEL ENSAYO	CBR%	DENS
CBR CON 12 GOLPES	20	1.881
CBR CON 25 GOLPES	30	2.024
CBR CON 56 GOLPES	45	2.166
%CBR 100%MDS	37.40	2.101
%CBR 95%MDS	28.25	2.005

Anexo 17 Panel Fotográfico**Figura 20**

Realización de la calicata 2 para el estudio de suelo

