

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTONOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

**Diseño estructural del pavimento de la vía entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal
y el Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad**

Línea de Investigación
Ingeniería de Transportes

Sub Línea de Investigación
Transportes

Autor:

Rodríguez Lázaro Sergio Alí

Jurado Evaluador:

Presidente : Henríquez Ulloa Juan Paul Edward

Secretario : Gálvez Paredes José Alcides

Vocal : Salazar Perales Alvaro Fernando

Asesor:

Rodríguez Ramos Mamerto

Código Orcid: <https://orcid.org/0000-0003-3024-0155>

Trujillo – Perú

2023

Fecha de Sustentación: 2023/02/23

DEDICATORIA

A mi padre, el Dr. Sergio Rodríguez, que Dios lo tenga en su gloria, a pesar de su ausencia física, lo recuerdo todos los días de mi vida, quien durante toda su vida supo muy bien priorizar su deber y amor por su familia, encargándose siempre de que no nos faltara alimento, educación y sobre todo una lección de vida.

A mi madre, la Mg Betty Irma Lázaro Rubio, la más fuerte, abnegada, trabajadora, sacrificada y amorosa mujer, que jamás he conocido; su dedicación, compromiso, determinación y entrega a su familia, siempre fue, es y será un ejemplo de vida, de como uno debe entregarse por completo en cuerpo y alma a la institución de La familia, siempre lo diste todo y más por tus hijos, te amo mamita linda.

A mi hermano el Ing. Gonzalo Ernesto Rodríguez Lázaro, por su apoyo, amistad y preocupación incondicional por mi bien y el de la familia, siempre será digno de admirar. Siempre piensa a futuro y en sus pensamientos siempre esta primero, el bienestar de todos y cada uno de la gente que lo rodea.

A mis abuelitos, Angela, Donato, Humberto y Josefa, que los extraño demasiado y siempre están en mis oraciones, y sé muy bien que son ángeles de la guarda de toda la familia.

A mi novia Maritza Margarita Llajaruna Quiñones, gracias por soportarme tanto, amarme incondicionalmente, y dar todo por mí y nuestro amor, pero por, sobre todo, por tenerme tanta fe en Dios y en mí.

A Dios, porque sin él, nada es posible, gracias por las bendiciones y por siempre estar ahí para mí, en las buenas y en las malas, y gracias por estar para toda la gente que amo y para toda la gente que lo necesita. Amén.

Br. Sergio Alí Rodríguez Lázaro.

AGRADECIMIENTO

A Dios, a mi familia y a mi novia por su apoyo eterno en cada etapa de mi vida

Al Ing. Mamerto Rodríguez Ramos, por su gentileza, amabilidad, y nobleza en compartir su tiempo, experiencia y sus conocimientos para lograr conseguir la meta tan anhelada por mí, como es el título profesional.

Br. Sergio Alí Rodríguez Lázaro.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación denominado “Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal y el Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”, busca en breve y conciso, ser un trabajo de carácter social en beneficio de la comunidad liberteña, con el objetivo de aportar en el progreso y avance de los pobladores de la CPM Ciudad de Dios, un centro poblado que necesita, como muchos otros, una mejora de condiciones infraestructurales viales, para optar por una transitabilidad y seguridad de vehículos y de los habitantes de la zona, y así, les permita crecer no solo económicamente sino también optar por una calidad de vida más acomodada. La mejora en carreteras y vías, conlleva consigo más trabajo y oportunidades de desarrollo.

Es por eso, que en esta investigación nos centramos en el diseño estructural de un pavimento flexible, en base a rigurosas recopilaciones de información, como el conteo de vehículos, proyecciones de tránsito, el cálculo del número de ejes equivalentes; análisis de laboratorio de suelos, como el perfil stratigráfico, análisis granulométrico por tamizado, el contenido de humedad y la capacidad portante de la subrasante; y finalmente el trabajo en gabinete que nos permitió hallar el número estructural y espesores del pavimento óptimos para nuestro diseño y que este sea funcional, cumpliendo todos los estándares mínimos dados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones en su manual y aplicando la metodología más detallada y analítica por la diversidad de parámetros que denota, como lo es en la metodología AASHTO 93.

El diseño estructural del pavimento definido en esta investigación se determinó para un periodo de 20 años de vida útil, obteniendo como resultados cinco alternativas de paquetes estructurales, igual de funcionales para las capas de rodadura, base y subbase.

Palabras claves: Diseño estructural, transitabilidad, pavimento, vía.

ABSTRACT

The present research work called "Structural Design of the Pavement of the road between Kilometer 22.5 Road Simbal and the Annex CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad", seeks briefly and concisely, to be a work of a social nature for the benefit of the community Liberteña, with the objective of contributing to the progress and advancement of the inhabitants of the CPM Ciudad de Dios, a populated center that needs, like many others, an improvement in road infrastructure conditions, to opt for a passability and safety of vehicles and the inhabitants of the area, and thus, allow them to grow not only economically but also to opt for a more comfortable quality of life. The improvement in roads and tracks, entails more work and development opportunities.

That is why, in this research we focus on the structural design of a flexible pavement, based on rigorous collections of information, such as the vehicle count, traffic projections, the calculation of the number of equivalent axes; laboratory analysis of soils, such as the stratigraphic profile, granulometric analysis by sieving, moisture content and the bearing capacity of the subgrade; and finally the work in the office that allowed us to find the optimal structural number and thickness of the pavement for our design and that it be functional, complying with all the minimum standards given by the Ministry of Transport and Communications in its manual and applying the most detailed and analytical due to the diversity of parameters that it denotes, as it is in the AASHTO 93 methodology.

The structural design of the pavement defined in this investigation was determined for a period of 20 years of useful life, obtaining as results five alternatives of structural packages, equally functional for the wearing, base and subbase layers.

Keywords: Structural design, trafficability, pavement, road.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO.....	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. El Problema de Investigación	1
1.1.1. Formulación del problema.....	3
1.2. Objetivos	4
1.2.1. Objetivo general	4
1.2.2. Objetivos específicos	4
1.3. Justificación.....	4
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes de la Investigación:.....	6
2.1.1. Antecedentes Locales	6
2.1.2. Antecedentes Nacionales	7
2.1.3. Antecedentes Internacionales.....	9
2.2. Marco Teórico:	11
2.2.1. Pavimento.....	11
2.2.2. Tipos de pavimentos	12
2.2.3. Factores importantes para diseñar pavimentos	12

2.2.4.	Diseño de Pavimento Flexible	17
2.2.5.	Diseño de Pavimento Rígido.....	21
2.2.6.	Tipos de Pavimento Rígido	22
2.2.7.	Propiedades Físico Mecánicas de Suelo.....	24
2.2.8.	Tránsito.....	31
2.3.	Marco Conceptual.....	37
2.4.	Hipótesis	40
2.5.	Variables	40
2.5.1.	Operacionalización de las Variables.....	41
III.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	43
3.1.	Tipo y Nivel de Investigación.....	43
3.2.	Población y Muestra de Estudio	43
3.2.1.	Población.....	43
3.2.2.	Muestra.....	43
3.3.	Diseño de Investigación.....	43
3.4.	Técnicas e instrumentos de Investigación	44
3.5.	Procesamiento y Análisis de Datos	44
IV.	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	45
4.1.	Propuesta de Investigación	45
4.2.	Análisis e Interpretación de Resultados.....	46
4.2.1.	Estudio de Tráfico	46

4.2.2.	Situación Actual.....	46
4.2.3.	Clima.....	46
4.2.4.	Metodología de Trabajo de Campo	46
4.2.5.	Metodología de Trabajo de Gabinete	48
4.2.6.	Ensayos en laboratorio	56
4.3.	Prueba de Hipótesis.	68
V.	DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS.....	69
VI.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	71
	REFERENCIAS	74
	ANEXOS	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	<i>Partidas de Pavimento Flexible</i>	15
Tabla 2.	<i>Partidas de Pavimento Rígido</i>	15
Tabla 3.	<i>Comparativo de Costo inicial por metro cuadrado entre Pavimento Flexible y Rígido</i>	16
Tabla 4.	Costos Iniciales entre Pavimentos Rígido y Flexible.....	17
Tabla 5.	<i>Identificación de Símbolos de SUCS</i>	25
Tabla 6.	<i>Tamices Serie ASTM</i>	27
Tabla 7.	<i>Clasificación de Suelos según su Plasticidad</i>	28
Tabla 8.	<i>Valores del IP</i>	29
Tabla 9.	<i>Categorías de Subrasante</i>	30
Tabla 10.	<i>Pesos y Medidas</i>	33
Tabla 11.	<i>Tipos de Ejes y su representación gráfica</i>	36
Tabla 12.	<i>Determinación de EE por tipo de eje del vehiculo para pavimentos flexibles, semirrígidos y afirmados</i>	36
Tabla 13.	Operacionalización de Variable	41
Tabla 14.	Exploración de Suelo	48
Tabla 15.	Conteo de Vehículos (Entrada al centro poblado Ciudad de Dios).....	49
Tabla 16.	Factores de Distribución Direccional y de Carril.....	54
Tabla 17.	Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)	54
Tabla 18.	Resultados del IMDs, IMDa actual y el IMDa proyecto-ejecución	55
Tabla 19.	Cálculo del ESAL.....	56

Tabla 20.	Clasificación de suelos, análisis granulométrico, límites de consistencia y humedad natural.....	57
Tabla 21.	Perfiles estratigráficos para las tres calicatas.....	58
Tabla 22.	CBR de las Exploraciones de Suelo	59
Tabla 23.	Correlación del Módulo Resiliente con CBR.....	60
Tabla 24.	Desviación Estándar “Z _R ”	60
Tabla 25.	Diferencial de Serviciabilidad “ΔPSI”	61
Tabla 26.	Serviciabilidad Inicial (P _i)	62
Tabla 27.	Serviciabilidad Final (P _t).....	62
Tabla 28.	Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años).....	63
Tabla 29.	Condiciones y Coeficientes de Drenaje para Bases y Subbases granulares No tratadas en Pavimentos Flexibles.	64
Tabla 30.	Coeficientes Estructurales recomendados	65
Tabla 31.	Resumen de resultados obtenidos para el cálculo del SN.....	66
Tabla 32.	Formato de Ficha Estándar para carreteras interurbanas	94
Tabla 33.	Cálculo de EE * IMDa para Pavimento Flexible	131

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Flujo Hora de Máxima Demanda	49
Figura 2.	Flujo máximo en un T = 15 min.....	50
Figura 3.	Volumen de tráfico durante la semana	51
Figura 4.	Comportamiento del tráfico durante la semana.....	52
Figura 5.	Distribución en altura de las Capas	68
Figura 6.	Ubicación geográfica de estudio	79
Figura 7.	Entrada al CP Ciudad de Dios – Carretera Simbal	79
Figura 8.	Estado Actual de la vía.....	80
Figura 9.	Capas de la estructura, según su tipo de pavimento (Flexible y Rígido)...	80
Figura 10.	Pavimento Flexible	81
Figura 11.	Pavimento Rígido	81
Figura 12.	Mantenimiento Pav. Flexible vs Pav. Rígido	82
Figura 13.	Secciones trasnversales Pav. Rígido y Pav. Flexible.....	82
Figura 14.	Sección típica de un Pavimento Flexible	83
Figura 15.	Influencia de los esfuerzos de tránsito sobre el pavimento flexible.	83
Figura 16.	Estructura de Pavimento Rígido y Opciones de Composición.....	84
Figura 17.	Carta de Casagrande	84
Figura 18.	Cuchara de Casagrande.	85
Figura 19.	Cilindros de 3 mm en ensayo.....	85

Figura 20.	Recopilación de datos para el Estudio de Tráfico	86
Figura 21.	Excavación en campo para análisis en laboratorio (PC-3)	86
Figura 22.	Ubicación y Trazo de la vía a estudio. Punto de Control y Conteo.....	87
Figura 23.	Parte del flujo vehicular del CPM Ciudad de Dios	87
Figura 24.	Presidente de la Ronda Campesina de Ciudad de Dios.	88
Figura 25.	Exploración y Rotulación de la calicata 1	88
Figura 26.	Ensayo de Proctor Modificado de Calicata 1	89
Figura 27.	Exploración y Rotulación de la calicata 2	89
Figura 28.	Ensayo de Proctor Modificado de Calicata 2.....	90
Figura 29.	Exploración y Rotulación de la calicata 3	90
Figura 30.	Ensayo de Proctor Modificado de Calicata 3.....	91
Figura 31.	Análisis Granulométrico por tamizado.	91
Figura 32.	Ensayo de Contenido de Humedad	92
Figura 33.	Ensayo de Límites de consistencia.....	92
Figura 34.	Ensayo C.B.R.	93

I. INTRODUCCIÓN

1.1. El Problema de Investigación

Incluso antes de la civilización del hombre, los caminos y/o vías de acceso, fueron y siguen siendo un factor trascendental para la comunicación y conexión de las personas, uniendo así a comunidades, mejorando la economía de un área poblada y, por ende, su calidad de vida. Desde mayas hasta romanos, la infraestructura vial ha prevalecido y se siguen desarrollando hasta el día de hoy, nuevas tecnologías que permitan mejorar y minimizar los procesos constructivos, sin omitir la calidad estructural, garantizando el mejor comportamiento frente a agentes, tanto internos, como externos, volviéndolo así, durable y adaptable a cualquier entorno donde se necesite su construcción y habilitamiento, siendo también, responsables con la naturaleza.

En el Perú, la necesidad de implementar y habilitar más carreteras o vías de acceso mejor transitables es fundamental, puesto que, generan crecimiento poblacional, económico y social, facilitando rapidez, seguridad y comodidad a la hora de transportar personas o cargas mercantiles en menor tiempo. (Gamarra Tantalean & Velasquez Acosta, 2019)

La red vial peruana comprende más de 78 mil km de carreteras, donde 300 km aproximadamente son autopistas, en base a estas cifras, se deduce que el país afronta problemas de transitabilidad, por ende, debe invertir más, en el mejoramiento e infraestructura vial en el territorio. El factor de congestión que afecta directamente a las vías y su integridad, claramente, es un problema de falta de infraestructura vial. (Escobar Bellido & Huincho Ochoa, 2017)

Existe una brecha grande en el norte del país si se compara la red vial nacional pavimentada, con la que aún no se pavimenta, y así lo señala un informe del Centro de investigación Empresarial (CIE) de PERUCAMARAS, donde se registra vías pavimentadas solo en un 13,3% de un total de 4,426.4

kilómetros. Otro dato que resaltar es que La Libertad es el departamento que cuenta con más vías del tipo trocha en la rural del norte del país, siendo 74,9% del total. Estos indicativos son muestra de la prioridad que debemos de tener por incrementar los esfuerzos con el fin de pavimentar los caminos y así asegurar el progreso, integración y comunicación no solo para las grandes ciudades, sino de las zonas rurales más alejadas. (America, 2020)

En este sentido, en la actualidad, la red vial vecinal del distrito de Laredo posee una extensión de 69.21 km, de los cuales, podemos encontrar poco más de 25 km como afirmado y 9.85 km como trocha carrozable, de acuerdo con la Oficina de programación multianual de inversiones. Es así como, la población del centro poblado menor Ciudad de Dios, que consta de 1415 habitantes, posee un camino vecinal que conecta el km 22+136.49 (km 22.5 aprox.) de la Red Vial Nacional PE-10A de la carretera Laredo-Sanme con la entrada a su zona urbana, la cual, abarca 1.346 km de vía no pavimentada, en estado de regular a malo, con un ancho de 5.00 m sobre terreno natural y con pendientes suaves; siendo así, que se requiere modernizar la vía para dar solución a los problemas sociales y económicos de la zona, propiciando mejora en la calidad de vida y transitabilidad de los vehículos y persona, comunicando así, más fluidamente, el retorno de la población campesina de sus lugares de origen con mercados de comercialización o comunidades aledañas a ésta.

Zona de Estudio

Localizado geográficamente en la zona costera:

Departamento: La Libertad

Provincia: de Trujillo

Distrito: Laredo

Localidad: CPM Ciudad de Dios

Localizado entre 250 a 270 m.s.n.m. de coordenadas UTM (WGS-84) NORTE 9'109,862.00 y ESTE 736,469.00, siendo anexo del distrito no se encuentra pavimentado, en consecuencia, esto afecta a los pobladores, repercutiendo en su salud y economía, ocasionando pérdidas de tiempo y dinero debido a las largas distancias que son necesarias de recorrer por la poca accesibilidad, como consecuencia de esto, los vehículos se ven obligados a transitar a una menor velocidad o con la intención de no dañar el vehículo infligiendo un mayor tiempo de tránsito y aumentando el gasto de combustible. Ver Figura 6 y Plano de Ubicación.

Estado actual de la vía

Actualmente se presenta como una trocha carrozable, además de no encontrarse uniforme y con hundimientos en su nivel a lo largo de la misma, tal como se muestra en las figuras 7 y 8 en Anexos.

De acuerdo al flujo vehicular del transporte pesado y liviano de la zona, la granulometría y tipo de suelo nos permitirá diseñar la estructura vial del pavimento.

1.1.1. Formulación del problema

¿Cuál será el diseño estructural del pavimento para la vía ubicada entre el km 22?5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Realizar el diseño estructural del pavimento de la vía entre el km 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el estudio topográfico del tramo de estudio
- Realizar el estudio de tráfico y determinar la carga vehicular mediante aplicando el método de conteo.
- Realizar el estudio de mecánica de suelos con fines de pavimentación.
- Diseñar la estructura del pavimento mediante la metodología AASHTO 93.
- Determinar los espesores del pavimento mediante la metodología AASHTO 93.

1.3. Justificación

Esta investigación se justifica por su aplicación práctica al diseñar y posteriormente construir nuevas pistas generando oportunidad de trabajo a la población, profesionales y personas dedicadas a la construcción. La construcción de esta vía pavimentada evitará, no solo retraso en los tiempos de transitabilidad de las personas y sus mercancías, sino que, atenderá otro factor importante, como lo es la salud, al mitigar la contaminación aérea, por el levantamiento de polvo excesivo en la zona.

En cuanto a su **relevancia académica**, permitirá hacer el uso de los procedimientos y practicas académicas obtenidas de manera formativa en la universidad, además de los conocimientos obtenidos en las diversas capacitaciones y labores post-universitarias dirigidas al diseño de pavimentos. El presente trabajo de investigación, espera convertirse en una fuente y guía más, para futuros trabajos académicos orientados a la línea de investigación de transportes.

En cuanto a su **relevancia económica**, reducen costos de transporte, haciendo rentable cualquier actividad productiva de abastecimiento de materia prima o insumos, generando crecimiento económico en las familias campesinas, además incrementaría el desarrollo infraestructural y tecnológico del lugar, valorizando el precio de los terrenos y por lo tanto promoviendo la urbanización de la zona.

En cuanto a su **relevancia social**, el diseño y pavimentación de vías de transporte, garantiza una mejor conexión y comunicación entre comunidades aledañas, de la zona rural de Laredo y zonas urbanas de la provincia, derrumbando de esta manera, barreras geográficas y sociales, asegurando confort y seguridad durante el libre tránsito y movilización en la zona, es así que genera oportunidades de desarrollo, salud y calidad de vida de la población

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Locales

- Bermúdez Tueros & Ramos Cerna, 2019; realizan un trabajo de investigación del tipo aplicada, titulado ***Diseño estructural del pavimento flexible para el mejoramiento de la transitabilidad en la prolongación Av. Uno y la prolongación Sinchi Roca, en el centro poblado Alto Trujillo, Trujillo - La Libertad***, en el que proponen un diseño estructural, valga la redundancia, que tiene como objetivo principal, el diseñar estructuralmente un pavimento flexible, con el cual, buscan mejorar la transitabilidad en el centro poblado, antes mencionado. Se tomaron en cuenta proyecciones y volúmenes de tránsito, en base a un estudio de tráfico, debidamente realizado junto a un protocolo de recolección de datos, complementándolo con el respectivo estudio de mecánica de suelos y determinando los espesores del pavimento que se propusieron diseñar, cumpliendo así, los objetivos específicos trazados. En tal sentido, la investigación concluyo, determinando los espesores del paquete estructural en Carpeta asfáltica de 5 cm, Base de 20 cm y una Subbase de 15 cm, los cuales son superpuestos en un suelo de fundación de CBR promedio de 27.62% al 95% de M.D.S, dando evidencia de un suelo de subrasante de muy buena calidad. Por lo tanto, el antecedente aporta una idea bien direccionada de como diseñar estructuralmente un pavimento, para mejorar la transitabilidad de vehículos.

- Casana R., 2018; realiza un trabajo de investigación aplicado, titulado ***Propuesta de diseño del pavimento flexible para la avenida Santo Toribio y las calles 7 y 8 del asentamiento humano Las Lomas sector I-Distrito de***

Huanchaco - Trujillo - La Libertad, 2018, en el que la tesista propone el diseño de un pavimento flexible en aquel lugar, para facilitar el libre tránsito vehicular y peatonal, siendo así, su objetivo principal, diseñar un pavimento flexible en la avenida y calles tomadas en su zona de estudio, además, de proponerse realizar un estudio topográfico, estudio de suelos, estudio de tráfico, y el definir una sección vial a través de un diseño geométrico y calculo estructural del pavimento. En consecuencia, tras un conteo vehicular, extracción de suelos para su posterior análisis de laboratorio y determinación del C.B.R. de la zona, se empleó las normas y metodologías vigentes para el diseño estructural. Siendo así, que se concluyó, una estructuración del pavimento usando el método AASHTO-93 de 6 cm de capa de rodadura, 15 cm de Base y 25 cm de Subbase. Por lo tanto, el antecedente aporta una idea bien direccionada de como diseñar estructuralmente un pavimento, para mejorar la transitabilidad de vehículos y personas

2.1.2. Antecedentes Nacionales

- Gamarra Tantalean & Velásquez Acosta, 2019; en el trabajo de investigación ***Diseño estructural del pavimento flexible y su influencia en la calidad de vida de los pobladores del Pueblo Joven Villa María – distrito de Nuevo Chimbote – Ancash, 2019***, se encontró en un caso particular, para tres tipos de poblaciones diferentes, donde, para el análisis de suelos, exploraron el terreno realizando 9 calicatas, debidamente referenciadas, y realizando un conteo de vehículos para determinar el IMDA, y diseñar dos tipos de pavimento, cumpliendo así el objetivo principal de diseñar estructuralmente el pavimento flexible para su posterior determinación de influencia, en la calidad de vida de los pobladores del pueblo joven, en base a la previa determinación de las propiedades físicas y mecánicas del suelo,.

Cabe mencionar que, en una de los pavimentos diseñados, la subrasante fue estabilizada, ya que en secciones de la misma se encontró el nivel freático alto afectando la funcionalidad e integridad del pavimento diseñado. En tal sentido, se concluyó, en el diseño de los pavimentos flexibles, la estabilización de la subrasante, que comprendió el uso de un geotextil además de over, y que el diseño estructural si influye significativamente en la calidad de vida de los pobladores, de acuerdo al método de coeficiente de correlación de Pearson. Por lo tanto, el antecedente aporta no solo el diseño estructural de un pavimento, sino que además sostiene un método de mejoramiento y estabilización de suelos, en caso, nuestra investigación, así lo requiera; además brinda un método para poder estimar la influencia que tendrá un pavimento en la calidad de vida de la población.

- Zuñiga Chepe, 2018; en su trabajo de investigación titulado ***Diseño de la Estructura de Pavimento Flexible de las calles comprendidas dentro del Perímetro de la ca. vrht, ca. La Paz, ca. Pachacutec y Av. Gran Chimú del distrito de La Victoria – Chiclayo – Lambayeque***, evidencia la inexistencia de pavimentación en ésta zona urbana que enmarca como zona de estudio, además recalca el interés por alcanzar una propuesta que sea buena desde el punto de vista económico y social, por lo que tiene como objetivo principal el diseño estructural de un pavimento flexible de las calles y avenida mencionadas, así como a su vez, realizar el estudio topográfico, de tráfico y de mecánica de suelos, que le permita determinar la mejor propuesta para resolver esta necesidad de una vía transitable y moderna. Durante la investigación, el tesista determino la realización de catorce exploraciones para poder obtener una mejor determinación del C.B.R. En tal sentido, concluyo en que el suelo de la zona

necesitaba un mejoramiento de la subrasante, por lo que se adiciono a ésta un pedraplén y arenilla de 15 cm cada una, y se determinó el paquete estructural en una subbase y base granular de 15 cm respectivamente, y carpeta de rodadura de 5 cm. Por lo tanto, aporta otro método más de diseñar un pavimento, en caso la subrasante sea mala, para mejorar o estabilizar un suelo insuficiente.

2.1.3. Antecedentes Internacionales

- Reinoso Maldonado & Sanmartín Morales, 2022; en su trabajo de investigación, titulado ***Desarrollo de un catálogo de secciones estructurales de pavimentos flexibles y rígidos enfocado en las carreteras de la red vial de la provincia del Azuay, aplicando la metodología de diseño AASHTO – 93***, ven la necesidad de desarrollar una guía, que sirva para resumir, orientar y consultar una serie de estructuras de pavimentos, para seleccionar la más adecuada, según las necesidades o requerimientos que se soliciten, es así, como establecen el objetivo de crear un catálogo paquetes estructurales de pavimentos flexibles y rígidos, tomando como base el número de ejes equivalentes de 8.2 Tn y el C.B.R. de la subrasante de la provincia de Azuay, aplicando la metodología AASHTO-93. Los investigadores además establecen rangos de tráfico y C.B.R. usando la normativa vigente de su país y poder de esta manera también, hacer un comparativo de números estructurales del catálogo desarrollado y estudios previos elaborados en la provincia. Es así, como se concluyó, con una metodología sencilla y un bajo costo, un abanico de posibilidades estructurales para un caso específico, esto servirá como un aporte y apoyo a la ingeniería vial de la provincia, facilitando una serie de soluciones

para futuros trabajos de investigación o aplicación por parte de entidades en la zona.

- Espinoza Correa, 2018; expone en su trabajo de investigación, titulado ***Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO***, no solo propone y diseña diferentes alternativas de pavimentos flexibles y rígidos en base a la metodología AASHTO, sino que, desarrolla un software en MATLAB, capaz de analizar y comparar los aspectos técnicos y económicos de los costos totales de cada diseño, creando una serie de combinaciones, tomando como punto de partida, variaciones en los espesores y el material de cada capa que conforman los paquetes estructurales, y además aplicándolos para diferentes periodos de diseño, trazando así, el objetivo general de la investigación, y cumpliendo además con determinar el menor costo para el pavimento más factible de implementar. En tal sentido, la investigación concluyó, que el software tiene un alto grado de confiabilidad, para definir costos de construcción inicial, para lo cual, se debe de contar con los costos de cada material, por otra parte, también se determinó que los pavimentos rígidos son más costosos que los pavimentos flexibles, con el detalle que estos últimos presentan un costo mayor en su mantenimiento a través del tiempo, por la fragilidad estructural si se compara con un pavimento de concreto. Por lo tanto, el antecedente aporta información del diseño estructural del pavimento, tanto para flexible como para rígido, pero también, abre la posibilidad para la creación del propio software computacional en el Perú, de acuerdo a nuestras condiciones y normas vigentes.

2.2. Marco Teórico:

2.2.1. Pavimento

De acuerdo con Sarango & Vargas (2017), es una estructura vial constituida de capas encimadas una sobre otra, diseñados y construidos técnicamente con materiales por lo general, granulares y debidamente compactados que transmiten el peso de la carga vehicular que transita sobre la misma. Los distintos tipos de pavimento tienen comportamientos distintos al ser sometidos a las mismas cargas. Ver figura 9 en Anexos.

- **Subrasante:** Capa que resiste la estructura del pavimento, además transmite los esfuerzos y cargas al terreno natural. Una vez compactada debe ser debidamente seccionada transversalmente e indicada sus pendientes en planos del diseño geométrico del pavimento. La calidad de la subrasante, indicara el grosor del pavimento, es por eso que ésta debe reunir cualidades de resistencia. (Coronado Iturbide, 2002)
- **Subbase:** Capa del pavimento contigua superiormente a la subrasante, entre sus principales funciones, son las de distribuir uniformemente las cargas vehiculares desde la superficie de rodadura a la subrasante. La subbase tolera las variaciones de elasticidad y volumen que pueden dañar al pavimento. (Coronado Iturbide, 2002)
- **Base:** Capa ubicada entre la subbase y la superficie de rodadura, la base más común para el diseño de pavimentos es la Base granular, la cual está constituida por piedra triturada, arena y suelo. (Coronado Iturbide, 2002)

- **Capa de rodadura:** Superficie más externa del pavimento, esta debe ser impermeable para evitar la filtración de agua por gravedad a las otras capas, evitando así el deterioro de éstas. (Coronado Iturbide, 2002)

2.2.2. Tipos de pavimentos

2.2.2.1. Pavimento flexible.

De acuerdo con Tapia García (2015), es la estructura donde en la capa de rodadura predomina una mezcla asfáltica, de apariencia bituminosa y que transmite los esfuerzos de manera puntual y concentrada a las capas inferiores, en una pequeña área. Ver figura 10 en Anexos.

2.2.2.2. Pavimento Rígido.

De acuerdo con Montejo Fonseca (2002), en este tipo de pavimento, la capa de rodadura destaca por ser hecha de un concreto o losa hidráulica. Este tipo de pavimento resalta por la durabilidad y resistencia del mismo, tolerando la mayor parte de los esfuerzos a los que son sometidos, y transmitiéndolos de forma más homogénea y distribuida, además, genera una mayor área de recepción de carga. Las deformaciones en este pavimento es muchísimo menor que en Flexible. Ver figura 11, en ANEXOS.

2.2.3. Factores importantes para diseñar pavimentos

2.2.3.1. El tránsito

De acuerdo con Montejo Fonseca (2002), este factor permite identificar y medir el tipo de vehículos y sus ejes, que generaran cargas en la vía, a través de una equivalencia y un cálculo que se proyectara dependiendo del periodo de diseño.

Las cargas de tránsito y su recurrente repetición en la vía, determinará la fatiga (deformación) en esta última. (Montejo Fonseca, 2002)

2.2.3.2. La subrasante

De acuerdo con Montejo Fonseca (2002), de este factor depende el espesor total del pavimento, ya sea para pavimentos del tipo flexible o rígido. Principalmente el ensayo C.B.R. en laboratorio de suelos, es aquel, que nos permite medir la capacidad de resistencia de esta capa, debido al peso o carga que el tránsito vehicular genera.

Cuando cualquier tipo de pavimento es construido sobre una subrasante de suelo expansivo, es decir, que su C.B.R. sea insuficiente o muy bajo, y por lo tanto, tenga inclinación a cambios continuos en su volumen, se optara por impermeabilizar la estructura o aplicar uno o varios aditivos para estabilizar el suelo. (Montejo Fonseca, 2002)

2.2.3.3. Clima

Según Montejo Fonseca (2002) es un factor importante debido a que incide directamente a la infraestructura de cualquier tipo de pavimento. La temperatura y las lluvias afectan la resistencia, compresibilidad y variaciones volumétricas a nivel de la subrasante, debido a variaciones bruscas o periódicas en el clima.

2.2.3.4. Materiales disponibles

De acuerdo con Montejo Fonseca (2002) se refiere a la accesibilidad de materiales granulares de buena calidad, que

cumplan con cierto grado de homogeneidad, que se encuentren a disponibilidad en volumen requerido, facilidades de distancia para su acarreo y a un precio accesible que permita tener una visión más técnica para seleccionar la estructura de nuestro pavimento.

2.2.3.5. Factores económicos

De acuerdo con Tapia García (2015), debe de tomarse siempre en cuenta el presupuesto del que disponga o tenga en conocimiento el proyectista, al momento de seleccionar el tipo de pavimento, su estructura o la clase de superficie de rodadura que se implementara, ya que muchas veces es por un tema económico por el cual nos inclinamos por una u otra alternativa de diseño. Por lo general, el pavimento flexible tiende a ser mucho más rentable de construir, ya que genera costos iniciales menores al pavimento rígido. Por tal motivo, el ingeniero debe saber orientarse en el mismo camino, que la entidad o financista para el diseño o construcción del pavimento, no obstante, debe saber siempre respetarse las condiciones mínimas para el diseño.

En un pavimento de concreto o rígido, las partidas de la construcción son más simplificadas, respecto a las de un pavimento flexible, al descartar los precios del transporte de la mezcla asfáltica y todo lo relacionado con ésta y su aplicación e imprimación.

En la tabla 1 y 2 se denota la diferencia entre partidas del paquete estructural, realizado por el Ing. Céspedes Farfán, analista de Ingeniería de Pavimentos en Cementos Pacasmayo, entre los pavimentos flexible y rígido en Trujillo, Perú; donde hace un comparativo de Costos Iniciales por metro cuadrado entre los mencionados pavimentos, resultando el costo del pavimento rígido, ligeramente mayor.

Tabla 1. Partidas de Pavimento Flexible

PAQUETE ESTRUCTURAL				
Partida	Unidad	Metrado	PU	Total
SubBase Granular	m3	228,741.27	10.54	2,410,932.99
Base Granular	m3	282,154.00	16.42	4,632,968.68
Base Granular para Bermas	m3	28,312.05	16.42	464,883.86
Imprimacion Asfaltica	m2	535,311.94	0.24	128,474.87
Pavimento de Concreto Asfalto Caliente	m3	53,531.20	56.54	3,026,654.05
Riego de Liga	m2	535,023.94	0.21	112,355.03
Asfalto diluido MC-30	l	709,288.32	0.74	524,873.36
Cemento Asfaltico de PEN 60-70	Kg	7,824,120.19	0.66	5,163,919.33
Filler	Kg	3,957,026.30	0.3	1,187,107.89
Emulsion Asfaltica de rotura rapida CCR-2	l	204,646.66	0.84	171,903.19
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR HASTA EL PRIMER KILOMETRO	m3xkm	482,425.66	2.19	1,056,512.20
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA DISTANCIAS MAYORES A 1 KILOMETRO	m3xkm	11,599,511.30	0.47	5,451,770.31
TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA HASTA EL PRIMER KILOMETRO	m3xkm	53,531.20	3.03	162,199.54
TRANSPORTE DE MEZCLA ASFALTICA PARA DISTANCIAS MAYORES A 1 KILOMETRO	m3xkm	1,494,000.10	0.47	702,180.05
BERMA				
Partida	Unidad	Metrado	PU	Total
Imprimacion Asfaltica (Berma)	m2	275,089.90	0.24	66,021.58
Tratamiento superficial Bicapa	m2	275,090.86	1.08	297,098.13
Asfalto diluido MC-30	l	302,599.97	0.74	223,923.98
Emulsion Asfaltica de rotura rapida CCR-2	l	784,008.94	0.84	658,567.51

Nota. Detalle de los precios unitarios del paquete estructural de pavimento flexible del Ing. Céspedes Farfán, 2019, propuesta en Trujillo

Tabla 2. Partidas de Pavimento Rígido

PAQUETE ESTRUCTURAL (Inc. Berma)				
Partida	Unidad	Metrado	PU	Total
SUBBASE GRANULAR	m3	144,187.40	10.54	1,519,735.20
COLOCACION DE LINEAS GUIAS PARA PAVIMENTADORA	m	148,493.76	0.48	71,277.00
PAVIMENTO DE CONCRETO HIDRAULICO Mr=48 kg/cm2 (PAVIMENTADORA)	m3	210,415.65	106.01	22,306,163.06
ACERO LONGITUDINAL (BARRAS DE AMARRE)	kg	100,926.09	1.43	144,324.31
ACERO TRANSVERSAL (DOWELL LISTO - INC. CANASTILLA)	m	133,603.20	23.05	3,079,553.76
JUNTA DE CONSTRUCCION DE CONCRETO HIDRAULICO	m	1,900.80	20.31	38,605.25
JUNTA DE CONTRACCION DE CONCRETO HIDRAULICO	m	347,876.56	6.50	2,261,197.64
JUNTA DE EMPALME	m	43.60	65.05	2,836.18
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR HASTA EL PRIMER KILOMETRO	m3k	126,884.91	2.19	277,877.96
TRANSPORTE DE MATERIAL GRANULAR PARA DISTANCIAS MAYORES A 1 KILOMETRO	m3k	1,751,041.70	0.47	822,989.60

Nota. Detalle de los precios unitarios del paquete estructural de pavimento rígido del Ing. Céspedes Farfán, 2019, propuesta en Trujillo, para comparar los costos iniciales por metro cuadrado respecto a la tabla 1.

Tabla 3. Comparativo de Costo inicial por metro cuadrado entre Pavimento Flexible y Rígido

	PAVIMENTO FLEXIBLE AASHTO 93				PAVIMENTO CONCRETO AASHTO 93 (Con Dowels)			
	UND	METRADO	PRECIO S./	PARCIAL S./	UND	METRADO	PRECIO S./	PARCIAL S./
OBRAS PROVISIONALES				47,616.46				47,616.46
OBRAS PRELIMINARES				919,582.20				919,582.20
MOVIMIENTO DE TIERRAS				1,079,542.32				825,602.55
CORTE DE TERRENO NATURAL A NIVEL DE SUBRASANTE C/EQUIPO, PAVIMENTO	m3	13,537.12	14.26	193,039.33	m3	8,291.73	14.26	118,240.06
CORTE DE TERRENO NATURAL PARA VEREDAS. MARTILLOS Y RAMPAS e=0.10M	m2	9,464.93	28.70	271,643.49	m2	9,464.93	28.70	271,643.49
EXCAVACIÓN DE ZANJA PARA SARDINELES	m	2,892.06	9.96	28,804.92	m	2,892.06	9.96	28,804.92
ELIMINACIÓN DE MATERIAL EXCED C/ESPONJAMIENTO	m3	20,592.22	28.46	586,054.58	m3	14,297.75	28.46	406,914.06
VEREDAS				861,417.18				861,417.18
SARDINELES				218,457.34				218,457.34
PAVIMENTOS				3,776,629.64				3,941,634.06
PAVIMENTO DE CONCRETO (ver detalle)	m2	33,843.80	111.59	3,776,629.64	m2	33,843.80	116.47	3,941,634.06
SEÑALIZACIÓN				113,088.96				113,088.96
MEJORAMIENTO DEL ORNATO DE LA VÍA				8,740.32				8,740.32
VARIOS				79,563.74				79,563.74
SALUD Y SEGURIDAD EN OBRA				36,500.00				36,500.00
IMPACTO AMBIENTAL				87,946.99				87,946.99
COSTO DIRECTO				7,229,085.15				7,140,149.80

C. Asfáltica	7.50 cm
Base	20.00 cm
Sub-Base	20.00 cm
Sub-Rasante	

Concreto	17.00 cm
Sub-Base	15.00 cm
Sub-Rasante	

Nota. En la comparativa realizada por Céspedes Farfán, puede observarse una ligera brecha monetaria, donde queda en evidencia que el costo inicial para la habilitación del pavimento flexible en esta propuesta, es más económica que la de un pavimento Rígido.

El pavimento rígido, tiene mejor durabilidad y resistencia, además es conocido, que el concreto mejora esa resistencia con el pasar del tiempo, mientras que el asfalto no produce el mismo efecto, por lo tanto, cuando se habla del tema de Mantenimiento de las vías, se minimiza costos, cuando es un pavimento rígido y no un flexible. (ASOCEM: Asociación de Productores de Cemento, 2015). Ver figura 12, en ANEXOS.

De acuerdo con Rodden & Hall (2012), en una reconstrucción de pavimento de aproximadamente 8.360 m2 de pavimento en Whitefish Bay, EEUU en el 2008, el contratista elaboro dos ofertas de tipos de pavimento, diseñando estructuralmente y comparando los costos iniciales de construcción, evidenciando así la ventaja económica del pavimento asfáltico. (págs. 40-41) Ver figura 13 en Anexos.

Tabla 4. Costos Iniciales entre Pavimentos Rígido y Flexible

Descripción del trabajo	Cantidad	Precio un. (US\$)	Costo total (US\$)
Pavimento hormigón de 175 mm (7 pulg.)	10.000 SY	\$22,00/SY	\$220.000
Cordón y cuneta de hormigón	5.580 LF	\$11,00/LF	\$61.380
Subbase de agregado de 100 mm (4 pulg.)	3.120 Ton	\$10,50/Ton	\$32.760
Excavación no clasificada	4.600 CY	\$13,00/CY	\$59.800
COSTO INICIAL TOTAL PARA LA AGENCIA:			\$373.940

Descripción del trabajo	Cantidad	Precio un. (US\$)	Costo total (US\$)
Capa superficial asfáltica 50 mm (2 pulg.)	1.150 Ton	\$48,42/Ton	\$55.683
Capa adherencia 2	250 gal	\$1,25/gal	\$313
Capa inferior asfáltica 75 mm (3 pulg.)	1.725 Ton	\$42,10/Ton	\$72.623
Capa adherencia 1	200 gal	\$1,25/gal	\$250
Cordón y cuneta de hormigón	5.580 LF	\$11,00/LF	\$61.380
Subbase de agregado de 250 mm (10 pulg.)	5.200 Ton	\$10,50/Ton	\$54.600
Excavación no clasificada	5.230 CY	\$14,00/CY	\$73.220
COSTO INICIAL TOTAL PARA LA AGENCIA:			\$318.068

Nota. En otra propuesta de comparación entre pavimento flexible y rígido, pero en la ciudad de Whitefish Bay, EEUU, Rodden & Hall, 2012, como el costo inicial del pavimento flexible se impone económicamente al del pavimento rígido, siendo una vez más, la elección escogida para la reconstrucción, en este caso.

2.2.4. Diseño de Pavimento Flexible

De acuerdo con Torres Briones & Pérez Burgos (2017), la carpeta asfáltica, como se conoce, es una mezcla bituminosa, que al igual que las capas inferiores del paquete estructural tienen que estar debidamente compactadas, para asegurar que actúen como una sola unidad frente a los esfuerzos generados por el tránsito.

Como se mencionó con anterioridad, este tipo de pavimento tiene una respuesta a las fuerzas ejercidas sobre él, de manera puntual, en áreas reducidas, por lo que, la capa de rodadura ve más afectada su integridad a través del tiempo. La importancia de compactar de manera

adecuada todas las capas del pavimento flexible, radica principalmente en que éstas, intervienen en el soporte y transmisión de cargas durante toda su vida útil, a diferencia del pavimento rígido, donde la mayoría de los esfuerzos son absorbidos por la superficie de concreto. Por lo tanto, el material de mayor calidad se coloca en las capas superficiales. La influencia de las cargas va disminuyendo a medida que su efecto van profundizando hacia la parte interna del pavimento. (Torres Briones & Perez Burgos, 2017) Ver figura 15 en Anexos.

Los parámetros que se toman muy en cuenta para definir las dimensiones de las capas que conforman el paquete estructural; las cuales con muy variables, y mitigar fallas en la vida útil del pavimento, son el tráfico, clima, la calidad de los materiales granulares y el periodo de diseño. (Torres Briones & Perez Burgos, 2017)

Cabe señalar que, para un pavimento flexible, o rígido, cual sea el caso, el diseño estructural se basa en hallar el espesor de cada capa que conformara la unidad estructural como lo es, el pavimento. Para una mejor funcionalidad del pavimento se determinan rigideces de los materiales que se emplearan en cada capa, asegurando mayor durabilidad.

El M.T.C. señala primordialmente a las cargas ejercidas por el peso del tráfico (ESAL) y a la capacidad portante de la subrasante del suelo (MR), como los principales elementos de cálculo para designar la estructura del pavimento, considerando claro, la metodología a utilizar. (2014)

2.2.4.1. Metodología AASHTO-93

Según el M.T.C. (2014) es el método más frecuentemente usado en el mundo, se enfoca al rendimiento que tendrá la

capacidad estructural del pavimento, a través del cálculo del número estructural requerido (SNr). Basa para su procedimiento, en la consideración previa de factores, tales como el tránsito vehicular, la capacidad portante de la subrasante y factores climáticos que pueden incidir antes y después de la instalación del pavimento.

“La finalidad es determinar el espesor de la superficie de rodadura, base y subbase, las cuales serán soportadas por la subrasante durante un periodo de tiempo proyectado”. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

2.2.4.1.1. Período de Diseño

El ingeniero a cargo, tendrá que saber considerar las especificaciones que requiera el proyecto, así como también, lo estipulado por la entidad, sin que afecte la integridad profesional del proyectista, asegurando los requisitos mínimos para la funcionalidad e integridad del pavimento.

El M.T.C (2014) considera en su manual que, el tiempo mínimo de diseño para caminos de bajo tránsito es de 10 años para pavimentos flexibles.

2.2.4.1.2. Ecuación Básica del Método AASHTO

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_o + 9.36 \log_{10}(SN+1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

De acuerdo al M.T.C. señala:

W_{t18}: Número de aplicaciones de cargas equivalentes de 80 Kn (8.200 kg.) acumuladas en el periodo de diseño (n). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

M_R: el módulo resiliencia, es una medida de la rigidez del suelo de la subrasante, el cual para su cálculo se empleará la ecuación, que correlaciona con el CBR. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

$$M_r (psi) = 2555x CBR^{0.64}$$

Z_R: Coeficiente estadístico de desviación estándar Normal, representa el valor de la confiabilidad seleccionada, para un conjunto de datos en una distribución normal. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

S₀: Desviación estándar combinada, es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afectan el comportamiento del pavimento. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

ΔPSI: Diferencia entre las serviciabilidades inicial y terminal asumida para el desarrollo del proyecto. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

SN: Número Estructural, representa el espesor total del pavimento a colocar y debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que lo constituirán, ósea de la capa de rodadura, de base y de subbase. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

El manual del M.T.C. nos señala también el concepto alcanzado por AASHTO 93 del **ESAL**, el cual, no es otro que, el efecto del tránsito representado por el número de repeticiones de Ejes equivalentes simples de 8.2 Ton de peso, éstos son simplificaciones de todos los ejes de los vehículos que transitan en ida y vuelta por una vía. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

2.2.5. Diseño de Pavimento Rígido

Éste pavimento se compone de las siguientes capas, en forma ascendente: Subrasante, subbase y losa de concreto. Ver figura 16 en Anexos.

a. Subrasante

Capa que resiste la estructura del pavimento, además transmite los esfuerzos y cargas al terreno natural. Una vez compactada debe ser debidamente seccionada transversalmente e indicada sus pendientes en planos del diseño geométrico del pavimento. La calidad de la subrasante, indicara el grosor del pavimento, es por eso que ésta debe reunir cualidades de resistencia, incompresibilidad. (Arroyo Hilton, 2010)

b. Subbase

Capa entre la subrasante y la losa de concreto, conformada por subcapas de material granular compactadas, éstas estabilizan el suelo y son capaces de tolerar y transmitir la carga vehicular de tránsito. Debe reunir también características tales como, buen drenaje, para que facilite el paso del agua y evitar la capilaridad de ésta, ya que se puede suscitar en épocas de bajas temperaturas, hinchamientos, causado por el congelamiento, lo cual provocaría fallas en el pavimento, disminuyendo su funcionalidad y propósito. (Arroyo Hilton, 2010)

c. Superficie de rodadura (Losa de Concreto).

Esta capa superficial, que entra en contacto con el tránsito, es hecha de cemento portland y agregados, para adquirir mayor resistencia a los esfuerzos de la carga vehicular, además en su composición se aplican aditivos de tal forma que impermeabiliza el concreto y optar por una respuesta mejorada ante los efectos climáticos. Su capacidad portante, es tal, que absorbe la mayoría del peso de los vehículos y lo disipa de manera uniforme y en una gran área a las capas debajo de ésta. (Arroyo Hilton, 2010)

2.2.6. Tipos de Pavimento Rígido

De acuerdo al Ingeniero Alonso Montejo Fonseca (2002), los tipos de pavimento rígido son:

2.2.6.1. Pavimento Rígido Simple

Básicamente no cuentan con ningún tipo acero de refuerzo tanto longitudinal como transversalmente, haciendo que las transferencias de cargas se concentren en las caras de las juntas. Es por eso, que las juntas deben estar separadas menos de 4.5 metros.

En excepciones, a este tipo de pavimento rígidos, se pueden anexar varillas lisas de fierro, que funcionarán para transferir cargas pequeñas, y serán colocadas de manera transversal al pavimento, ubicadas en las juntas de contracción. La transferencia de cargas se hace de una losa a la losa continua, así, se mejora las condiciones de deformación en las juntas. Evitando, escalonamientos.

2.2.6.2. Pavimento Rígido Reforzado

Este tipo de pavimento rígido, viene reforzado con varillas de acero, que actúan como pasadores que distribuyen el esfuerzo generado por la carga vehicular, esto permite un mayor espaciamiento entre juntas a comparación con de los pavimentos rígidos de concreto simple. (Leiva Villacorta & Vargas Nordcbeck, 2014)

El refuerzo en este tipo de pavimento, lo constituyen principalmente mallas de acero que proporcionan a la estructura en conjunto una mejor transferencia de carga, creando un efecto de unidad homogénea a lo largo del pavimento, y que cumplirá su objetivo durante el periodo proyectado. Las distancias entre juntas, alcanzan una longitud de hasta nueve metros, que es lo recomendable, ya que más allá de esta longitud, comienza a evidenciarse respuestas negativas, representadas en grietas, en la parte media de las juntas. (Leiva Villacorta & Vargas Nordcbeck, 2014)

2.2.6.3. Pavimento Rígido con Refuerzo Continuo

De igual manera, este tipo de pavimento cuenta con refuerzo de manera longitudinal a lo largo de su construcción, pero la diferencia radica en que no lleva el corte de juntas transversales de contracción, por lo que, posterior a su implementación, se

sumas esfuerzos en el control del ancho y espaciamiento entre grietas, de manera que, se encuentren siempre dentro de los límites permisibles. (Leiva Villacorta & Vargas Nordcbeck, 2014)

2.2.7. Propiedades Físico Mecánicas de Suelo

2.2.7.1. Clasificación SUCS

Este sistema unificado de clasificación de suelos, los agrupa en 2 conjuntos:

a) De Partículas Gruesas: Aquellos suelos, cuyas partículas son retenidas en más del 50% de su total en la zaranda #200. Se subdivide en arenas y gravas. (Huanca Borda, 2015)

b) De Partículas Finas: Aquellos suelos, cuyas partículas pasan en más del 50% de su total, por el tamiz N° 200. (Huanca Borda, 2015)

En la clasificación “SUCS”, se utiliza la carta de Casagrande para poder determinar también ésta clasificación. Ver figura 17 en Anexos.

SUCS utiliza la siguiente nomenclatura de sus siglas en inglés:

Tabla 5. Identificación de Símbolos de SUCS.

Símbolo	G	S	M	C	O	Pt	H	L	W	P
Descripción	Grava	Arena	Limo	Arcilla	Limos o arcillas orgánicas	Turba y suelos altamente orgánicos	Alta plasticidad	Baja plasticidad	Bien graduado	Mal graduado
	Primera letra						Segunda letra			

Nota. Tabla de símbolos para la identificación y nomenclatura de los suelos reconocidos en laboratorio, de Borselli, 2022, Geotecnia I parte II, Instituto de Geología de Buenos Aires.

- a) Menos del 50% del suelo pasa por la zaranda #200 (0.075 mm), por lo tanto, la primera letra será G o S por ser suelo grueso. (Borselli, 2022)
- b) Más del 50% del suelo pasa por la zaranda #200, la primera letra será M o C, al identificar suelo fino. (Borselli, 2022)
- c) Se define como arena y grava limpia, si menos del 5% pasa por la zaranda #200 y se le adiciona una segunda letra P si no está debidamente graduado o W si fuese lo contrario. (Borselli, 2022)
- d) Cuando las arenas y gravas, con peso mayor al 12% que pasa la zaranda #200, se asigna una segunda letra M si son limosas o C, si son arcillosas. (Borselli, 2022)
- e) Cuando el peso de arenas y gravas oscila entre 5 y 12% del total, se asignan dobles siglas como SP-SM. (Borselli, 2022)

- f) Cuando se identifican limos, arcillas y suelos orgánicos se asigna una segunda letra H o L para designar alta o baja plasticidad (Borselli, 2022).

2.2.7.2. Granulometría

Factor importante para definir el origen y las características granulares y mecánicas de suelos gruesos. Se basa principalmente en medir la cantidad de las partículas según los tamaños de una escala previamente estandarizada y normada. Existen dos ensayos que nos permiten realizar un análisis de esta envergadura. (Becerra Salas, 2012)

- a) **Análisis granulométrico por tamizado o zarandeado**, es usado para suelos con magnitudes mayores a $74\mu\text{m}$, analizando suelos que atraviesan la zaranda #200, contabilizando lo retenido en peso por cada malla, donde se va reduciendo en peso durante el proceso de agitación. (Becerra Salas, 2012)
- b) **Análisis granulometría por sedimentometría**, usado comúnmente para el material que pasa por la zaranda #200, basándose, como su nombre lo indica, en la velocidad que las partículas se sedimentan en un líquido. (Becerra Salas, 2012)

Tabla 6. Tamices Serie ASTM

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
Nº 4	4,760
Nº 10	2,000
Nº 20	0,840
Nº 40	0,425
Nº 60	0,260
Nº 140	0,106
Nº 200	0,075

Nota. Reproducida del Manual de Ensayo de Materiales, 2016, del M.T.C

2.2.7.3. Plasticidad

Además de considerar las propiedades del suelo expuestas por partículas grandes, es importante incidir en las propiedades que pueden presentar la finura de los suelos que pasan por la zaranda #200. Los suelos finos con cierto grado de humedad son fácilmente deformables cuando son sometidos a fuerzas que los alteran, y con la misma facilidad pueden recuperar su forma, manteniendo en todo momento su volumen. Es así, como se define y clasifica esta propiedad de los suelos arcillosos en el manual del M.T.C. (Becerra Salas, 2012)

Tabla 7. Clasificación de Suelos según su Plasticidad

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

Nota. Reproducido del Manual de carreteras, 2014, del M.T.C.

2.2.7.3.1. Limite Líquido (LL)

De acuerdo con Becerra Salas, 2012, este ensayo determina el porcentaje de humedad que se necesita para que el suelo o muestra cambie su consistencia o forma; el instrumento usado es un artefacto de bronce denominado cuchara de Casagrande.

- Selecciona de 250 +/- 10 gramos de suelo que atraviesa la zaranda #40 y se va agregando agua de manera minuciosa hasta conseguir cierta consistencia y homogeneidad. (Becerra Salas, 2012)
- Se coloca el suelo en la cuchara de bronce, realizando un corte de 2 milímetros de ancho en la parte central de la masa con la pequeña espátula, separándola así dos partes iguales. (Becerra Salas, 2012)
- Se ejecutan leves golpes a través de una pequeña manivela, que agita el plato de bronce hasta unir y cerrar el corte de 2 milímetros. Cuando alcanza los 25 golpes y se cierra el corte

hecho con anterioridad, se obtiene contenido de humedad del límite líquido. (Becerra Salas, 2012)

2.2.7.3.2. Limite Plástico (LP).

Es el porcentaje de humedad con el que el suelo cambia a una consistencia levemente sólida para formar cilindros de 3 mm de diámetro sin romperse. Se trabaja con la fracción del suelo que atraviesa la zaranda #40. (Becerra Salas, 2012)

2.2.7.3.3. Índice de Plasticidad (IP)

$$IP = LL - LP$$

Propiedad específica para para la caracterización de suelos arcilloso (Becerra, 2012).

Tabla 8. Valores del IP

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

Nota. Reproducido del manual de carreteras, 2014, del M.T.C.

2.2.7.4. C.B.R.

Ensayo que permite valorizar la resistencia del suelo, referido al 95% de la máxima densidad seca (M.D.S). (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

Se considera lo siguiente, respecto a los valores obtenidos de CBR (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014):

- Se toma un valor promedio en secciones con seis o más valores de CBR de suelos con características homogéneas. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)
- En el caso de zonas con menos de seis valores de CBR ensayados y con características similares, se determinará el valor de CBR de diseño en función de:
 - ✓ Un valor promedio, si los valores son similares. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)
 - ✓ El valor más bajo o crítico, si los valores no son similares. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

De esta manera el M.T.C determina un rango de valores porcentuales para categorizar los resultados obtenidos en los ensayos en la tabla 9:

Tabla 9. Categorías de Subrasante

CATEGORÍAS DE SUB RASANTE	CBR
S ₀ : Sub rasante Inadecuada	CBR < 3%
S ₁ : Sub rasante insuficiente	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S ₂ : Sub rasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S ₃ : Sub rasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S ₄ : Sub rasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S ₅ : Sub rasante excelente	CBR ≥ 30%

Nota. Reproducido del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

2.2.7.5. Humedad del suelo

Conocer la dinámica del agua en el terreno es de vital importancia al momento de diseñar un pavimento, ya que se debe de tomar en cuenta la cantidad, el efecto y cambios que podrá ejercer ésta en la composición y características físicas del suelo. El agua se encuentra e interviene entre las principales propiedades del suelo, tales como, consistencia, porosidad, compactación y densidad aparente, por mencionar solo algunas, es por eso que se debe tener en cuenta, en base a estudios climatológicos e hidrológicos. (Flores Delgadillo, 2010)

El contenido de humedad en un suelo, se determina por porcentajes respecto al volumen que ocupan dentro de una unidad de masa solida del terreno. (Flores Delgadillo, 2010)

$$\theta = \frac{V_w}{V_t} = \frac{V_w}{V_s + V_f} \qquad V_f = V_a + V_w$$

En las ecuaciones dadas, se representa al volumen del agua como V_w , al volumen de solidos como V_s , al volumen de poros como V_f , y al volumen total de la muestra como V_t . (Flores Delgadillo, 2010)

2.2.8. Tránsito

El conteo vehicular, resulta una recopilación de información requerida para el método AASHTO, ya que con ésta determinamos el tipo de ejes de los vehículos que pasan y pasaran sobre la vía proyectada, y con esto, se calculan las cargas que éstas generan, tanto de vehículos pesados como livianos que recorren la vía, permitiéndonos hallar la cantidad de Ejes equivalentes. (Tapia García, 2015)

El cálculo para la cantidad de ejes equivalentes simples de 8.2 ton, se puede hallar mediante la fórmula que nos proporciona el método AASHTO. (Tapia García, 2015):

$$W_{18} = D_D \times D_L \times ESAL$$

De acuerdo a (Tapia García):

- W_{18} = Tránsito acumulado, EE de 8.2 ton, por carril. (2015)
- D_D = Factor de distribución direccional. (2015)
- D_L = Factor de distribución por carril. (2015)
- ESAL = Ejes equivalentes acumulados. (2015)

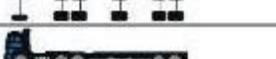
El cálculo de los EE acumulados en ambas direcciones, se deberá estimar en base al tiempo de diseño en años y el factor emitido por SUTRAN correspondiente a la tasa de crecimiento anual de vehículos pesados (Tapia García, 2015), el cual, será obtenido de los datos proporcionados por la SUTRAN.

$$ESAL = TDPA \times 365 \times f_{Ei} \times N_i \times G_{jt}$$

Donde:

- TDPA = Transito Diario Promedio Anual. (Tapia García, 2015)
- f_{Ei} = Factor de equivalencia de carga por categoría de eje i. (Tapia García, 2015)
- N_i = Número de ejes por categoría i de vehículo . (Tapia García, 2015)
- G_{jt} = Factor de crecimiento para determinada tasa de crecimiento j. (Tapia García, 2015)

Tabla 10. Pesos y Medidas

Configuración Vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Longitud Máxima (m)	Eje delantero	Peso Máximo (t)				Peso Bruto Máximo (t)
				Conjunto de Ejes Posteriores				
				1°	2°	3°	4°	
C2		12,20	7	11	-	-	-	18
C3		13,20	7	18	-	-	-	25
C4		13,20	7	23 (1)	-	-	-	30
8x4		13,20	7+7 (5)	18	-	-	-	32
C3R2		23,00	7	18	11	11	-	41
C3R3		23,00	7	18	11	8	-	48 (2)
C3R12		20,50	7	18	18	-	-	43
T2S2		20,50	7	11	18	-	-	39
T2S1		20,50	7	11	25	-	-	43
T2Se2		20,50	7	11	11	11	-	41
T2Se3		20,50	7	11 (4)	11	8	-	47

Nota. Reproducido del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

2.2.8.1.1. Volumen de Tránsito

De acuerdo con Cárdenas Grisales et al. (1994) es la cantidad de vehículos motorizados que transitan por un punto del tiempo y el espacio sobre una vía, que puede ser un camino vecinal pavimentado o no. Los volúmenes de tránsito son:

2.2.8.1.1.1 Volúmenes de Tránsito Absolutos

Considerando el periodo de tiempo en que se haga la toma de datos, pueden ser:

- ✚ **V.T. Anual (TA):** Cantidad de vehículos que fluyen durante un año. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

- ✚ **V.T. Mensual (TM):** Cantidad de vehículos que fluyen durante un mes. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

- ✚ **V.T. Semanal (TS):** Cantidad de vehículos que fluyen durante una semana. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

- ✚ **V.T. Diario (TD):** Cantidad de vehículos que fluyen durante un día. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

- ✚ **V.T. Horario (TH):** Cantidad de vehículos que fluyen durante una hora. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

- ✚ **Flujo (q):** Cantidad de vehículos que fluyen durante un periodo menos a una hora. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

2.2.8.1.1.2 Volúmenes de Tránsito Promedios Diarios

Se representa con las siglas TPD, y es el tipo de volumen de tránsito que se registró

para la presente investigación, considerando un tiempo mayor a un día, y menor a un año, el cual divide a la cantidad de vehículos motorizados que fluirán sobre la vía de estudio. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994):

$$TPD = \frac{N}{1 \text{ día} < T \leq 1 \text{ año}}$$

Matemáticamente se pueden representar los volúmenes promedio anual, mensual y semanal como se indica líneas abajo. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola), son:

TPDA = TA/365. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

TPDM = TM/30. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

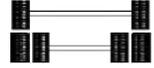
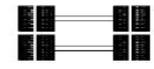
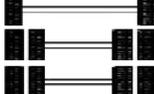
TPDS = TS/7. (Cárdenas Grisales, Cal, & Reyes Spíndola, 1994)

2.2.8.1.1.3 Número de Repeticiones de Ejes Equivalentes

El M.T.C ha sabido resumir en el manual de carreteras, este parámetro elaborado por AASHTO, que sirve como unidad de medida para el tránsito, el cual no viene a ser más que una configuración de equivalencia, representado por el número de veces por el

cual un eje simple convencional de peso de 8.2 toneladas de carga es tolerado por la estructura del pavimento. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

Tabla 11. Tipos de Ejes y su representación gráfica

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	Nº de Neumáticos	Gráfico
EJE SIMPLE (Con Rueda Simple)	1RS	02	
EJE SIMPLE (Con Rueda Doble)	1RD	04	
EJE TANDEM (1 Eje Rueda Simple + 1 Eje Rueda Doble)	1RS + 1RD	06	
EJE TANDEM (2 Ejes Rueda Doble)	2RD	08	
EJE TRIDEM (1 Rueda Simple + 2 Ejes Rueda Doble)	1RS + 2RD	10	
EJE TRIDEM (3 Ejes Rueda Doble)	3RD	12	

Nota. Reproducido del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

Tabla 12. Determinación de EE por tipo de eje del vehículo para pavimentos flexibles, semirrígidos y afirmados.

Tipo de Eje	Eje Equivalente (EE _{8.2 ton})
Eje Simple de ruedas simples (EE _{S1})	$EE_{S1} = [P / 6.6]^{4.0}$
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})	$EE_{TA2} = [P / 15.1]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) (EE _{TR1})	$EE_{TR1} = [P / 20.7]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) (EE _{TR2})	$EE_{TR2} = [P / 21.8]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

Nota. Reproducido del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

2.3. Marco Conceptual

- **Agregado:** Elemento de composición mineral, generalmente granular de dimensiones variadas. (MTC, 2008)
- **Análisis Granulométrico:** Estudio de los distintos tamaños granulares que pueden presentarse en un suelo o muestra de agregado, así como también la distribución cuantitativa del mismo. (MTC, 2008)
- **Arcillas:** Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0,002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales. (MTC, 2008)
- **Calicata:** Exploración mecánica a nivel del terreno de entre 1.20 a 1.50 m de profundidad, que identifica los diferentes estratos que puede presentar el terreno o suelo. (MTC, 2008)
- **Camino:** Vía terrestre para el libre tránsito de automóviles, peatones y animales. (MTC, 2008)
- **Carretera:** Vía diseñada por profesionales, que cumple los requisitos mínimos de funcionalidad impuestos por el Ministerio de transporte y comunicaciones, y por la cual transitan libremente vehículos motorizados de por lo menos 2 ejes. (MTC, 2008)
- **Carril:** Ancho de la calzada por la cual transitan una fila de vehículos en un mismo sentido. (MTC, 2008)
- **C.B.R.:** Resultado porcentual que representa el soporte o resistencia de una subrasante de suelo. (MTC, 2008)

- **Coeficientes estructurales:** Valores numéricos estructurales para la capa superficial, base y subbase del pavimento a diseñar. Dichos valores, representan relativamente la capacidad de cada capa para funcionar como un solo paquete estructural. (MTC, 2008)
- **Compactación:** Procedimiento que minimiza un volumen total comprimiéndolo y liberándolo de vacíos. (MTC, 2008)
- **Contenido de humedad:** Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente. (MTC, 2008)
- **Dispositivos de control de tránsito:** Señales, marcas, semáforos y dispositivos auxiliares que tienen la función de facilitar al conductor la observancia estricta de las reglas que gobiernan la circulación vehicular, tanto en carreteras como en las calles de la ciudad. (MTC, 2008)
- **Elasticidad:** Facultad de un material para retornar a su forma inicial, luego de haber sufrido cambios en su forma debido a una fuerza aplicada a ésta. (MTC, 2008)
- **Emulsión asfáltica:** Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo. (MTC, 2008)
- **Estudio de suelos:** Documento técnico que engloba el conjunto de exploraciones e investigaciones de campo, ensayos de laboratorio y análisis de gabinete que tiene por objeto estudiar el comportamiento

de los suelos y sus respuestas ante las solicitaciones de carga. (MTC, 2008)

- **Finos:** Porción del agregado fino o suelo que pasa la malla N° 200 (0,074 mm). (MTC, 2008)
- **Fisura:** Fractura fina, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 3 milímetros. (MTC, 2008)
- **Napa Freática:** Nivel del suelo, en el que se puede encontrar agua subterránea. El nivel se puede dar a una profundidad relativamente corta. (MTC, 2008)
- **Obra:** Infraestructura funcional y rentable, que se aplica en un área determinada, y que emplea conceptos e ideas técnicas y profesionales de antemano, plasmadas en un archivo o expediente técnico ordenado, para asegurar su viabilidad en el tiempo y espacio; se usa por lo general, factores humanos, maquinarias y materiales para su ejecución. (MTC, 2008)
- **Pavimento:** Paquete estructural construido específicamente para transmitir los esfuerzos generados por las cargas de los vehículos y que serán soportados en su mayoría por la subrasante del terreno. Un pavimento garantiza comodidad y seguridad al momento de transitar sobre él.
- **Licuefacción:** Proceso de transformación del suelo del estado sólido al estado líquido. (MTC, 2008)
- **Subrasante:** Nivel del pavimento fundamental, relacionado con la resistencia a las cargas vehiculares, y sobre el cual, se construirá el

paquete estructural diseñado por los profesionales viales de la construcción. (MTC, 2008)

- **Trocha carrozable:** Vía transitable que no alcanza las características geométricas de una carretera. (MTC, 2008)
- **Tránsito:** Paso o movimiento de vehículos y/o personas que se desplazan por una vía. (MTC, 2008)
- **Vía:** sendero, calle o espacio, por el que transitan personas o vehículos, y que conecta dos o más lugares. (MTC, 2008)
- **Vida útil:** Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido. (MTC, 2008)

2.4. Hipótesis

El diseño estructural del pavimento de la vía que vinculará al anexo CPM Ciudad de Dios con la carretera Simbal a la altura del kilómetro 22.5, Trujillo, La Libertad; debe ser diseñado usando el método AASHTO 93, lo cual mejorará la transitabilidad del centro poblado y, en consecuencia, las condiciones económicas y calidad de vida de los pobladores. El pavimento flexible será el más idóneo para el diseño, por tener costos iniciales más económicos y ajustados al presupuesto de la zona.

2.5. Variable

 **Variable Compleja:** Diseño Estructural del Pavimento.

2.5.1. Operacionalización de la Variable

Tabla 13. Operacionalización de Variable

Variable Compleja	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Instrumentos
Diseño estructural del pavimento	Consiste en definir la geometría de la estructura y la dimensión de los elementos que la conforman y la resistencia.	Estudio de suelos	Análisis granulométrico por tamizado	mm	Ensayo MTC E 107
			Material que pasa la malla N°200	%	Ensayo MTC E 202
			Contenido de Humedad	%	Ensayo MTC E 108
			Límites de Consistencia	Adimensional	Ensayo MTC E 110-111
			Contenido de sales solubles totales	%	Ensayo MTC E 219
			CBR	%	Ensayo MTC E 132
			Proctor modificado	gr/cm2	Ensayo MTC E 115
			Gravedad Especifica de Sólidos	gr/cm2	Ensayo ASTM-854-58
		Análisis de tránsito	Volumen	Intervalo (veh/hora)	Ficha de Registro de Datos
			Peso	Intervalo (ton)	
		Tránsito estimado (Wt18)	Cantidad de vehículos y ejes equivalentes	und.	

		Nivel de confiabilidad (R)	Según la función que desempeñe la carretera	%	- Plantilla de excel - Manual MTC 2014 - Tablas AASHTO-93
		Desviación estándar (S0)	Margen de error del comportamiento de tránsito	%	
		Módulo Resiliente (MR)	Características del suelo	lb/plg2	
		Perdida del nivel de servicio (Δ PSI)	Serviciabilidad inicial y final	adimensional	
		Número estructural	Coefficientes estructurales que permiten definir las magnitudes en las capas que conforman el pavimento	adimensional	
		Señalización de Transporte	Señales Verticales	Adimensional	Manual del MTC 2014
			Señales Horizontales		
			Señales Informativas		

III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Tipo y Nivel de Investigación.

Tipo: Aplicada

Nivel: Descriptiva

3.2. Población y Muestra de Estudio

3.2.1. Población

La población está conformada por 69.21 km de red vial vecinal del distrito de Laredo, Trujillo, La Libertad, de la cual 25.43 km son afirmado y 9.85 km es trocha carrozable, de acuerdo con la Oficina de programación multianual de inversiones.

3.2.2. Muestra

Inicia en el km 22.5 aprox. de la RVN PE-10A (km 0+000) hasta la progresiva 1+346.53, de longitud 1.346 km.

3.3. Diseño de Investigación

Investigación No Experimental, al no poder manipular la variable de estudio.

Asimismo, la presente es una Investigación de Campo, ya que la recolección de datos se realizó en la zona de estudio, tales como la extracción de muestras de suelos, el estudio de tráfico y la elaboración del diseño estructural de la pavimentación de la vía.

3.4. Técnicas e instrumentos de Investigación

- Observación: Reconocer y explorar visualmente el campo, identificando la zona de estudio, el tipo de terreno a explorar con ayuda de las calicatas y la elección de un punto de control o estación para el posterior conteo vehicular, todo lo registramos en un cuaderno de notas, así como se acumula evidencia fotográfica para el informe de tesis.
- Conteo de vehículos: Realizado en campo, en conjunto con un instrumento de recolección de datos Ficha estándar de Conteo y Clasificación vehicular, Formato 1.3 perteneciente al Ministerio de Transporte y Comunicaciones, descargado de la página de SUTRAN.
- Posteriormente, el suelo se almacena en bolsas, se rotula y codifica para llevar a laboratorio y realizar los ensayos requeridos como: Análisis granulométrico, ensayo C.B.R., contenido de humedad, etc.
- Finalmente se procesa, interpreta y resuelve, en base a fórmulas, para obtener los resultados requeridos para el diseño del pavimento.

3.5. Procesamiento y Análisis de Datos

- Se procedió a registrar los datos obtenidos del conteo vehicular de campo, así como los valores hallados en el laboratorio “DERAZA Laboratorios E.I.R.L.”, es así como se procesa la información en base a fórmulas y plantillas prediseñadas en Excel.
- En Microsoft Word, se trabajó desde el inicio del proyecto de investigación hasta este punto, plasmando la información rebuscada

en las diferentes fuentes bibliográficas y los resultados obtenidos para la elaboración del informe final y borradores antes de éste, de manera digital y posterior impresión.

- Con ayuda del AutoCAD y Civil 3D, se pudo exportar imágenes trazando puntos y líneas para una mejor identificación de los puntos de control y las calicatas, y además definir las secciones transversales a lo largo del trayecto de la vía.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Propuesta de Investigación

La presente investigación, opta por diseñar estructuralmente un pavimento del tipo flexible, por ser más vial y con creces el más usado, además por ser más económico en sus costos iniciales respecto al pavimento rígido. Se utilizará el método AASHTO 93, es así, como el diseño resultará en una considerable mejora del tránsito vehicular, optimizando la transitabilidad, mejorando la comunicación y conectando a este solitario centro poblado con sus hermanos vecinos que se encuentran en las zonas aledañas a este amplio valle en el distrito de Laredo.

De esta manera, cumpliendo con los parámetros y objetivos planteados, se registró información del tipo y número de vehículos que circulan sobre la vía, posteriormente una exploración de suelos, realizando 3 calicatas en diferentes puntos del tramo a estudio, en busca de obtener muestras confiables que permitan obtener en el laboratorio los datos más precisos, fortaleciendo nuestra propuesta de diseño de pavimento.

4.2. Análisis e Interpretación de Resultados

4.2.1. Estudio de Tráfico

Como parte de los objetivos específicos se realizó el estudio de tráfico por un lapso de 13 horas continuas durante 7 días consecutivos, con lo cual se pudo identificar, el tipo de vehículos. En la figura 20, se evidencia y registra parte del trabajo realizado en campo.

4.2.2. Situación Actual

Longitud Total de la vía de trocha carrozable	1.346 km
---	-----------------

4.2.3. Clima

Promedio de Lluvias (Marzo - Abril)	10 mm
Temperatura	17 - 26 °C
Frecuencia de días mojados (> 1mm)	0 - 9%

4.2.4. Metodología de Trabajo de Campo

Conforme a recomendación del Asesor se realizó un Estudio de Tráfico, de la siguiente manera: Conteo de vehículos por 13 horas consecutivas Ida y Vuelta durante un periodo de 7 días continuos, registrado en un formato de tabla descargado de la página del MTC y posteriormente modificado para fines de un mejor procesamiento de datos.

Por otra parte, se escogieron 3 puntos en el tramo de la vía, para proceder con la excavación de calcatas, dichos puntos se escogieron en base a las diferentes características físicas que se pudieron observar en la exploración en campo; se procedió entonces con la extracción de

muestras de suelo de aprox. 7 kg por calicata para su posterior análisis en el laboratorio.

4.2.4.1. Estudio Topográfico

Se identificó una topografía llana con pendiente moderada y se determinó una longitud total de camino de 1.36 km, donde el punto de partida se encuentra en el kilómetro de la carretera de Trujillo a Otuzco y finaliza en la entrada de la zona urbana del centro poblado de Ciudad de Dios, además se puede evidenciar en el recorrido un ancho de 5.00 m de trocha, teniendo pendientes de 1% al 2%. Por el tiempo de servicio La municipalidad distrital de Laredo, facilitó al investigador con los planos de trazo Por el tiempo de servicio, este tramo, tienen deterioros que han derivado en problemas funcionales y estructurales en el pavimento, y en general en su infraestructura vial, como consecuencia del tráfico, cargas que soportan, condiciones climatológicas y eventos extraordinarios (Fenómeno del Niño, Sismos y otros), que se manifiestan con la presencia de sectores homogéneos en cuanto a la evolución de su deterioro, y también problemas puntuales y/o puntos críticos, motivo por el cual es necesario ejecutar trabajos oportunos de Mantenimiento Periódico que incluyan Reparaciones, a fin de preservar el Patrimonio Nacional.

4.2.4.2. Señalización y Seguridad Vial

Complementando la investigación y de acuerdo al estudio se propone un total de 5 unidades de Señales Preventivas y 17 Señales Informativas a lo largo del trayecto planteado.

4.2.4.3. Exploración De Campo

Tabla 14. Exploración de Suelo

CALICATA	Nomenclatura	Profundidad (m)
1	PC-01	1.50
2	PC-02	1.50
3	PC-03	1.50

Nota. Adaptada del informe de resultados de DERAZA Laboratorios, 2022.

4.2.5. Metodología de Trabajo de Gabinete

4.2.5.1. Conteo de Vehículos

Para el conteo y control de vehículos se decidió ubicarse en el punto “E” en la entrada al centro poblado, como se muestra en la figura 22, registrando el tráfico de vehículos del 20 al 26 de octubre del presente desde las 6 de la mañana hasta las 7 de la noche. Se indica un resumen de la semana en siguiente tabla:

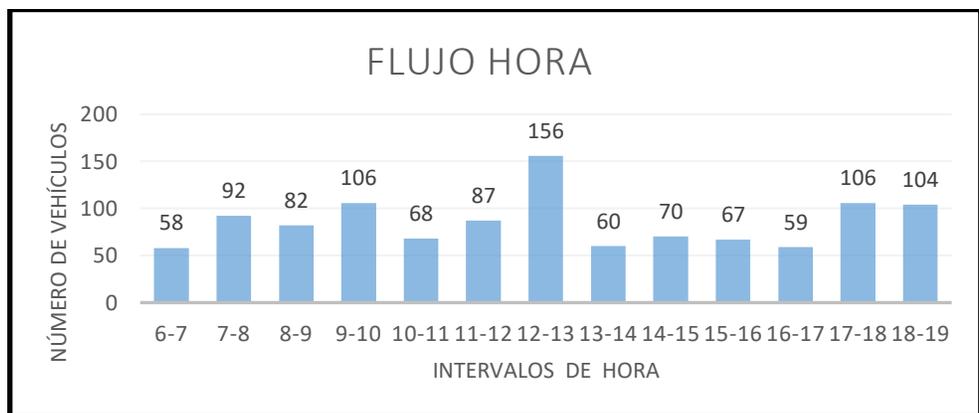
Tabla 15. Conteo de Vehículos (Entrada al centro poblado Ciudad de Dios)

DIA	FECHA	MOTO	M.TAXI	AUTO	SW	CAMIONETAS			BUS	CAMION		
						PICKUP	PANEL	RURAL Combi	2 E	2 E	3 E	4 E
Jueves	20/10/2022	314	199	258	74	86	60	55	0	50	7	0
Viernes	21/10/2022	312	187	265	86	96	40	68	0	50	7	4
Sábado	22/10/2022	211	122	229	83	68	37	49	5	29	8	0
Domingo	23/10/2022	89	61	80	49	19	24	27	2	6	2	0
Lunes	24/10/2022	326	182	258	67	90	36	42	0	48	12	2
Martes	25/10/2022	285	179	241	69	88	46	46	0	45	10	1
Miércoles	26/10/2022	313	196	234	63	90	37	47	0	43	4	2

Nota. Resumen del conteo vehicular durante una semana, por un periodo de tiempo de 13 horas continuas.

4.2.5.2. Variación horaria de volumen de tránsito

Figura 1. Flujo Hora de Máxima Demanda



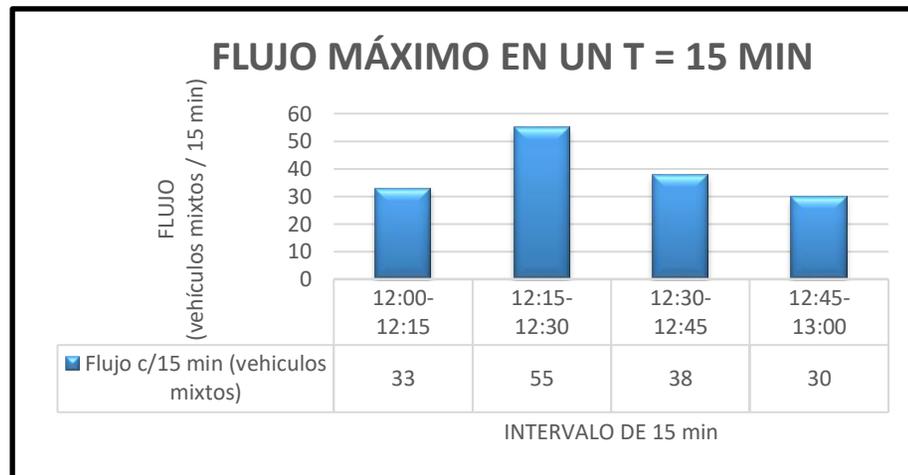
Nota: Datos expresados en vehículos/hora. Se consideró el día con mayor presencia de vehículos (1115), el cual fue el día viernes 21 de Noviembre del 2022

Entre el medio día y la una de la tarde se halló:

$$\mathbf{VHMD = 156 \text{ vehículos mixtos / hora}}$$

Se indica se indica el flujo máximo de vehículos en T=15 min:

Figura 2. Flujo máximo en un T = 15 min.



Nota: Se determinó la cantidad de vehículos en un periodo de 15 minutos, durante la hora de mayor flujo vehicular mixto del día 21 de Noviembre del 2022, determinando la mayor fluctuación entre las 12:15 y 12:30 p.m.

$$\mathbf{12:15 - 12:30 \text{ hr} = 55 \text{ vehículos mixtos}}$$

Entonces:

$$\mathbf{q_{max15} = 55 \text{ vehículos mixtos}}$$

Por lo tanto:

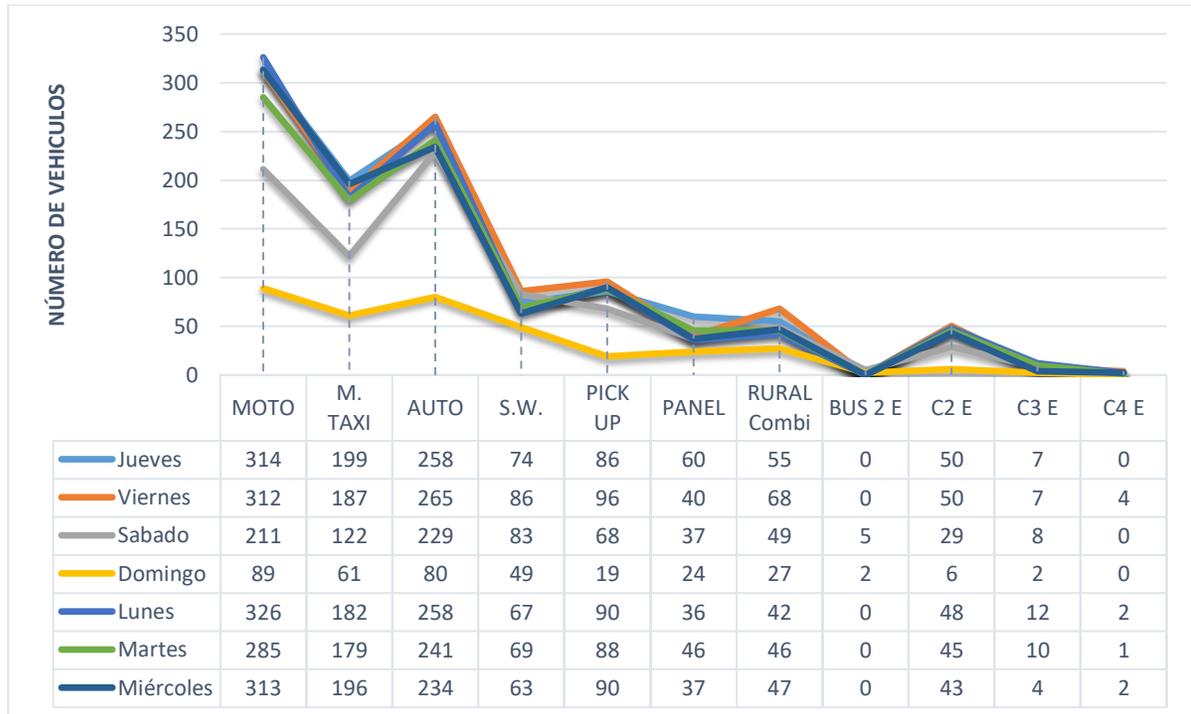
$$\mathbf{FHMD = \frac{VHMD}{4x(q_{max15})}}$$

$$\mathbf{FHMD_{15} = 0.71}$$

El flujo máximo por hora es de:

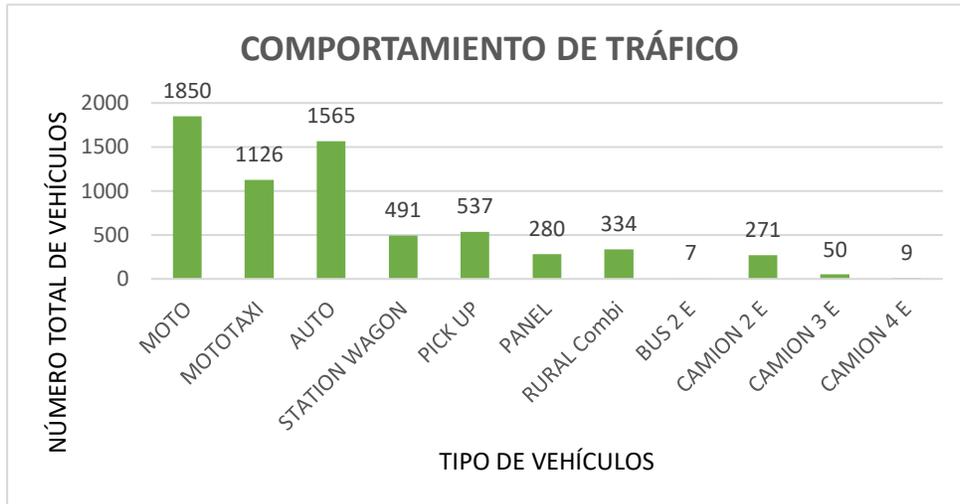
$$4 (q_{\max 15}) = 220 \text{ vehículos mixtos / hora}$$

Figura 3. Volumen de tráfico durante la semana



Nota: Se determinó el fin semana, viernes 21 de Noviembre del 2022 con 1115 vehículos motorizados en total, como el día de mayor volumen de tráfico alcanzado.

Figura 4. Comportamiento del tráfico durante la semana



Nota: Se destaca en esta zona rural, la mayor cantidad de autos y motos como vehículos ligeros predominantes ruedas, y a los camiones de 2 ejes como el vehículo predominante respecto a los vehículos pesados.

4.2.5.3. Cálculo del IMD, Tasas De Crecimiento y Proyección, Número De Repeticiones (EE), ESALs, Fd, Fc, Fca y Fvp.

Teniendo en cuenta que el Transito semanal es de 6520 vehículos. Y Siendo que los factores de corrección correspondiente al peaje de Menocucho, son los más adecuados por su proximidad a la zona de estudio, se obtuvieron de la página de SUTRAN, se procedió a hallar los IMDs y el IMDa para cada vehículo y en total promedio. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

- Teniendo en cuenta que: $T_n = T_o (1+r)^{n-1}$

Donde:

T_n = Tránsito proyectado al año “n” en veh/día. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

To = Tránsito actual (año base o) en veh/día. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

n = Número de años del período de diseño. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

r = Tasa anual de crecimiento del tránsito. (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

- Siendo los factores de corrección:

Fe LIVIANO =	0.852
Fe PESADO =	0.803

- Y:

TASAS DE CRECIMIENTO (r) EN LA LIBERTAD	Tasa Anual de Vehículos Livianos	1.26%
	Tasa Anual de Vehículos Pesados	2.83%
	Años que pasa del estudio al proyecto- ejecución = n	4

- En la tabla N^o 33 en la sección ANEXOS, podemos apreciar el cálculo de los EE.
- Obtenemos el Fd, Fc y el Fca con ayuda de las siguientes tablas:

Tabla 16. 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 la calzada)	1 sentido	1	1.00	1.00	1.00
	1 sentido	2	1.00	0.80	0.80
	1 sentido	3	1.00	0.60	0.60
	1 sentido	4	1.00	0.50	0.50
	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
2 calzadas con separador central (para IMDa total de las dos calzadas)	2 sentidos	1	0.50	1.00	0.50
	2 sentidos	2	0.50	0.80	0.40
	2 sentidos	3	0.50	0.60	0.30
	2 sentidos	4	0.50	0.50	0.25

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

Tabla 17. Factores de Crecimiento Acumulado (Fca)

Periodo de Análisis (años)	Factor sin Crecimiento	Tasa anual de crecimiento (r)							
		2	3	4	5	6	7	8	10
1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2	2.00	2.02	2.03	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.00	3.06	3.09	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.00	4.12	4.18	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.00	5.20	5.19	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.00	6.31	6.47	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.00	7.43	7.66	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.00	8.58	8.89	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.00	9.75	10.16	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.00	10.95	11.46	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	11.00	12.17	12.81	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	12.00	13.41	14.19	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	13.00	14.68	15.62	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	14.00	15.97	17.09	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	15.00	17.29	18.60	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	16.00	18.64	20.16	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	17.00	20.01	21.76	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	18.00	21.41	23.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	19.00	22.84	25.12	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	20.00	24.30	26.87	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28

Nota. El valor del Fca es 26.422, se halla comprendido entre 24.30 y 26.87.

Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

$$\text{Factor Fca} = \frac{(1+r)^n - 1}{r}$$

Donde

- r** = Tasa anual de crecimiento
- n** = Período de diseño

- Se obtienen los IMD:

Tabla 18. Resultados del IMDs, IMDa actual y el IMDa proyecto-ejecución

	MOTO	MOTO TAXI	AUTO	SW	PICKUP	PANEL	RURAL Combi	BUS 2 E	C2E	C3E	C4E	IMD
												
IMDs	264.29	160.86	223.57	70.14	76.71	40.00	47.71	1.00	38.71	7.14	1.29	931
IMDa2022	225	137	191	60	65	34	41	1	31	6	1	792
IMDa2026	234	142	198	62	68	35	42	1	34	6	1	824

Nota. El IMDa al 2026, se consideró n=4 años del estudio hacia la ejecución del proyecto.

- Las Tablas 9, 10, 11, 14, 15, 16 y 17, y una plantilla formulada de Excel, nos permiten obtener los ESALs proyectados para un diseño de 20 años, resumido en la tabla:

Tabla 19. Cálculo del ESAL

Tiempo (años) de vida útil del Pavimento	Pd	20
Factor "Fca" de vehículos pesados	Fca	26.422
Nº (Calzadas, Sentido, Carril por Sentido)	1 Calzada / 2 Sentidos / 1 Carril	
Factor Direccional	Fd	0.5
Factor de Carril	Fc	1
Numero de EE (Ejes Equivalentes) (ESALs)	ESALs	877,571

4.2.6. Ensayos en laboratorio

Bajo las normas vigentes se realizaron los ensayos en DERAZA Laboratorios E.I.R.L, mencionados a continuación, y que se podrán apreciar los resultados en la parte de Anexos de la presente investigación:

- Análisis Granulométrico por Tamizado. ASTM D-422
- Límite Líquido. ASTM D-4318
- Límite Plástico. ASTM D-424
- Contenido de Humedad. ASTM D-2216
- C.B.R. (California Bearing Ratio). ASTM D-1883
- Proctor Modificado. NTP 339.141 (ASTM D-1557)
- Clasificación SUCS.
- Clasificación AASHTO.
- Sales Solubles Totales.
- Contenido de Cloruros. NTP 339.177-02
- Contenido de Sulfatos. NTP 339.178-02

4.2.6.1. Clasificación de suelos, análisis granulométrico, límites de consistencia y humedad natural.

Tabla 20. Clasificación de suelos, análisis granulométrico, límites de consistencia y humedad natural

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	PORCENTAJE QUE PASA (%)		LÍMITES DE CONSISTENCIA		HUMEDAD NATURAL	CLASIFICACIÓN	
		#4	#200	LL	IP	%	SUCS	AASHTO
PC - 01	1.50	97.42	42.72	34.31	16.64	3.09	SC	A-6 (2)
PC - 02	1.50	100	12.95	22.76	8.75	5.38	SC	A-2-4 (0)
PC - 03	1.50	96.9	22.29	30.74	17.3	5.46	SC	A-2-6 (1)

Nota. El valor del Fca es 26.422, se halla comprendido entre 24.30 y 26.87. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

4.2.6.2. Perfil Estratigráfico

Se definen los perfiles por calicata realizada en campo:

Tabla 21. Perfiles estratigráficos para las tres calicatas

CALICATA	MUESTRA	PROF. (m)	DESCRIPCION ESTRATIGRAFICA
PC 01	M1	0.00 – 0.15	Material arcilloso tipo tierra de chacra contaminado con raíces.
	M2	0.15 - 1.50	Arena Arcillosa (SC), color marrón oscuro, estructura compacta cementada por arcillas, con un contenido de humedad de 3.09%, un índice de plasticidad igual a 16.64 y una densidad de 2,16 g/cm ³
PC 02	M1	0.00 – 0.15	Arena de grano medio (SP) contaminado con desmonte y raíces
	M2	0.15 - 1.50	Arena Arcillosa (SC), color marrón oscuro, estructura compacta cementada por arcillas, con un contenido de humedad de 5.38%, un índice de plasticidad igual a 8.75 y una densidad de 1.69 g/cm ³
PC 03	M1	0.00 – 0.15	Material granular arcillo limoso (GC-GM) tipo afirmado contaminado con desperdicios.
	M2	0.15 - 1.50	Arena Arcillosa (SC), color marrón oscuro, estructura compacta cementada por arcillas, con un contenido de humedad de 5.46%, un índice de plasticidad igual a 17.30 y una densidad de 1.72 g/cm ³

Nota. Adaptado del Informe de resultados del Estudio de Mecánica de Suelos, de DERAZA Laboratorios, 2022

4.2.6.3. C.B.R. capacidad portante del suelo.

El análisis en laboratorio, determino los siguientes resultados para las calicatas excavadas:

Tabla 22. CBR de las Exploraciones de Suelo

CALICATA	PROFUNDIDAD (M)	TIPO DE SUELO (SUCS)	CBR AL 95% D.M.S	CBR AL 100% D.M.S
PC - 01	1.50	SC	6.66	8.16
PC - 02	1.50	SC	7.67	11.20
PC - 03	1.50	SC	7.04	9.99

Nota. Adaptado del Informe de resultados del Estudio de Mecánica de Suelos, de DERAZA Laboratorios, 2022

4.2.6.4. Número de Ejes Equivalentes (W_{18}).

El total calculado es de **877,571 EE acumulados** que transitan en el CPM Ciudad de Dios.

4.2.6.5. Módulo De Resiliencia (M_R)

La zona presenta en promedio un CBR Regular, resultados que oscilan entre el 6 y el 8%. Obteniendo así en base a fórmula o también con la tabla N^o 19 un M_R de **8598.34 psi**.

$$M_r (\text{psi}) = 2555 \times \text{CBR}^{0.64}$$

Tabla 23. Correlación del Módulo Resiliente con CBR

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

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

4.2.6.6. Desviación Estándar (Z_R)

Se obtuvo un **Z_R = -0.842**, con la siguiente tabla:

Tabla 24. Desviación Estándar “Z_R”

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DESVIACIÓN ESTÁNDAR NORMAL (Z _R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	-0.385
	T _{P1}	150,001	300,000	-0.524
	T _{P2}	300,001	500,000	-0.674
	T _{P3}	500,001	750,000	-0.842
	T _{P4}	750,001	1,000,000	-0.842
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	-1.036
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	-1.036
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	-1.036
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	-1.282
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	-1.282
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	-1.282
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	-1.282
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	-1.645
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	-1.645
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	-1.645
	T _{P15}		>30'000,000	-1.645

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

4.2.6.7. Desviación Estándar Combinada (So)

Se asumió el valor recomendado de **0.45**, según el (Ministerio de Transporte y Comunicaciones, 2014)

4.2.6.8. Serviciabilidad (Δ PSI)

De acuerdo con el M.T.C. se determinó el valor de **Δ PSI=1.8**, además de poder por obtener las serviciabilidades por separado con ayuda de las tablas 22 y 23:

Tabla 25. Diferencial de Serviciabilidad “ Δ PSI”

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		DIFERENCIAL DE SERVICIABILIDAD (Δ PSI)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,001	1500,000	1.80
	TP1	150,001	300,000	1.80
	TP2	300,001	500,000	1.80
	TP3	500,001	750,000	1.80
	TP4	750,001	1,000,000	1.80
Resto de Caminos	TP5	1,000,001	1,500,000	1.50
	TP6	1,500,001	3,000,000	1.50
	TP7	3,000,001	5,000,000	1.50
	TP8	5,000,001	7,500,000	1.50
	TP9	7,500,001	10'000,000	1.50
	TP10	10'000,001	12'500,000	1.50
	TP11	12'500,001	15'000,000	1.50
	TP12	15'000,001	20'000,000	1.20
	TP13	20'000,001	25'000,000	1.20
	TP14	25'000,001	30'000,000	1.20
	TP15		>30'000,000	1.20

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

Tabla 26. Serviciabilidad Inicial (Pi)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD INICIAL (Pi)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,00	150,000	3.80
	TP1	150,001	300,000	3.80
	TP2	300,001	500,000	3.80
	TP3	500,001	750,000	3.80
	TP4	750,001	1,000,000	3.80
Resto 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 del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

Tabla 27. Serviciabilidad Final (Pt)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD FINAL (Pt)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	TP0	75,000	150,000	2.00
	TP1	150,001	300,000	2.00
	TP2	300,001	500,000	2.00
	TP3	500,001	750,000	2.00
	TP4	750,001	1,000,000	2.00
Resto 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 del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

4.2.6.9. Confiabilidad (R%)

De acuerdo con el M.T.C obtenemos un nivel de confiabilidad del **80%**.

Tabla 28. Confiabilidad para una sola etapa de diseño (10 o 20 años)

TIPO DE CAMINOS	TRÁFICO	EJES EQUIVALENTES ACUMULADOS		NIVEL DE CONFIABILIDAD (R)
Caminos de Bajo Volumen de Tránsito	T _{P0}	75,000	150,000	65%
	T _{P1}	150,001	300,000	70%
	T _{P2}	300,001	500,000	75%
	T _{P3}	500,001	750,000	80%
	T _{P4}	750,001	1,000,000	80%
Resto de Caminos	T _{P5}	1,000,001	1,500,000	85%
	T _{P6}	1,500,001	3,000,000	85%
	T _{P7}	3,000,001	5,000,000	85%
	T _{P8}	5,000,001	7,500,000	90%
	T _{P9}	7,500,001	10'000,000	90%
	T _{P10}	10'000,001	12'500,000	90%
	T _{P11}	12'500,001	15'000,000	90%
	T _{P12}	15'000,001	20'000,000	95%
	T _{P13}	20'000,001	25'000,000	95%
	T _{P14}	25'000,001	30'000,000	95%
	T _{P15}		>30'000,000	95%

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

4.2.6.10. Coeficiente de Drenaje (Cd)

Considerando el clima de Laredo con escasas precipitaciones, parcialmente nublado y seco durante todo el año, se asumió un tipo de drenaje Bueno y con los valores aleatorios para la Base de 1.15% y Subbase de 1%.

Tabla 29. Condiciones y Coeficientes de Drenaje para Bases y Subbases granulares No tratadas en Pavimentos Flexibles.

Calidad de Drenaje	50% de saturación en:	85% de saturación en:
Excelente	2 horas	2 horas
Bueno	1 día	2 a 5 horas
Regular	1 semana	5 a 10 horas
Insuficiente	1 mes	mas de 10 horas
Muy Insuficiente	El agua no drena	mucho mas de 10 horas

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 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
Insuficiente	1.15 – 1.05	1.05 – 0.80	0.80 – 0.60	0.60
Muy Insuficiente	1.05 – 0.95	0.95 – 0.75	0.75 – 0.40	0.40

Nota. Adaptado del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

4.2.6.11. Coeficientes Estructurales

Se definieron los coeficientes, tomando en cuenta lo recomendado de la tabla 30, expuesto por el M.T.C.:

Tabla 30. Coeficientes Estructurales recomendados

COMPONENTE DEL PAVIMENTO	COEFICIENTE	VALOR COEFICIENTE ESTRUCTURAL a_i (cm)	OBSERVACIÓN
CAPA SUPERFICIAL			
Carpeta Asfáltica en Caliente, módulo 2,965 MPa (430,000 PSI) a 20 °C (68 °F)	a_1	0.170 / cm	Capa Superficial recomendada para todos los tipos de Tráfico. Este ES un valor Maximo y de utilizarse como tal, El expediente de ingenieria debe ser explicito en cuanto a pautas de cumplimiento obligatorio como realizar : - Un control de calidad riguroso - Indicar un valor de Estabilidad Marshal, superior a 1000 kf-f - Alertar sobre la susceptibilidad al fisuramiento térmico y por fatiga (AASHTO 1993)
Carpeta Asfáltica en Frío, mezcla asfáltica con emulsión.	a_1	0.125 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 1'000,000 EE
Micropavimento 25 mm	a_1	0.130 / cm	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 1'000,000 EE
Tratamiento Superficial Bicapa.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 500,000 EE. 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
Lechada asfáltica (slurry seal) de 12 mm.	a_1	(*)	Capa Superficial recomendada para Tráfico \leq 500,000 EE. No Aplica en tramos con pendiente mayor a 8% y en tramos que obliguen al frenado de vehiculos
(*) no se considerapor no tener aporte estructural			
BASE			
Base Granular CBR 80%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.052 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico \leq 10'000,000 EE
Base Granular CBR 100%, compactada al 100% de la MDS	a_2	0.054 / cm	Capa de Base recomendada para Tráfico > 10'000,000 EE
Base Granular Tratada con Asfalto (Estabilidad Marshall = 1500 lb)	a_{2a}	0.115 / cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cemento (resistencia a la compresión 7 días = 35 kg/cm ²)	a_{2b}	0.070 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
Base Granular Tratada con Cal (resistencia a la compresión 7 días = 12 kg/cm ²)	a_{2c}	0.080 cm	Capa de Base recomendada para todos los tipos de Tráfico
SUBBASE			
Subbase Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	a_3	0.047 / cm	Capa de Subbase recomendada con CBR minimo 40%, para todos los tipos de Tráfico

Nota. Reproducido del Manual de Carreteras, 2014, del M.T.C.

Se definen entonces los siguientes, coeficientes estructurales para su posterior uso en el cálculo del SN calculado, que vendrá a ser ajustado para dar un valor igual o mayor al SN requerido:

$a_1 = 0.170 \text{ cm}$
$a_2 = 0.052 \text{ cm}$
$a_3 = 0.047 \text{ cm}$

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

Donde:

- a_1, a_2, a_3 = coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente
- d_1, d_2, d_3 = espesores (en centímetros) de las capas: superficial, base y subbase, respectivamente
- m_2, m_3 = coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase, respectivamente

4.2.6.12. Número Estructural (SN) y Espesores de Pavimento

La tabla 30, expone los valores que se fueron obteniendo a lo largo de la investigación, facilitando la aplicación de la ecuación AASHTO:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R S_O + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07$$

Tabla 31. Resumen de resultados obtenidos para el cálculo del SN

VARIABLES	SÍMBOLO	VALOR
Carga de Tráfico Vehicular	ESAL (W18)	877,571
Suelo Subrasante	CBR	6.66
	S ₂	
Módulo de Resiliencia de la Sub Rasante	M _R	8598.34
Tipo de Tráfico	T _P	T _{P4}
Numero de Etapas c/u 10-20 años de diseño	n	1
Nivel de Confiabilidad	R %	80
Coficiente Estadístico de Desviación Estándar Normal	Z _R	-0.842
Desviación Estándar Combinado	S _O	0.45
Índice de Serviabilidad Inicial según Rango de Trafico	P _i	3.80
Índice de Serviabilidad Final según Rango de Trafico	P _t	2.00
Diferencial de Serviabilidad según Rango de Trafico	ΔPSI	1.80

Usando una plantilla de Excel, dividimos la ecuación AASHTO-93 en dos sub-ecuaciones para formular una igualdad para obtener así ecuaciones independientes que nos permitan hallar una igualdad entre ellas para tantear el valor del SN requerido:

$\text{Log}_{10}(W18) - Z_r \times S_o + 0.20 + 8.07$	14.592 ... Ecuación I
$9.36 \times \text{Log}_{10}(SN+1) + \frac{\text{Log}_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \text{Log}_{10}(Mr)$	14.592 ... Ecuación II

Es así como se halla el **SN** requerido con un valor de **2.97**, lo que nos permite realizar tanteos y proponer 5 diferentes alternativas o propuestas para el paquete estructural, que se ajustarán al presupuesto de la municipalidad de Laredo.

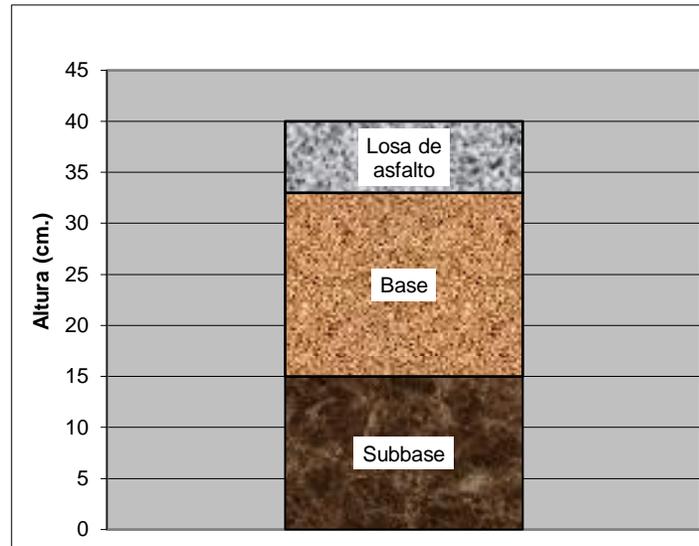
Alternativa	SN req	SN cal	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Observación
1	2.970	2.971	7.00	18.00	15.00	CUMPLE
2	2.970	2.988	2.50	24.00	24.00	CUMPLE
3	2.970	2.989	6.00	18.00	19.00	CUMPLE
4	2.970	2.986	5.00	20.00	20.00	CUMPLE
5	2.970	2.986	4.00	22.00	21.00	CUMPLE

Nota. Realizando iteraciones, se propuso un total de 5 alternativas que cumplen con su semejanza con el Numero estructural requerido.

Para el caso de esta situación del trabajo de investigación, seleccionamos la alternativa 1, por tener el SN calculado más similar numéricamente al del SN requerido, y así tenemos:

Espesor de capa Superficial (Carpeta Asfáltica en caliente)	D1 = 7 cm
Espesor de Base Granular	D2 = 18 cm
Espesor de Subbase	D3 = 15 cm

Figura 5. Distribución en altura de las Capas



Nota: Los espesores de cada una de las capas del paquete estructural del gráfico, son las que mejor se ajustan al resultado del Numero estructural de la alternativa 1.

4.3. Prueba de Hipótesis.

El método AASHTO-93 es la más adecuada y detallada metodología para el diseño estructural del pavimento que vinculará la carretera de la localidad de Simbal al CP Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad, así mejora la transitabilidad de vehículos, las condiciones económicas y la calidad de vida de los pobladores. El pavimento flexible se ajusta mejor al diseño de ésta vía, debido al presupuesto menor que ésta conlleva para su ejecución.

V. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

- El conteo vehicular se realizó por un plazo de 7 días calendarios por un total de 13 horas diarias, dicha recopilación, permitiendo una mejor recopilación de datos, haciendo más preciso el estudio, cabe recalcar que a medida que se tome más tiempo para el conteo vehicular, adjunta datos más precisos.
- El flujo vehicular actual se conforma por el tránsito de motos, moto taxis, autos, station wagon, combis, camionetas, incluso camiones de 2 y 3 ejes, entre otros, siendo así que, se observa un tránsito alto al mediodía y en la tarde a partir de 6 p.m. aproximadamente.
- En concordancia a la información de la estación meteorológica, el clima en el área del CPM Ciudad de Dios, Laredo, Trujillo, La Libertad, presenta veranos cortos, calurosos, semihúmedos y nublados, con inviernos largos y seco durante el año, además las lluvias en promedio solo alcanzan 10 mm de precipitación entre marzo y abril predominantemente, para luego pasar el resto del año con escasa o nula presencia de lluvias como se promedia en el mes de agosto. La temperatura durante el año varía entre 17 y 26 °C, disminuyendo a menos de 16 grados en raras ocasiones.
- La frecuencia de días mojados (aquellos con más de 1 milímetro de precipitación líquida o de un equivalente de líquido) no varía considerablemente según la estación. La frecuencia varía de 0 % a 9 %, y el valor promedio es 4 %.
- El Factor Horario de Máxima Demanda u Hora pico es de 0.71, indica, por su cercanía a la unidad, que el comportamiento de los flujos es más estable, indicando así también que los picos son menos pronunciados.

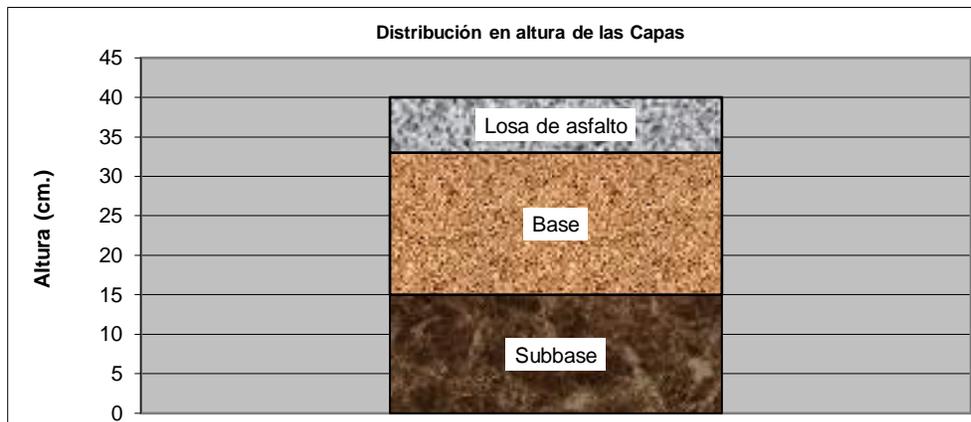
- Se usaron los valores de la tasa de crecimiento para vehículos ligeros y pesados, los mismos que fueron obtenidos de la página de la SUTRAN dirigido por el MTC.
- De acuerdo al análisis de granulometría y dimensiones del material del suelo y contando la zona de la costa sin lluvias o esporádicas precipitaciones pluviales y buena calidad de drenaje, se optó por tomar los valores aleatorios de Base de 1.15% y Subbase de 1%.
- La desviación estándar combinada (S_o) se tomó como valor de 0.45, como valor recomendable promedio, en el manual del MTC para pavimentos flexibles.
- Los ensayos de laboratorio permitieron identificar en la zona, Suelos de arena arcillosa, de plasticidad media, y se realizaron tres ensayos C.B.R. dando como resultados 6.66, 7.67 y 7.04% promediando un total de 7.12%; pero en base de colocar las características más críticas para un diseño más reforzado, se trabajó con el valor más crítico tres C.B.R.
- La presente investigación propone 5 diferentes alternativas o paquetes estructurales de pavimento flexible, todas ellas, en base a la proximidad numérica del Numero estructural calculado al Numero Estructural requerido y que son teóricamente óptimas para su implementación.

Alternativa	SN req	SN cal	D1 (cm)	D2 (cm)	D3 (cm)	Observación
1	2.970	2.971	7.00	18.00	15.00	CUMPLE
2	2.970	2.988	2.50	24.00	24.00	CUMPLE
3	2.970	2.989	6.00	18.00	19.00	CUMPLE
4	2.970	2.986	5.00	20.00	20.00	CUMPLE
5	2.970	2.986	4.00	22.00	21.00	CUMPLE

VI. CONCLUSIONES

- El estudio topográfico del tramo de estudio, fue facilitado al tesista, por parte de la Municipalidad Distrital de Laredo y al Gerente general de la empresa JAF Contratistas Generales, cuando realizaba prácticas profesionales, dando como resultado una longitud de 1.346 km de camino vecinal, identificando una topografía llana con pendiente moderada de pendientes de 1% al 2%, donde el punto de partida se encuentra en el kilómetro de la carretera de Trujillo a Otuzco y finaliza en la entrada de la zona urbana del centro poblado, teniendo verificando alcantarillas de concreto existentes y un ancho efectivo de diseño de 5.00 m de un solo carril, sin señalización a lo largo de la vía. Dicho levantamiento se representa en los planos adjuntos. (ver Anexos)
- El estudio de tráfico permitió hallar un IMDs de 931 veh/día en el tramo de estudio de la progresiva +0.000 ubicado en el km 22.5 del inicio del camino vecinal hacia el CPM Ciudad de Dios, y por consecuencia un IMDa de 792 veh/día, además de un IMDa proyectado a 4 años del estudio a la ejecución de 824 veh/día. Los máximos volúmenes de tránsito se presentaron entre semana. Determinando que la variación Horaria de volumen de tránsito en el día con más presencia vehicular ocurre entre las doce y una de la tarde con un valor de 156 vehículos mixtos por hora y con un flujo máximo por hora de 220 vehículos mixtos. Además, obtenemos un ESALs proyectado para 20 años de 877,571.
- La parte superficial de 0.15 cm de profundidad de la vía a diseñar es de tierra de cultivo, seguido por una Arena Arcillosa en estado compacto y de baja plasticidad, esta última de potencia indefinida. El C.B.R. del material areno arcilloso según análisis de laboratorio fluctúa entre 6.66 y 7.67% al 95% de su Máxima Densidad Seca, considerándose como una subrasante regular a buena.

- El método AASHTO-93 es el más recomendable, pues nos facilita el diseño estructural, dado que cumple con todos los estándares mínimos dados por el M.T.C. y aplicando una metodología más detallada y analítica, por la diversidad de parámetros que enmarca y sus cálculos precisos, ajustándose mejor a las condiciones de exigencia de la zona de estudio
- Concluimos en optar por cinco alternativas diferentes de espesores del paquete estructural, definiendo al final por la alternativa número uno, puesto que es la más similar al número estructural requerido (2.970), evitando así sobredimensionamientos. Es así como queda conformada la Carpeta Asfáltica = 7 cm, Base = 18 cm y Sub base = 15 cm.



- Complementando la investigación y de acuerdo al estudio se propone un total de 5 unidades de Señales Preventivas y 17 Señales Informativas a lo largo del trayecto planteado. (Ver planos)
- En base a la presente investigación, se optó por proponer un pavimento flexible, el cual es más económico, debido, a sus costos iniciales de construcción, bajo volumen de tránsito vehicular y de mayor aplicación en la zona.

VII. RECOMENDACIONES

- Trabajar con las canteras de Laredo, más próximas a la zona de trabajo, por evidenciar calidad y trabajabilidad en los materiales granulares, que se han empleado en múltiples ejecuciones de obra de la Municipalidad, además de garantizar disponibilidad a tiempo y en volumen para evitar retrasos en las labores o trabajos a realizar.
- Mejorar la subrasante con una bolsa de cemento cada 20 m² para optimizar el CBR del suelo a un estado mucho más estable y minimizar el espesor de la carpeta asfáltica.
- Realizar un mantenimiento a las obras de saneamiento a fin de dar solución a las fisuras que se identificaron en las alcantarillas de concreto de la zona ubicadas en las progresivas 0+909.82 y 0+979.83, por encontrarse en condiciones desfavorables, y agregar, un diseño de canales, dado que, al ser un área agrícola, existen tramos de la vía con canales adyacentes no revestidos y que pueden provocar erosión de la vía y su posterior fallo, a nivel funcional y estructural.
- Realizar un plan de mantenimiento periódico trimestral del tramo de la vía, para identificar y dar solución a posibles filtraciones de agua, de los canales adyacentes y limpieza de cunetas, estado de la vía, etc. y así garantizar y preservar la integridad y funcionalidad del pavimento, además de reducir los costos en su rehabilitación y/o reconstrucción.
- Se recomienda, si el presupuesto y la inversión pública y/o privada, lo permiten, habilitar un pavimento del tipo rígido, puesto que, es más durable, más resistente, más impermeable y requiere de menos mantenimiento y, por lo tanto, perdurara más en el tiempo de su vida útil.

REFERENCIAS

- America, E. E. (12 de Noviembre de 2020). *El Economista America.pe*. Obtenido de <https://www.eleconomistaamerica.pe/economia-eAm-peru/noticias/10884214/11/20/PERUCAMARAS-EI-842-de-carreteras-en-la-Macro-Region-Norte-no-esta-pavimentado.html>
- Antón Fiestas, C. J., & Yangua Salazar, M. L. (2020). *Evaluación De Canteras Km 0+860 Y Carabamba En El Diseño Estructural Del Pavimento Flexible De La Carretera Tramo DV.LI-119: Centro Poblado De Ancush, Provincia De Julcan, Departamento De La Libertad*. Trujillo, Peru.
- Arroyo Hilton, N. F. (2010). Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos. En *Diseño y Construcción de Pavimentos Rígidos*. Mexico D.F: UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO.
- ASOCEM: Asociación de Productores de Cemento. (04 de Mayo de 2015). ASOCEM. Obtenido de Ventajas Comparativas entre Pavimentos de Concreto y Pavimentos de Asfalto: <http://www.asocem.org.pe/noticias-internacionales/ventajas-comparativas-entre-pavimentos-de-concreto-y-pavimentos-de-asfalto>
- Becerra Salas, M. (2012). *Temas de Pavimento de Concreto Diseño, Construcción y Supervisión*. Lima: Flujo Libre.
- Bermudez Tueros, C., & Ramos Cerna, Y. (2019). Diseño estructural del pavimento flexible para el mejoramiento de la transitabilidad en la prolongación Av. Uno y la prolongación Sinchi Roca, en el centro poblado Alto Trujillo, Trujillo - La Libertad. Trujillo - Perú: Universidad Privada Antenor Orrego.
- Borselli, L. (2022). *Geología I*. Buenos Aires: Instituto de Geología.

- Cárdenas Grisales, J., Cal, R., & Reyes Spíndola, M. (1994). *Ingeniería de tránsito: fundamentos y aplicaciones (8va edición)*. Mexico: Alfaomega Grupo editor S.A.
- Casana, R. (2018). Propuesta de diseño del pavimento flexible para la avenida santo toribio y las calles 7 y 8 del asentamiento humano las lomas sector I-Distrito de Huanchaco - Trujillo - La Libertad, 2018. Trujillo - Perú: Universidad Privada de Trujillo.
- Céspedes Farfán, J. (2020). *Curso de Especialización: Introducción a los Pavimentos Rígidos*. Trujillo, Perú.
- Coronado Iturbide, J. (2002). *MANUAL CENTROAMERICANO PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS*. Guatemala - Mexico: LUMISA.
- Escobar Bellido, L., & Huincho Ochoa, J. (2017). Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica - 2017. Huancavelica - Perú: Universidad Nacional de Huancavelica.
- Espinoza Correa, L. (2018). *Análisis de alternativas en el diseño de pavimentos flexibles y rígidos por el método AASHTO*. Cuenca - Ecuador: Universidad de Cuenca, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Civil.
- Flores Delgadillo, L. (2010). *Manual de Procedimientos Analíticos - Laboratorio de Física de Suelos*. Mexico: Instituto de Geología - Departamento de Edafología.
- Gamarra Tantalean, B. F., & Velasquez Acosta, E. M. (2019). Diseño estructural del pavimento flexible y su influencia en la calidad de vida de los pobladores del Pueblo Joven Villa María – distrito de Nuevo Chimbote – Ancash, 2019. En *Diseño estructural del pavimento flexible y su influencia en la calidad de vida de los*

pobladores del Pueblo Joven Villa María – distrito de Nuevo Chimbote – Ancash,
2019. Perú: Universidad Cesar Vallejo.

Geoxnet. (4 de Agosto de 2019). *Geología Publicaciones*. Obtenido de Geología
Publicaciones: <https://post.geoxnet.com/clasificacion-de-suelos/>

Huanca Borda, A. (2015). *Mecánica de Suelos y Cimentaciones*. Moquegua.

Leiva Villacorta, F., & Vargas Nordbeck, A. (2014). ANÁLISIS ESTOCÁSTICO DE
PAVIMENTOS DE CONCRETO CON REFUERZO CONTINUO. *Revista
Infraestructura Vial*.

Lorenzo, B. (2018). *Geotecnia I*. Buenos Aires: Instituto de Geología.

Macedo Vásquez, F. M. (2014). Diseño estructural del pavimento flexible, en el mejoramiento
del camino vecinal Rioja - Posic, utilizando el método NAASRA, tramo del km.
00+000 al km. 6+090, distrito y provincia de Rioja, región San Martín. Tarapoto -
Perú: Universidad Nacional de San Martín.

Mendoza, M., & Guadarrama, J. (2017). Bases y subbases. Mexico: Instituto Politecnico
Nacional.

Menendez, J. (2016). Ingeniería de pavimentos. Perú: ICG.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). Manual de carreteras "Suelos, Geología,
y Pavimentos". Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. (2014). Manual de carreteras "Suelos, Geología,
y Pavimentos". Perú: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.

Montejo Fonseca, A. (2002). Ingeniería de pavimentos para Carreteras. Colombia: Agora
Editores.

- Montejo Fonseca, A. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras. Fundamentos estudios básicos y diseño*. Colombia: Universidad Católica de Colombia.
- MTC. (2008). *Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial*. En M. d. Comunicaciones. Lima.
- MTC. (2016). *Manual de Ensayo de Materiales*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- Reinoso Maldonado, M., & Sanmartín Morales, P. (2022). *Desarrollo de un catálogo de secciones estructurales de pavimentos flexibles y rígidos enfocado en las carreteras de la red vial de la provincia del Azuay, aplicando la metodología de diseño AASHTO – 93*. Cuenca - Ecuador: UNIVERSIDAD DEL AZUAY, FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA, ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL Y GERENCIA DE CONSTRUCCIONES.
- Rodden, R., & Hall, K. (2012). *Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación. Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación*. Rosemont, Illinois, EEUU: American Concrete Pavement Association.
- Rondón Quintana, H., & Reyes Lizcano, F. (2015). *Pavimentos Materiales, Construcción y Diseño*. Bogotá - Colombia: ECOE Ediciones.
- Sarango, T., & Vargas, C. (2008). *Competencias Técnicas en aseguramiento y control de calidad en obras viales*. Ecuador: Universidad Técnica Particular de Loja.
- Tapia García, M. (2015). *Pavimentos*. En M. Tapia García, *Pavimentos*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

- Terrones Campos, G. (2018). *DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE UTILIZANDO METODO AASHTO 93 EN LAS CALLES I Y J DE LA CUARTA ETAPA DEL C.H MICAELA BASTIDAS – PIURA*. Piura.
- Torres Briones, P., & Perez Burgos, D. (2017). *DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA MEJORAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR Y PEATONAL EN EL AA.HH AMPLIACION TUPAC AMARU, DISTRITO DE CHICLAYO, PROVINCIA DE CHICLAYO, REGION LAMBAYEQUE 2017*. Chiclayo: Universidad Cesar Vallejo.
- Walsh, I. (2017). *ICE Manual of Highway Design and Management*. Londres: Ice Publishing.
- Weather Spark. (Diciembre de 2022). *Weather Spark*. Obtenido de Weather Spark:
<https://es.weatherspark.com/y/19920/Clima-promedio-en-Laredo-Per%C3%BA-durante-todo-el-a%C3%B1o>
- Zuñiga Chepe, O. (2018). *DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE PAVIMENTO FLEXIBLE DE LAS CALLES COMPRENDIDAS DENTRO DEL PERÍMETRO DE LA CA. VRHT, CA. LA PAZ, CA. PACHACUTEC Y AV. GRAN CHIMU DEL DISTRITO DE LA VICTORIA – CHICLAYO – LAMBAYEQUE*. Chiclayo.

ANEXOS

Figura 6. Ubicación geográfica de estudio

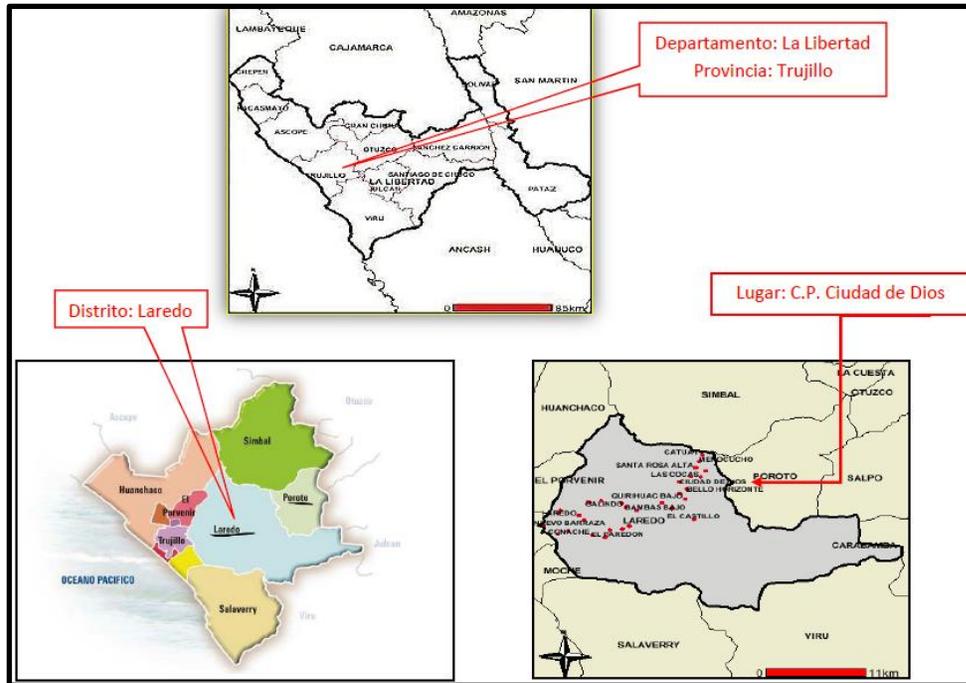


Figura 7. Entrada al CP Ciudad de Dios – Carretera Simbal



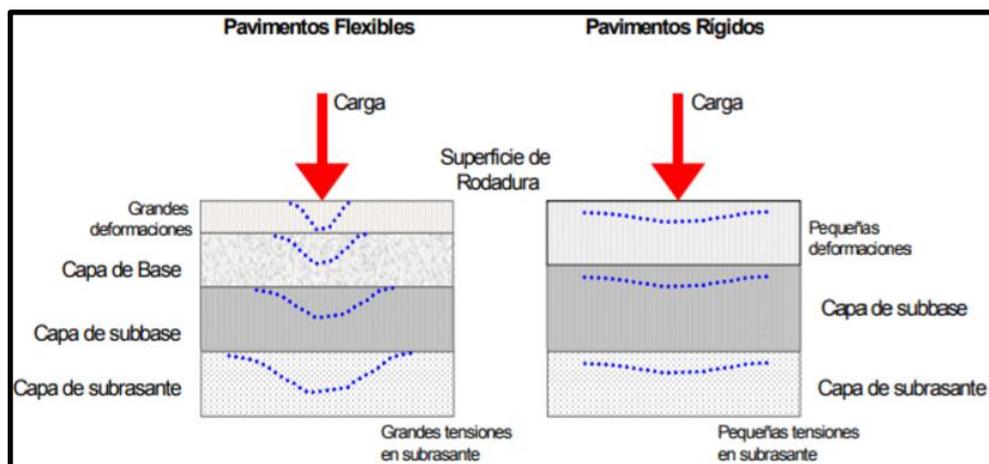
Nota: Entrada ubicada en el kilómetro 22.5 de la carretera Laredo-Sanme.

Figura 8. Estado Actual de la vía



Nota: La vía se encuentra como una trocha carrozable

Figura 9. Capas de la estructura, según su tipo de pavimento (Flexible y Rígido)



Nota: Se puede observar el comportamiento y reacción de las capas de cada pavimento, en respuesta a la aplicación de una carga actuante. Reproducida de Esquema del comportamiento Pavimentos Flexibles y Rígidos, de Sarango & Vargas, 2008, Universidad Técnica Particular de Loja.

Figura 10. Pavimento Flexible



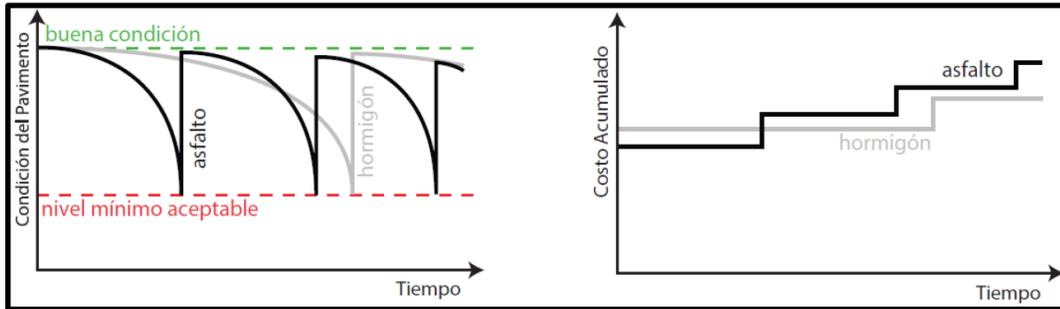
Nota: La capa y apariencia bituminosa de un pavimento flexible, es la principal característica de este tipo de pavimento. Reproducida de Pavimento Asfáltico, de Ingeniarc, 2020 (www.ingeniarc.com)

Figura 11. Pavimento Rígido



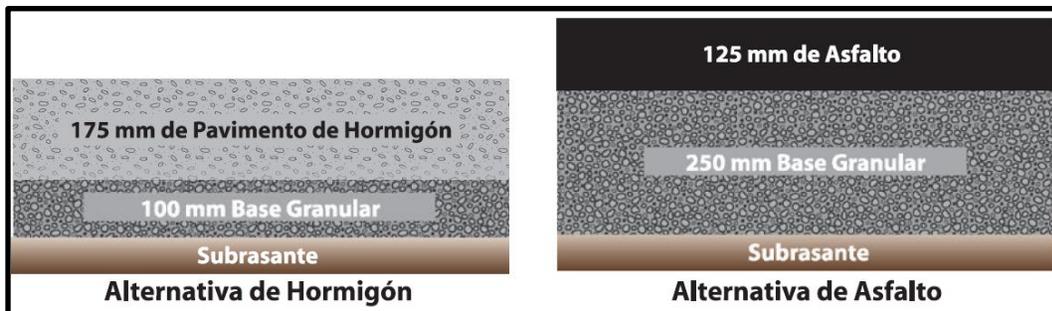
Nota: Pavimento de capa de rodadura de concreto, de alta durabilidad y resistencia. Reproducida de Pavimento Rígido, de Ingeniarc, 2020 (www.ingeniarc.com)

Figura 12. Mantenimiento Pav. Flexible vs Pav. Rígido



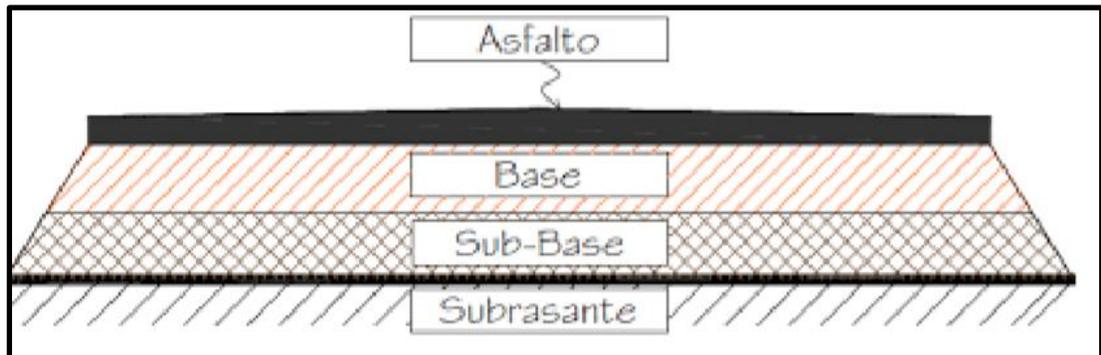
Nota: La condiciones y costos de mantenimiento de los pavimentos de concreto (u hormigón) son mucho menores que la alternativa popular de pavimentos flexibles. Reproducida de Grafico de Mantenimiento de pavimentos, de Céspedes Farfán, 2020, Introducción a los Pavimentos.

Figura 13. Secciones trasnversales Pav. Rígido y Pav. Flexible



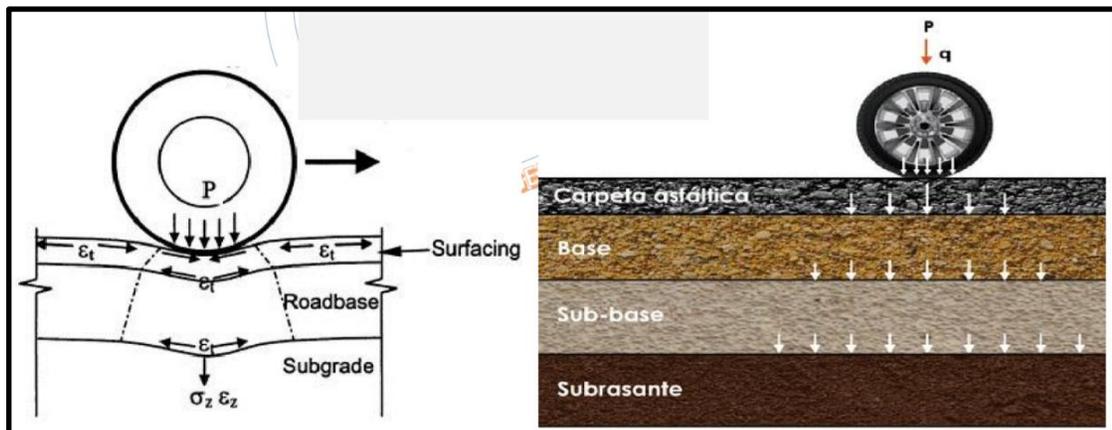
Nota: Ofertas de tipos de pavimento elaboradas por contratista en Whitefish Bay, EEUU en 2008. Reproducida de Secciones transversales de pavimento de Rodden & Hall, 2012, Análisis del costo del ciclo de vida: Una herramienta para evaluar mejor las inversiones y decisiones técnicas en pavimentación.

Figura 14. Sección típica de un Pavimento Flexible



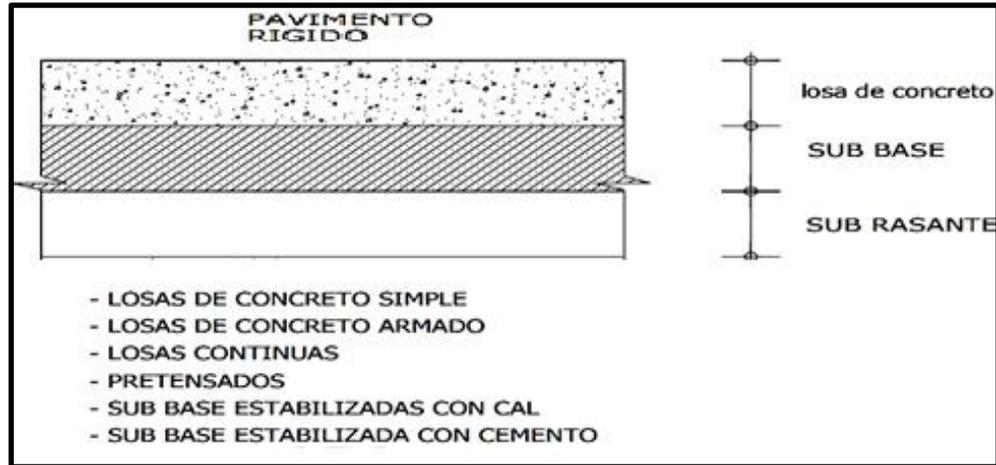
Nota: Capas que conforman el paquete estructural de un pavimento flexible. Reproducido de Sección de un pavimento flexible, de Rivera et al., 2011, Medición del PCI, Universidad Nacional de Ingeniería.

Figura 15. Influencia de los esfuerzos de tránsito sobre el pavimento flexible.



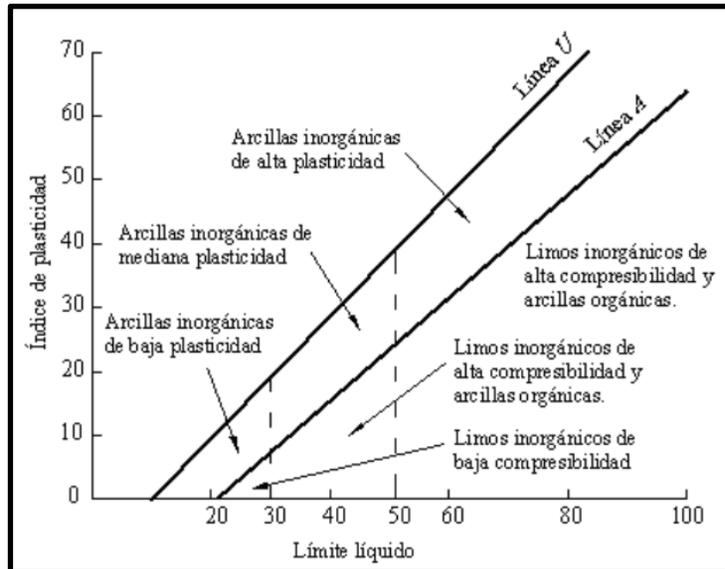
Nota: La carga vehicular genera un peso que es distribuido a todas las subcapas del pavimento. Reproducida de Comportamiento del pavimento flexible a las fuerzas aplicables de carga, de Menéndez Acurio, 2016, Ingeniería de Pavimentos, ICG

Figura 16. Estructura de Pavimento Rígido y Opciones de Composición



Nota: Sección transversal de un pavimento rígido, además de las variables en su composición, dependiendo de la necesidad y condiciones que se requiera. Reproducida de sección típica de Pavimento Rígido, de Montejo Fonseca, 2002, Ingeniería de Pavimentos para Carreteras, Agora Editores

Figura 17. Carta de Casagrande



Nota: Carta de Plasticidad de suelos de partículas finas. Reproducida de Carta de Plasticidad de Casagrande, 2020, Diccionario de Geotecnia (www.diccionario.geotecnia.online).

Figura 18. Cuchara de Casagrande.



Nota: Instrumento del laboratorio de suelos para determinar el limite liquido de nuestra muestra de suelo

Figura 19. Cilindros de 3 mm en ensayo.



Nota: Ensayo de limite plástico

Figura 20. Recopilación de datos para el Estudio de Tráfico



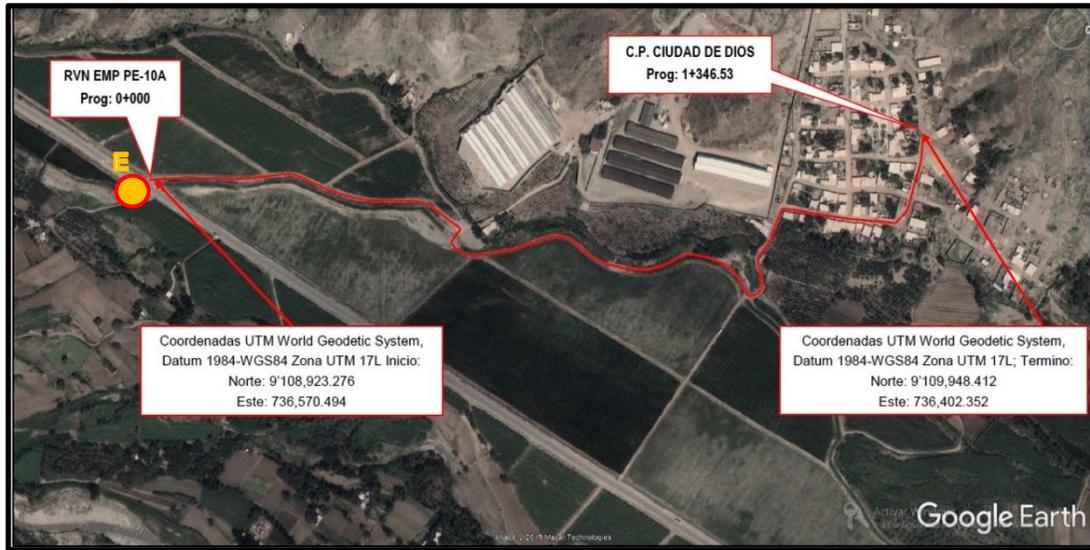
Nota: Conteo vehicular. Tránsito de camiones de 2 ejes

Figura 21. Excavación en campo para análisis en laboratorio (PC-3)



Nota: Muestreo y rotulado de calicatas de 1.50 m.

Figura 22. Ubicación y Trazo de la vía a estudio. Punto de Control y Conteo.



Nota: Demarcación y trazo de los límites de nuestra vía proyectada. Además, se indica la Estación de conteo e identificación vehicular.

- Vía de Estudio
- E: Punto de Control y Conteo

Figura 23. Parte del flujo vehicular del CPM Ciudad de Dios



Nota: Tránsito de camiones de 2 ejes y camionetas en la zona.

Figura 24. Presidente de la Ronda Campesina de Ciudad de Dios.



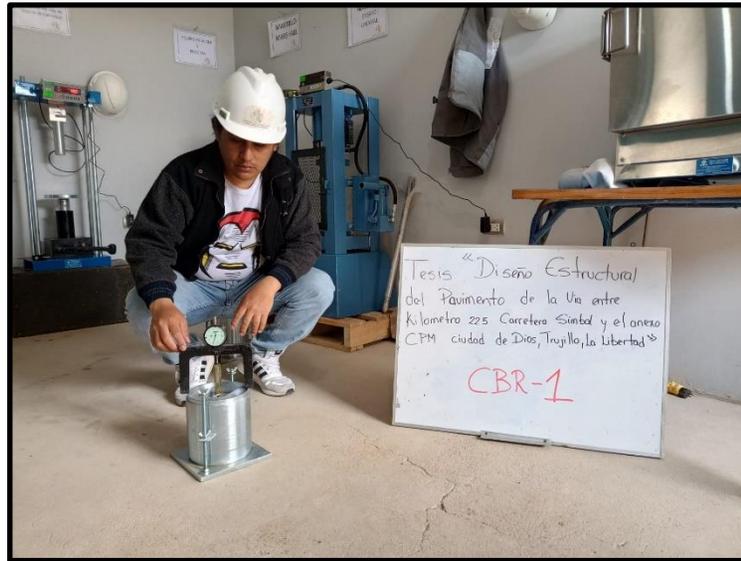
Nota: Diálogo de la problemática, necesidades y requerimientos de la población junto al Sr. Atiliano Gonzales Aguirre, respecto a la modernización de sus vías de transporte.

Figura 25. Exploración y Rotulación de la calicata 1



Nota: Calicata de 1.50 m de profundidad y toma de muestra de 7 kg de suelo para análisis de laboratorio.

Figura 26. Ensayo de Proctor Modificado de Calicata 1



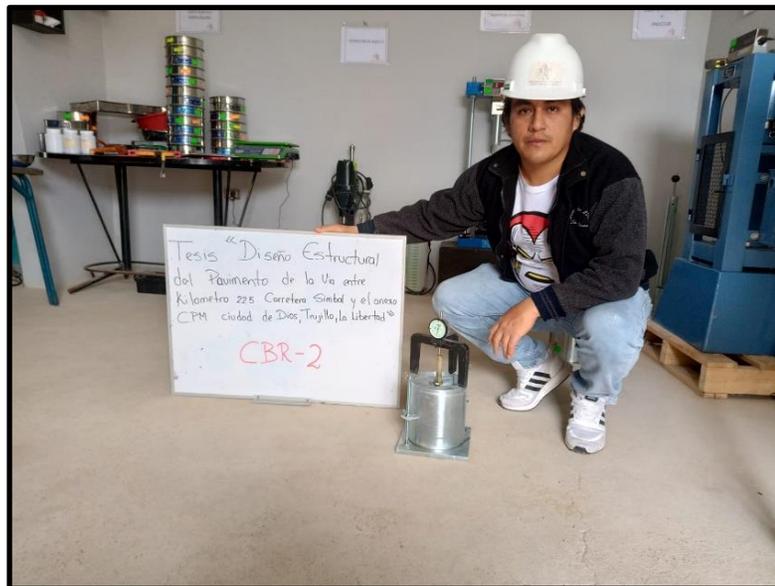
Nota: Ensayo CBR-1 en DERAZA Laboratorios.

Figura 27. Exploración y Rotulación de la calicata 2



Nota: Calicata de 1.50 m de profundidad y toma de muestra de 7 kg de suelo para análisis de laboratorio.

Figura 28. Ensayo de Proctor Modificado de Calicata 2



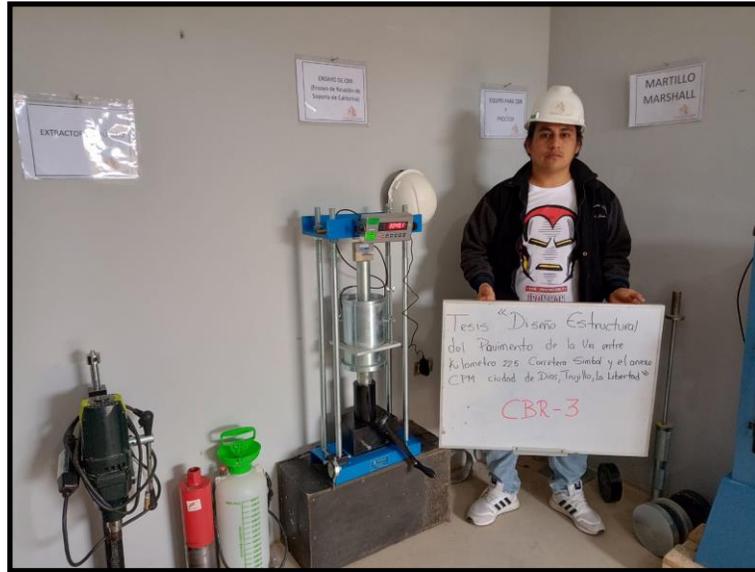
Nota: Ensayo CBR-2 en DERAZA Laboratorios.

Figura 29. Exploración y Rotulación de la calicata 3



Nota: Calicata de 1.50 m de profundidad y toma de muestra de 7 kg de suelo para análisis de laboratorio.

Figura 30. Ensayo de Proctor Modificado de Calicata 3



Nota: Ensayo CBR-3 en DERAZA Laboratorios.

Figura 31. Análisis Granulométrico por tamizado.



Nota: Zarandeado de las muestras de suelo para el Análisis Granulométrico por Tamizado.

Figura 32. Ensayo de Contenido de Humedad



Nota: Colocando muestras de suelo en el horno de secado para el ensayo respectivo.

Figura 33. Ensayo de Límites de consistencia



Nota: Ranura uniforme de 2 mm de ancho para el posterior conteo de 25 golpes y junta de bordes del suelo.

Figura 34. Ensayo C.B.R.



Nota: Haciendo uso de la maquina automática don indicador digital para determinar el valor de CBR de las muestras extraídas de campo.

PERFIL ESTRATIGRAFICO

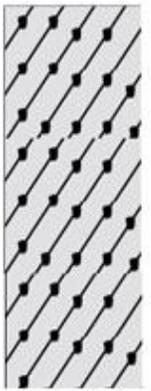
Tesis: *“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: PC 01

PROFUNDIDAD		N° DE ESTRATO	CLASIFICACION	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION GRAFFICA
15	cm	ESTRATRO 01	CL	Material arcilloso tipo tierra de chacra contaminado con raíces.	
20	cm	ESTRATRO 02	SC	Arena Arcillosa (SC), color marrón oscuro, estructura compacta cementada por arcillas, con un contenido de humedad de 3.09%, un índice de plasticidad igual a 16.64 y una densidad de 2,16 g/cm ³	
30	cm				
40	cm				
50	cm				
60	cm				
70	cm				
80	cm				
90	cm				
100	cm				
110	cm				
120	cm				
130	cm				
140	cm				
150	cm				

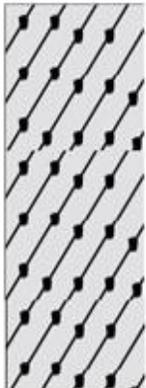
Tesis: ***“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: PC 02

PROFUNDIDAD		N° DE ESTRATO	CLASIFICACION	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION GRAFFICA
15	cm	ESTRATO 01	SF	Arena de grano medio contaminado con desmonte y raíces	
20	cm	ESTRATO 02	SC	Arena Arcillosa (SC), color marrón oscuro, estructura compacta cementada por arcillas, con un contenido de humedad de 5.38%, un índice de plasticidad igual a 8.75 y una densidad de 1.69 g/cm3	
30	cm				
40	cm				
50	cm				
60	cm				
70	cm				
80	cm				
90	cm				
100	cm				
110	cm				
120	cm				
130	cm				
140	cm				
150	cm				

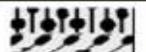
Tesis: ***“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: PC 03

PROFUNDIDAD		N° DE ESTRATO	CLASIFICACION	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACION GRAFFICA
12	cm	ESTRATO 01	GC-GM	Material granular arcillo limoso tipo afirmado contaminado con desperdicios	
20	cm				
30	cm	ESTRATO 02	SC	Arena Arcillosa (SC), color marrón oscuro, estructura compacta cementada por arcillas, con un contenido de humedad de 5.46%, un índice de plasticidad igual a 17.30 y una densidad de 1.72 g/cm ³	
40	cm				
50	cm				
60	cm				
70	cm				
80	cm				
90	cm				
100	cm				
110	cm				
120	cm				
130	cm				
140	cm				
150	cm				

ANÁLISIS MECÁNICO POR TAMIZADO (ASTM D-442)

Tesis: *“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

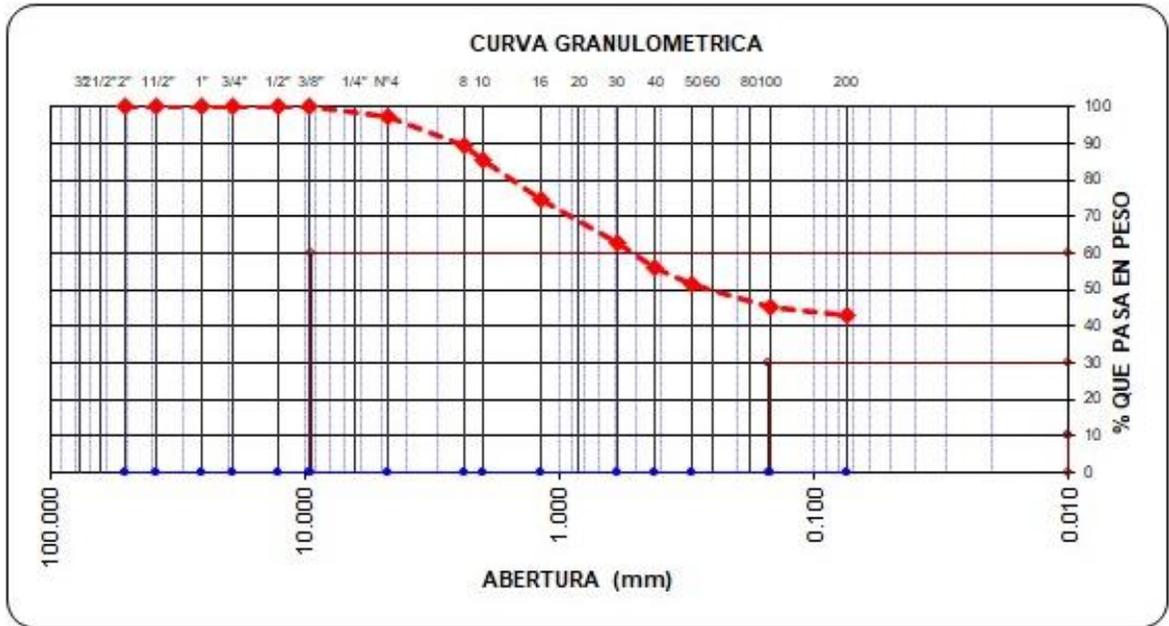
Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: PC 01

Peso de Muestra: 800.3 gramos

Peso de Muestra lavada: 341.9 gramos

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Límites e Indices de Consistencia
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.00	L. Líquido : 34.31
2"	50.600	0.00	0.0	0.0	100.00	L. Plástico : 17.68
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.00	Ind. Plástico : 16.64
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.00	Clas. SUCS : SC
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.00	Clas. AASHTO : A-6 (2)
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.0	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.0	0.0	100.00	
Nº4	4.760	20.67	2.6	2.6	97.42	HUMEDAD NATURAL
Nº8	2.380	65.11	8.1	10.7	89.28	Sh + Tara : 211.7
Nº10	2.000	30.49	3.8	14.5	85.47	Ss + Tara : 205.3
Nº16	1.190	88.50	11.1	25.6	74.41	Tara : 35.4
Nº30	0.590	92.12	11.5	37.1	62.90	Peso Agua : 6.4
Nº40	0.420	55.61	6.9	44.0	55.95	Peso Suelo Seco : 169.9
Nº50	0.300	36.47	4.6	48.6	51.40	Humedad(%) : 3.76
Nº100	0.149	50.79	6.3	54.9	45.05	
Nº200	0.074	18.63	2.3	57.3	42.72	
<Nº200		341.91	42.7	100.0	0.00	
Total		800.30				





Tesis: ***“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 02**

Peso de Muestra: 1562 gramos

Peso de Muestra lavada: 202.3 gramos

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Limites e Indices de Consistencia
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.00	L. Líquido : 22.76
2"	50.600	0.00	0.0	0.0	100.00	L. Plástico : 14.01
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.00	Ind. Plástico : 8.75
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.00	Clas. SUCS : SC
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.00	Clas. AASHTO : A-2-4 (0)
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.0	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.0	0.0	100.00	
Nº4	4.760	0.00	0.0	0.0	100.00	HUMEDAD NATURAL
Nº8	2.380	0.00	0.0	0.0	100.00	Sh + Tara : 233.0
Nº10	2.000	0.00	0.0	0.0	100.00	Ss + Tara : 221.2
Nº16	1.190	9.41	0.6	0.6	99.40	Tara : 34.3
Nº30	0.590	21.85	1.4	2.0	98.00	Peso Agua : 11.8
Nº40	0.420	32.58	2.1	4.1	95.91	Peso Suelo Seco : 186.7
Nº50	0.300	38.98	2.5	6.6	93.42	Humedad(%) : 6.30
Nº100	0.149	511.23	32.7	39.3	60.69	
Nº200	0.074	745.69	47.7	87.1	12.95	
<Nº200		202.26	12.9	100.0	0.00	
Total		1562.00				

Tesis: ***“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

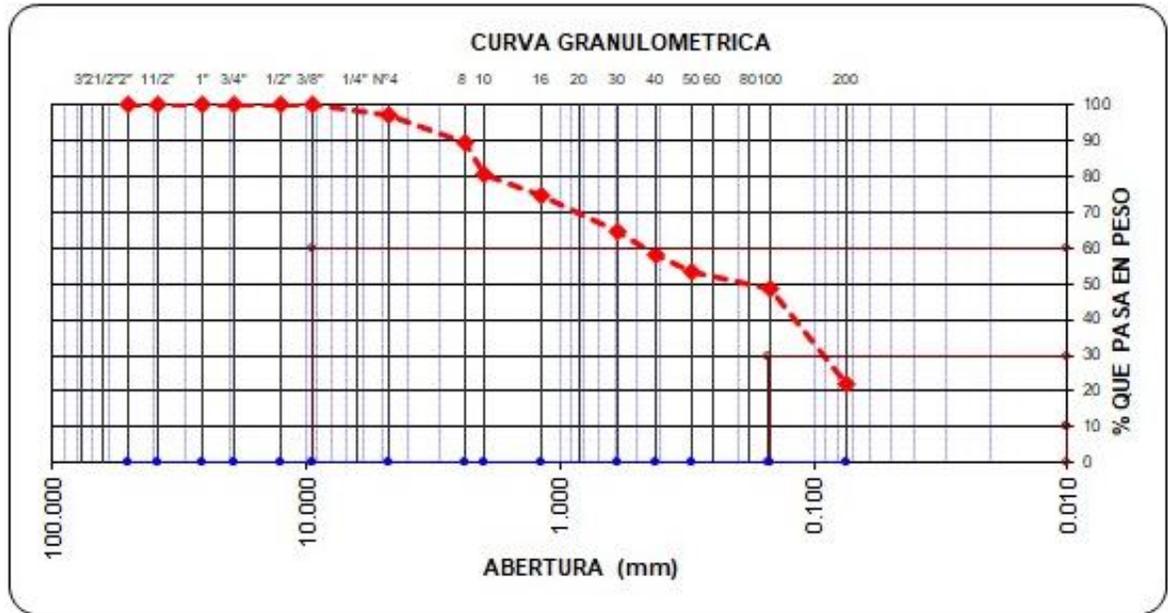
Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 03**

Peso de Muestra: 760.2 gramos

Peso de Muestra lavada: 169.5 gramos

Tamices ASTM	Abertura en mm.	Peso Retenido	%Retenido Parcial	%Retenido Acumulado	% que Pasa	Límites e Índices de Consistencia
3"	76.200	0.00	0.0	0.0	100.00	
2 1/2"	63.500	0.00	0.0	0.0	100.00	L. Líquido : 30.74
2"	50.600	0.00	0.0	0.0	100.00	L. Plástico : 13.44
1 1/2"	38.100	0.00	0.0	0.0	100.00	Ind. Plástico : 17.30
1"	25.400	0.00	0.0	0.0	100.00	Clas. SUCS : SC
3/4"	19.050	0.00	0.0	0.0	100.00	Clas. AASHTO : A-2-6 (1)
1/2"	12.700	0.00	0.0	0.0	100.00	
3/8"	9.525	0.00	0.0	0.0	100.00	
Nº4	4.760	23.58	3.1	3.1	96.90	HUMEDAD NATURAL
Nº8	2.380	54.98	7.2	10.3	89.67	
Nº10	2.000	69.87	9.2	19.5	80.47	Sh + Tara : 218.2
Nº16	1.190	45.87	6.0	25.6	74.44	Ss + Tara : 204.3
Nº30	0.590	73.21	9.6	35.2	64.81	Tara : 35.14
Nº40	0.420	49.87	6.6	41.7	58.25	Peso Agua : 13.9
Nº50	0.300	38.74	5.1	46.8	53.15	Peso Suelo Seco : 169.2
Nº100	0.149	35.87	4.7	51.6	48.44	Humedad(%) : 8.22
Nº200	0.074	198.74	26.1	77.7	22.29	
<Nº200		169.47	22.3	100.0	0.00	
Total		760.20				





LÍMITES DE CONSISTENCIA

Tesis: *“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: PC 01

Muestra	Limite Líquido			Limite Plástico		
Nº de golpes	15	23	35	-	-	-
Peso tara (g)	16.20	19.81	23.33	21.06	22.89	
Peso tara + suelo húmedo (g)	32.70	36.40	35.07	23.64	25.57	
Peso tara + suelo seco (g)	28.25	32.09	32.20	23.25	25.17	
Humedad %	36.93	35.10	32.36	17.81	17.54	
Limites	34.31			17.68		
Indice Plástico	16.64					





Tesis: *“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”*

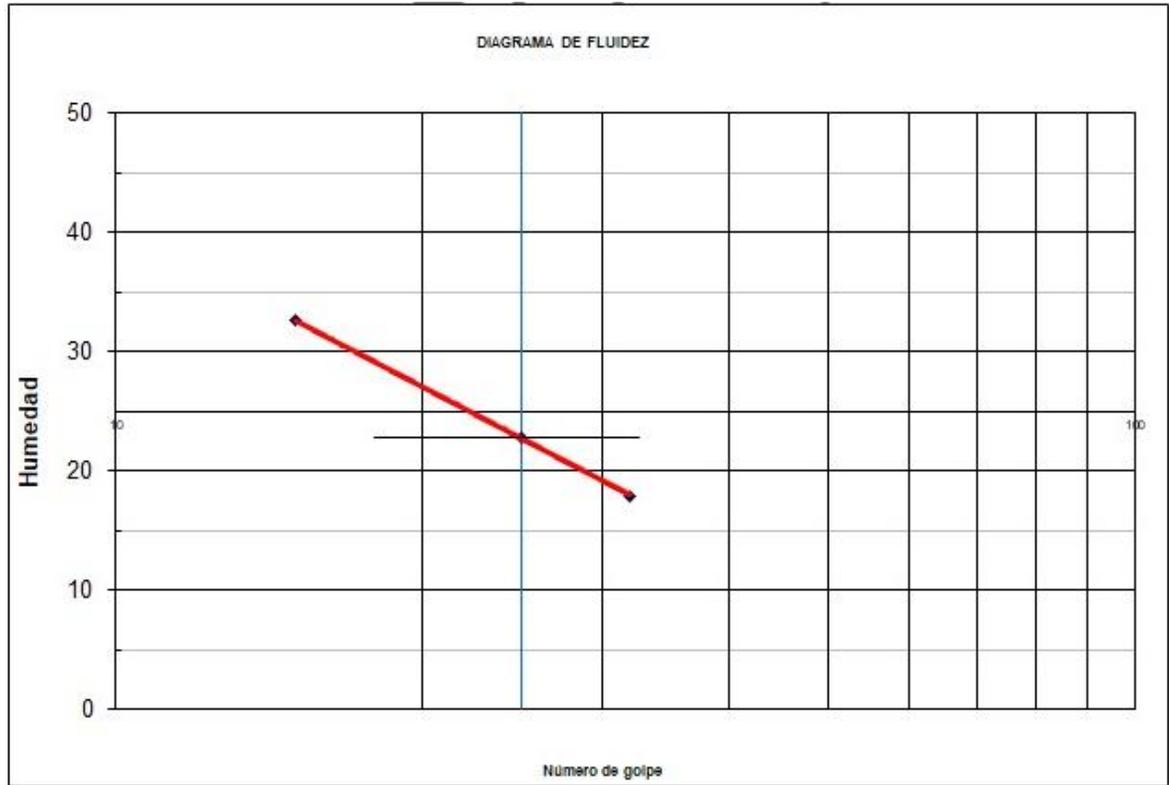
Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: PC 02

Muestra							
Límites de Consistencia	Límite Líquido				Límite Plástico		
Nº de golpes	15	25	32		-	-	
Peso tara (g)	20.05	20.10	21.33		21.50	21.60	
Peso tara + suelo húmedo (g)	34.52	34.91	36.63		25.39	25.44	
Peso tara + suelo seco (g)	30.96	32.16	34.30		24.89	24.99	
Humedad %	32.63	22.80	17.96		14.75	13.27	
Límites	22.76				14.01		
Índice Plástico	8.75						





Tesis: ***“Diseño Estructural Del Pavimento De La Vía Entre Kilómetro 22.5 Carretera Simbal Y El Anexo CPM Ciudad De Dios, Trujillo, La Libertad”***

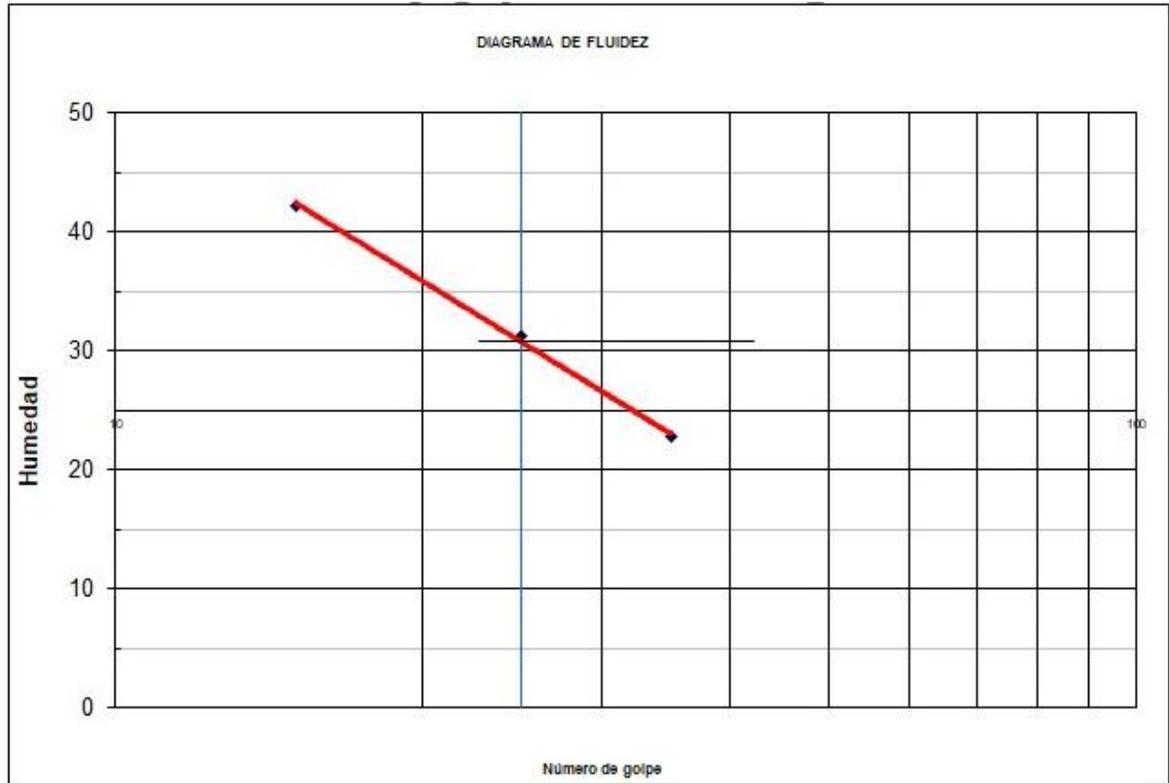
Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 03**

Muestra							
Límites de Consistencia	Límite Líquido			Límite Plástico			
Nº de golpes	15	25	35		-	-	-
Peso tara (g)	16.88	17.50	19.07		22.40	21.65	
Peso tara + suelo húmedo (g)	34.15	35.20	34.67		24.10	24.50	
Peso tara + suelo seco (g)	29.02	30.98	31.78		23.90	24.16	
Humedad %	42.26	31.31	22.74		13.33	13.55	
Límites				30.74	13.44		
Índice Plástico				17.30			



CONTENIDO DE HUMEDAD (ASTM D-2216)

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad de Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 01**

Descripcion	1
Peso de tara (gr)	38.5
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	172.5
Peso de la tara + muestra seca (gr)	168.5
Peso del agua contenida (gr)	4.0
Peso de la muestra seca (gr)	130.0
Contenido de Humedad (%)	3.09
Contenido de Humedad Promedio (%)	3.09



Tesis: ***“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 02**

Descripcion	1
Peso de tara (gr)	36.2
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	218.4
Peso de la tara + muestra seca (gr)	209.1
Peso del agua contenida (gr)	9.3
Peso de la muestra seca (gr)	172.9
Contenido de Humedad (%)	5.38
Contenido de Humedad Promedio (%)	5.38

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 03**

Descripcion	1
Peso de tara (gr)	36.5
Peso de la tara + muestra húmeda (gr)	229.6
Peso de la tara + muestra seca (gr)	219.6
Peso del agua contenida (gr)	10.0
Peso de la muestra seca (gr)	183.1
Contenido de Humedad (%)	5.46
Contenido de Humedad Promedio (%)	5.46

GRAVEDAD ESPECÍFICA DE SÓLIDOS (ASTM D-854-58)

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Calicata: **PC 01**

Nº DE RECIPIENTE	1	-
VOLUMEN DE LA FIOLA CM3	500	-
PESO DE LA FIOLA , gr.	156	-
PESO DE LA MUESTRA	96	-
PESO DE LA FIOLA + MUESTRA SECA , gr.	252	-
PESO DE FIOLA + AGUA A T. ENSAYO, gr.	640.2	-
PESO DE FIOLA + AGUA + MUESTRA , gr.	679.9	-
PESO DE LA MUESTRA SUMERGIDA	39.7	-
TEMPERATURA DE ENSAYO, ° C	20.5	-
PESO ESPECIFICO DE PARTICULAS FINAS, g/cm3	1.71	-
GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO	1.71	



Tesis: ***“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Calicata: **PC 02**

Nº DE RECIPIENTE	1	-
VOLUMEN DE LA FIOLA CM3	500	-
PESO DE LA FIOLA , gr.	156	-
PESO DE LA MUESTRA	85	-
PESO DE LA FIOLA + MUESTRA SECA , gr.	241	-
PESO DE FIOLA + AGUA A T. ENSAYO, gr.	645.4	-
PESO DE FIOLA + AGUA + MUESTRA , gr.	680.2	-
PESO DE LA MUESTRA SUMERGIDA	34.8	-
TEMPERATURA DE ENSAYO, ° C	20.5	-
PESO ESPECIFICO DE PARTICULAS FINAS, g/cm3	1.69	-
GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO	1.69	

Tesis: ***“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Calicata: **PC 03**

Nº DE RECIPIENTE	1	-
VOLUMEN DE LA FIOLA CM3	500	-
PESO DE LA FIOLA , gr.	156	-
PESO DE LA MUESTRA	80	-
PESO DE LA FIOLA + MUESTRA SECA , gr.	236	-
PESO DE FIOLA + AGUA A T. ENSAYO, gr.	650.2	-
PESO DE FIOLA + AGUA + MUESTRA , gr.	683.6	-
PESO DE LA MUESTRA SUMERGIDA	33.4	-
TEMPERATURA DE ENSAYO, ° C	20.5	-
PESO ESPECIFICO DE PARTICULAS FINAS, g/cm3	1.72	-
GRAVEDAD ESPECIFICA PROMEDIO	1.72	



**ANÁLISIS QUÍMICO DE SUELOS
(ASTM D1889 / ASTM D516 / ASTM D512)**

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 01**

<i>ITEM</i>	<i>MUESTRA</i>	Sales Solubles Totales (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)
1	GC-CM	1150.4	95.8	229.4
<i>ITEM</i>	<i>MUESTRA</i>	Sales Solubles Totales (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁼ (%)
1	GC-CM	0.12	0.01	0.02



Tesis: ***“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 02**

<i>ITEM</i>	<i>MUESTRA</i>	Sales Solubles Totales (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)
1	PC 02	920.5	80.6	119.5

<i>ITEM</i>	<i>MUESTRA</i>	Sales Solubles Totales (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁼ (%)
1	PC 02	0.09	0.01	0.01



Tesis: ***“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”***

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

Calicata: **PC 03**

<i>ITEM</i>	<i>MUESTRA</i>	Sales Solubles Totales (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	SO ₄ ⁼ (ppm)
1	: PC 3	530.0	70.2	220.5

<i>ITEM</i>	<i>MUESTRA</i>	Sales Solubles Totales (%)	Cl ⁻ (%)	SO ₄ ⁼ (%)
1	: PC 3	0.05	0.01	0.02



ENSAYO C.B.R. Y EXPANSIÓN (ASTM D- 1883)

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CPM Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

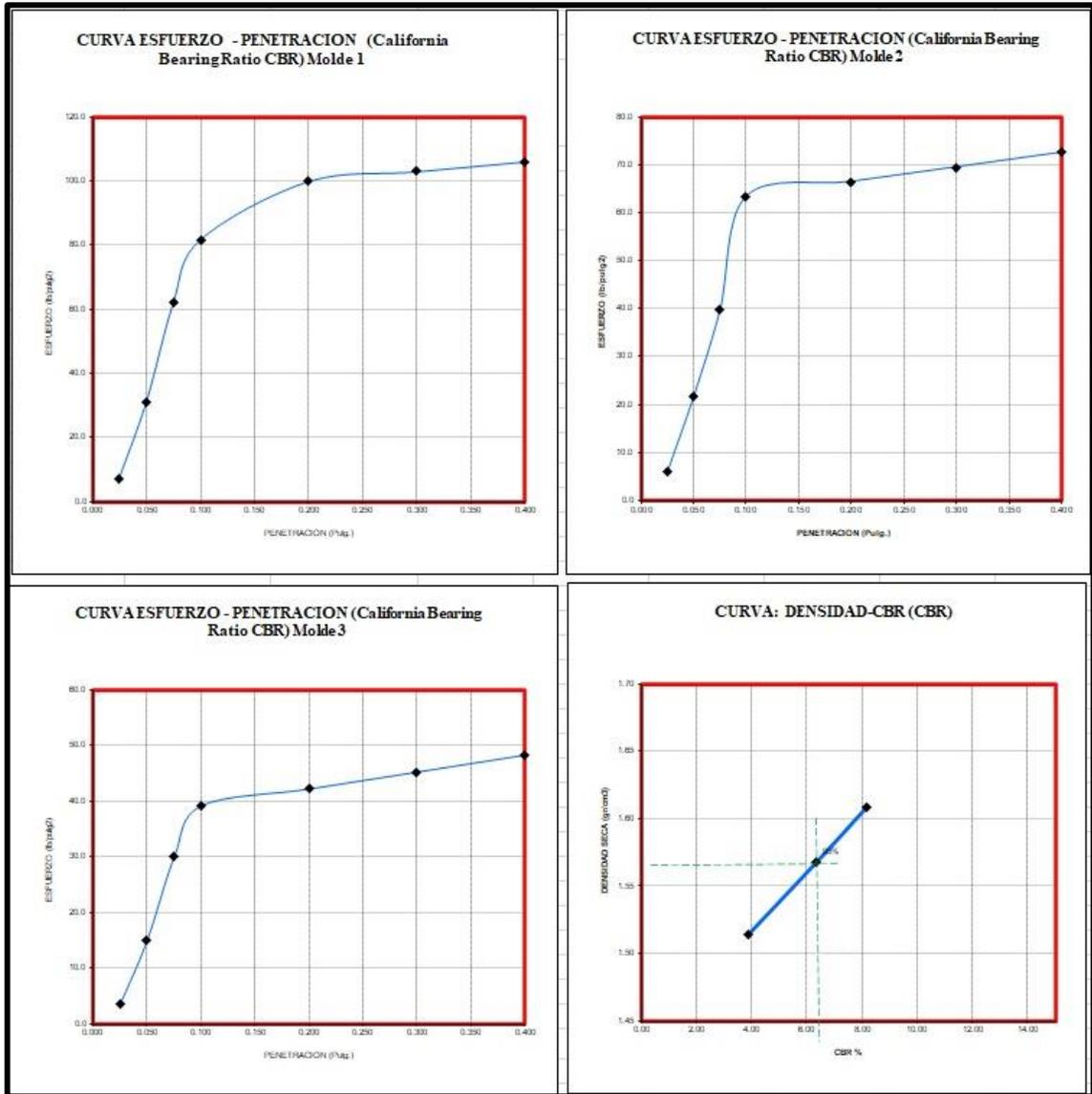
Calicata: PC 01

ENSAYO DE COMPACTACION CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
Nº DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
SOBRECARGA (gr.)	4530		4530		4530	
Peso de Suelo húmedo + Molde (gr.)	7880		7730		7580	
Peso de Molde (gr.)	4170		4150		4130	
Peso del suelo Húmedo (gr.)	3710.00		3580		3450	
Volumen de Molde (cm ³)	3211		3211		3211	
Volumen del Disco Espaciador (cm ³)	1095		1095		1095	
Volumen Útil (cm ³)	2116		2116		2116	
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.75		1.69		1.63	
CAPSULA Nº	1		2		3	
Peso de suelo Húmedo + Cápsula (gr.)	67.5		66.6		67.6	
Peso de suelo seco + Cápsula (gr.)	63.6		63.2		64.2	
Peso de Agua (gr.)	3.90		3.4		3.40	
Peso de Cápsula (gr.)	20.5		20		20	
Peso de Suelo Seco (gr.)	43.1		43.2		44.20	
% de Humedad	9.05		7.97		7.69	
Densidad de Suelo Seco (gr/cm ³)	1.61		1.57		1.51	

ENSAYO DE EXPANSION							Estructura	Limite Max
DIA	LECT. DIAL	HINCH. (%)	LECT. DIAL	HINCH. (%)	LECT. DIAL	HINCH. (%)	TIPO	HINCH. (%)
1	0.11	0.00	0.12	0.00	0.13	0.00	Base	1
2	0.12	0.24	0.14	0.48	0.15	0.48	Sub Base	2
3	0.13	0.24	0.15	0.24	0.17	0.48	Sub Rasante	3
4	0.14	0.24	0.17	0.48	0.19	0.48		

SUELO NO EXPANSIVO

ENSAYO DE CARGA PENETRACION									
ENSAYO DE CARGA	LECTURA	MOLDE 1	56 GOLPES	LECTURA	MOLDE 2	25 GOLPES	LECTURA	MOLDE 3	12 GOLPES
PENETRACION	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²
0.025	6	21.5	7.2	5	17.9	6.0	4	10.6	3.5
0.050	13	92.6	30.9	10	63.3	21.8	8	43.1	15.0
0.075	24	183.6	61.9	16	119.1	39.7	13	89.9	30.0
0.100	30	244.9	81.63	24	190.2	63.4	16	117.3	39.1
0.200	36	299.6	99.9	25	199.3	66.4	17	126.4	42.1
0.300	37	308.7	102.9	26	208.4	69.5	18	135.5	45.2
0.400	38	317.8	105.9	27	217.5	72.5	19	144.6	48.2



Valores Corregidos					
MOLDE Nº	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg ²)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
1	0.1	81.6	1000	8.16	1.61
2	0.1	63.4	1000	6.34	1.57
3	0.1	39.1	1000	3.91	1.51
MOLDE Nº	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg ²)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
1	0.2	99.9	1500	6.66	1.61
2	0.2	66.4	1500	4.43	1.57
3	0.2	42.1	1500	2.81	1.51
Máxima Densidad Seca (gr./cm³)					1.61
ÓPTIMO Contenido de Humedad					9.05%
C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca					8.16%
C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca					6.66%



Tesis: “Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

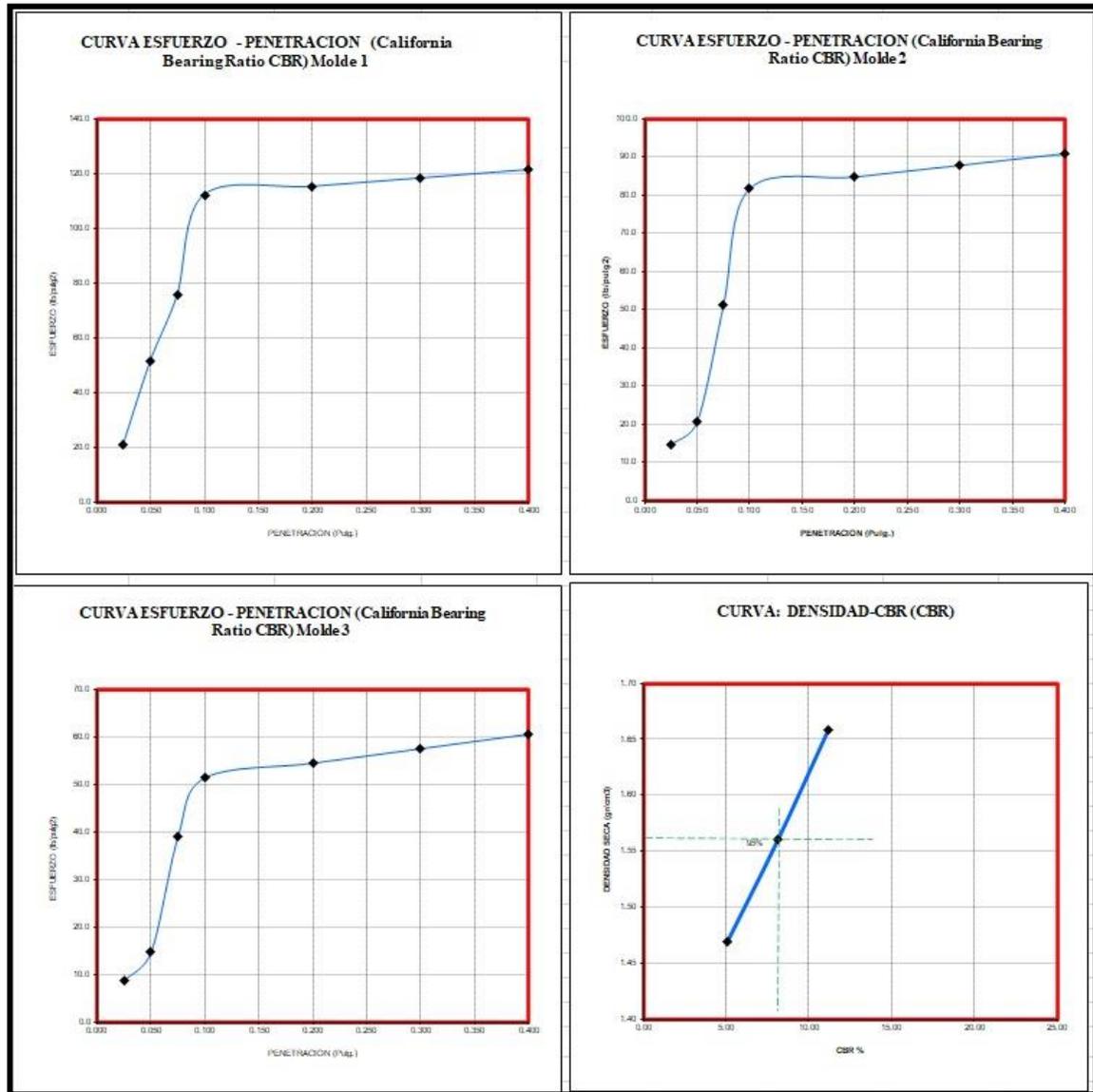
Calicata: PC 02

ENSAYO DE COMPACTACION CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
Nº DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
SOBRECARGA (gr.)	4530		4530		4530	
Peso de Suelo húmedo + Molde (gr.)	7940		7710		7500	
Peso de Molde (gr.)	4135		4135		4135	
Peso del suelo Húmedo (gr.)	3805.00		3575		3365	
Volumen de Molde (cm ³)	3211		3211		3211	
Volumen del Disco Espaciador (cm ³)	1095		1095		1095	
Volumen Util (cm ³)	2116		2116		2116	
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.80		1.69		1.59	
CAPSULA Nº	1		2		3	
Peso de suelo Húmedo + Cápsula (gr.)	66.8		66.6		67.4	
Peso de suelo seco + Cápsula (gr.)	63.2		63.0		63.8	
Peso de Agua (gr.)	3.60		3.6		3.62	
Peso de Cápsula (gr.)	20.5		20		20	
Peso de Suelo Seco (gr.)	42.7		43.0		43.79	
% de Humedad	8.43		8.31		8.27	
Densidad de Suelo Seco (gr/cm ³)	1.66		1.56		1.47	

ENSAYO DE EXPANSION							Estructura	Limite Max
DIA	LECT. DIAL	HINCH. (%)	LECT. DIAL	HINCH. (%)	LECT. DIAL	HINCH. (%)	TIPO	HINCH. (%)
1	0.10	0.00	0.11	0.00	0.12	0.00	Base	1
2	0.12	0.48	0.14	0.72	0.16	0.96	Sub Base	2
3	0.13	0.24	0.16	0.48	0.18	0.48	Sub Rasante	3
4	0.14	0.24	0.18	0.48	0.22	0.96		

SUELO NO EXPANSIVO

ENSAYO DE CARGA PENETRACION									
ENSAYO DE CARGA	LECTURA	MOLDE 1	56 GOLPES	LECTURA	MOLDE 2	25 GOLPES	LECTURA	MOLDE 3	12 GOLPES
PENETRACION	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²
0.025	10	62.6	20.9	8	44.3	14.8	6	26.1	8.7
0.050	20	153.7	51.2	10	62.6	20.9	8	44.3	14.8
0.075	28	226.6	75.5	20	153.7	51.2	16	117.3	39.1
0.100	40	336.0	112.01	30	244.9	81.6	20	153.7	51.2
0.200	41	345.2	115.1	31	254.0	84.7	21	162.8	54.3
0.300	42	354.3	118.1	32	263.1	87.7	22	172.0	57.3
0.400	43	363.4	121.1	33	272.2	90.7	23	181.1	60.4



Valores Corregidos					
MOLDE Nº	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg ²)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
1	0.1	112.0	1000	11.20	1.66
2	0.1	81.6	1000	8.16	1.56
3	0.1	51.2	1000	5.12	1.47
MOLDE Nº	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg ²)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B.R %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
1	0.2	115.1	1500	7.67	1.66
2	0.2	84.7	1500	5.64	1.56
3	0.2	54.3	1500	3.62	1.47
Máxima Densidad Seca (gr./cm³)					1.66
ÓPTIMO Contenido de Humedad					8.43%
C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca					11.20%
C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca					7.67%



Tesis: "Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad"

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcillosa (SC)

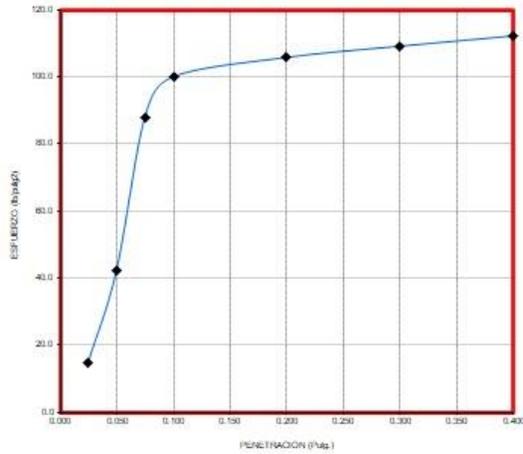
Calicata: PC 03

ENSAYO DE COMPACTACION CBR						
ESTADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO	SIN SATURAR	SATURADO
MOLDE	MOLDE 1		MOLDE 2		MOLDE 3	
N° DE GOLPES POR CAPA	56		25		12	
SOBRECARGA (gr.)	4530		4530		4530	
Peso de Suelo húmedo + Molde (gr.)	7940		7770		7620	
Peso de Molde (gr.)	4123		4110		4120	
Peso del suelo Húmedo (gr.)	3817.00		3660		3500	
Volumen de Molde (cm ³)	3211		3211		3211	
Volumen del Disco Espaciador (cm ³)	1095		1095		1095	
Volumen Útil (cm ³)	2116		2116		2116	
Densidad Húmeda (gr/cm ³)	1.80		1.73		1.65	
CAPSULA N°	1		2		3	
Peso de suelo Húmedo + Cápsula (gr.)	65.7		65.5		65.1	
Peso de suelo seco + Cápsula (gr.)	63.5		63.2		62.9	
Peso de Agua (gr.)	2.20		2.3		2.20	
Peso de Cápsula (gr.)	20.5		20.5		20	
Peso de Suelo Seco (gr.)	43.0		43.2		42.90	
% de Humedad	5.12		5.32		5.13	
Densidad de Suelo Seco (gr/cm ³)	1.72		1.64		1.57	

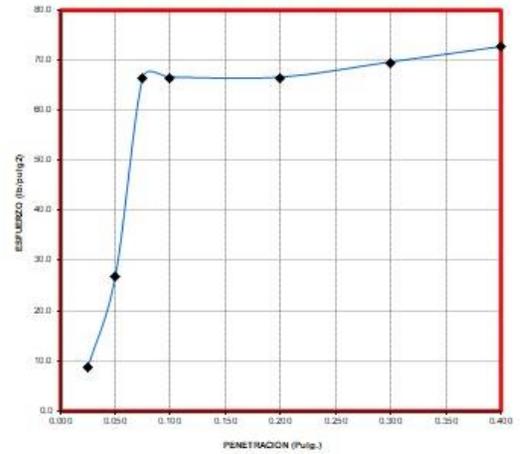
ENSAYO DE EXPANSION							Estructura	Limite Max
DIA	LECT. DIAL	HINCH. (%)	LECT. DIAL	HINCH. (%)	LECT. DIAL	HINCH. (%)	TIPO	HINCH. (%)
1	0.10	0.00	0.11	0.00	0.13	0.00	Base	1
2	0.11	0.12	0.12	0.24	0.15	0.48	Sub Base	2
3	0.12	0.36	0.15	0.60	0.18	0.60	Sub Rasante	3
4	0.13	0.24	0.18	0.84	0.22	0.96		

ENSAYO DE CARGA PENETRACION									
ENSAYO DE CARGA	LECTURA	MOLDE 1	56 GOLPES	LECTURA	MOLDE 2	25 GOLPES	LECTURA	MOLDE 3	12 GOLPES
PENETRACION	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²	DIAL	lbs.	lbs/pulg ²
0.025	8	44.3	14.8	6	26.1	8.7	5	14.3	4.8
0.050	17	126.4	42.1	12	80.8	26.9	10	62.6	20.9
0.075	32	263.1	87.7	25	199.3	66.4	15	108.1	36.0
0.100	36	299.6	99.86	25	199.3	66.4	16	117.3	39.1
0.200	38	316.9	105.6	25	199.3	66.4	17	126.4	42.1
0.300	39	326.9	109.0	26	208.4	69.5	18	135.5	45.2
0.400	40	336.0	112.0	27	217.5	72.5	19	144.6	48.2

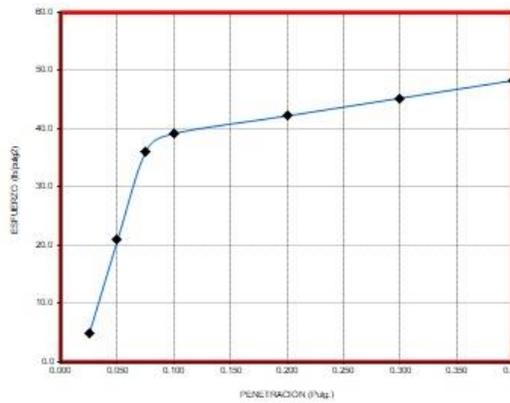
CURVA ESFUERZO - PENETRACION (California Bearing Ratio CBR) Molde 1



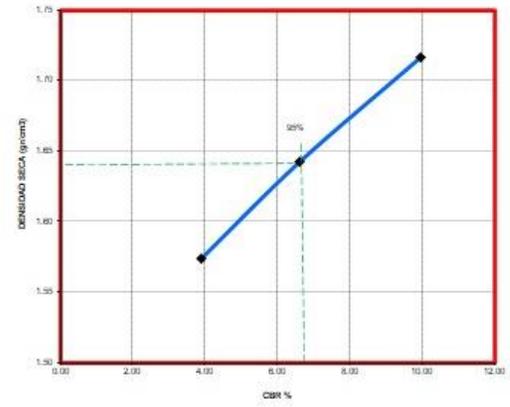
CURVA ESFUERZO - PENETRACION (California Bearing Ratio CBR) Molde 2



CURVA ESFUERZO - PENETRACION (California Bearing Ratio CBR) Molde 3



CURVA: DENSIDAD-CBR (CBR)



Valores Corregidos					
MOLDE Nº	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg ²)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
1	0.1	99.9	1000	9.99	1.72
2	0.1	66.4	1000	6.64	1.64
3	0.1	39.1	1000	3.91	1.57
MOLDE Nº	PENETRACION (pulg)	PRESION APLICADA (lbs/pulg ²)	PRESION PATRÓN (Lb/pulg ²)	C.B,R %	DENSIDAD SECA (gr/cm ³)
1	0.2	105.6	1500	7.04	1.72
2	0.2	66.4	1500	4.43	1.64
3	0.2	42.1	1500	2.81	1.57
Máxima Densidad Seca (gr./cm³)					1.72
ÓPTIMO Contenido de Humedad					5.12%
C.B.R Al 100 % de la Máxima Densidad Seca					9.99%
C.B.R Al 95% de la Máxima Densidad Seca					7.04%



**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (TERRENO NATURAL)
(ASTM D1557 – METODO A)**

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

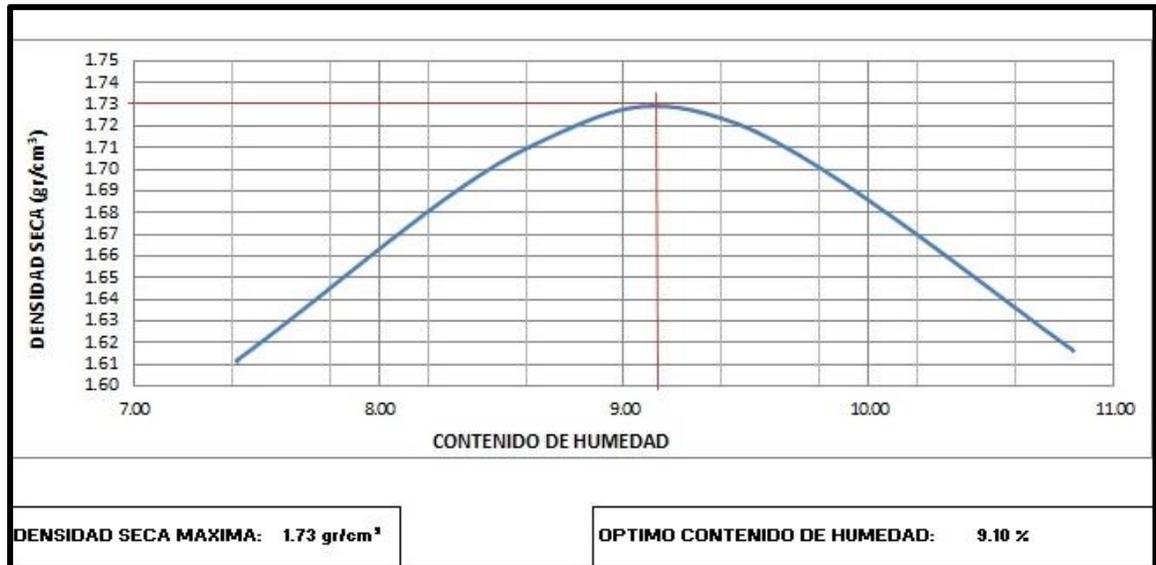
Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcilloso Limosa (SC-SM)

Calicata: **PC 01**

Estructura: SUBRASANTE

ENSAYO No	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
	1	2	3	4
Peso Tara + Suelo Húmedo (gr)	114.60	112.60	156.47	129.10
Peso Tara + Suelo Seco (gr)	109.10	107.00	146.65	120.62
Peso del Agua (gr)	5.50	5.60	9.82	8.48
Peso tara (gr)	34.95	42.00	42.92	42.36
Peso Suelo Seco (gr)	74.15	65.00	103.73	78.26
Contenido de humedad (%)	7.42	8.62	9.47	10.84
ENSAYO No	DENSIDAD SECA (gr/cm3)			
	1	2	3	4
Peso Molde+Peso Suelo Húmedo (gr)	3550	3671	3696	3608
Peso Molde (gr)	1895	1895	1895	1895
Peso Suelo Húmedo (gr)	1655	1776	1801	1713
Volumen Suelo Húmedo (gr)	956.04	956.04	956.04	956.04
Densidad Humeda (gr/cm3)	1.73	1.86	1.88	1.79
Densidad Seca (gr/cm3)	1.612	1.710	1.721	1.617





**ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (TERRENO NATURAL)
(ASTM D1557 – METODO A)**

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

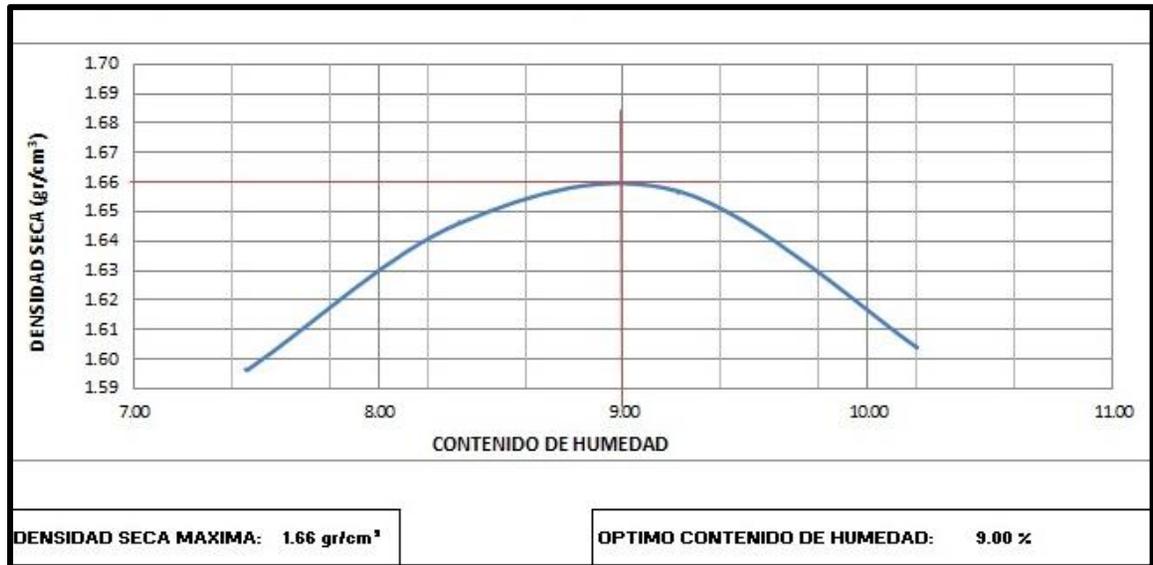
Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcilloso Limosa (SC-SM)

Calicata: **PC 02**

Estructura: SUBRASANTE

ENSAYO No	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
	1	2	3	4
Peso Tara + Suelo Húmedo (gr)	119.99	118.00	161.77	134.10
Peso Tara + Suelo Seco (gr)	114.10	112.00	151.65	125.62
Peso del Agua (gr)	5.89	6.00	10.12	8.48
Peso tara (gr)	35.10	40.00	42.00	42.50
Peso Suelo Seco (gr)	79.00	72.00	109.65	83.12
Contenido de humedad (%)	7.46	8.33	9.23	10.20
ENSAYO No	DENSIDAD SECA (gr/cm3)			
	1	2	3	4
Peso Molde+Peso Suelo Húmedo (gr)	3510	3575	3600	3560
Peso Molde (gr)	1870	1870	1870	1870
Peso Suelo Húmedo (gr)	1640	1705	1730	1690
Volumen Suelo Húmedo (gr)	956.04	956.04	956.04	956.04
Densidad Humeda (gr/cm3)	1.72	1.78	1.81	1.77
Densidad Seca (gr/cm3)	1.596	1.646	1.657	1.604



ENSAYO DE PROCTOR MODIFICADO (ASTM D1557 – METODO B)

Tesis: *“Diseño Estructural del Pavimento de la vía entre kilómetro 22.5 carretera Simbal y el anexo CPM Ciudad de Dios, Trujillo, La Libertad”*

Ubicación: CP Ciudad De Dios –Trujillo – La Libertad

Fecha: Noviembre del 2022

Tipo de Suelo: Arena Arcilloso Limosa (SC-SM)

Calicata: **PC 03**

Estructura: SUBRASANTE

ENSAYO No	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)			
	1	2	3	4
Peso Tara + Suelo Húmedo (gr)	171.70	152.30	167.00	157.50
Peso Tara + Suelo Seco (gr)	163.90	143.60	156.00	146.50
Peso del Agua (gr)	7.80	8.70	11.00	11.00
Peso tara (gr)	40.50	41.30	40.60	41.80
Peso Suelo Seco (gr)	123.40	102.30	115.40	104.70
Contenido de humedad (%)	6.32	8.50	9.53	10.51
ENSAYO No	DENSIDAD SECA (gr/cm3)			
	1	2	3	4
Peso Molde+Peso Suelo Húmedo (gr)	3700	3771	3785	3758
Peso Molde (gr)	1980	1980	1980	1980
Peso Suelo Húmedo (gr)	1720	1791	1805	1778
Volumen Suelo Húmedo (gr)	956.04	956.04	956.04	956.04
Densidad Humeda (gr/cm3)	1.80	1.87	1.89	1.86
Densidad Seca (gr/cm3)	1.692	1.727	1.724	1.683

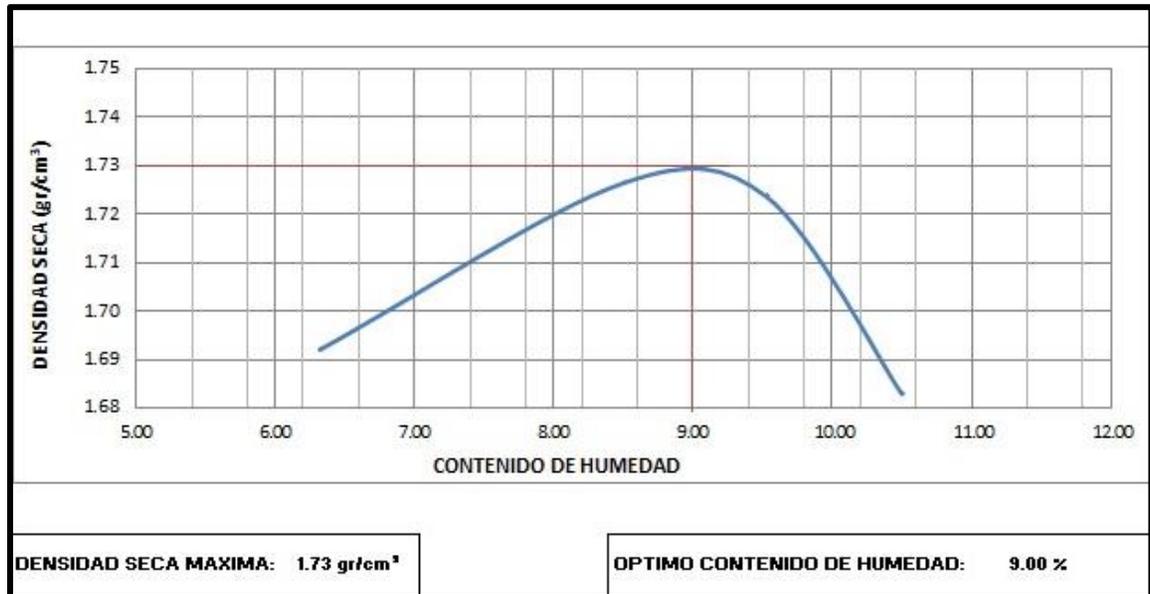


Tabla 33. Cálculo de EE * IMDa para Pavimento Flexible

TIPO DE VEHÍCULO		IMDa	TIPO	#	CARGA	TIPO EE	FACTOR EE (8.2 Ton)	EE * IMDa	
		2026	EJE	RUEDAS	Eje (Ton)	(8.2 Ton)	FLEXIBLE	FLEXIBLE	
MOTO		1 Eje	234	SIMPLE	1	0.07	EEs1	0.00000013	0.0000030
		2 Eje	234	SIMPLE	1	0.07	EEs1	0.00000013	0.0000030
MOTOTAXI		1 Eje	142	SIMPLE	1	0.07	EEs1	0.00000013	0.0000018
		2 Eje	142	SIMPLE	2	0.13	EEs1	0.00000015	0.0000021
AUTO		1 Eje	198	SIMPLE	2	1.00	EEs1	0.000527	0.10
		2 Eje	198	SIMPLE	2	1.00	EEs1	0.000527	0.10
STATION WAGON		1 Eje	62	SIMPLE	2	1.00	EEs1	0.000527	0.03
		2 Eje	62	SIMPLE	2	1.00	EEs1	0.000527	0.03
CAMIONETAS	PICK UP	1 Eje	68	SIMPLE	2	2.00	EEs1	0.00843	0.57
		2 Eje	68	SIMPLE	2	2.00	EEs1	0.00843	0.57
	PANEL	1 Eje	35	SIMPLE	2	1.00	EEs1	0.000527	0.02
		2 Eje	35	SIMPLE	2	1.00	EEs1	0.000527	0.02
	RURAL Combi	1 Eje	42	SIMPLE	2	2.00	EEs1	0.00843	0.36
		2 Eje	42	SIMPLE	2	2.00	EEs2	0.00843	0.36
BUS	2 E	1 Eje	1	SIMPLE	2	7.00	EEs1	1.265	1.11
		2 Eje	1	SIMPLE	4	11.00	EEs2	3.238	2.83
CAMION	2 E	1 Eje	34	SIMPLE	2	7.00	EEs1	1.265	42.79
		2 Eje	34	SIMPLE	4	11.00	EEs2	3.238	109.50
	3 E	1 Eje	6	SIMPLE	2	7.00	EEs1	1.265	7.89
		2 Eje	6	TANDEM	8	18.00	EEta2	2.019	12.60
	4 E	1 Eje	1	SIMPLE	2	7.00	EEs1	1.265	1.42
		2 Eje	1	TRIDEM	10	23.00	EEtr1	1.508	1.69

Nota: Se determinó un Numero de Ejes Equivalentes de 877,571.



Trujillo, 01 de julio del 2021

RESOLUCIÓN N° 0960-2021-FI-UPAO

VISTO, el informe favorable del Jurado Evaluador del Proyecto de Tesis, titulado **"DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LA VÍA ENTRE KILÓMETRO 22.5 CARRETERA SIMBAL Y EL ANEXO CPM CIUDAD DE DIOS TRUJILLO, LA LIBERTAD."**, del Bachiller: **SERGIO ALÍ RODRIGUEZ LÁZARO** de la Carrera Profesional de Ingeniería Civil, y;

CONSIDERANDO:

Que, el Jurado Evaluador conformado por los señores docentes: **Ing. ALFREDO VARGAS LOPEZ**, Presidente; **Ing. CARMEN GELDRES SANCHEZ**, Secretario; **Ing. ALVARO SALAZAR PERALES**, Vocal; han revisado el Proyecto de Tesis, encontrándolo conforme;

Que, el Proyecto de Tesis ha sido elaborado conforme a las exigencias prescritas por el Reglamento de Grados y Títulos de Pregrado de la Universidad, el mismo que fue sometido a evaluación por el mencionado jurado evaluador, quien por acuerdo unánime recomendó su aprobación, tal como se desprende del informe elevado a la Facultad de Ingeniería;

Que, de acuerdo al Artículo 28° del Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad, el Proyecto de Tesis se inscribe en el libro de proyectos de tesis a cargo de la Secretaría Académica de la Facultad;

Estando al Estatuto de la Universidad, al Reglamento de Grados y Títulos la Universidad y a las atribuciones conferidas a éste Despacho;

SE RESUELVE:

PRIMERO: APROBAR la modalidad de titulación solicitada por el Bachiller: **SERGIO ALÍ RODRIGUEZ LÁZARO**, consistente en presentación, ejecución y sustentación de una **TESIS** para optar el título profesional de **INGENIERO CIVIL**.

SEGUNDO: APROBAR y DISPONER la inscripción del Proyecto de Tesis titulado: **"DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LA VÍA ENTRE KILÓMETRO 22.5 CARRETERA SIMBAL Y EL ANEXO CPM CIUDAD DE DIOS TRUJILLO, LA LIBERTAD."**

TERCERO: COMUNICAR al Bachiller que tienen un plazo máximo de **UN AÑO** para desarrollar su tesis, a cuyo vencimiento, se produce la caducidad del mismo, perdiendo el derecho exclusivo sobre el tema elegido.

REGÍSTRESE, COMUNÍQUESE Y ARCHÍVESE.



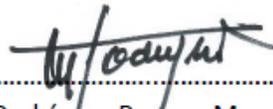
Dr. Ángel Alanca Quenta
DECANO

C. Copia
 Archivo
 Escuela Profesional de Ingeniería Civil
 Interesados
« A.A.Q. » *Kata*

COMPROMISO DEL ASESOR

MAMERTO RODRIGUEZ RAMOS, docente de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil identificado con ID: 000000352 debidamente colegiado y habilitado con CIP: 3689, me comprometo a asesorar el proyecto de tesis titulado **“DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO DE LA VIA ENTRE KILÓMETRO 22.5 CARRETERA SIMBAL Y EL ANEXO CPM CIUDAD DE DIOS, TRUJILLO, LA LIBERTAD”** cuyo autor es el bachiller RODRIGUEZ LAZARO SERGIO ALI; hasta la sustentación de la misma.

Trujillo, 15 de abril del 2021



.....
Rodríguez Ramos, Mamerto
CIP: 3689