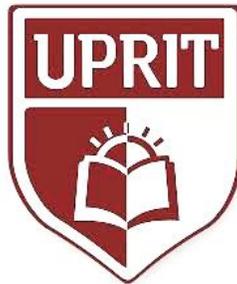


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A
TRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E
INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM PARA CARRETERA
SANTIAGO DE CHUCO - CACHICADAN, LA LIBERTAD, 2020.**

**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTORES:

**Anselmo Guevara Hidalgo
Fredy Elmer Quispe Añacata**

ASESOR:

ING. DURAND BAZAN, ENRIQUE

TRUJILLO - PERU

2020

APROBACIÓN DE LA TESIS

Los miembros del jurado evaluador asignados, **APRUEBAN** la tesis denominada:

**ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A TRAVÉS
DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO
DE INGENIERÍA DE LA UNAM, PARA LA CARRETERA DE SANTIAGO DE
CHUCO CACHICADAN, LA LIBERTAD, 2020.**

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO
PRESIDENTE

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

Ing. Nombres y Apellidos
JURADO

DEDICATORIA.

A Dios, por darme vida y salud, agradecido por las oportunidades y bendiciones que me da en el día a día.

A Mis padres, por educarme con valores, por sus consejos e impulso a seguir adelante.

A mis hijos, porque son el motivo de cumplir mis logros y metas, gracias por el inmenso amor que me transmiten, los amo.

A mi familia, gracias por todas sus bondades y apoyo en cada momento importante de mi vida.

Bachiller:

Anselmo Guevara Hidalgo

Fredy Elmer Quispe Añacata

AGRADECIMIENTO.

A Dios, por su infinito amor y ser mi fortaleza para lograr mis metas, guiar mi camino en cada etapa de mi vida.

A mis padres, por su apoyo constante y cultivar en mí buenos valores, por enseñarme a luchar por mis metas.

A mi compañera y amor de mi vida, por su amor y apoyo constante a seguir superándome.

A mis hijos que por ellos son la fuerza a impulsar mis logros.

A mi asesor por el tiempo dedicado a lograr mis expectativas en la presente tesis.

Bachiller:

Anselmo Guevara Hidalgo

Fredy Elmer Quispe Añacata

INDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Realidad de problemática	1
1.2. Formulación del problema	9
1.3. Hipótesis	9
1.4. Justificación.....	9
1.5. Objetivos de investigación:	12
CAPITULO II	13
MARCO TEORICO.....	13
2.1. Antecedentes	13
2.2. Bases Teóricas.....	17
CAPITULO III	48
MATERIALES Y MÉTODOS	48
3.1. Operacionalización de Variables.....	48
3.1 Objeto de Estudio.....	49
3.2 Materiales y Métodos	50
3.3. Procedimiento Experimental	55
3.4 Desarrollo de Tesis.....	61
CAPITULO IV.....	62
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	62
4.1 Resultados	62
4.2 Discusión.....	87
CAPITULO V.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	91
5.1 Conclusiones.....	91

5.2 Recomendaciones.....	92
Referencias	93
Anexos.....	96
Anexo N° 1: Validación de Instrumentos de recolección de datos.....	96
Anexo N° 2: Instrumentos de recolección de datos (Guía de Observación – Descripción del estado actual de la carretera).....	97
Anexo N° 3: Instrumentos de recolección de datos (Guía de Observación – Conteo Vehicular)	98
Anexo N° 4: Estado situacional actual de la carretera N°01	99
Anexo N° 5: Estado situacional actual de la carretera N°02.....	100
Anexo N° 6: Panel fotográfico calicata N° 01	101
Anexo N° 7: Panel fotográfico de calicata N° 02	103
Anexo N° 8: Panel fotográfico del Estudio de Tráfico.....	105
Anexo N° 9: Hoja de Reporte de conteo vehicular diario	110
Anexo N° 10: Panel fotográfico de Ensayo de Granulometría.....	111
Anexo N° 11: Panel Fotográfico de Ensayo de Contenido de Humedad.....	114
Anexo N° 12: Panel fotográfico del ensayo de Límites de Consistencia.....	115
Anexo N° 13: Panel fotográfico de Ensayo Próctor Estándar y CBR.....	117
Anexo N° 14: Resultados de Ensayo de Granulometría Calicata N° 01	121
Anexo N° 15: Resultados de Límites de Consistencia Calicata N° 01	122
Anexo N° 16: Resultados de Ensayo Proctor Calicata N° 01	123
Anexo N° 17: Resultados de Ensayo CBR Calicata N° 01	124
Anexo N° 18: Resultados Ensayo de Granulometría Calicata N° 02	126
Anexo N° 19: Resultados Ensayo de Límites de Consistencia Calicata N° 02	127
Anexo N° 20: Resultados Ensayo Proctor Calicata N° 02	128
Anexo N° 21: Resultados Ensayo CBR Calicata N° 02	129
Anexo N° 22: Factores de carga de vehículos utilizados en el diseño	131
Anexo N° 23: Factores de carga de vehículos utilizados en el diseño	132
Anexo N° 24: Tabla de factores para determinar el carril de diseño.....	133
Anexo N° 25: Captura de pantalla de Software de diseño de pavimentos AASTHO	134
Anexo N° 26: Hoja de cálculo Excel para cálculo de espesores de carpeta asfáltica AASTHO 93	136
Anexo N° 27: Ábaco para el cálculo de espesor de carpeta asfáltica por el método del Instituto del Asfalto.....	137
Anexo N° 28: Tránsito del Proyecto – Software Dispav 5	138
Anexo N° 29: Tráfico del proyecto para la metodología Instituto de Ingeniería de la UNAM	139

Anexo N° 30: Sección de capas estructurales para la metodología Instituto de Ingeniería de la UNAM....	140
.....	140
Anexo N° 31: Características de los materiales – Software Dispav 5	141
Anexo N° 32: Características de los Materiales – Datos introducidos en el software	142
Anexo N° 33: Nivel de Confianza del proyecto	143
Anexo N° 34: Resumen de datos del comportamiento estructural de las capas estructurales – Dispav 5 ...	144
.....	144
Anexo N° 35: Resultados Finales del proyecto – Método del Instituto del Asfalto	145
Anexo N° 36: Análisis de Costos Unitarios para Metodología Instituto del Asfalto	147
Anexo N° 37: Análisis de Costos Unitarios para Metodología Instituto de Ingeniería de la UNAM	148
.....	148

INDICE DE FIGURAS

Fig. 1	Mapa político de la Región La Libertad	19
Fig. 2	Mapa político de la Provincia de Santiago de Chuco	20
Fig. 3	Santiago de Chuco proyección de la población por sexo y comparativa con la región la libertad 2000-2015	22
Fig. 4	Sección típica de un pavimento.	24
Fig. 5	Curvas de espesor de base granular para distintos tráficos.	33
Fig. 6	Localización de tensiones consideradas en la metodología de diseño.....	34
Fig. 7	Operacionalización de variables	48
Fig. 8	Esquema de Las Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos	51
Fig. 9	Comparación de capas estructurales por los 3 métodos de diseño.....	52
Fig. 10	Comparación de Costos de los 3 métodos diseñados en base a 1km de carretera .	53
Fig. 11	Diagrama de Flujo del Procedimiento Experimental de la Investigación	55
Fig. 12	Datos informativos del conteo vehicular	65
Fig. 13	Pantalla de entrada del programa Dispav-5Fuente: Captura tomada de software Dispav-5 desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.....	75
Fig. 14	Estructura de la carretera	77
Fig. 15	Histograma comparativo de espesor de carpeta asfáltica (cm) según las metodologías utilizadas en esta investigación.....	84
Fig. 16	Histograma comparativo de espesor de base granular (cm) según las metodologías	

utilizadas en esta investigación.....	84
Fig. 17 Histograma comparativo de espesor de Sub - base granular (cm) según las metodologías utilizadas en esta investigación.....	85
Fig. 18 Histograma resumen de espesores de capas estructurales según las metodologías empleadas	85
Fig. 19 Costos de 1km de pavimento según Metodología de diseño empleada.....	86
Fig. 20 Histograma donde se muestra el costo de 1k de pavimento según la metodología empleada	86

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Clasificación de Carreteras según IMDA	18
Tabla 2	N° de CBR según el tipo de carretera en estudio.	27
Tabla 3	Categoría de la sub rasante según su CBR.....	28
Tabla 4	Selección del tipo de cemento asfáltico según temperatura	30
Tabla 5	Factor de crecimiento según el periodo de diseño.....	35
Tabla 6	Carril de diseño	36
Tabla 7	Factores de equivalencia de carga	37
Tabla 8	Valores percentil para el Mr subrasante	40
Tabla 9	Normas para ensayos	40
Tabla 10	Grados de asfalto	40
Tabla 11	Espesores mínimos para bases con emulsión asfáltica	41
Tabla 12	Espesores mínimos para bases no tratados.....	41
Tabla 13	VRSz máximos para todos los niveles de tránsito.	45
Tabla 14	VRSz mínimos para todos los niveles de tránsito. (Corro et al, 1999).....	46
Tabla 15	Características técnicas actuales de la carretera costanera	62
Tabla 16	Ubicación georreferenciada de la carretera	63
Tabla 17	Ubicación georreferenciada de la carretera (muestra 4km).	63
Tabla 18	Ubicación georreferenciada de las calicatas.....	64
Tabla 19	Resumen de conteo vehicular	65
Tabla 20	Resumen del IMDS por vehículos ligeros y pesados.....	66
Tabla 21	Resumen del IMDA proyectado por tipos de vehículos.....	67
Tabla 22	Resultados de Análisis Granulométrico	68
Tabla 23	Clasificación de Suelos según AASHTO Y SUCS	68

Tabla 24	Resultados del Contenido de Humedad.	68
Tabla 25	Resultados de Límites de Consistencia.....	69
Tabla 26	Resultados del Próctor Estándar y CBR.....	69
Tabla 27	Cálculo de los ejes equivalentes por cada tipo de vehículo.	70
Tabla 28	Variables y cálculo del número estructural propuesto (SN)	72
Tabla 29	Variables y Cálculo de los espesores del pavimento flexible	74
Tabla 30	Resumen de Espesores – Diseño de pavimento flexible AASHTO 03.....	75
Tabla 31	Tipos de carreteras mostrados en el método de diseño	76
Tabla 32	Profundidad de daño según el tránsito en millones de ejes estándar.	76
Tabla 33	% CBR y Módulo de rigidez en cada capa utilizada en el método.	78
Tabla 34	Resultados finales del proyecto.....	78
Tabla 35	Percentiles de diseño (%) según el nivel de tráico.....	79
Tabla 36	Resumen de CBR obtenidos en Laboratorio y CBR de diseño	80
Tabla 37	Temperatura media anual del aire elegido.....	80

Tabla 38	Parámetros de obtenidos por el método del Instituto del Asfalto	81
Tabla 39	Espesor mínimo de asfalto recomendado.....	81
Tabla 40	Espesores de carpeta por cada capa de	82
Tabla 41	Resumen de resultados de espesores de carpetas estructurales	83

RESUMEN.

La presente investigación se realizó en Trujillo, en la Universidad Privada de Trujillo utilizando el laboratorio de materiales y suelos de la Universidad Nacional de Trujillo, tuvo como objetivo realizar el análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, para el desarrollo de la tesis se utilizó un diseño no experimental, transversal y descriptivo, el muestreo fue no probabilístico por conveniencia, para la recolección de datos se utilizó la técnica de la observación y el instrumento utilizado fue la guía de observación, para el análisis de datos se utilizó el método de la estadística descriptiva. El problema radica en la falta de una adecuada carpeta de rodadura para el tráfico que presentan las carreteras el cual aumentará con el transcurrir de los años, causando un déficit elevado de la oferta vial de la carretera en estudio, afectando la transitabilidad, confort de los usuarios de las carreteras e inclusive la integración y desarrollo de las comunidades. Como resultados se obtuvieron espesores de carpeta asfáltica de 7cm, 12.5cm y 7.5cm, base granular de 12.5cm, 15cm, 17.5cm y sub base granular de 22.5cm, 15cm, 20cm; para los métodos AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM respectivamente. Se logró determinar que la mejor alternativa de diseño de pavimento flexible de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadan es mediante la metodología de diseño de AASTHO 93 reduciendo en 7% de espesor de carpeta asfáltica y con un ahorro de 5.56% con respecto a las otras metodologías empleadas en esta investigación.

Palabras clave: Diseño de pavimento flexible, metodologías de diseño de pavimentos, mecánica de suelos, IMDA, carpeta asfáltica, carpeta granular.

ABSTRACT.

The present research was carried out in Trujillo, at the Private University of Trujillo using the materials and soils laboratory of the National University of Trujillo. The objective was to carry out the analysis of the structure of the asphalt pavement through the methods AASTHO 93, Asphalt Institute and Engineering Institute of the UNAM for the roads of Santiago de Chuco to Cachicadan, For the development of the thesis a non-experimental, transversal and descriptive design was used, it was non-probabilistic for convenience, for data collection the technique of experimental observation was used and the instrument used was the observation guide, for data analysis the method of descriptive statistics was used. The problem lies in the lack of an adequate folder for the traffic on the roads, which will increase over the years, causing a high deficit in the road supply of the road under study, affecting the passability, comfort of road users and even the integration and development of communities. In the analysis of the results, the thickness of the asphalt layer was obtained as 7cm, 12.5cm and 7.5cm, granular base of 12.5cm, 15cm, 17.5cm and granular sub-base of 22.5cm, 15cm, 20cm; for the methods AASTHO 93, Asphalt Institute and Engineering Institute of the UNAM respectively. It was determined that the best alternative for the design of flexible pavement of the Santiago de Chuco - Cachicadan highway is through the design methodology of AASHTO 93, reducing in 7% the thickness of the asphalt layer and with a saving of 5.56% with respect to the other methodologies used in this research.

Keywords: Flexible pavement design, pavement design methodologies, soil mechanics, IMDA, asphalt binder, granular binder.

I. INTRODUCCIÓN.

1.1. Realidad problemática.

La construcción de vías óptimas tiene gran importancia en cualquier situación geográfica, porque facilitan el traslado de los habitantes de las poblaciones cercanas y de ser estos agricultores proporcionan el traslado de sus productos a las diversas ciudades; de esta manera se garantiza el desarrollo socioeconómico del sector, además de ofrecer un mejor acceso a las necesidades básicas. (Macías, 2010)

El diseño de pavimento ha evolucionado gradualmente de un arte a una ciencia, el empirismo continúa jugando un rol importante aún en el presente. Anteriormente, en los años 20 el espesor de pavimento estaba basado en la experiencia. El mismo espesor fue usado para cualquier sección de carretera, a pesar de que los tipos de suelo, eran diferentes. Se fue ganando experiencia a través de los años y varios métodos fueron desarrollados por diferentes agencias para determinar el espesor requerido de un pavimento. (Huang, 2004)

La importancia técnica y económica de los pavimentos es indudable en el contexto del desarrollo viario, pero con frecuencia sólo son percibidos por los que circulan por las carreteras cuando su estado es deficiente; en España, ciertamente, esto ha sido lo más habitual al menos durante tres cuartas partes del siglo pasado. Por tanto, los españoles solemos tener una percepción de los pavimentos sobre todo en términos negativos. A pesar de esto, se refiere en realidad a lo que en España denominamos habitualmente los firmes de las carreteras. En efecto, los ingenieros españoles, aunque no así los hispanoamericanos, distinguimos entre la estructura, que denominamos firme, formada por varias capas que se colocan sobre la obra de tierra, y la parte superior de dicha estructura, que denominamos pavimento. (Del Val, 2007)

Debe reconocerse que los pavimentos que México necesita en sus carreteras no son hoy los mismos que fueron en otras épocas. Circunscribiendo las ideas a la red nacional pavimentada, tal como es el

objetivo del presente trabajo, debe aceptarse un muy importante cambio de circunstancias entre el momento actual y las épocas en que las carreteras mexicanas empezaron a ser construidas y en que en buena parte se desarrollaron. (Téllez & Rico, 1998)

En Costa Rica, cuando se desea construir una carretera y se encuentra una sub-rasante del tipo arcillosa de alta plasticidad, generalmente se recurre a la sustitución de sub-rasante; esto provoca que los costos de acarreo de materiales aumenten, encareciendo económicamente los proyectos de carreteras. El cemento, debido a sus características, tiene dificultades para mezclarse con los suelos arcillosos de alta plasticidad y suele requerirse en cantidades anti- económicas. En el caso de la cal, no se utiliza mucho en el país; ya que, los proveedores de cal no proporcionan un material de la calidad requerida para la estabilización de sub-rasantes, representa, sin embargo, una alternativa de menor costo para estabilizar sub-rasantes arcillosas. (Hurtado, 2016)

En países con pocos recursos económicos como Nicaragua, se requiere invertir de la forma más eficiente los fondos disponibles para el desarrollo de la red vial local. Por lo tanto las instituciones y profesionales dedicados al diseño y construcción de la red vial local deben promover y utilizar todos aquellos criterios de diseño y construcción, obtenidos en los últimos años alrededor del mundo, para el mejoramiento del desempeño de los pavimentos y la optimización de los recursos económicos. (Morales & Chávez, 2009)

En el Perú, el diseño de pavimentos es en su mayoría un diseño de pavimentos asfálticos. Lamentablemente no están muy difundidos los conceptos relativos a los pavimentos rígidos, debido en parte a paradigmas culturales y a la falta de experiencia, producto de la brecha tecnológica en: diseño, construcción, supervisión y evaluación de este tipo de pavimentos. (Becerra, 2012). Si observamos el estado de nuestras carreteras y caminos rurales, en la Libertad, en cuanto a su estado actual pavimentado, nos enfrentamos a un déficit elevado de vías pavimentadas, lo cual nos hace reflexionar en cuanto al rol de la gestión del gobierno y la adecuada evaluación de las diferentes alternativas que existen para pavimentar estas vías, ya que las infraestructuras y los servicios de transporte deben

cumplir con ser económicos, sostenibles, rentables, eficientes y confiables.

Actualmente los diseños de pavimentos en el país están normados por el Ministerio de Transportes y comunicaciones, El Manual de “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos” en su Sección Suelos y Pavimentos, forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC se propone como una guía y herramienta para los Ingenieros relacionados al diseño estructural de los pavimentos, con el propósito de homogenizar y estandarizar los diseños, tomando en cuenta la experiencia y estudio sistemático de las características y comportamiento de los materiales y de acuerdo a las condiciones específicas de los diversos factores que inciden en el desempeño de los pavimentos, como el tráfico, el clima y los sistemas de gestión vial.

En el Perú, el transporte más usado es el transporte mediante carreteras, esto nos hace pensar en que como profesionales debemos tratar de analizar diferentes métodos para el diseño del pavimento, para así optimizar los resultados obtenidos, con menor costo y mayor calidad. La necesidad de pavimentar las carreteras de la sierra liberteña surge como resultado del mal estado en que se encuentran, mostrando ahuellamientos, baches y desniveles; otro factor importante es el tráfico que presentan, ya que muchas de ellas deben soportar vehículos pesados debido a las diferentes empresas de minería que existen en la región. (Guevara & Quispe, 2020).

En la provincia de Santiago de Chuco, la mayoría de las carreteras se encuentran sin pavimentar y en un estado deplorable careciendo de una buena serviciabilidad para los usuarios de las mismas, las carreteras de la provincia en su mayoría se encuentran con suelos arcillosos los cuales ocasionan la acumulación de agua en la carretera en el tiempo de lluvias, además existen precipicios que varían hasta los 150 m, lo cual hace que sean vías que ponen en riesgo a los usuarios. (Guevara & Quispe, 2020).

En la zona se ejecutó la carretera Shorey – Santiago de Chuco en el año 2014, la cual estuvo a cargo

del consorcio Alvac-Johesa y actualmente es administrada por Provias Nacional. En fecha 18 de abril de 2013, el consorcio Alvac-Johesa, formado por la empresa española ALVAC S.A. y por la empresa peruana JOHESA S.A, para la prestación del servicio de gestión y conservación vial por niveles de servicio del corredor vial de 408 km entre Puente Chuquicara, Cabana, Pallasca, Santiago de Chuco y Shorey, y entre Tauca, Bambas y Desvío Sihuas. La carretera en mención discurre a gran altitud, por momentos superando los 4.000 metros sobre el nivel del mar y en su mayor parte por encima de los 3.000 metros. La carretera atraviesa una región minera en la que se localizan algunas de las mayores minas de oro de todo el mundo. (Consortio ALVAC - JOHESA, 2013).

En las carreteras de la sierra de nuestro departamento, uno de los principales problemas radica en la falta de una adecuada carpeta de rodadura para la demanda de tráfico que presenta la carretera y la cual aumentará con el transcurrir de los años posteriores, causando un déficit elevado de la oferta vial de las carreteras de la sierra de la libertad. Las carreteras de la sierra liberteña actualmente en su mayoría son trochas carrozables en mal estado, dichas trochas se hicieron con el objetivo de interconectar las localidades, distritos y provincias de la región. Además, las vías presentan curvas peligrosas debido a la topografía que presenta nuestro departamento, causando así un tránsito muy lento sobre todo por vehículos pesados, y muchas veces hasta llegan a presentarse accidentes de los usuarios de la vía. (Guevara & Quispe, 2020).

Debido a la topografía ondulada y accidentada de la sierra en la Libertad, las carreteras presentan precipicios los cuales pueden llegar a tener más de 150m y además algunas vías de la región cuentan con un ancho de carril menor que el requerido para su tráfico, muchas veces sucede que dos vehículos pesados no pueden cruzar por la vía al mismo tiempo, esto hace de que uno de ellos tenga que retroceder hasta una sección más amplia de la vía causando riesgo de las personas que se trasladan en los vehículos. Muchas de las carreteras en mención presentan pontones en mal estado y al borde del colapso lo que origina un riesgo para los usuarios de la carretera.

En épocas de lluvia las carreteras suelen presentar un estado deplorable, debido a que contienen agua dentro de su superficie generando así charcos y también enlodamiento de la carretera lo que genera ahuellamientos generando que los vehículos más bajos tengan dificultades de traslado, una pérdida de tiempo para los pobladores y mayor gasto de combustible usado para el traslado. Ante ello surge la decisión de buscar alternativas de diseño estructural para los pavimentos de la carretera de manera que garantice el confort a los usuarios, generando comodidad, durabilidad y al mismo tiempo que sea una alternativa económica. Además, las carreteras en mención se encuentra en condiciones inapropiadas para el tráfico de vehículos que soportará dentro de los próximos años, el distrito de Santiago de Chuco es la capital de La provincia que lleva el mismo nombre, y es un distrito el cual viene en un crecimiento emergente durante los últimos años, lo cual provoca un aumento de la economía, cultura, y turismo de la zona. Esto está generando un aumento de vehículos que transitan por la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan.

A lo largo de los años el estado y las entidades gubernamentales de nuestro país han enfocado sus esfuerzos en construir y mantener la red vial nacional y departamental que comunican las principales ciudades y las regiones, descuidando la red vial vecinal o rural que son la base de un gran porcentaje del desarrollo económico, social y cultural. En particular las soluciones de pavimentación para estas vías han sido dejarlas a nivel de afirmado, el cual por sus características es susceptible a deteriorarse en épocas de invierno, dificultando en ocasiones la comercialización de los productos, turismo, transitabilidad, entre otros; esta situación se refleja en el aumento de los costos de transporte. Las entidades gubernamentales buscan la manera de optimizar los recursos de nuestro país, es por ello que en este trabajo de investigación se pretende analizar la estructura de un pavimento asfáltico por medio de tres métodos con el fin de encontrar una alternativa que optimice tanto los costos empleados para su construcción, así como la adecuada oferta vial que presenta la carretera, además de un confort y durabilidad adecuados para el uso de la carretera.

La presente investigación pretende ofrecer adecuada oferta vial para la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, causando así el beneficio de los pobladores de la zona, la reducción de accidentes, la

optimización del tiempo de traslado, el ahorro del combustible usado para el traslado. La no evaluación de la estructura del pavimento a través de las diferentes metodologías que existen para su diseño produce un déficit en la utilización de los recursos empleados para la construcción de la carretera, generando así mayores costos y espesores mayores de los que la vía necesita para su correcto funcionamiento de modo que las cargas impuestas debido a el tránsito que circula no generen deformaciones permanentes excesivas.

1.2. Formulación del problema.

¿Cuál es el análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, La Libertad, 2020?

1.3 Justificación.

Las carreteras de la sierra liberteña actualmente en su mayoría son trochas carrozables en mal estado, dichas trochas se hicieron con el objetivo de interconectar las localidades, distritos y provincias de la región. Además, las vías presentan curvas peligrosas debido a la topografía que presenta nuestro departamento, causando así un tránsito muy lento sobre todo por vehículos pesados, y muchas veces hasta llegan a presentarse accidentes de los usuarios de la vía.

Las carreteras de Santiago de Chuco son vías que sirven como vías de intercomunicación de la mayoría de distritos de la provincia de Santiago de Chuco, y el tramo en estudio es un tramo ubicado en una zona crucial la cual debe ser utilizada por los diferentes distritos como Cachicadán, Angasmárca, Santa Cruz de Chuca, etc. y demás caseríos de la zona. Esta vía no posee un ancho adecuado de la calzada, tampoco cuenta con señalizaciones adecuadas, tiene pontones en mal estado y un déficit de confort, lo cual ya ha sido causante de múltiples accidentes. Por tanto, esto provoca una

pérdida del tiempo de traslado.

Ante ello, la presente investigación se justifica por su relevancia social. La respuesta de pavimentar dichas vías es inminente y ante lo cual surgió este trabajo de investigación con el fin de evaluar distintas metodologías de diseño estructural de pavimentos para así obtener una metodología apropiada, que garantice un diseño estructural capaz de hacer frente al tráfico de los vehículos que transitan por la carretera.

La presente investigación tuvo como beneficiarios directos a toda la población de Santiago de Chuco y de Cachicadán; como son pobladores, comerciantes, ganaderos e inclusive empresas que están establecidas desde años atrás en la extracción de mineral, se beneficiarían directamente con la vía en estudio.

Asimismo, la presente investigación tuvo como beneficiarios indirectos a localidades que se encuentran en los alrededores de Santiago de Chuco y Cachicadán, pero servirán como nexo entre estas localidades para que en años posteriores también puedan tener iniciativa y conlleve a la construcción de todos los ramales de vías de toda la provincia de Santiago de Chuco.

Este trabajo de investigación es necesario debido a que mediante la aplicación de las metodologías de diseño para la estructura del pavimento asfáltico podemos tener no solo una, sino tres propuestas para el diseño estructural de las carreteras de Santiago de Chuco, lo cual nos permite poder evaluar entre ellas una alternativa de diseño óptima para la carretera en mención

El presente trabajo de investigación servirá como base para futuros tesis que estén interesados en determinar la estructura del pavimento asfáltico de las distintas carreteras que se encuentran en el Perú, especialmente las que se encuentran en la sierra liberteña debido a que las mismas por muchos años siguen en estado de trochas carrozables igual que las carreteras en estudio.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General.

Realizar el análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, La Libertad, 2020.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- O.E. 1.- Identificar la situación actual de la carretera, y realizar los estudio previos topográficos, de suelos y de tráfico para el diseño estructural del pavimento la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, La Libertad, 2019.
- O.E. 2.- Determinar los espesores de las capas estructurales del pavimento asfáltico utilizando los métodos AASHTO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, La Libertad, 2019.
- O.E. 3.- Comparar el costo y estimar la mejor alternativa de la estructura del pavimento asfáltico utilizando los métodos AASHTO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para la carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan, La Libertad, 2019.

1.4. Antecedentes.

En la tesis **“Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1ºetapa”** (Fontalba, 2015), buscó entregar una alternativa al diseño del pavimento de la Avenida Circunvalación Sector Guacamayo 1º Etapa. Su estudio se orientó principalmente en el cálculo de un pavimento asfáltico el cual se diseña haciendo uso del método mexicano Dispav – 5. En una primera parte de su investigación realizó el diseño estructural del pavimento mediante Dispav – 5 junto con el diseño mediante AASHTO 93, que es el método oficial de diseño en su país. Para llevar a cabo esto se realizó un estudio de

tránsito del sector en cuestión, para caracterizar de esta forma el flujo de vehículos pesados. Además contó con el estudio de suelos y las especificaciones técnicas del proyecto original. Luego hizo una comparación de los resultados que entregan ambos métodos y obtuvo que las diferencias principales entre los métodos se presentan a nivel de las capas granulares, más no en la capa estructural de asfalto. En cuanto a los costos asociados a ambos métodos las diferencias eran mínimas, teniendo un menor costo de ejecución el método AASHTO 93. (p57.). Esta tesis nos sirvió para platear el procedimiento de procesamiento de datos y ampliar el marco teórico.

En la investigación **“Flexible Pavement Design AASHTO 1993 versus Mechanistic-Empirical Pavement Design”** (Ayman, 2013). El procedimiento de diseño AASHTO 1993 se basó en ecuaciones empíricas derivadas de la prueba de carretera AASHO realizada a finales de los años 1950 en una pista de prueba en Ottawa, Illinois. La prueba proporcionó información muy útil para el diseño del pavimento en ese momento. Sin embargo, con el presente avance en materiales y dramático aumento en el tráfico. Volúmenes, este procedimiento de diseño empírico comenzó a mostrar inconvenientes masivos. La comparación de ambos métodos de diseño reveló que los pavimentos diseñados bajo la metodología AASHTO 1993 no se desempeñan igualmente al final de su vida de diseño. Terminal los valores actuales del Índice de capacidad de servicio (PSI) son diferentes para diferentes niveles de tráfico y ubicaciones El craqueo por fatiga previsto y la formación de surcos mostraron una tendencia similar a la terminal valores de PSI. También se encontró que el AASHTO 1993 sobrestima las capas de pavimento espesores El craqueo por fatiga previsto mostró una alta sensibilidad a los insumos de diseño bajo el alcance del estudio. También se encontraron condiciones ambientales y carga de tráfico. Ser los parámetros de entrada más influyentes en el rendimiento del pavimento seleccionado índices. Los resultados

inesperados de la acumulación de vaticinaciones predichas llevaron a una mayor investigación y el modelo de predicción de rutping de MEDPG se evaluó con respecto a un celo egipcio modelo de predicción. Modelo de predicción adoptado por MEPDG produjo menor valores para la deformación permanente en comparación con el modelo de celo egipcio y más se encontró que la calibración para el modelo de predicción de la acumulación de MEPDG era necesaria. (p159.).

“Including reliability in the AASHTO-93 flexible pavement design method integrating pavement deterioration models” (Rodríguez, 2015) La confiabilidad usada en el diseño de un pavimento se asigna según recomendaciones de guías de diseño o de acuerdo al criterio del diseñador, es decir no existe una herramienta racional para su estimación. Además, el valor elegido es determinista y no considera la naturaleza aleatoria del proceso ni las condiciones reales de carga, clima, comportamiento de materiales e impacto del proceso constructivo que afectan el desempeño de la estructura cuando se encuentra en servicio Esta investigación propone enlazar el método de diseño y los modelos de deterioro calibrados a condiciones locales que consideran el comportamiento real de los materiales, la variabilidad del proceso constructivo, las solicitaciones reales de carga y clima cuando se encuentran en operación. Para ello se desarrolla un modelo de simulación del tipo Monte Carlo, usando datos de campo y conceptos estadísticos que permiten definir las variables del modelo como variables aleatorias. Posteriormente, con las variables encontradas y utilizando la teoría de confiabilidad y el modelo de serviciabilidad, se evalúa el método de diseño y los modelos de deterioro a través de un análisis de oferta y demanda para obtener el valor de confiabilidad que reduce la incertidumbre del desempeño de la estructura cuando se encuentra en operación. (p 109).

En la tesis, **“Diseño óptimo de la estructura del pavimento flexible en la H.U.P. Villa Victoria del distrito de nuevo Chimbote, mediante el método del Instituto del Asfalto y AASHTO 93”** (Lozano, 2015) investigó teniendo en cuenta la política de mejorar el status de vida de la población de Nuevo Chimbote mediante la ejecución de obras de pavimentación, es que surge la necesidad de contar con un diseño óptimo de la estructura del pavimento flexible en la H.U.P. villa victoria del distrito de Nuevo Chimbote, lo cual se logrará mediante la aplicación para el diseño de los métodos del Instituto del Asfalto y AASHTO. Después de evaluar los resultados obtenidos por los métodos del Instituto del Asfalto y AASHTO, se determinó que el diseño óptimo de la estructura del pavimento flexible para la H.U.P. Villa Victoria tendrá un espesor total de 11.5 pulgadas constituida por una capa de concreto asfáltico de 2.0 pulgadas, una capa de base granular de 5.5 pulgadas y una capa de sub base granular de 4.0 pulgadas. (p 85.). Esta tesis nos servirá para la discusión de resultados

Asimismo, en **“Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica - 2017.”** (Escobar & Huincho, 2017), como parte de su trabajo de investigación realiza el análisis y evaluación del desempeño estructural del pavimento flexible mediante la aplicación de una de las variables obtenidas en laboratorio y el cálculo por medio de las ecuaciones de AASHTO 93 e Instituto del asfalto. Esta dentro de los parámetros de diseño según la norma peruana del Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos. El problema de investigación fue el analizar la influencia de los parámetros para un análisis de la estructura del pavimento debido a las fallas en la superficie de rodadura de la carpeta asfáltica. Es por ello desarrollar la investigación en el área de infraestructuras viales y de esta manera poder preservar la vida útil del pavimento. El problema, por otro lado, surge por la inquietud de porque el pavimento muestra una baja serviciabilidad de la carpeta asfáltica. La investigación

se realizó en base al problema: ¿Cómo influyen los parámetros de diseño para diseñar el pavimento flexible debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa - Sachapite, Huancavelica?, tuvo como objetivo: Determinar la influencia de parámetros de diseño para diseñar el pavimento flexible debido al deterioro del pavimento. Los resultados permiten concluir que existe relación entre los parámetros de diseño y el diseño de pavimento flexible debido al deterioro del pavimento en el tramo Santa Rosa - Sachapite, Huancavelica. Siendo la investigación de tipo aplicada; se alcanzó el nivel de investigación explicativo, los métodos usados fueron el científico, deductivo e inductivo, el diseño fue pre-experimental, con una muestra de 12 kilómetros de estudio de pavimento flexible. (p 139.).

Finalmente, en **“Comparación entre los métodos AASTHO 93 e Instituto del Asfalto para optimizar el diseño del pavimento flexible en el A.H. San Lorenzo - José Leonardo Ortiz – Chiclayo – Perú”** (Irigoín, 2018) realizó un estudio comparativo entre las metodologías AASHTO 93 e Instituto del Asfalto, donde tuvo como objetivo principal determinar el óptimo diseño del pavimento flexible, en aspecto estructural de espesores, costos y durabilidad, para el Asentamiento Humano San Lorenzo, sector oeste – José Leonardo Ortiz – Chiclayo -Perú. Determinó que al aplicar el método AASHTO 93 obtuvo los siguientes espesores estructurales del pavimento: carpeta asfáltica de 4 pulgadas, base de 6 pulgadas y sub base de 6 pulgadas; mientras que, con el método del Instituto del Asfalto: carpeta asfáltica de 6 pulgadas, base de 6 pulgadas y sub base de 6 pulgadas, esto demostró que la diferencia más resaltante es en la capa superficial donde es mayor con la segunda metodología mencionada. Después de diseñar la estructura del pavimento, y realizar la comparación entre ambos métodos, resultó que el diseño del pavimento flexible con el método AASHTO 93, es el más óptimo en comparación al método del Instituto del Asfalto. (p 103.).

1.5. Bases Teóricas.

1.5.1 Carretera

(Benito, 2005) Una carretera o ruta es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles. Existen diversos tipos de carreteras, aunque coloquialmente se usa el término carretera para definir a la carretera convencional que puede estar conectada, a través de accesos, a las propiedades colindantes, diferenciándolas de otro tipo de carreteras, las autovías y autopistas, que no pueden tener pasos y cruces al mismo nivel. Las carreteras se distinguen de un simple camino porque están especialmente concebidas para la circulación de vehículos de transporte.

1.5.2 Clasificación de carreteras

El tipo de carretera está determinado bajo el parámetro de Índice Medio Diario Anual (IMDA), valor que representa el número de vehículos promedio diario estimados en un año; para (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) indica la clasificación de la forma siguiente:

Tabla 1. Clasificación de Carreteras según IMDA

Tipo de Carretera	IMDA
Autopistas: carreteras de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	IMDA mayor de 6000 veh/día
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	IMDA entre 6000 y 4001 veh/día

Carreteras de Primera Clase: carreteras de una calzada de dos carriles.	IMDA entre 4000 - 2001 veh/día
Carreteras de Segunda Clase: carreteras de una calzada de dos carriles.	IMDA entre 2000 - 401 veh/día
Carreteras de Tercera Clase: carreteras de una calzada de dos carriles.	IMDA entre 400 - 201 veh/día
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras de una calzada.	IMDA \leq 200 veh/día

Fuente: Elaboración Propia tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

1.5.3 Estructura de Pavimento

Para (Montejo, 2002) analiza la estructura de un pavimento asfáltico de acuerdo a los siguientes componentes:

1.5.3.1 Sub base granular

a) Función económica: Una de las principales funciones de esta capa es netamente económica; en efecto, el espesor total que se requiere para que el nivel de esfuerzos en la subrasante sea igualo menor que su propia resistencia, puede ser construido con materiales de alta calidad; sin embargo, es preferible distribuir las capas más calificadas en la parte superior y colocar en la parte inferior del pavimento la capa de menor calidad la cual es frecuentemente la más barata. Esta solución puede traer consigo un aumento en el espesor total del pavimento y no obstante, resultar más económica.

b) Capa de transición: La sub base bien diseñada impide la penetración de los

materiales que constituyen la base con los de la subrasante y por otra parte, actúa como filtro de la base impidiendo que los finos de la subrasante la contaminen menoscabando su calidad.

c) Disminución de las deformaciones: Algunos cambios volumétricos de la capa subrasante, generalmente asociados a cambios en su contenido de agua (expansiones), o a cambios extremos de temperatura (heladas), pueden absorberse con la capa subbase, impidiendo que dichas deformaciones se reflejen en la superficie de rodamiento.

d) Resistencia: La subbase debe soportar los esfuerzos transmitidos por las cargas de los vehículos a través de las capas superiores y transmitidos a un nivel adecuado a la subrasante.

e) Drenaje: En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

1.5.3.2 Base granular

a) Resistencia: La función fundamental de la base granular de un pavimento consiste en proporcionar un elemento resistente que transmita a la subbase ya la subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito en una intensidad apropiada.

b) Drenaje: En muchos casos la subbase debe drenar el agua, que se introduzca a través de la carpeta o por las bermas, así como impedir la ascensión capilar.

1.5.3.3 Carpeta

a) Superficie de rodamiento: La carpeta debe proporcionar una superficie uniforme y estable al tránsito, de textura y color conveniente y resistir los efectos abrasivos del tránsito.

b) Impermeabilidad: Hasta donde sea posible, debe impedir el paso del agua al interior del pavimento.

- c) Resistencia: Su resistencia a la tensión complementa la capacidad estructural del pavimento.

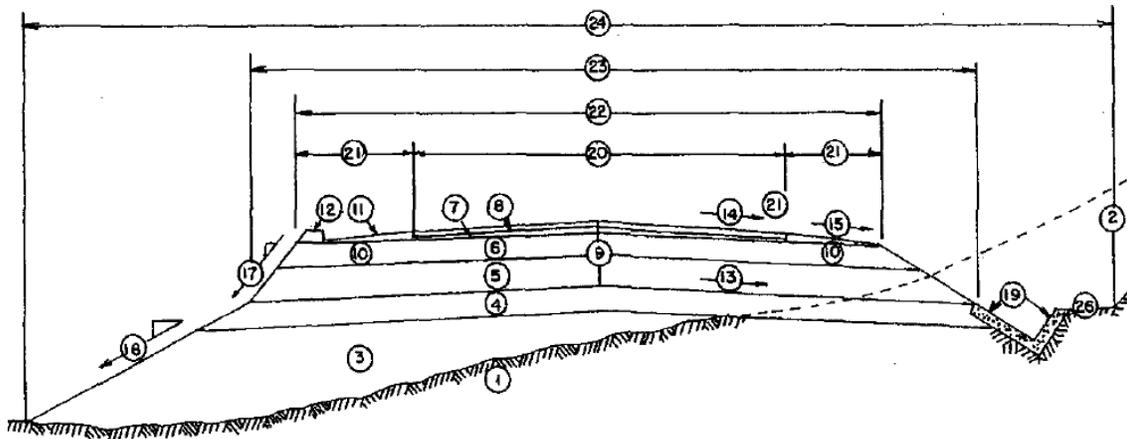


Fig. 4 Sección típica de un pavimento.

Fuente: Tomado de Montejo (2002).

1. Terreno natural
2. Excavación o corte
3. Terraplén
4. Sub rasante
5. Sub base
6. Base
7. Base asfáltica
8. Capa de rodadura
9. Estructura del pavimento
10. Berma
11. Capa de protección de la berma
12. Bordillo
13. Pendiente transversal (Sub rasante)
14. Pendiente transversal (Calzada)
15. Pendiente transversal (Berma)
16. Talud del terraplén
17. Talud del pavimento
18. Talud de corte
19. Taludes de cuneta
20. Ancho de calzada
21. Ancho de berma
22. Ancho de corona
23. Ancho de sub rasante
24. Ancho útil de explanación.

1.5.4 Pavimento

(Montejo, 2002) Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados

y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el período para el cual fué diseñada la estructura del pavimento. (p. 12).

El (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) Indica lo siguiente: El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general, está conformada por las siguientes capas: base, sub base y capa de rodadura. (p. 21).

1.5.5 Clasificación de los Pavimentos

a) Pavimento Asfáltico

Según (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014) en el Manual de Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos se indica: El pavimento flexible es una estructura compuesta por capas granulares (sub-base, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micropavimentos, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente. (p. 30).

b) Pavimento Hidráulico

(Montejo, 2002) Son aquellos que fundamentalmente están constituidos por una losa de concreto hidráulico, apoyada sobre la subrasante o sobre una capa, de material seleccionado, la cual se denomina sub base del pavimento rígido. Debido a la alta rigidez del concreto hidráulico así como de su elevado coeficiente de elasticidad, la distribución de los esfuerzos se produce en una zona muy amplia. Además como el concreto es capaz de resistir, en cierto grado, esfuerzos a la tensión, el comportamiento de un pavimento rígido es suficientemente satisfactorio aun cuando existan zonas débiles en la subrasante. La capacidad estructural de un pavimento rígido depende de la resistencia de las losas y, por lo tanto, el apoyo de las capas subyacentes ejerce poca influencia en el diseño del espesor del pavimento. (p. 14).

c) Pavimento Semirrígido

(Montejo, 2002) Aunque este tipo de pavimentos guarda básicamente la misma estructura de un pavimento flexible, una de sus capas se encuentra rigidizada artificialmente con un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento, cal y químicos. El empleo de estos aditivos tiene la finalidad básica de corregir o modificar las propiedades mecánicas de los materiales locales que no son aptos para la construcción de las capas del pavimento, teniendo en cuenta que los adecuados se encuentran a distancias tales que encarecerían notablemente los costos de construcción. (p. 14).

1.5.6 CBR

The California Bearing Ratio (CBR) prueba es un método empírico de diseño de pavimento flexible. Es una prueba de carga aplicada a la superficie y utilizada en investigaciones de suelos como ayuda para el diseño de pavimentos. El valor CBR obtenido en esta prueba forma un parte

integral de varios métodos de diseño de pavimentos flexibles (American Society for Testing and Materials, 2007). Para aplicaciones donde el efecto del contenido de agua de compactación en CBR es pequeño, como sin cohesión, materiales de grano grueso, o donde se tiene en cuenta el efecto de la compactación diferente contenido de agua en el procedimiento de diseño, el CBR puede ser determinado en el contenido óptimo de agua de un determinado esfuerzo de compactación. El peso unitario seco especificado es normalmente el porcentaje mínimo de compactación permitido por la especificación de compactación de campo de la agencia de uso. El valor CBR, y en consecuencia el diseño, dependerá en gran medida en la densidad y el contenido de humedad del suelo. También depende del tipo de suelo. CBR es más para suelo arenoso que suelo arcilloso. Pero, la prueba de CBR es laboriosa y consume mucho tiempo; Además, los resultados a veces no son precisos debido a la mala calidad de la habilidad de los técnicos probando las muestras de suelo en el laboratorio. (Sukumaran & Kyatham, 2004)

Tabla 2 N° de CBR según el tipo de carretera en estudio.

Tipo de Carretera	N° Mr y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	-Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido

Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	-Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mr cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mr cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mr cada 1 km y 1 CBR cada 1 km x sentido
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000 - 2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	· Cada 1 km se realizará un CBR
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000 - 401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	· Cada 1.5 km se realizará un CBR
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400 - 201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	· Cada 2 km se realizará un CBR
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	· Cada 3 km se realizará un CBR

Fuente: Elaboración Propia tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

Tabla 3 Categoría de la sub rasante según su CBR.

Categorías de Subrasante	
S0 : Subrasante Inadecuada	
S1 : Subrasante Pobre	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S2 : Subrasante Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S3 : Subrasante Buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S4 : Subrasante Muy Buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S5: Subrasante Excelente	CBR \geq 30%

Fuente: Elaboración Propia tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

1.5.7 Temperatura

Un criterio muy importante a tenerse en cuenta es que normalmente en los territorios altoandinos del Perú las temperaturas de los pavimentos en los meses de junio a octubre presentan variaciones diarias en rango cercano a 40 grados centígrados y principalmente fenómenos de “heladas” con fuertes radiaciones solares y vientos fríos. La temperatura afecta directamente la deformación de la carpeta asfáltica (CA); y las variaciones de temperaturas produce tensiones en la CA. Las temperaturas bajas tienen influencia en la aparición del agrietamiento por fatiga la que se potencia con el ahuellamiento. Por otra parte las temperaturas altas tienen influencia

en el ahuellamiento de la Carpeta Asfáltica. En los pavimentos rígidos con diferencias fuertes de temperatura se pueden levantar las esquinas debilitándose hasta su rompimiento. Los agrietamientos por baja temperatura y por fatiga incrementan los costos de conservación; y el ahuellamiento causa adicionalmente problemas de seguridad relacionado con el patinaje de los vehículos. En función de las temperaturas regionales distintas debe seleccionarse la aplicación de asfaltos con rangos distintos de penetración, tal como se indica en el cuadro de las Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción de Carreteras del MTC que se presenta a continuación:

Tabla 4 Selección del tipo de cemento asfáltico según temperatura.

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C – 15°C	15°C – 5°C	Menos de 5°C
40-50 <u>ó</u>		85-100	
60-70 <u>ó</u>	60-70		Asfalto Modificado
		20-150	
modificado			

Fuente: Elaboración Propia tomado de Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2014).

1.5.8 S10 Costos Y Presupuestos

(S10 Presupuestos 1.0.2, 2005) El Módulo S10 es un programa que cuenta con una base de datos para elaborar presupuestos en base a costos unitarios, para todo tipo de proyectos vinculados al campo de la construcción principalmente, permitiendo al usuario manejar la parte económica de un proyecto, incluso para concursos de licitaciones de diferente tipo con la particularidad de poder modificar, incrementar y personalizar según la especialidad de cada usuario.

Este es un programa que sirve para planificar, ejecutar y controlar proyectos a partir de presupuestos asignados al proyecto. Todas las labores que se realizan en el proyecto es dentro del costo previsto, por consiguiente, no existe el problema de recursos sobre asignados y trabaja hasta con 3 tipos de presupuestos del mismo proyecto. El conjunto de programas que se describe en esta guía, ha sido desarrollado dentro de los nuevos conceptos de la Gerencia de proyectos, como es el WBS y un cronograma gráfico de Gantt para la parte de planificación, todos ellos con opciones de fácil manejo y válidos a nivel internacional. Este programa también está preparado para el manejo de los recursos de mano de obra, materiales, equipos y subcontratos.

1.5.9 Metodologías de Diseño

1.5.9.1 Método ASSTHO 93

(AASHTO, 1993) En lo que respecta al método AASHTO, se toma la información proveniente de

la Guide for Design of Pavement Structures, edición 1993, que se basa en el valor de Mr (correlación con C.B.R.) de la subrasante y número de ejes estándar anticipado, para determinar el número estructural de diseño (SN). Este método proporciona una expresión analítica que para efectos de cálculos computarizados la solución matemática es sumamente útil. La evolución del método, establece las complementaciones siguientes:

Se introduce el coeficiente de drenaje como parámetro de caracterización de la base granular para fines del Número Estructural. Indirectamente se mide la influencia del agua en la capacidad estructural del pavimento.

- ✓ Se deja sin efecto el parámetro factor regional.
- ✓ Se introduce el concepto de "pérdida de servicio".
- ✓ El valor soporte de la subrasante S se reemplaza por el módulo resiliente Mr.
- ✓ Se introduce el parámetro de confiabilidad partiendo de la consideración que el comportamiento del tránsito sigue la distribución normal de Gauss.

A pesar de las bondades mencionadas la aplicación de la versión 86, al igual que la del 72, encuentra un vacío en nuestro medio en cuanto a la ejecución directa del ensayo que mide el Mr en suelos. Por otro lado se cuenta con una versión de AASHTO 2002, que se encuentra en revisión.

La fórmula general de (AASHTO, 1993), que gobierna el número estructural de diseño, presenta la expresión siguiente:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{10^{4.2 - 1.5}} \right]}{0.4 + (SN + 1)^{5.19}} + 2.32 * \log_{10}(MR) - 8.07$$

Donde:

W18: Número proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb) de aplicación de carga axial simple.

Zr: Desviación estándar normal.

So: Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado.

ΔPSI: Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (Po) y el índice de serviciabilidad terminal (Pt).

Mr: Módulo resiliente (psi).

SN: Número estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido.

Para (AASHTO, 1993), el número estructural, hallado en el diseño, se transforma a espesores de capas componentes de la estructura del pavimento. Cada una de estas capas responde a los requerimientos de calidad que se establezca de acuerdo a las Especificaciones Técnicas. Por lo general el espesor estará gobernado por la disponibilidad de los materiales en sus fuentes o canteras y/o de las conveniencias económicas para la obra.

Los espesores de cada una de ellas dependen de los coeficientes de transformación de las capas. En el caso de rehabilitación se emplea coeficiente de reducción por deterioro de las capas rodadura.

Prevalece el criterio de número estructural requerido, para los casos de rehabilitación; es decir el valor determinado por el diseño se verá disminuido por el número estructural SN existente, para finalmente hallar el número SN requerido. La figura 1 presenta la aplicación de la fórmula AASHTO para diferentes condiciones de tráfico como de capacidad de soporte CBR. Si se establece un espesor de carpeta asfáltica entonces se podrá determinar el espesor de base granular para cualquier valor de CBR encontrado en un sector. (AASHTO, 1993)

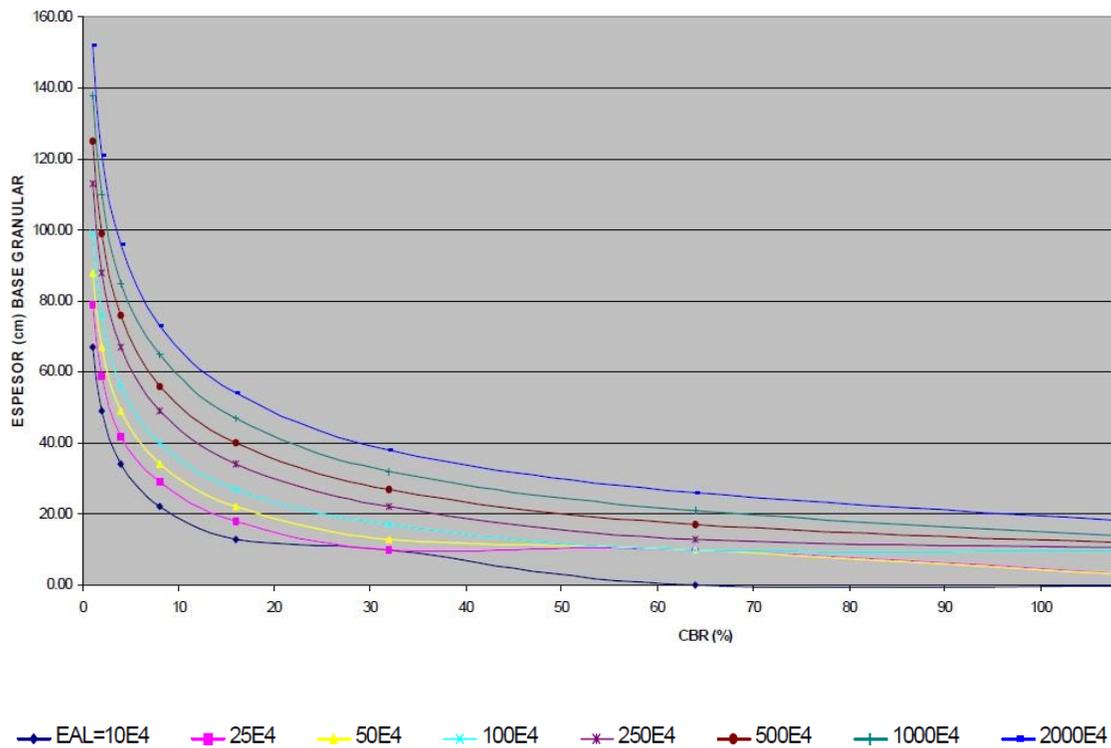


Fig. 5 Curvas de espesor de base granular para distintos tráfico.

Fuente: Tomado de AASTHO (1993)

Se aprecia que los espesores de las estructuras son más sensibles cuando los valores de CBR son más bajos, es decir en condiciones de suelos o diseños de carreteras en la zona de selva

alta y baja, se tendrá este tipo de variación en la estructura, por lo cual se debe poner especial atención en sus diseños.

1.5.9.2 Método del Instituto del Asfalto

El Instituto del Asfalto de los Estados Unidos, es la asociación internacional de productores de asfalto de petróleo, fabricantes y afiliadas. Su método desarrollado se fundamenta en el diseño de espesores de pavimentos asfálticos para calles y carreteras correspondiente al Manual Series No.1 (MS- 1) publicada en 1991. En la metodología adoptada por este método, las cargas sobre superficie de pavimento producen dos esfuerzos de tensión que son críticos para propósitos del diseño conforme la figura siguiente. Estos son: a) el esfuerzo de tensión horizontal ϵ_t sobre el lado debajo en el límite de la capa asfáltica y b) el esfuerzo de compresión ϵ_c vertical en la superficie de la subrasante.

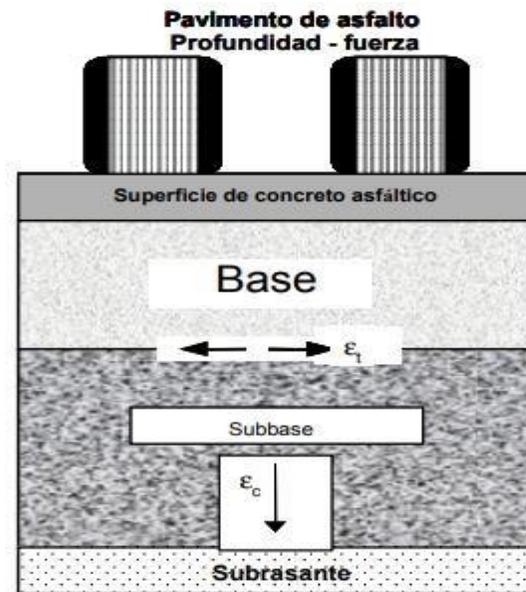


Fig. 6 Localización de tensiones consideradas en la metodología de diseño

Las Variables de diseño son las siguientes:

a) Período de diseño y análisis

(Coronado, 2008) La vida útil de un pavimento o periodo de análisis, es el tiempo que transcurre entre la construcción del mismo y el momento en que este alcanza las mínimas condiciones de transitabilidad y se puede extender de forma indefinida por medio de la colocación de sobre carpetas u otras acciones de rehabilitación, hasta que la carretera sea obsoleta. (p. 161).

Este método considera periodos de diseño de hasta 35 años y tasas de crecimiento de 2- 10%, para efectos de cálculos se describe en la siguiente tabla estos valores

Tabla 5 Factor de crecimiento según el periodo de diseño

Período Diseño (Años)	Tasa de crecimiento anual (porcentaje) r						
	2	4	5	6	7	8	10
1	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
2	2.02	2.04	2.05	2.06	2.07	2.08	2.10
3	3.06	3.12	3.15	3.18	3.21	3.25	3.31
4	4.12	4.25	4.31	4.37	4.44	4.51	4.64
5	5.20	5.42	5.53	5.64	5.75	5.87	6.11
6	6.31	6.63	6.80	6.98	7.15	7.34	7.72
7	7.43	7.90	8.14	8.39	8.65	8.92	9.49
8	8.58	9.21	9.55	9.90	10.26	10.64	11.44
9	9.75	10.58	11.03	11.49	11.98	12.49	13.58
10	10.95	12.01	12.58	13.18	13.82	14.49	15.94
11	12.17	13.49	14.21	14.97	15.78	16.65	18.53
12	13.41	15.03	15.92	16.87	17.89	18.98	21.38
13	14.68	16.63	17.71	18.88	20.14	21.50	24.52
14	15.97	18.29	19.16	21.01	22.55	24.21	27.97
15	17.29	20.02	21.58	23.28	25.13	27.15	31.77
16	18.64	21.82	23.66	25.67	27.89	30.32	35.95
17	20.01	23.70	25.84	28.21	30.84	33.75	40.55
18	21.41	25.65	28.13	30.91	34.00	37.45	45.60
19	22.84	27.67	30.54	33.76	37.38	41.45	51.16
20	24.30	29.78	33.06	36.79	41.00	45.76	57.28
25	32.03	41.65	47.73	54.86	63.25	73.11	98.35
30	40.57	56.08	66.44	79.06	94.46	113.28	164.49
35	49.99	73.65	90.32	111.43	138.24	172.32	271.02

Fuente: Elaboración Propia tomado de Instituto del Asfalto (1991)

b) Análisis de tráfico

b.1) Carril de diseño

Como los vehículos tipo camión son los que más daño producen en las vías de tránsito, se debe tomar en cuenta el flujo vehicular que transita sobre el carril de diseño, dependiendo el número de carril se tiene los siguientes valores.

Tabla 6 Carril de diseño

Número de carriles (dos direcciones)	Porcentaje de camiones en el carril de diseño
2	50
4	45(35-48)
6 o más	40(25-48)

Fuente: Elaboración propia tomado de Instituto del Asfalto (1991)

b.2) EAL de diseño

El EAL (Equivalent Axle Load) es la representación estructural de la carga vehicular sobre el pavimento, a través del análisis de tráfico se determina el número de ejes equivalentes previsto en el periodo de diseño determinado, valor que es usado para obtener los espesores de las capas del pavimento.

García (2013) “Se ha demostrado que es posible representar el efecto de cualquier eje cargado con cualquier masa, sobre el comportamiento de un pavimento, por medio del número de aplicaciones de carga por eje simple, equivalente a 18,000 libras (80 KN)” (p.13).

b.3) Factor de equivalencia de carga

“Es el número de aplicaciones equivalentes a una carga por eje simple de 18,000 lb (80 kN) en una pasada de un eje dado” (Lozano, 2015, p. 13). En la Tabla 7 se presenta ejemplos de factores de equivalencia de carga respecto a varios ejes simples de carga.

Tabla 7 Factores de equivalencia de carga

Cargas por eje		Factores equivalentes de carga		
<u>kN</u>	<u>Lbs</u>	<u>Eje simple</u>	<u>Eje tándem</u>	<u>Eje tridem</u>
4.45	1.000	0.00002		
8.9	2.000	0.00018		
17.8	4.000	0.00209	0.0003	
26.7	6.000	0.01043	0.001	0.003
35.6	8.000	0.0343	0.003	0.001
44.5	10.000	0.0877	0.007	0.002
53.4	12.000	0.189	0.014	0.003
62.3	14.000	0.360	0.027	0.006
71.2	16.000	0.623	0.047	0.011
80.0	18.000	1.000	0.077	0.017
89.0	20.000	1.51	0.121	0.027
97.9	22.000	2.18	0.18	0.04
106.8	24.000	3.03	0.26	0.057
115.6	26.000	4.09	0.364	0.08
124.5	28.000	5.39	0.495	0.109
133.4	30.000	6.97	0.658	0.145
142.3	32.000	8.88	0.857	0.191
151.2	34.000	11.18	1.095	0.246
160.1	36.000	13.93	1.38	0.313
169.0	38.000	17.20	1.70	0.393
178.0	40.000	21.08	2.08	0.487
187.0	42.000	25.64	2.51	0.597
195.7	44.000	31.00	3.00	0.723
204.5	46.000	37.24	3.55	0.868
213.5	48.000	44.50	4.17	1.033
222.4	50.000	52.88	4.86	1.22

231.3	52.000	5.63	1.43
240.2	54.000	6.47	1.66
249.0	56.000	7.41	1.91
258.0	58.000	8.45	2.2
267.0	60.000	9.59	2.51
275.8	62.000	10.84	2.85
284.5	64.000	12.22	3.22
293.5	66.000	13.73	2.62
302.5	68.000	15.38	4.05
311.5	70.000	17.19	4.52
320.0	72.000	19.16	5.03
329.0	74.000	21.32	5.57
338.0	76.000	23.66	6.15
347.0	78.000	26.22	6.78
356.0	80.000	29.0	7.45
364.7	82.000	32.0	8.2
373.6	84.000	35.3	8.9
382.5	86.000	38.8	9.8
391.4	88.000	42.6	10.6

Fuente: Elaboración propia tomado de Instituto del Asfalto (1991)

b.4) Factor de ajuste de los ejes equivalentes

Este método incorpora factores de ajuste para diferentes presiones de contacto de las llantas sobre el pavimento. Como lo menciona (Coronado, 2008) “ya que, a mayor presión de inflado y menor espesor de capa de rodadura, incrementa en buena medida el número de ejes equivalentes y por lo tanto mayor daño a una estructura determinada” (p. 165).

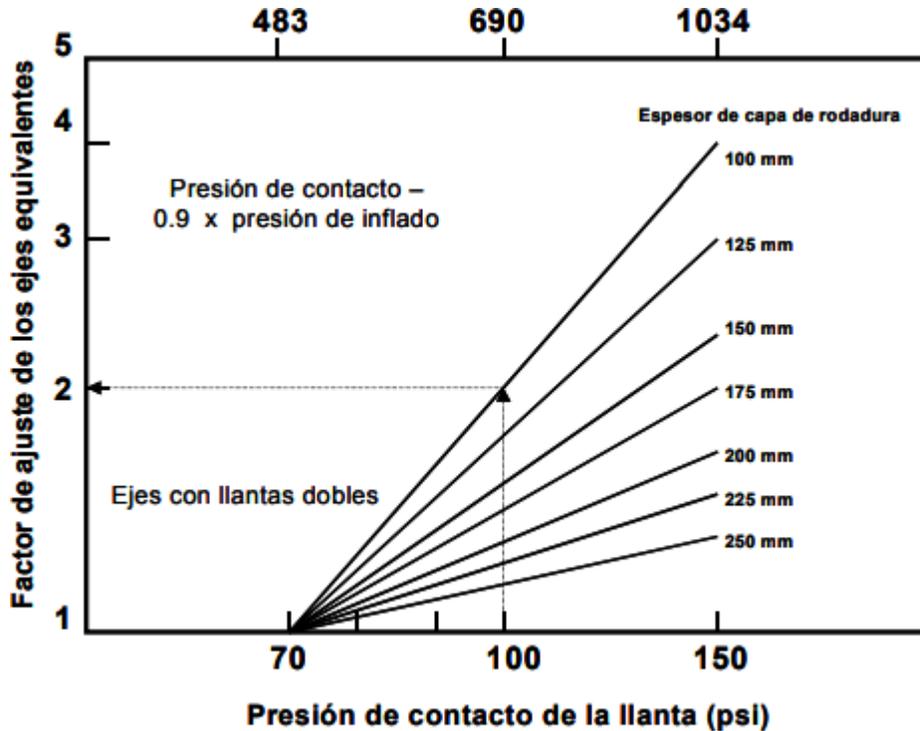


Figura VII. Factor de ajuste por presión de llantas

Fuente: Instituto del Asfalto (1991)

c) Evaluación de los materiales

c.1) Subrasante

El instituto del Asfalto ha establecido las siguientes correlaciones mediante su módulo resiliente para caracterizar los materiales, utilizando el CBR. Estas correlaciones recomendadas son las siguientes:

$$M_r = 10.342 \cdot \text{CBR} \text{ (Mpa)}$$

$$M_r = 1\,500 \cdot \text{CBR} \text{ (psi)}$$

Con los valores de CBR que se obtienen en el laboratorio, se calcula el módulo resiliente (M_r) de la subrasante previamente se debe obtener el nuevo CBR de diseño, esto con los percentiles de la tabla siguiente.

Tabla 8 Valores percentil para el M_r subrasante

Nivel de tránsito	Valor percentil para diseño de sub rasante
< de 10,000 ESAL's	60
Entre 10,000 y 1,000,000 ESAL's	75
> de 1,000,000 ESAL's	87.5

Tabla 9 Normas para ensayos

Prueba	Uso	AASHTO	ASTM
Límite líquido	Clasificación	T-89	D-4318
Límite plástico	Clasificación	T-90	D-4318
Granulometría	Clasificación	T-88	D-422
Compactación	Relación humedad - densidad	T-180	D-1557
CBR	Básico para diseño de espesores	T-193	D-1883
Valor R	Básico para diseño de espesores	T-190	D-2844
Equivalente de arena	Clasificación	T-176	C-293-79
pasa tamiz No. 200	Clasificación	T-11 y T-27	C-117-89 y C-136-84
Módulo de resiliencia (M_r)	Básico para diseño de espesores	Se utiliza el método MS-1 del propio Instituto de Asfalto	

Fuente: *Elaboración propia tomado de Instituto del Asfalto (1991)*

Fuente: *Elaboración propia tomado de Instituto del Asfalto (1991)*

Tabla 10 Grados de asfalto

Clima	Temperatura media anual del aire (TMAA)	Grado de asfalto
Frio	Menor o igual a 7° C	AC-5, AC-10
Templado	entre 7 ° C y 24° C	AC-10, AC-20
Cálido	Mayor de 24° C	AC-20, AC-40

Fuente: Elaboración propia tomado del Instituto del Asfalto (1991)

d) Condiciones ambientales de temperatura

El método del Instituto del Asfalto determina 3 condiciones referido al medio ambiente (temperatura media anual del aire) de la zona de estudio, para el diseño del pavimento flexible.

e) Determinación de espesores

El método del manual series MS-1 del Instituto del Asfalto proporciona para el diseño final de los espesores de un pavimento flexible, cartas de diseño en sistema métrico, decimal como también en sistema inglés, donde involucran las variables que fueron analizadas anteriormente en este capítulo.

e.1) Espesores mínimos

- Para superficies de concreto asfaltico sobre bases estabilizadas con emulsión asfáltica.
- Para superficies de concreto asfaltico sobre bases granulares sin estabilizar (no tratados).

Tabla 12 Espesores mínimos para bases no tratados

Cantidad de ejes equivalentes	Condición del tránsito	Espesores mínimos de la carpeta asfáltica (cm)
Hasta 10,000	Ligero	7.5
Entre 10,000 y 1,000,000	Mediano	10.0
Mayor de 1,000,000	Pesado	12.5 o más

Fuente: Elaboración propia tomado del Instituto del Asfalto (1991)

100,000	5
1,000,000	7.5
10,000,000	10.0
Mayor de 10,000,000	13.0

Fuente: Elaboración propia tomado del Instituto del Asfalto (1991)

1.5.9.3 Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM

Dispav-5 es un software desarrollado en el Instituto de Ingeniería, UNAM, que permite diseñar pavimentos de altas especificaciones como pavimentos normales. Su fundamento es teórico-experimental, y se emplean conceptos y métodos de cálculo mecanicistas. Los postulados básicos del método de diseño han sido confirmados tras una extensa investigación. Los postulados son los siguientes (Corro & Prado, 1999):

El diseño se basa en un planteamiento mecanicista para las dos formas principales de falla de los pavimentos, un modelo rígido plástico y los criterios de capacidad de carga de Terzaghi, para

estimar la deformación permanente a largo plazo de las capas de pavimento no tratadas con ligantes; y un modelo elástico para determinar el comportamiento del camino, basado en la falla por agrietamiento a fatiga de las capas ligadas con asfalto.

Además desarrolla un enfoque probabilista para estimar los niveles de confianza apropiados, junto con un cálculo analítico de los factores de daño por camión. El modelo tiene en consideración la carga total, tipo de eje, presión de llanta, y la profundidad a la cual se estima el factor de daño relativo. Finalmente, caracteriza los materiales del camino considerando su comportamiento real a largo plazo.

El método de diseño actualizado incluye, entre otras características, modelos de deterioro para estimar la deformación permanente del pavimento a la falla y modelos para determinar el comportamiento a fatiga de las mezclas asfálticas, basados en la extensa investigación realizada en el Instituto.

El desarrollo de este método de diseño es el resultado de una extensa experimentación realizada a escala natural, tanto en terreno como en laboratorio, y de estudios analíticos realizados por el instituto de ingeniería, UNAM.

Dispav – 5, permite elegir entre dos procedimientos de cálculo (Corro & Prado, 1999):

- 1- Diseño de un pavimento flexible, a partir de un tránsito de proyecto determinado y propiedades mecánicas de los materiales conocidos. Con esto se determina los espesores de capa requerido para el tránsito proyectado.
- 2- Determinación de la vida previsible por deformación permanente y por agrietamiento debido a fatiga.

Podemos diferenciar cuatro etapas en el proceso de diseño estructural mediante el método

Dispav-5:

- 1- Entrada de datos.
- 2- Diseño por deformación.
- 3- Revisión del diseño anterior para efectos de fatiga.
- 4- Si no se cumple con los criterios de fatiga se puede modificar el diseño.

l) Entrada de Datos

Como todo método de diseño, Dispav-5 requiere conocer ciertos parámetros referentes del pavimento a diseñar. A continuación se detallan estos parámetros, en el orden pedido por el programa.

a) Tipo de carretera

Se puede elegir entre dos tipos de diseño (Corro & Prado, 1999):

- 1- Carreteras de altas especificaciones, con un alto nivel de servicio de la superficie de rodamiento a lo largo de toda la vida útil del pavimento. Se espera que al término de vida del proyecto esté presente deformaciones del orden de 1,2 cm, con agrietamiento ligero o medio.
- 2- Carreteras normales, en las que se espera una deformación del orden de 2,5 cm al término de la vida del proyecto, con agrietamiento medio o fuerte. A diferencia de las carreteras de altas especificaciones requiere de mantenimientos rutinarios con mayor frecuencia.

b) Tránsito de Proyecto

Se requieren de dos tránsitos de proyecto (Corro & Prado, 1999):

- 1- Tránsito equivalente para el diseño por fatiga de las capas ligadas (Daño superficial)

2- Tránsito equivalente para el diseño por deformación permanente acumulada (Daño profundo).

Se dispone de dos alternativas para ingresar el tránsito de proyecto en el software:

- i. Si se conoce los tránsitos equivalentes, estos se pueden introducir directamente en el programa (millones de ejes).
- ii. Si no se conocen los tránsitos equivalentes, el programa incluye una subrutina para el cálculo de estos ejes equivalentes. Para esto se necesita de los siguientes datos:

- Tránsito diario promedio en el carril de proyecto (número de vehículos)
- Tipos de vehículos %
- Carga por eje
- Proporción de vehículos cargados y vacíos.

- Tasa de crecimiento anual del tránsito %
- Tiempo de diseño (años).

c) Capas Consideradas

Dispav-5 está desarrollado para analizar un máximo de 5 capas estructurales, las que puede ser (Corro & Prado, 1999):

- Carpeta Asfáltica
- Base granular, o estabilizado con asfalto.
- Subbase granular.
- Subrasante.
- Terracería.

El mínimo de secciones estructurales a considerar es 2, siendo una de ellas la terracería.

Además se impone que la primera capa sea carpeta o base.

d) Valores relativos de soporte críticos, VRSz

El VRSz corresponde a lo que conocemos como capacidad de soporte del suelo CBR. Esta es una de las variables más importantes del proyecto, por lo que tiene que ser representativo de las condiciones del camino.

El método establece valores máximos y mínimos a usar. A continuación se pueden observar estos valores:

Tabla 13 VRSz máximos para todos los niveles de tránsito.

Capa	VRSmax
Base	120
Sub-base	30
Subrasante	20
Terracería	20

Fuente: Elaboración propia tomado (Corro y Prado, 1999)

Tabla 14 VRSz mínimos para todos los niveles de tránsito. (Corro et al, 1999)

Material	VRS _p mínimo permisible por proyecto (%)
Base	70
Terracería	3

Fuente: Elaboración propia tomado (Corro y Prado, 1999)

Los valores máximos buscan establecer valores razonables de los espesores de las capas, y los valores mínimos limitar la calidad mínima de la base y terracería.

e) Módulos elásticos de las capas no estabilizadas

Los módulos elásticos de las capas no estabilizadas se necesitan para realizar el diseño por fatiga, pues este requiere encontrar las deformaciones unitarias críticas de tensión en la parte inferior de la carpeta.

Si no se conocen estos valores, el método los estima a partir de la siguiente ecuación (Corro & Prado, 1999):

$$E = 130VRSz^{0,7}$$

f) Módulo de rigidez de la carpeta

El método requiere saber el módulo de rigidez, o módulo dinámico en kg/cm² de la carpeta asfáltica a utilizar. Este valor deber ser representativo y elegido con cuidado, ya que caracteriza el comportamiento de la carpeta asfáltica en condiciones de servicio, durante la vida útil del proyecto.

Si se desconoce este valor, el programa incluye una subrutina para estimar su valor a partir de las características del asfalto, temperatura, frecuencia de aplicación de carga y composición volumétrica.

g) Relaciones de Poisson.

El método también requiere conocer para todas sus capas la relación de poisson. Estos valores los suministra el programa, entregando valores promedio para cada capa.

h) Nivel de confianza del proyecto

El método sugiera usar un nivel de confianza del 85%, pero el usuario puede modificar este valor y utilizar cualquiera entre 50-99% (Corro & Prado, 1999).

Conocido todos estos parámetros de entrada, el programa está en condiciones de realizar el diseño, pudiéndose este revisar y modificar para afinar el diseño estructural del pavimento.

1.6. Formulación de la hipótesis.

Hipótesis general: El análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, instituto del asfalto e instituto de ingeniería de la UNAM, para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad, 2020.

II. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1 Materiales

- 01 cinta larga Stanley, de fibra de vidrio con sistema de rebobinado con alcance de 60m.
- 01 cinta métrica Stanley, metálica con alcance de 8m.
- 01 cámara filmadora Sony Handy Cam HDR.
- 07 plantillas para el control del conteo vehicular.
- 07 tamices estándar, bajo la norma ASTM E11, de bronce pulido y lacado con mallas de acero inoxidable, desde los diámetros de abertura de la malla N°4 hasta la malla N°201
- balanza digital, con capacidad de 2kg, con precisión de 0.01g, con múltiples funciones de peso y tara, fabricado en acero inoxidable y plástico resistente.
- 01 balanza digital, con capacidad de 10kg, con precisión de 0.1g, con múltiples funciones de peso y tara, fabricado en acero inoxidable y plástico resistente.
- 01 horno, con alcance de temperaturas hasta 110°C.
- 01 cazuela casagrande, bajo la norma ASTM D4318, con peso de 2.2kg, con el sistema y mecanismo de ajuste de altura de copa de 10mm.
- 01 molde de compactación próctor modificado, bajo la norma ASTM D1557, con dimensiones de 101.6mm de diámetro interior y altura de 116.3mm del cuerpo, placa base de 12.7mm x 200mm x 200mm y collar con diámetro interior de 101.6mm y altura de 60.33mm.
- 01 pisón de compacidad, bajo la norma ASTM D1557, con peso de 44.5N y altura de caída de 457.2mm.
- 01 disco espaciador, de metal con forma circular de 100.2mm.

- 01 aparato medidor de expansión, compuesto por una placa de metal perforada por cada molde de compactación, de 98.6mm de diámetro, cuyas perforaciones no excedan de 1.6mm de diámetro y un trípode cuyas patas puedan apoyarse en el borde del molde.
- 01 pistón de penetración, de metal con sección transversal circular de 49.63mm de diámetro y un área de 19.35cm²
- .Múltiples recipientes y utensilios para el apoyo de los ensayos.
- 02 laptop HP Omen Corei7 8750H, con softwares aplicativos de Ingeniería Civil:
- AutoCAD 2D, S10, Microsoft Excel y Word.

2.2 Material de estudio.

2.2.1. Población. El siguiente trabajo de investigación tiene como población infinita:

La carretera de Santiago de Chuco a Cachicadan en el año 2020.

El tramo de carretera Santiago de Chuco – Cachicadán tiene una longitud de 16 kilómetros y pertenece a la ruta nacional 3N, forma parte de la carretera longitudinal de la sierra que es uno de los principales proyectos de desarrollo de infraestructura de transportes.

i. Localización

El tramo de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán se ubica en la sierra del departamento de La Libertad y atraviesa los distritos de Santiago de Chuco, Quiruvilca y Cachicadán en la provincia de Santiago de Chuco en el departamento de La Libertad.



Fig. 1 Mapa político de la Región La Libertad

Fuente: <http://turismoperulibertad.galeon.com/fotos/mapalibertad.png>



Fig. 2 Mapa político de la Provincia de Santiago de Chuco

Fuente: <https://www.deperu.com/arqueologia/chucos/images/mschuc.gif>

ii. Accesibilidad:

- La carretera Santiago de Chuco – Cachicadán tiene acceso por:
- Vía terrestre mediante la ruta: Lima-Trujillo-Shorey-Santiago de Chuco
- Vía aérea mediante: Lima-Trujillo y el resto por vía terrestre.

iii. Altitud:

La carretera se encuentra entre altitudes que varían de 2630 msnm hasta más de los 3100 msnm.

iv. Clima:

El clima de la zona es templado, con amplitud térmica moderada. La medida anual de la temperatura máxima y mínima es de 22 °C y 3°C respectivamente. La precipitación media anual para el periodo es 700 mm.

v. Características Geométricas:

Características geométricas de la actual trocha carrosable Santiago de Chuco – Cachicadán cuenta con una longitud Total de 16 + 086 Km y una velocidad directriz 20 Km/hr. El ancho de calzada es de 3.50 metros, no cuenta con bermas y además tiene sobrecanchos no definidos. La carretera presenta pendientes de como mínimo 0% y como máximo 10% con cunetas triangulares de 0.40x0.20 m con un tipo de superficie en la calzada de afirmado.

vi. Fuentes de Agua:

Las fuentes de agua más importantes son los ríos Chacomás y San Antonio.

vii. Tamaño de la Población

La población que abarca la zona de influencia del proyecto está conformada por dos distritos los cuales son Santiago de Chuco y Cachicadán que son los lugares los cuales recorrerá la vía el, el cual cuenta en su mayoría con grandes terrenos agrícolas los cuales son una fuente de abastecimiento fundamental para la provincia de Santiago de Chuco, con el mejoramiento de la carretera la población tendrá avance socioeconómico.



Fig. 3 Santiago de Chuco proyección de la población por sexo y comparativa con la región la libertad 2000-2015

Fuente: Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI)

viii. Ganadería

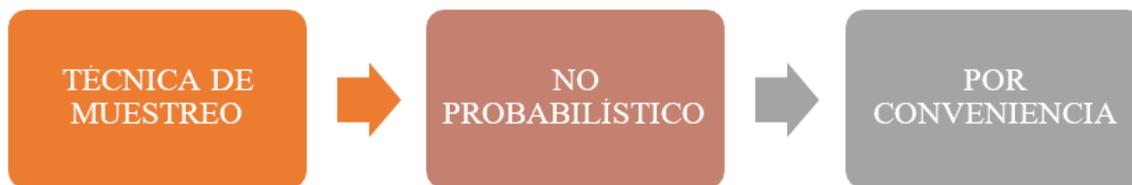
Peso de las principales actividades de la población dentro de las cuales se constituyen por ganado vacuno, equino, porcino y ovino en pequeñas escalas. Según el CENAGRO de 1994 la región La Libertad contaba con una población de ganado ovino de 407,178 cabezas. La crianza de ovinos se concentra en la provincia de Santiago de Chuco con el 17.5% (71439 cabezas).

ix.Agricultura

Las actividades agrícolas principales de esta zona son el cultivo y la cosecha de papa, maíz, trigo, etc.

2.2.2.Muestra.

2.2.2.1 Técnica de muestreo.



La presente investigación utilizará la técnica de muestreo No probabilístico debido a que las muestras no se escogieron siguiendo un sistema aleatorio, fueron escogidas intencionalmente. Además de un criterio de Juicio de experto debido:

- Se tiene información disponible de la muestra.
- Los investigadores pertenecen a la zona donde se desarrollará la investigación.
- La carretera Santiago de Chuco – Cachicadán es la principal vía de interconexión entre el mayor

porcentaje de localidades pertenecientes a la provincia de Santiago de Chuco.

2.2.2.2 Tamaño de muestra.

La muestra que usaremos será toda la sección de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán. Debido a que es un tramo donde conecta localidades de mayor crecimiento económico además de que una de ellas es capital de la provincia de Santiago de Chuco, por otro lado es un tramo que presenta problemas en toda la vía existente y que conlleva con frecuencia a tener accidentes.

MUESTRA – M1
Carretera Santiago de Chuco – Cachicadán km 3+000 Km – 7+000 Km.

2.3 Técnicas, procedimientos e instrumentos.

2.3.1. Para recolectar datos.

La presente investigación utilizó la técnica de la Observación experimental, debido a que se registró visualmente el conteo vehicular, la estratigrafía del suelo y la sección de la carretera.

Diseño de investigación. En la presente investigación el diseño es de tipo No Experimental. No se van a manipular variables. Esta es una investigación Transversal debido a que la recolección de datos necesarios para describir y analizar la variable se tomará en un mismo tiempo y no atreves de él. Esta es una investigación Descriptiva se tomarán muestras de la variable en estado natural para luego analizadas y descritas tal cual fueron encontradas.

ESTUDIO	T1
M1	O1

Donde:

- M1 : Muestra
- O1 : Observación

DISEÑO NO EXPERIMENTAL

- No se manipulan deliberadamente las variables

TRANSVERSAL

- La recolección de datos se da en un solo tiempo.

DESCRIPTIVA

- Observa y describe la variable tal como se presenta en estado natural.

Instrumentos de recolección de datos. La presente investigación utilizó la Guía de Observación como instrumento de recolección de datos, debido a que se llevó un registro de las características observadas para el cálculo del IMDA así como también en la exploración del suelo (ver Anexo 1 y 2)

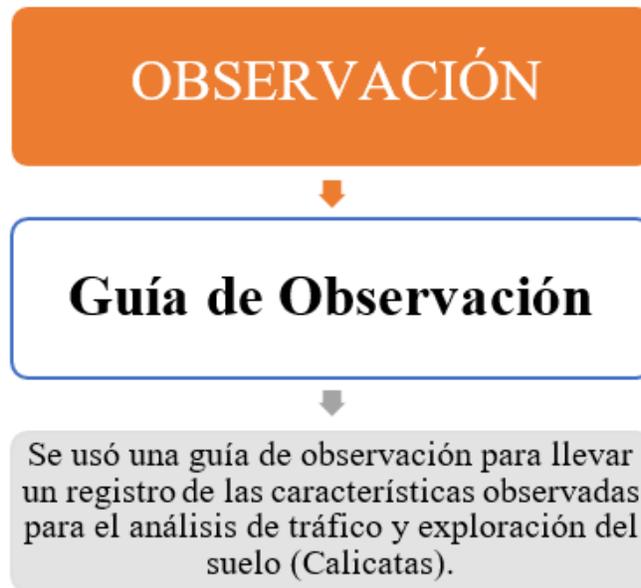


Fig. 8 Esquema de Las Técnicas e Instrumentos de Recolección de datos

2.3.2. Métodos e Instrumentos de análisis de datos

La presente investigación utiliza el método de Estadística Descriptiva, por ser de tipo No Experimental. Por lo que se usa gráficos estadísticos para mostrar los resultados obtenidos luego del análisis y desarrollo de la investigación. La presente investigación utiliza el instrumento de Histograma, al tener variables cuantitativas continuas, que está dentro de los gráficos

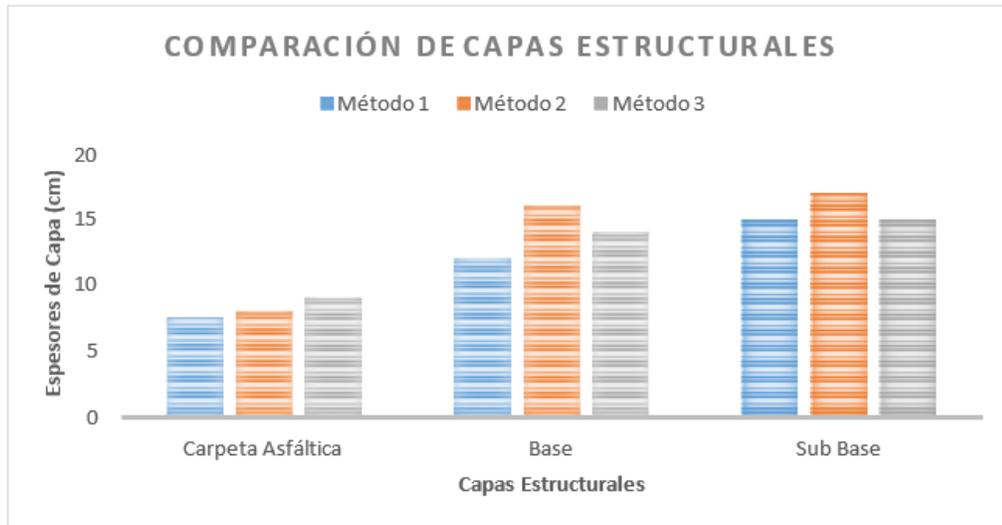


Fig. 9 Comparación de capas estructurales por los 3 métodos de diseño.

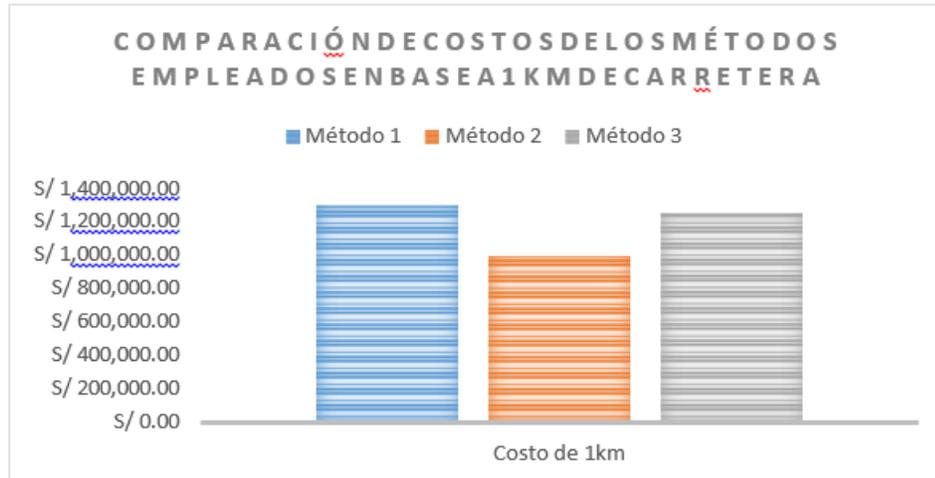


Fig. 10 Comparación de Costos de los 3 métodos diseñados en base a 1km de carretera.

2.3.3. Procedimientos de recolección y análisis de datos

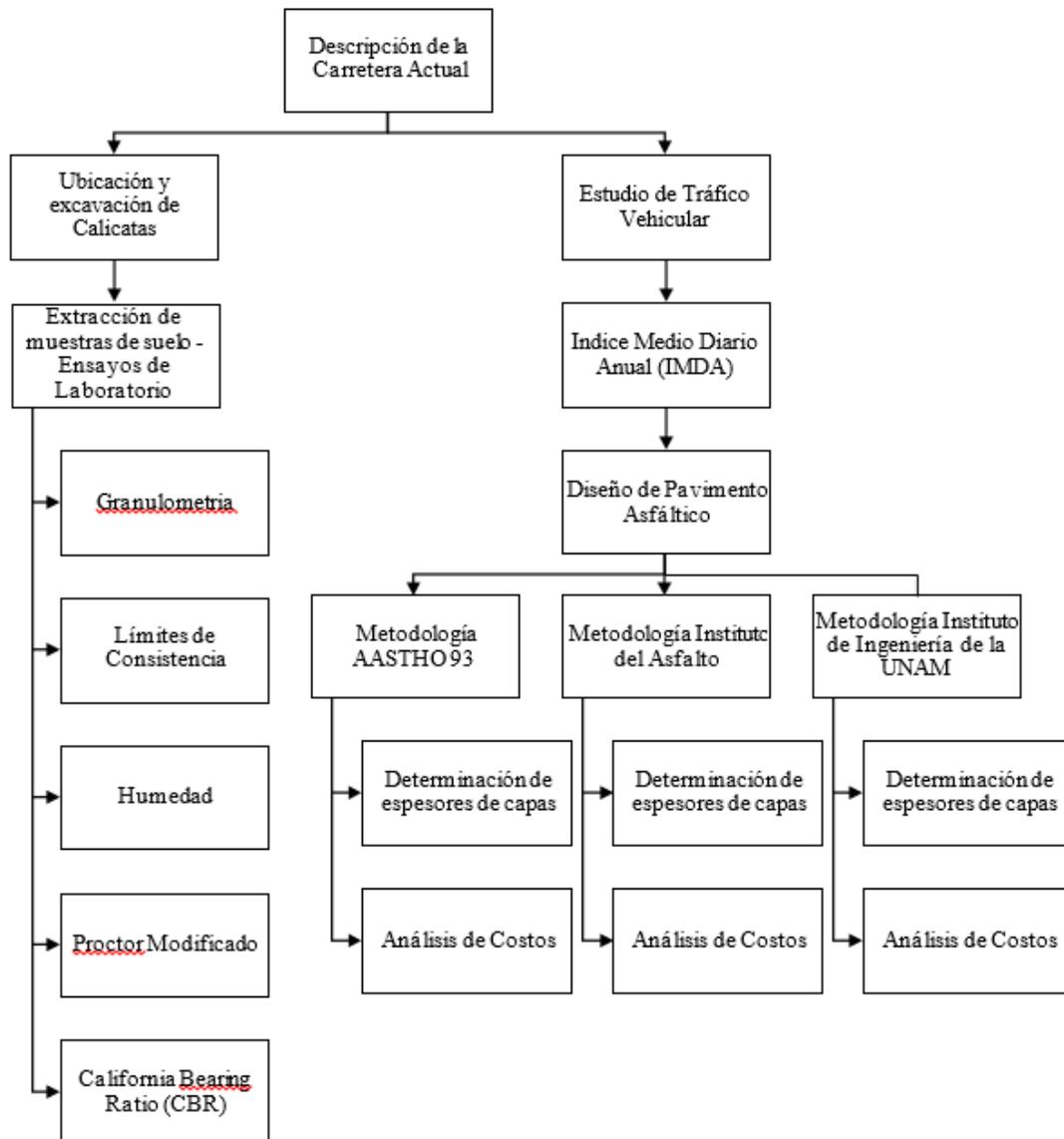


Fig. 11 Diagrama de Flujo del Procedimiento Experimental de la Investigación

2.3.3.1. Descripción del estado actual de la carretera

Se procedió a realizar la descripción del estado actual de la carretera de la sierra liberteña Santiago de Chuco - Cachicadán, en donde se mostrará las condiciones de transitabilidad de la carretera, y poder evidenciar la urgencia de una vía asfaltada. Para ello, se recopilarán de campo y de las entidades responsables de la carretera los parámetros básicos de la carretera:

- Clasificación según su función
- Clasificación por sus condiciones orográficas
- Clima
- Altitud
- Longitud
- Velocidad Directriz
- Radio Mínimo
- Pendiente Mínima
- Pendiente Máxima
- Ancho de la plataforma
- Cunetas

2.3.3.2. Estudio de Mecánica de Suelos

El estudio de mecánica de suelos, tiene por finalidad obtener las características y propiedades físicas-mecánicas del suelo a nivel de Sub-rasante, y así diseñar el pavimento flexible requerido, para ello, se realizarán la excavación de calicatas de acuerdo al manual de carreteras: sección suelos y pavimentos, que recomienda como mínimo la realización de una

calicata por kilómetro.

Los ensayos de laboratorio que se realizarán, serán los siguientes:

Granulometría

El análisis granulométrico tiene por objetivo determinar la distribución y proporción de sus diferentes elementos constituyentes y de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado, a partir del cual se puede estimar con mayor aproximación las demás propiedades que pudieran interesar, de cada muestra extraída de las calicatas, el procedimiento se encuentra bajo la norma MTC E 107.

Límites de Consistencia.

Los límites de consistencia o límites de Atterberg, determinan y establecen la propiedad de estabilidad que representa los suelos hasta cierto límite de humedad sin disgregarse, definiéndose los límites correspondientes a tres estados de consistencia según su humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: líquido, plástico o sólido. Estos límites miden la cohesión de un suelo, y sus respectivos procedimientos se encuentran bajo las normas MTC E 110 (límite líquido) y MTC E 111 (límite plástico).

Además de estos límites, se calcula el índice de plasticidad (IP), el cual indica la magnitud del intervalo de humedades en el cual el suelo posee consistencia plástica y permite clasificar bien un suelo. El índice de plasticidad se calcula restando el límite líquido con el límite plástico.

Humedad

El contenido de humedad de las muestras de suelo permite determinar el porcentaje de

peso de agua que poseen las partículas sólidas constituyentes del suelo, esta característica es importante debido a que permite comparar la humedad óptima obtenida del ensayo del próctor modificado para obtener el CBR del suelo. El procedimiento de este ensayo se encuentra bajo la norma MTC E 108. Determinadas las características de los suelos, según los ensayos anteriores, se podrá estimar su clasificación e índice de grupos, mediante los dos sistemas de clasificación más difundidos, AASHTO Y SUCS.

Próctor Modificado

El ensayo de próctor modificado, permitirá determinar las propiedades de los suelos tales como: máxima densidad seca y el contenido de humedad óptimo, consistirá en tamizar bajo la malla N°4 el material, se le adicionará cierto porcentaje de agua hasta alcanzar la suficiente trabajabilidad del material, y así poder compactarlo en un recipiente metálico denominado próctor de dimensiones estándares conocidas, a través de 5 capas, y por cada capa colocada, se le aplicarán 25 golpes con un pisón metálico, de forma circular, hasta alcanzar el suficiente grado de compactación y mejor acomodo. Se pesará cada próctor con su respectiva muestra con diferente porcentaje de humedad, y así poder calcular el contenido de humedad (llevando una pequeña muestra compactada al horno para obtener su humedad exacta), y a su vez el contenido de humedad óptima y la máxima densidad seca. El procedimiento de este ensayo se encuentra bajo la norma MTC E 115.

California bearing ratio (CBR):

El ensayo CBR, describe el procedimiento para la determinación de un índice de resistencia de los suelos denominado valor de la relación de soporte, el ensayo se realiza

bajo condiciones determinadas de humedad y densidad. El procedimiento consiste en tomar muestras de suelo con su contenido de humedad óptimo, hallado del próctor modificado, siendo pesados en su respectivo molde, luego se insertará un disco espaciador en el molde cubriéndolo con un disco de papel filtro, luego se elaborarán tres probetas de 5 capas cada una, con un grado de compactación de 12, 26 y 55 golpes por capa cada molde, se retirará el collar y disco espaciador, se pesará el molde con el suelo compactado y se obtendrá el peso unitario total del suelo; se colocará un papel filtro sobre la base y se invertirá la muestra quedando en contacto el papel filtro con la base del molde, además de ello, se ubicarán pesas ranuradas de 4.5kg sobre la muestra de suelo para la simulación de la presión de sobrecarga requerida. Por último, se colocará la muestra en la máquina de compresión, ubicando el pistón sobre la superficie del suelo y a través de las cargas generadas por la máquina (la inicial no mayor a 4.5Kg), se obtendrán con el deformímetro las medidas de carga y penetración, obteniendo así la capacidad de soporte del suelo. El procedimiento de este ensayo se encuentra bajo la norma MTC E 132.

2.3.3.3. Estudio de tráfico vehicular

Con la finalidad de obtener información sobre la transitabilidad de la zona en estudio y así poder determinar el índice medio diario anual (IMDA) necesario para el diseño del pavimento, se realizó lo siguiente:

Se ubicará estratégicamente un punto de estación de control en la zona del estudio en donde se pueda apreciar de manera concisa el número de vehículos que transitan la vía.

1. Con la utilización de guías de observación se registrará el número y tipo de vehículos circulantes por la zona, 10 horas al día, durante una semana (de Lunes a Domingo).

2. Con los datos registrados mediante las guías de observación se determinará el índice medio diario semanal (IMDS), que junto con la utilización de un factor de corrección moderado, se obtendrán como resultado el IMDA actual de la zona.

3. Con el dato del IMDA actual de la zona, se calculará el IMDA proyectado según el período de diseño del proyecto (20 años), tomando como referencia para la tasa de crecimiento de vehículos ligeros, la tasa de crecimiento poblacional de la región; mientras que para la tasa de crecimiento de vehículos pesados, la tasa de crecimiento del PBI de la región.

4. Se determinará, según el IMDA proyectado de la zona, la clasificación de la carretera en estudio. El procedimiento de este estudio de tráfico está normado por el manual de carreteras del MTC sección suelos y pavimentos.

2.3.3.4. Diseño de Pavimento Flexible

Para el diseño del pavimento flexible, bajo el método AASHTO guide for design of pavement structures 1993, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM, es necesario parámetros importantes, además de su propia filosofía de diseño: Guía AASTHO 93, Manual MS 01 y el método desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México.

2.3.3.5. Comparación de Costos

Finalmente, se propondrá el nivel de gastos de cada pavimento flexible evaluado con la metodología AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM, realizando una partida simple de gastos (mano de obra, materiales, equipos y herramientas), de 1km de carretera pavimentado. Los costos serán obtenidos de la Cámara Peruana de Comercio (CAPECO), además de la utilización del software Costos y Presupuestos S10; para analizar y comparar cada tipo de pavimento evaluado con las diferentes metodologías.

2.4. Operacionalización de variables.

Variable:

Estructura del pavimento asfáltico: Conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificadas se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por el movimiento de tierras en el proceso de exploración y que han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmite durante el período para el cual fué diseñada la estructura del pavimento. (Montejo, 2015) p. 12.

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ITEMS
ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO	Presupuesto total de la estructura del pavimento, dimensiones de capas estructurales y viabilidad.	-Metodología AASTHO-93, -Metodología del Instituto del Asfalto -Metodología del Instituto de Ingeniería de la UNAM, -Análisis de costos	-Tráfico Vehiculares , Número de ejes equivalentes, exploraciones de suelo (Calicatas) y análisis de muestras en laboratorio.	# de vehículos # de ejes equivalentes % cm soles

Fig. 7 Operacionalización de variables

III. RESULTADOS.

3.1. Descripción del estado actual de la carretera

El estado actual de la carretera, la zona de estudio, se encuentra ubicada entre los distritos de Santiago de Chuco y Cachicadán; se encuentra actualmente con afirmado (Ver Anexo N° 4 y 5), con un ancho de plataforma variable entre 3.50 a 6.50 m. La carretera se encuentra ubicada en la sierra, presenta orografía accidentada, con pendientes y contrapendientes de gran magnitud. El alineamiento horizontal muestra que la vía presenta una combinación de grandes tangentes con curvas de radio variable. Gran parte de la carretera se encuentra en mal estado, esto se debe a que su plataforma presenta múltiples fallas: baches, ahuellamientos, desniveles, tramos de sección pequeñas, curvas con radios mínimos permitidos por antiguas normas, etc.; ocasionando dificultad en el tránsito vehicular además de un elevado número de accidentes.

Tabla 15 Características técnicas actuales de la carretera costanera.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
IMDA	
Clasificación de la vía	Carretera de Tercera Clase
Velocidad directriz	60 KmPH
Pavimento	No Presenta
Micropavimento	No Presenta
Afirmado	35 cm
Alineamiento Horizontal	
Plazoletas de Cruce	No presenta
Alineamiento Vertical	
Pendiente Mínima	0%

Pendiente Máxima	10%
Sección Transversal	
Número de Carriles	1
Ancho de Carril	3.5 – 6.5 m
Talud en Relleno	Variable
<u>Talud en Corte</u>	<u>Variable</u>

Fuente: Elaboración propia Tomado de Perfil Técnico - MPSCH

▪ **Estudio Topográfico**

• **Ubicación geográfica de la zona de estudio:**

Carretera: Santiago de Chuco – Cachicadán

Distritos: Santiago de Chuco y Cachicadán

Provincia: Santiago de Chuco

Región: La Libertad

Coordenadas: UTM WGS84 (17 South).

• **Ubicación georreferenciada de la carretera:**

Tabla 16 Ubicación georreferenciada de la carretera.

Punto	Distrito	Progresiva	Coordenadas UTM	Cota (m)
Inicio	Santiago de Chuco	Km 0+000	9098805.214 812109.586	3022.340
Final	Cachicadán	Km 16+300	9104256.238 <u>813509.804</u>	2913.258

Fuente: Elaboración propia Tomado de Perfil Técnico - MPSCH

- **Ubicación georreferenciada de la carretera (muestra 4 km):**

Tabla 17 Ubicación georreferenciada de la carretera (muestra 4km).

Punto	Distrito	Progresiva	Coordenadas UTM	Cota (m)
Inicio	Santiago de Chuco	Km 3+000	9098978.345 811860.667	3075.171
Final	Santiago de Chuco	Km 7+000	9103410.602 511504.127	2816.130

Fuente: Elaboración propia Tomado de Perfil Técnico - MPSCH

La carretera Santiago de Chuco – Cachicadán clasifica, según su orografía, como una carretera de tipo 3 – terreno accidentado, según la clasificación por orografía del manual de diseño geométrico de carreteras 2018 (MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES, 2018).

3.2. Estudio de Tráfico Vehicular

El estudio de tráfico vehicular se desarrolló en el comienzo de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán además de ayudarnos en el momento que se realizaron las calicatas. (Anexo N° 8). Para ello se anotaron los resultados en una hoja por cada día de recolección de datos (Anexo N° 9).

- **Resumen del conteo vehicular semanal en la zona de estudio:**

Se realizó el resumen de conteo vehicular tomando los días de 21-28 de septiembre de 20

ESTACIÓN	Santiago de Chuco	
CÓDIGO DE ESTACIÓN	E-01	
UBICACIÓN	Santiago de Chuco	
FECHA	sábado, 21 de septiembre de 2019	
CARRETERA	Santiago de Chuco -	
TRAMO DE CARRETERA	Km 3+500 - Km 7+500	
SENTIDO	Santiago de Chuco →	Cachicadán
	Cachicadán →	Santiago de

Fig. 12 Datos informativos del conteo vehicular

Tabla 19 Resumen de conteo vehicular

DÍA	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMIÓN				SEMI-TRAYLER					TRAYLER			TOTAL	
	AUTO	PICK UP	COMBI		2EJES	≥3EJES	2EJES	3EJES	4EJES	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	≥3S3	2T2	2T3	3T2		≥3T3
LUNES	75	86	81	0	8	0	32	9	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	296
MARTES	72	77	78	0	9	0	30	10	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	279
MIÉRCOLES	64	76	74	0	13	0	24	8	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	265
JUEVES	65	76	65	0	11	0	26	10	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	255
VIERNES	69	74	68	0	7	0	36	16	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	272
SÁBADO	54	70	69	0	8	0	28	26	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	259
DOMINGO	55	69	66	0	7	0	18	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	231
PROMEDIO	65	75	72	0	9	0	28	14	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	265
TOTAL																				

Fuente: Elaboración propia

- **Calculo del IMDA actual:**

El IMDA actual, se calculó a través de la siguiente expresión matemática:

$$IMDA = IMDS \times Fe$$

En donde:

- 3 IMDA: Índice medio diario anual actual
- 4 IMDS: Índice medio diario semanal
- 5 Fe: Factor de corrección estacional por tipo de vehículo
(PROVÍAS NACIONAL, 2018)

Tabla 20 Resumen del IMDS por vehículos ligeros y pesados.

PARÁMETRO	TIPO DE VEHÍCULOS		TOTAL
	LIGEROS	PESADOS	
IMDS	212	59	248
Fe	103.1%	102.4%	-
IMDA	194	61	255

El índice medio diario anual actual (IMDA), obtenido en la zona de estudio es de 493 Vehículos/día.

- **Cálculo de IMDA proyectado:**

El IMDA proyectado, se calculó a través de la siguiente expresión matemática, teniendo como periodo de diseño n=20 años:

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

- T_n : Tránsito proyectado al año "n" en vehículos/día.
- T_0 : Tránsito actual (año base) en vehículos/día.
- n: Número de años del periodo de diseño.
- r: Tasa anual de crecimiento del tránsito por tipo de vehículo

(Instituto Nacional de Estadística e Informática, 2018)

Tabla 21 Resumen del IMDA proyectado por tipos de vehículos.

PARÁMETRO	TIPO DE VEHÍCULO		TOTAL
	LIGEROS	PESADOS	
IMDA	189	59	248
r	4%	3%	-
n	20	20	-
IMDA _p	398	103	501

El IMDA proyectado es de 501 vehículos/día, para un periodo de diseño de 20 años, es así como, la carretera de la zona de estudio clasifica según su demanda, por el ministerio de transportes y comunicaciones, como una carretera de segunda clase. Dichas características de esta carretera son, una calzada con dos carriles de 3.50m de ancho como mínimo, puede tener cruces o pasos vehiculares a nivel y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales o en su defecto con dispositivo de seguridad vial, que permitan velocidades de operación, con mayor seguridad. La superficie de rodadura de estas carreteras debe ser pavimentada.

3.2. Estudio de Mecánica de Suelos

- ***Ubicación georreferenciada de las calicatas:***

Para la extracción de las muestras de suelo, en la zona de estudio que comprende la muestra de la carretera (de 4km), entre las progresivas km3+000 hasta km7+000, se identificaron por observación, un tipo de suelo para cada exploración, según el manual de carreteras: sección

suelos y pavimentos del ministerio de transportes y comunicaciones para este tipo de carretera, es necesario una calicata por cada 2 kilómetros, se decidió realizar las calicatas para conocer la variación de las propiedades físico-mecánicas del suelo. (Ver anexo N° 6 y 7).

Tabla 18 Ubicación georreferenciada de las calicatas.

Punto	Distrito	Progresiva	Coordenadas UTM	Cota (m)
C-01	Santiago de Chuco	Km 3+500	9099316.469 811936.791	3018.645
C-02	Santiago de Chuco	Km 5+400	9103200.652 511124.361	2853.420

- **Análisis Granulométrico**

El análisis granulométrico se realizó cumpliendo con los estándares y normativa vigente, se realizaron en el Laboratorio de suelos de la Universidad Privada del Norte. (Anexo N°13 y 17).

Tabla 22 Resultados de Análisis Granulométrico

N° de CALICATA	PORCENTAJE DE MUESTRA		
	GRAVA (%) 2" - # 4	ARENA (%) # 4 - # 200	FINOS (%) < #200
C - 01	25%	40%	45%
C - 02	12%	44%	44%

Tabla 23 Clasificación de Suelos según AASHTO Y SUCS.

N° de CALICATA	CLASIFICACIÓN DE SUELO	
	AASHTO	SUCS
C – 01	A-7-6	SC
C – 02	A-6	SC

- **Contenido de Humedad**

El contenido de humedad se realizó para ambas muestras de suelo tanto para la calicata 01 y calicata 02. (Anexo N°13 y 17).

Tabla 24 Resultados del Contenido de Humedad.

N° de CALICATA	CONTENIDO DE HUMEDAD (%)
C – 01	9.6
C – 02	12.0

- **Límites de Consistencia**

El ensayo de Límites de consistencia se realizó para ambas muestras de suelo tanto para la calicata 01 y calicata 02. (Anexo N°14 y 18).

Tabla 25 Resultados de Límites de Consistencia

N° de CALICATA	CLASIFICACIÓN DE SUELO		
	LL (%)	LP (%)	IP (%)
C – 01	41.6	23.0	18.6
C – 02	37.2	24.9	12.3

- **Ensayo Próctor y CBR**

El ensayo próctor estándar se realizó para ambas muestras de suelo tanto para la calicata 01 y calicata 02. (Anexo N°15 y 19). Además se realizó un ensayo de CBR para las muestras de suelo obtenidas de las exploraciones de suelo. (Anexo N°16 y 20).

Tabla 26 Resultados del Próctor Estándar y CBR.

N° de CALICATA	PROPIEDAD		
	ÓPTIMO CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	MÁXIMA DENSIDAD SECA (g/cm ³)	C.B.R. (%)
C – 01	13.90	1.88	17.6
C – 02	22.90	1.59	7.3

4.4. Diseño de Pavimento Flexible con método AASHTO 93

- **Cálculo de los ejes equivalentes por cada tipo de vehículo**

Para obtener los ejes equivalentes por cada tipo de vehículo pesado (EE día-carril), se utiliza la siguiente expresión matemática:

$$EE \text{ por Día por Carril} = IMD_{pi} \times F_d \times F_c \times F_{vpi} \times F_p$$

En donde:

IMD _{pi} :	Índice medio diario según tipo de vehículo pesado
F _d :	Factor Direccional (Anexo N°23)
F _c :	Factor Carril (Anexo N° 23)
F _{vpi} :	Factor de vehículo pesado (Anexo N°23)
F _p :	Factor de presión de neumáticos (Anexo N°23)

Para una carretera, con una calzada y dos sentidos (un carril por sentido), se obtienen los siguientes resultados, para los Ejes Equivalentes por cada tipo de vehículo pesado (EE día- carril):

Tabla 27 Cálculo de los ejes equivalentes por cada tipo de vehículo.

CÁLCULO DE EJES EQUIVALENTES (ESAL)				
TIPO DE VHÍCULOS	IMDA AÑO: 2019	CARGA DE VehxEJE (Tn)	EJE EQUIVALENTE (8.2 Tn)	F. IMDA
Autos, Camionetas y Combis	212	1	0.000527017	0.11
	212	1	0.000527017	0.11
B2	9	7	1.265366749	11.39
	9	11	3.238286961	29.14
B3		7	1.265366749	0.00
		16	1.260585019	0.00
C2	28	7	1.265366749	35.43
	28	11	3.238286961	90.67
C3	14	7	1.265366749	17.72
	14	18	2.019213454	28.27
C4		7	1.265366749	0.00
		23	1.524157903	0.00
T2S1		7	1.265366749	0.00
		11	3.238286961	0.00
		11	3.238286961	0.00
T2S2		7	1.265366749	0.00
		11	3.238286961	0.00
T2S3		18	2.019213454	0.00
		7	1.265366749	0.00
		11	3.238286961	0.00

		25	1.729553738	0.00
		7	1.265366749	0.00
3S1		18	2.019213454	0.00
		11	3.238286961	0.00
		7	1.265366749	0.00
3S2		18	2.019213454	0.00
		18	2.019213454	0.00
	2	7	1.265366749	2.53
3S3	2	18	2.019213454	4.04
	2	25	1.729553738	3.46
	2	7	1.265366749	2.53
2T2	2	11	3.238286961	6.48
	2	11	3.238286961	6.48
	2	11	3.238286961	6.48
		7	1.265366749	0.00
2T3		11	3.238286961	0.00
		11	3.238286961	0.00
		18	2.019213454	0.00
		7	1.265366749	0.00
3T2		18	2.019213454	0.00
		11	3.238286961	0.00
		11	3.238286961	0.00
		7	1.265366749	0.00
3T3		18	2.019213454	0.00
		11	3.238286961	0.00
		18	2.019213454	0.00
		Σ	f. IMDA =	245

Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo del total de ejes equivalentes se utiliza la siguiente expresión

matemática:

$$Esal (EE) = \sum(IMDA)xDíasxf dxfcx \left[\frac{(1 + \frac{r}{100})^n}{r} - 1 \right]$$

% CRECIMIENTO	4.00	%
PERIODO DE DISEÑO	20	años
DIAS DEL AÑO	365	días
FACTOR DIRECCIONAL	0.50	
FACTOR DE CARRIL	0.80	

ESAL (EE) =	1064429.25
--------------------	-------------------

De esta forma, se obtuvo el N° de repeticiones de EE de 8.2Tn siendo de 1'064,429.25.

- **Cálculo del Número Estructural Propuesto**

El número estructural propuesto, determinará el espesor total del pavimento a colocar, se aplicó la metodología AASHTO 93, siendo la expresión matemática la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = 9.36 \log_{10} R + 0.10 \log_{10} (SN + 1) - 0.2 + \frac{10^{(4.2 - 1.5)}}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10} M - 8.07$$

Las variables necesarias para su cálculo, están directamente asociadas con la carga vehicular, rigidez del suelo de la sub-rasante y comportamiento esperado de la estructura, bajo parámetros estadísticos.

Tabla 28 Variables y cálculo del número estructural propuesto (SN).

VARIABLE	SÍMBOLO	VALOR	DESCRIPCIÓN
Número de repeticiones de ejes equivalentes 8.2Tn	W18	1064429.249	Cálculo de repeticiones de ejes equivalentes 8.2Tn.
Módulo de resiliencia	MR	14518.98	Resultados del próctor modificado y CBR. Módulo resiliente obtenido por correlación con CBR.
Confiabilidad	%R	95%	Valores recomendados de nivel de confiabilidad según rango de tráfico.
Coefficiente estadístico de desviación estándar normal.	Zr	-1.645	Coefficientes estadísticos de desviación estándar normal
Coefficiente estadístico de desviación estándar combinada	So	0.45	La Guía AASHTO recomienda utilizar para pavimentos flexibles, valores entre 0.40 y 0.50.
Variación del índice de serviciabilidad presente inicial y Final.	ΔPSI	1.80	Diferencia de serviciabilidad.
Número estructural propuesto.	SN	2.88	Calculado por la solución de la fórmula establecida de la guía AASHTO 93 para pavimentos flexibles.

Fuente: Elaboración propia
Tomado de Guía AASHTO 1993.

- ***Cálculo de los Espesores del Pavimento Flexible***

El número estructural propuesto calculado, debe ser transformado al espesor efectivo de cada una de las capas que constituirán el pavimento (capa de rodadura, base y sub-base), mediante el uso de coeficientes estructurales y de drenaje, para ello la guía AASHTO 93, establece la siguiente expresión matemática:

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

En donde:

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de las capas: capa de rodadura, base y subbase, respectivamente.

d_1, d_2, d_3 : Espesores (en centímetros) de las capas: capa de rodadura, base y subbase, respectivamente.

m_2, m_3 : Coeficientes de drenaje para las capas de base y sub-base, respectivamente.

Tabla 29 Variables y Cálculo de los espesores del pavimento flexible.

ESTRUCTURA	COEFICIENTE	SÍMBOLO	VALOR	DESCRIPCIÓN
CAPA DE RODADURA	Estructural (/cm)	a₁	0.44	Coefficientes estructurales de las capas del pavimento: carpeta asfáltica en caliente, 2,965MPa (430,000PSI) a 20°C
	ESPESOR (cm)	d₁	7	Espesor calculado a partir de la ecuación del número estructural. En donde influyen los coeficientes estructurales y de drenaje.
BASE	Estructural (/cm)	a₂	0.1 4	Coefficientes estructurales de las capas del pavimento: base granular CBR 80% compactada al 100% de la MDS.
	ESPESOR (cm)	d₂	12. 5	Espesor calculado a partir de la ecuación del número estructural. En donde influyen los coeficientes estructurales y de drenaje
SUB-BASE	DRENAJE	m₂	1.0	Calidad del drenaje: bueno. Valores recomendados del coeficiente de drenaje: mayor que 25% de tiempo el pavimento está expuesto a condiciones de humedad.
	Estructural (/cm)	a₃	0.1 1	Coefficientes estructurales de las capas del pavimento: sub-base granular CBR 40% compactada al 100% de la MDS. Espesor calculado a partir de la ecuación del número estructural.
	ESPESOR (cm)	d₃	22.5	En donde influyen los coeficientes estructurales y de drenaje.
	DRENAJE	m₃	1.0	Calidad del drenaje: bueno. Valores recomendados del coeficiente de drenaje: mayor que 25% de tiempo el pavimento está expuesto a condiciones de humedad.

NÚMERO ESTRUCTURAL	NÚMERO ESTRUCTURAL	SN	2.88	Número estructural determinado de los espesores considerados para el diseño del pavimento flexible.
	NUMERO ESTRUCTURAL PROPUESTO	SNR	2.88	Variables y cálculo del número estructural propuesto.

Fuente: Elaboración propia Tomado de ASSTHO 93

Los cálculos fueron realizados tanto en un software de diseño de pavimentos así como también en una hoja de cálculo de Excel los cuales se pueden ver (Anexo N° 24 y 25).

Tabla 30 Resumen de Espesores – Diseño de pavimento flexible AASHTO 03

CAPA	ESPESOR	UNIDAD
CAPA DE RODADURA	7.00	cm
BASE	12.50	cm
SUB-BASE	22.50	cm

Fuente: Elaboración Propia

4.5 Diseño de Pavimento Flexible con método del Instituto de Ingeniería de la UNAM

El diseño se apoyó utilizando el software desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM.



Fig. 13 Pantalla de entrada del programa Dispav-5

Fuente: Captura tomada de software Dispav-5 desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM

Parámetros requeridos en la metodología de diseño

- **Tipo de carretera**

Tabla 31 Tipos de carreteras mostrados en el método de diseño

Tipos de Carretera mostrados en la Metodología	Máxima deformación permisible al final de la vida útil del pavimento
Carretera de Altas especificaciones	1.2 cm
Carretera Normal	2.5 cm

- **Tránsito de proyecto**

El tráfico del proyecto fue introducido directamente al software Dispav-5 a partir de un tráfico mezclado, que no es otra cosa que el cálculo del ESAL de diseño para el cual fue necesario introducir el IMDA, la tasa de crecimiento y el periodo de diseño de la carretera a diseñar. Estos datos fueron sacados del estudio de tráfico realizado por los autores, los análisis del suelo y además de las normas que rigen nuestro país en el (Anexo N° 28 y 29) se aprecia los datos que fueron introducidos para el diseño.

- **Profundidad de daño**

La metodología presenta la siguiente lista de profundidades asociadas a un valor de daño superficial y daño profundo. (Ver Tabla N° 32).

Tabla 32 Profundidad de daño según el tránsito en millones de ejes estándar.

Tránsito en Millones de Ejes estándar	Profundidad (Z)
2.0	120 cm
1.9	90 cm
1.8	60 cm
1.5	30 cm
1.2	15 cm
1.3	5 cm

- **Sección estructural de la Carretera**

Las capas de la carpeta estructural del pavimento que fueron consideradas para este método son: una carpeta de rodadura asfáltica, base granular, sub base granular y el terreno de fundación en donde finalmente divergen los esfuerzos. (Anexo N° 30).

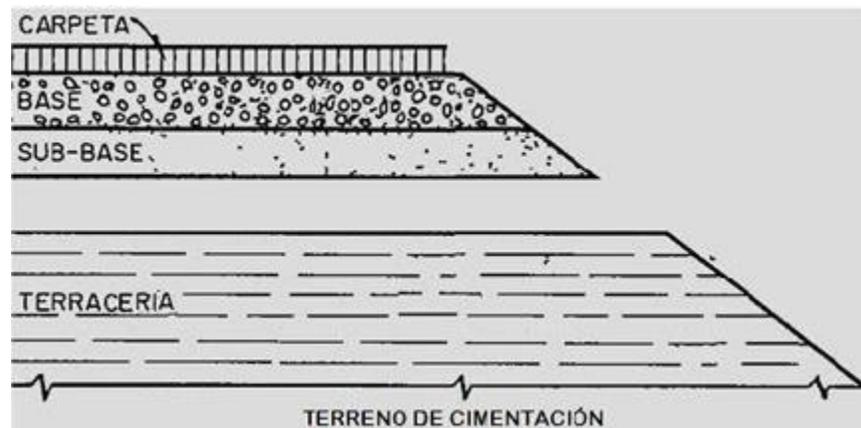


Fig. 14 Estructura de la carretera

Fuente: Tomado de Software Dispav-5 – desarrollado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM

- **Características de los Materiales**

Para el siguiente análisis fue necesario estimar el CBR que tendrían las capas estructurales, tanto de la sub-base granular como de la base granular y de la terracería, dato que se obtuvo a través de los ensayos del suelo de fundación. El manual emitido por el ministerio de transportes y comunicaciones MTC establece las consideraciones mínimas para el CBR de las capas granulares. (Anexo N° 31).

Tabla 33 % CBR y Módulo de rigidez en cada capa utilizada en el método.

Capa	CBRz (%)	Módulo de Rigidez (Kg/cm ²)	Poisson
Carpeta	-	30000	0.35
Base Granular	80	2793	0.35
Sub-base	40	1719	0.45
Terracería	15.1	869	0.45

- **Niveles de Confianza**

El método permite emplear un nivel de confianza, y según valores estudiados por el ministerio de transportes y comunicaciones MTC este valor es del 95%. (Anexo N° 33).

- **Resultados Finales del Proyecto**

A través del software Dispav-5 tenemos el procesamiento de los datos, generando así una alternativa previa que satisface el diseño del pavimento asfáltico. (Anexo N° 35).

Tabla 34 Resultados finales del proyecto

Capa	H (cm)	CBRz (%)	E (Kg/cm ²)	Poisson	Def	Fatiga
Carpeta	7.5		30000	0.35		1
Base granular	17.5	80	2793	0.35	1.1	

Sub-base	20	40	1719	0.45	63.7
Terracería	Semi-inf.	15.1	869	0.45	127

Fuente: Elaboración propia

Tomado de Software Dispav –

4.6 Diseño de Pavimento Flexible con método del Instituto del Asfalto

- **Periodo de diseño de análisis**

Se adoptó un periodo de diseño de 20 años.

- **EAL de diseño**

De acuerdo al estudio de tráfico y cargas se obtuvo el EAL de diseño.

EAL	1'064,429.25
-----	--------------

- **Determinación del módulo resiliente de la subrasante**

El módulo resiliente de diseño de la subrasante se define utilizando los valores de la siguiente tabla de percentil del diseño (%) en relación al nivel de tráfico ya obtenido.

Tabla 35 Percentiles de diseño (%) según el nivel de tráfico

Nivel de tráfico (EAL)	Percentil de diseño (%)
10^4 o menos	60
Entre 10^4 y 10^6	75
10^6 o más	87.5

Fuente: Elaboración propia tomado del Manual MS-01

Para el cálculo del módulo resiliente se utilizó la formula estadística de percentiles obteniendo así el siguiente resultado:

Tabla 36 Resumen de CBR obtenidos en Laboratorio y CBR de diseño

Calicata	CBR	Mr	Percentil	CBR de Diseño
1	17.7%	16072.88 psi	87.5%	15.1%
2	7.3%	9118.38 psi		

- **Condiciones Ambientales de Temperatura**

Los datos obtenidos del estudio climatológico y pluviométrico tomados del Perfil técnico en la región La Libertad, se puede estimar la temperatura del aire promedio anual (TMAA) que es de 13°C, con una mínima de 3°C y una máxima de 23°C.

Tabla 37 Temperatura media anual del aire elegido

Temperatura Media Anual del Aire	Efectos de la Helada
<7 °C (45° C)	Si
15.5 °C (60 °F)	Posible
>24 °C (75 °F)	No

Fuente: Elaboración propia tomado del Instituto del Asfalto (1991)

Debido a ello se utilizará las cartas de diseño que tienen una TMAA= 15.5°C (60°F)

- **Tipos de bases**

Para el diseño del pavimento se empleó base de agregados no tratados

- **Dimensionamiento de la estructura – pavimento flexible**

En el siguiente cuadro, se muestran los parámetros considerados para determinar los espesores de la estructura del pavimento flexible.

Tabla 38 Parámetros de obtenidos por el método del Instituto del Asfalto

Parámetros	Dato
Periodo de diseño	20 años
Temperatura media anual del aire (TMAA)	15.5°C
EAL de diseño	1064429.249
Módulo de resiliencia de la subrasante (Mr)	14518.98146
Tipo de base de agregado	No tratado

- **Espesor mínimo de carpeta asfáltica**

El espesor mínimo recomendado por el método del Instituto del Asfalto para el concreto tipo asfáltico, según EAL es de 5". Los espesores de concreto asfáltico requeridos sobre el espesor de la base granular se pueden leer directamente de las cartas.

Tabla 39 Espesor mínimo de asfalto recomendado

Tráfico EAL	Condición del Tráfico	Espesor mínimo de carpeta asfáltica
10^4 o menos	Parques de estacionamiento de tráfico ligero, entradas de autos y aminos rurales	75 mm (3.0 in)
Entre 10^4 y 10^6	Tráfico medio del camión	100 mm (4.0 in)
10^6 o más	Tráfico pesado del camión	125 mm (5.0 in) o mayor

- **Dimensionamiento de la estructura del pavimento flexible**

La metodología empleada a través del uso de las gráficas donde relaciona Módulo de resiliencia (M_r), temperatura ($^{\circ}\text{C}$) y ESAL de diseño tal como se muestra en el (Anexo N° 26).

Tabla 40 Espesores de carpeta por cada capa de

Capa	Espesor (cm)
Carpeta Asfáltica	12.5
Base	15
Sub base	15

- **Comparación de espesores según metodologías empleadas**

Se registró en un cuadro resumen los espesores de las capas estructurales para cada metodología de diseño empleadas:

Tabla 41 Resumen de resultados de espesores de carpetas estructurales

RESULTADO DE LOS DISEÑOS				
MÉTODO		AASTHO-93	INSTITUTO DEL ASFALTO	INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM
ESPESOR (cm)	CARPETA ASFÁLTICA	7	12.5	7.5
	BASE GRANULAR	12.5	15	17.5
	SUB - BASE GRANULAR	22.5	15	20

Fuente: Elaboración propia.

- **Comparación de carpeta asfáltica**

En el siguiente gráfico se muestra un histograma que compara los espesores de carpeta asfáltica para las 3 metodologías empleadas

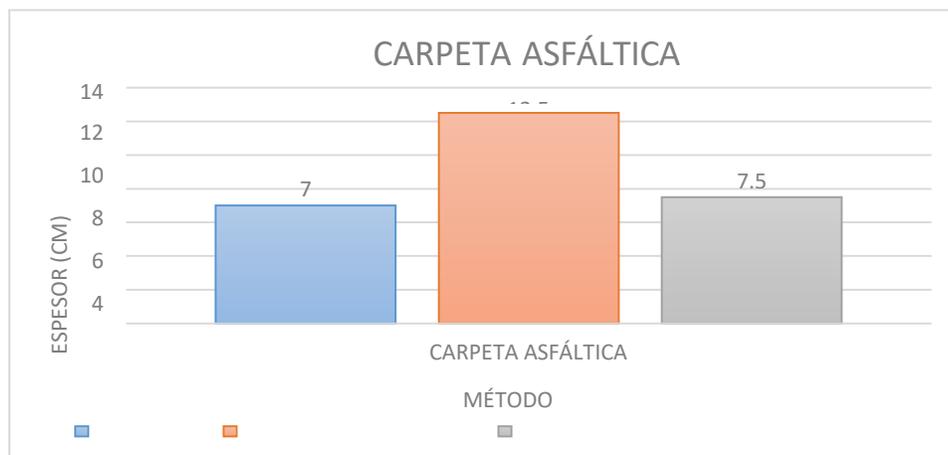


Fig. 15 Histograma comparativo de espesor de carpeta asfáltica (cm) según las metodologías utilizadas en esta investigación.

• **Comparación de Base granular**

En el siguiente gráfico se muestra un histograma que compara los espesores de base granular para las 3 metodologías empleadas.

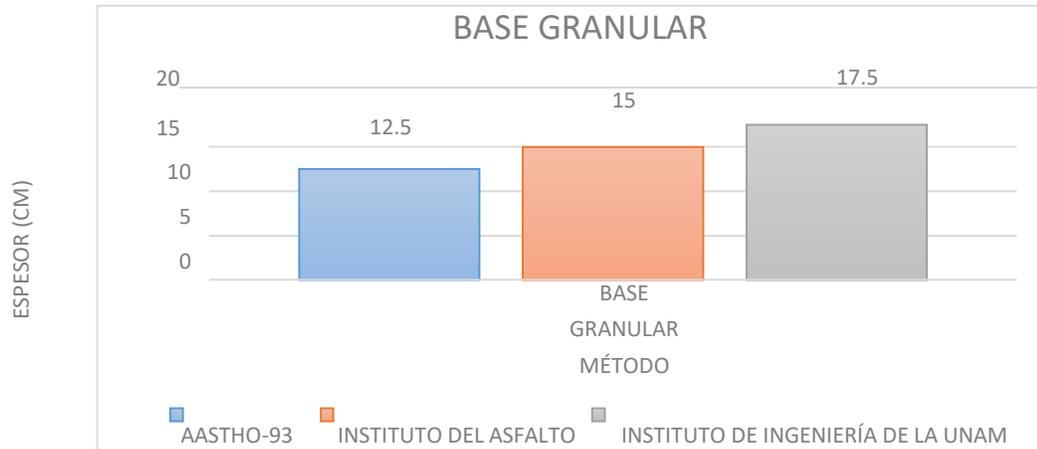


Fig. 16 Histograma comparativo de espesor de base granular (cm) según las metodologías utilizadas en esta investigación.

• **Comparación de espesor de sub base granular**

En el siguiente gráfico muestra los espesores de sub-base granular para las 3 metodologías empleadas.

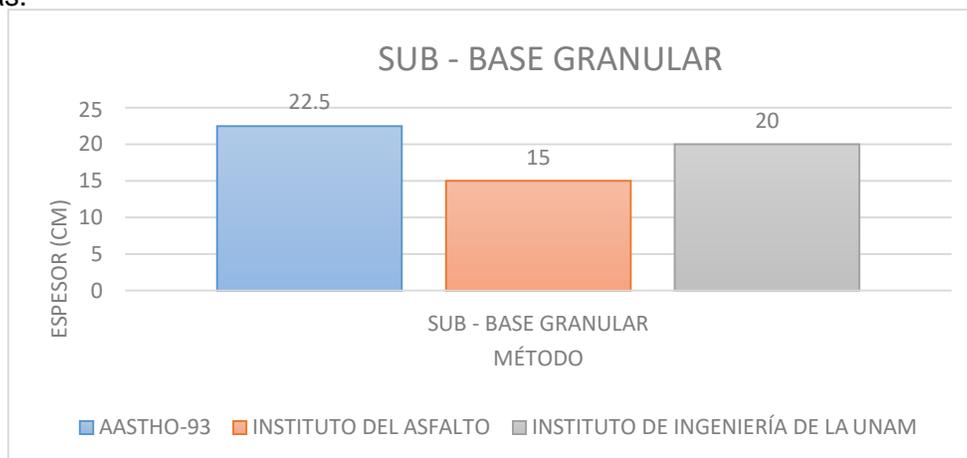


Fig. 17 Histograma comparativo de espesor de Sub - base granular (cm) según las metodologías utilizadas en esta investigación

Comparación de espesores de capas estructurales

En el siguiente gráfico se muestra un histograma que compara los espesores de capas estructurales para las 3 metodologías empleadas.

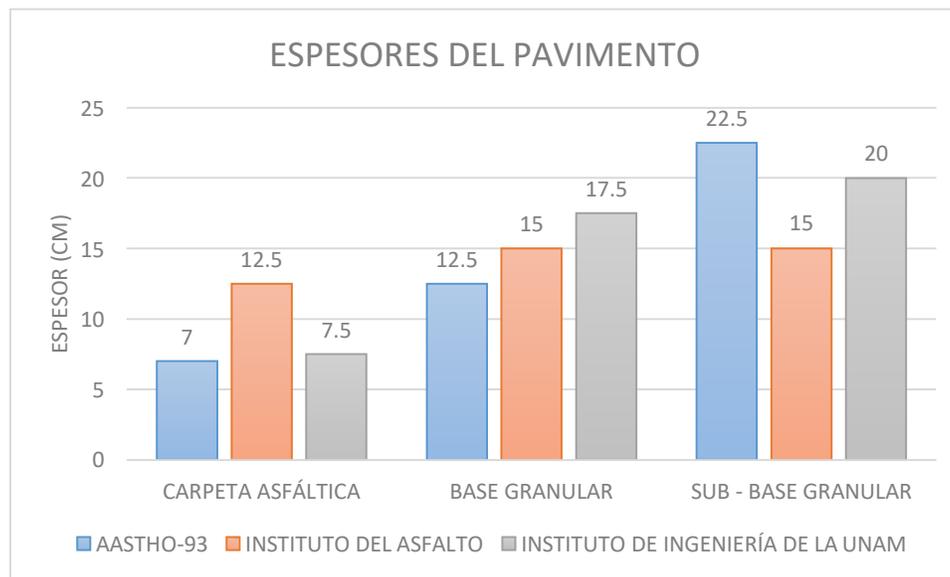


Fig. 18 Histograma resumen de espesores de capas estructurales según las metodologías empleadas

- **Costos según metodología empleada**

La elaboración de costos se realizó a partir de los espesores de las capas estructurales obtenidas de la metodología AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM (Tabla 41). El desagregado de costos unitarios se realizó mediante el Software S10 costos y presupuestos tomando como patrón 1km de carretera con un carril de 3.50m. (Anexo N° 36, 37 y 38).

Presupuesto

Presupuesto 0201001 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A TRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASTHO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM, PARA LAS CARRETERAS DE SANTIAGO DE CHUCO, LA LIBERTAD 2019
 Cliente TESIS 2019 Costo al 02/12/2019
 Lugar LA LIBERTAD - SANTIAGO DE CHUCO - SANTIAGO DE CHUCO

Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	MÉTODO - AASTHO 93				188,300.00
01.01	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE E=0.07 m	m2	3,500.00	38.31	134,085.00
01.02	BASE GRANULAR E=0.125 m	m2	3,500.00	6.57	22,995.00
01.03	SUB - BASE GRANULAR DE E=0.225 m	m2	3,500.00	8.92	31,220.00
01	MÉTODO - INSTITUTO DEL ASFALTO				279,650.00
01.01	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE E=0.125 m	m2	3,500.00	64.70	226,450.00
01.02	BASE GRANULAR E=0.15 m	m2	3,500.00	7.55	26,425.00
01.03	SUB - BASE GRANULAR DE E=0.15 m	m2	3,500.00	7.65	26,775.00
01	MÉTODO - INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM				199,395.00
01.01	CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE DE E=0.075 m	m2	3,500.00	40.45	141,575.00
01.02	BASE GRANULAR E=0.175 m	m2	3,500.00	8.51	29,785.00
01.03	SUB-BASE GRANULAR E=0.20 m	m2	3,500.00	8.01	28,035.00

Fig. 19 Costos de 1km de pavimento según Metodología de diseño empleada.
 Fuente: Elaboración propia – Software S10 Costos y Presupuestos

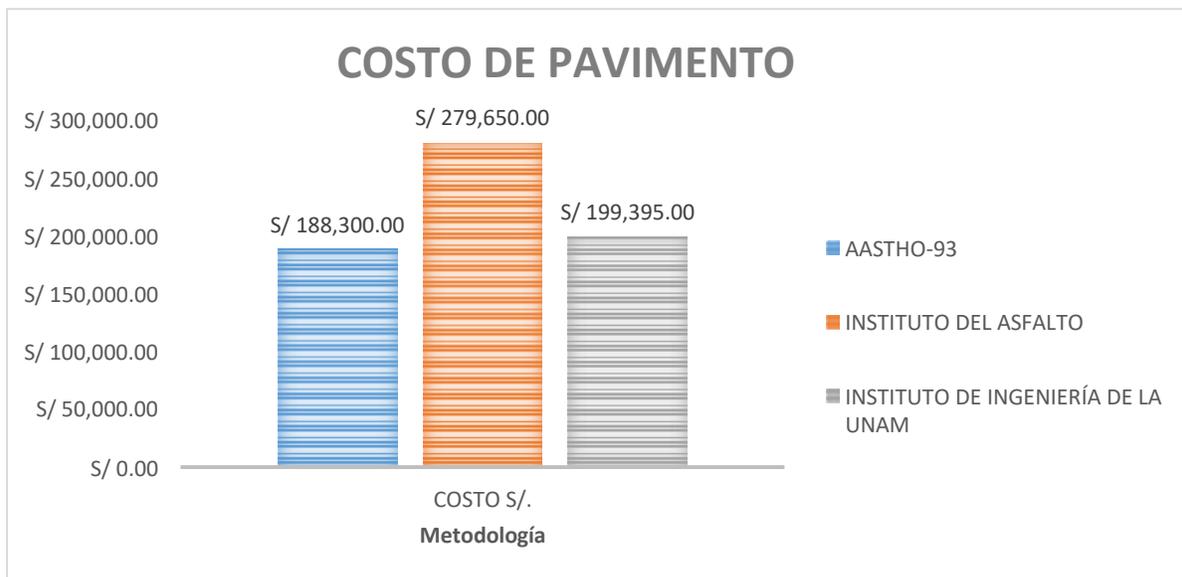


Fig. 20 Histograma donde se muestra el costo de 1k de pavimento según la metodología empleada.

Fuente: Elaboración propia

IV. DISCUSIÓN

A partir de los hallazgos presentados en esta investigación, aceptamos la hipótesis general, la cual establece que el análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM se realiza mediante una evaluación de costos y espesores obtenidos por cada método de diseño, siendo la metodología AASHTO 93 la que proporcione menores espesores de capa estructural para las carreteras de Santiago de Chuco, La libertad, 2019. Este resultado guarda relación con lo obtenido por Fontalba (2015) en su tesis “Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1° etapa”, Irigoin (2018) en su tesis “Comparación entre los métodos AASTHO 93 e Instituto del Asfalto para optimizar el diseño del pavimento flexible en el AH San Lorenzo – José Leonardo Ortis - Chiclayo”, y Lozano (2015) en su tesis “Diseño óptimo de la estructura del pavimento flexible en la H. U. P. Villa Victoria del distrito de Nuevo Chimbote, mediante el método del Instituto del Asfalto y AASTHO”; en donde señalan que se optimiza el pavimento asfáltico utilizando la metodología AASTHO 93 debido a que el diseño presenta menor espesor de carpeta asfáltica lo que causa que al emplear el método del Instituto del Asfalto se incremente el costo de la carpeta asfáltica generando así un costo mayor en la estructura del pavimento asfáltico. Lo cual concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación.

Asimismo, el resultado de esta investigación concuerda con lo obtenido por Fontalba (2015) en su tesis “Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1° etapa” en donde concluye que la principal diferencia entre los métodos de diseño AASTHO 93 y método del instituto de ingeniería de la UNAM se da en las capas estructurales, más no en la

carpeta de rodadura causando así diferencias mínimas en los costos, resultando menor el método AASTHO 93. Lo expuesto tiene concordancia con los resultados hallados en esta investigación.

4.1. Descripción del Estado Actual de la Carretera

Partiendo de la descripción del estado actual de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán presentada en esta investigación (Tabla 15), se evidencia el mal estado de conservación de las trochas carrozables de Santiago de Chuco, muchas de las cuales no son capaces de satisfacer la demanda vial requerida, se apreció las características de la zona accidentada concordando con Peña (2017) en su tesis “Diseño de la carretera tramos: Alto Huayatan – Cauchalda – Rayambara, distrito de Santiago de Chuco, Provincia de Santiago de Chuco, departamento de La Libertad. Lo expuesto da una idea acerca del estado en que se encuentran las carreteras de la zona de Santiago de Chuco.

4.2. Estudio de Tráfico Vehicular

Sin embargo, el estudio de tráfico vehicular (Tabla 19) no concuerda con el presentado por Vásquez (2017) en su tesis “Diseño para el mejoramiento de la carretera en el tramo: Caypanda – Imball, distrito de Santiago de Chuco, provincia de Santiago de Chuco, La Libertad” en donde obtiene un valor de ejes equivalentes de 29089.23 lo cual es 3.66 veces menor que los ejes equivalentes obtenidos en la presente investigación. Esto se debe a que la zona en estudio existe una mayor demanda vial lo que provoca esa diferencia

4.3. Estudio de Mecánica de Suelos

En cuanto a las características que presenta el suelo de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán durante el tramo estudiado a través de dos calicatas se presenta un ligero aumento del CBR tal como se observa en la (Tabla 26), lo cual está acorde con los demás estudios realizados al suelo, como la granulometría (Tabla 23) y límites de Atemberg (Tabla 25). En ambas calicatas se encontró la presencia de suelos areno – arcillosos con un valor de soporte de califirnia (CBR) moderado.

4.4 Diseño de Pavimento Flexible

Realizar el diseño a través de distintas metodologías permitió determinar distintas alternativas para la estructura del pavimento asfáltico de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán, brindando mejores resultados en cuanto a espesores de carpeta asfáltica a el diseño realizado por el método AASTHO 93, seguido del método del instituto de ingeniería de la UNAM y con un espesor mayor al método del Instituto del Asfalto como se muestra en la (Fig. 18), todo esto concuerda con las tesis mencionadas en el primer y segundo párrafo de discusión.

4.5 Comparación de Costos

Si bien con los resultados del Instituto del Asfalto obtenemos espesores menores en cuanto a las capas granulares (base y sub-base), estas no son quienes portan mayor incidencia dentro del análisis de costos como se muestra en la (Fig. 20), la carpeta que incrementa el costo de un pavimento asfáltico es la superficie de rodadura, costando entre 5 a 8 veces más con respecto a las capas granulares. Los costos obtenidos entre los métodos del Instituto de ingeniería de la UNAM y AASTHO 93 no varían mucho debido a que cuentan con espesores de carpeta asfáltica similares, la diferencia radica en las capas granulares.

V. CONCLUSIONES

- a) Se realizó el análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM, donde se concluye que la metodología de diseño AASTHO 93 es la más adecuada para el diseño del pavimento asfáltico de la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán, debido a que presenta menores espesores de carpeta asfáltica.
- b) Se evidencia el mal estado de conservación de las trochas carrozables de Santiago de Chuco, muchas de las cuales no son capaces de satisfacer la demanda vial requerida, se apreció las características de la zona accidentada. Se encontró la presencia de suelos areno – arcillosos con un valor de soporte de califirnia (CBR) moderado. El IMDA proyectado es de 501 vehículos/día, para un periodo de diseño de 20 años, es así como, la carretera de la zona de estudio clasifica según su demanda, por el ministerio de transportes y comunicaciones, como una carretera de segunda clase.
- c) Se determinó los espesores de las capas granulares a través de la metodología del Instituto del Asfalto ofrecen un menor espesor, mientras en lo que respecta a carpeta asfáltica se obtuvo un incremento notable con respecto a las otras dos metodologías de diseño planteadas en la investigación, generando así una estructura de pavimento asfáltico más costoso. Por el método AASTHO se obtuvo los siguientes espesores de capas CARPETA ASFÁLTICA de 7 cms., BASE GRANULAR de 12.5 cms, SUB - BASE GRANULAR de 22.5 cms.
- d) Se estimó la mejor alternativa de diseño la estructura del pavimento asfáltico para la carretera Santiago de Chuco – Cachicadán siendo la metodología AASTHO 93, debido a que utilizó un espesor de carpeta asfáltica menor en 7.14% comparación con el método del Instituto del Asfalto y en cuanto a costos menor en un 5.56%.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Santiago de Chuco responsable de la carretera Santiago de Chuco - Cachicadán, que al realizar los estudios definitivos del proyecto y ejecución de los mismos, se realicen en épocas en donde las disponibilidades climáticas sean favorables, para evitar generar severas limitaciones en el desarrollo, además se recomienda hacer un estudio de suelos correcto y completo a lo largo de toda la carretera, ya que las propiedades de muchas zonas del lugar son regularmente aceptables para ser utilizados como material granular.

Se recomienda que, las empresas de consultoría profundicen el estudio para definir realizar un mejoramiento de la sub-rasante desde el Km 3+500 hasta el Km 5+540, ya que el CBR obtenido en esa zona no es tan bueno debido al relleno sanitario que contiene el suelo.

Se recomienda que, a futuros investigadores profundicen en la importancia del módulo de elasticidad del asfalto en el diseño de pavimentos asfálticos y su relación con respecto a la fatiga y deformación que sufre la carpeta estructural.

Se recomienda a futuros investigadores que, se realice una comparación entre las metodologías propuestas considerando el empleo de bases granulares estabilizadas en el diseño de pavimentos asfálticos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AASHTO. (1993). *Guide for Design of Pavement Structures*. Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.

American Society for Testing and Materials. (2007). *The California Bearing Ratio (CBR)*. Pensilvania.

Ayman, A. (2013). *Flexible Pavement Design AASHTO 1993 versus Mechanistic-Empirical Pavement Design*. Cairo.

Becerra, M. (2012). *Tópicos de Pavimentos de Concreto*. Lima, Perú.

Benito, G. (2005). Las carreteras, definición y tipos. *Nueva Ingeniería*. Obtenido de <http://www.nuevaingenieria.com/las-carreteras-definicion-y-tipos/>

Consorcio ALVAC - JOHESA. (2013). *Informe Técnico Carretera Shorey - Santiago de Chuco*. Santiago de Chuco.

Coronado, J. (2008). *Manual Centroamericano para diseño de pavimentos*. Guatemala.
Corro, S., & Prado, G. (1999). *Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos, Incluyendo Carreteras de Altas Especificaciones. Series del Instituto De Ingeniería. Instituto de Ingeniería, UNAM*. México.

Del Val, M. (2007). *Los pavimentos en las carreteras españolas del siglo XX*. Madrid, España.

Escobar, L., & Huincho, J. (2017). *Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica - 2017*. Huancavelica.

Fontalba, W. (2015). *Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalacion sector Guacamayo 1ªetapa. (tesis de pregrado)* Valdivia. Universidad Austral de Chile

- Guevara, A., & Quispe, F. (2020). *BASES TEORICAS PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO ATRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM, PARA LAS CARRETERAS DE SANTIAGO DE CHUCO, LA LIBERTAD, 2019.* (trabajo para optar grado de bachiller). Universidad Privada de Trujillo. Trujillo . Perú
- Huang, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design* (Segunda ed.). New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- Hurtado, R. (2016). *Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco.* Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Estudio de Tráfico Vehicular.* Perú.
- Irigoin, R. (2018). *Comparación entre los métodos AASTHO 93 e Instituto del Asfalto para optimizar el diseño del pavimento flexible en el A.H. San Lorenzo - José Leonardo Ortiz – Chiclayo – Perú.* Lima.
- Lozano, D. (2015). *Diseño óptimo de la estructura del pavimento flexible en la H.U.P. Villa Victoria del distrito de nuevo Chimbote, mediante el método del Instituto del Asfalto y AASHTO 93.* Chimbote.
- Macías, M. (2010). *Diseño de pavimento rígido para la vía Baba - La Estrella.* Guayaquil, Ecuador.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *Manual de Carreteras. Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.* Lima, Perú.
-

Montejo, F. (2002). *Ingeniería de pavimentos para carreteras* (Segunda ed.). (A. Editores, Ed.)

Bogotá, Colombia.

Morales, J., & Chávez, O. (2009). *Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco*. Managua, Nicaragua.

PROVIAS NACIONAL. (2018). *Informe técnico Julio 2018*. Lima, Perú.

Rodríguez, M. (2015). *Including reliability in the AASHTO-93 flexible pavement design method integrating pavement deterioration models*. Medellín.

S10 Presupuestos 1.0.2. (2005). *Manual de elaboración de presupuestos con S10*. Lima.

Sukumaran, B., & Kyatham, V. (2004). *SUITABILITY OF USING CALIFORNIA BEARING RATIO TEST TO PREDICT RESILIENT MODULUS*.

Téllez, R., & Rico, A. (1998). *Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias*. Querétaro, México.

Anexos.

Anexo N° 1: Validación de Instrumentos de recolección de datos

MATRIZ PARA EVALUACIÓN DE EXPERTOS				
Título de la investigación:	Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad, 2019.			
Línea de investigación:	Transportes y Carreteras			
Apellidos y nombres del experto:	Ing. Burgos Sarmiento Tito Alfredo			
El instrumento de medición pertenece a la variable:				
Mediante la matriz de evaluación de expertos, Ud. tiene la facultad de evaluar cada una de las preguntas marcando con una "x" en las columnas de SÍ o NO. Asimismo, le exhortamos en la corrección de los ítems, indicando sus observaciones y/o sugerencias, con la finalidad de mejorar la medición sobre la variable en estudio.				
Ítems	Preguntas	Aprecia		Observaciones
		SÍ	NO	
1	¿El instrumento de medición presenta el diseño adecuado?	X		
2	¿El instrumento de recolección de datos tiene relación con el título de la investigación?	X		
3	¿En el instrumento de recolección de datos se mencionan las variables de investigación?	X		
4	¿El instrumento de recolección de datos facilitará el logro de los objetivos de la investigación?	X		
5	¿El instrumento de recolección de datos se relaciona con las variables de estudio?	X		
6	¿Cada una de los ítems del instrumento de medición se relaciona con cada uno de los elementos de los indicadores?	X		
7	¿El diseño del instrumento de medición facilitará el análisis y procesamiento de datos?	X		
8	¿El instrumento de medición será accesible a la población sujeto de estudio?	X		
9	¿El instrumento de medición es claro, preciso y sencillo de manera que se pueda obtener los datos requeridos?	X		
Sugerencias:				
Firma del experto:				
				
Fuente: Elaboración propia				

**Anexo N° 2: Instrumentos de recolección de datos (Guía de Observación – Descripción
del estado actual de la carretera)**

GUÍA DE OBSERVACIÓN

N° DE FICHA :
PROGRESIVA :
UBICACIÓN :
FECHA :
FOTOGRAFÍA :

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARRETERA:

OBSERVACIONES:



**Anexo N° 3: Instrumentos de recolección de datos (Guía de Observación – Conteo
Vehicular)**

RESUMEN - CONTEO VEHICULAR

ESTACIÓN
CÓDIGO DE ESTACIÓN
UBICACIÓN
FECHA
REGIÓN
CARRETERA
TRAMO DE CARRETERA
SENTIDO

Santiago de Chuco
La Libertad

Santiago de Chuco - Cachicadán
Km 3+500 - Km 7+500
Santiago de Chuco
Cachicadán
↑ Cachicadán
↑ Santiago de Chuco

DÍA	CAMIONETAS		BUS	CAMIÓN			SEMI - TRAYLER			TRAYLER			TOTAL							
	AUTO	PICK UP		COMBI	MICRO	2EJES	≥3EJES	ZEJES	3EJES	4EJES	2S1	2S2		2S3	3S1	3S2	≥3S3	2T1	3T2	≥4T3
LUNES																				
MARTES																				
MIERCOLES																				
JUEVES																				
VIERNES																				
SÁBADO																				
DOMINGO																				
PROMEDIO																				
TOTAL																				

Notar:

Anexo N° 4: Guías de Observación del Estado situacional actual de la carretera

GUÍA DE OBSERVACIÓN

Nº DE FICHA : 01
PROGRESIVA : Km 3 + 500
UBICACIÓN : Santiago de Chuco - La Libertad
FECHA : 23 de Septiembre de 2019
FOTOGRAFÍA :



DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARRETERA:

Se puede observar que actualmente la vía en estudio es una trocha carrozable que presenta una oferta vial inadecuada para el tráfico de vehículos observado. Consta de Afirmado más no de una carpeta de Asfalto.

OBSERVACIONES:

- Se logró observar el tráfico de vehículos pesados a pesar que hay tramos en los que no hay una correcta plataforma de algunos tramos de carretera.
- Se puede realizar un diseño de pavimentos debido al tráfico de vehículos que presenta actualmente.

Anexo N° 5: Estado situacional actual de la carretera N°02

GUÍA DE OBSERVACIÓN

N° DE FICHA : 02
PROGRESIVA : Km 5 + 400
UBICACIÓN : Santiago de Chuco - La Libertad
FECHA : 23 de Septiembre de 2019
FOTOGRAFÍA :



DESCRIPCIÓN DEL ESTADO ACTUAL DE LA CARRETERA:

Observamos que hay un tráfico de vehículos pesados actualmente en la vía en estudio, el ancho de la plataforma se torna angosto en curvas y en algunos tramos donde la longitud de plataforma es aproximadamente 5.5 m

OBSERVACIONES:

► El tráfico de vehículos pesados y la inadecuada plataforma de la vía hace que sea peligroso el transporte ya sea de Santiago de Chuco - Cachicadán o viceversa.

Anexo N° 6: Panel fotográfico calicata N° 01



Calicata N° 01 Realizada en la progresiva Km 3+500

Anexo N° 7: Estudio de tráfico



Fotografía de Camioneta Pick-up en la Carretera Santiago de Chuco – Cachicadán

Anexo N° 8: Estudio de tráfico



Fotografía de Combi en la Carretera Santiago de Chuco – Cachicadán

Anexo N° 9: Estudio de tráfico



Fotografía de Bus – B2 en la Carretera Santiago de Chuco – Cachicadán

Anexo N° 10: Estudio de tráfico, Carretera Santiago de Chuco



Fotografía de Camión – C2 en la Carretera Santiago de Chuco – Cachicadán

Anexo N° 11: Resumen conteo vehicular

RESUMEN - CONTEO VEHICULAR

ESTACIÓN: Santiago de Chuco - Inicio de Carretera
 CODIGO DE ESTACIÓN: E-01
 UBICACIÓN: Santiago de Chuco
 FECHA: 21 de Septiembre de 2019
 REGIÓN: La Libertad
 CARRETERA: Santiago de Chuco - Cachicadán
 TRAMO DE CARRETERA: Km. 3+500 - Km 7+500
 SENTIDO: Santiago de Chuco ← Cachicadán
 ← Cachicadán
 ↑ Santiago de Chuco

DÍA	CAMIONETAS		BUS		CAMION				SEMI-TRAYLER				TRAYLER			TOTAL				
	AUTO	PICKUP	COMBI	MICRO	2EJES	≥3EJES	2EJES	3EJES	4EJES	2S1	2S2	2S3	3S1	3S2	≥3S3		2T2	2T3	3T3	
LUNES	75	86	81	0	8	0	32	9	0	0	0	0	0	0	3	2	0	0	0	296
MARTES	72	77	78	0	9	0	30	10	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	279
MIÉRCOLES	64	76	74	0	13	0	24	8	0	0	0	0	0	0	4	2	0	0	0	265
JUEVES	65	76	65	0	11	0	26	10	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	255
VIERNES	69	74	68	0	7	0	36	16	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	272
SÁBADO	54	70	69	0	8	0	28	26	0	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	259
DOMINGO	55	69	66	0	7	0	18	16	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	259
PROMEDIO	65	72	72	0	9	0	28	14	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	231

Notas: En el conteo vehicular se aprecia un regular tráfico vehicular en la vía en estudio por ello la necesidad de una adecuada carpeta de rodadura.

Anexo N° 12: Panel fotográfico de Ensayo de Granulometría



Cuarteo de muestra de Calicata N° 01

Laboratorio de Suelos

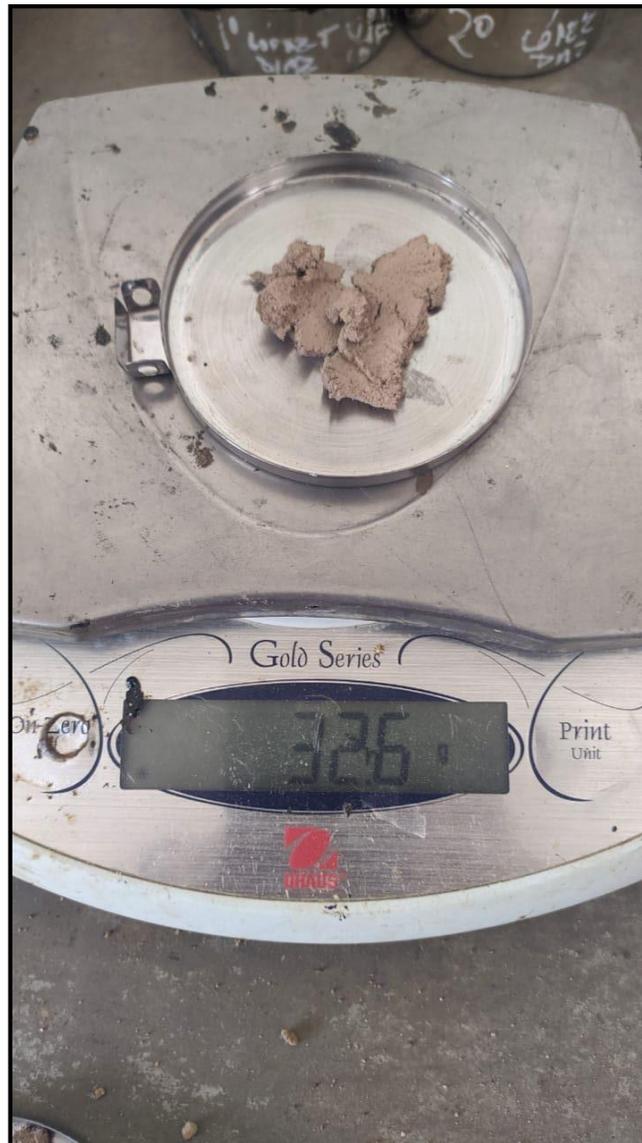
Anexo N° 13: Panel fotográfico de Ensayo de Granulometría



Tamizado de muestra de Calicata N° 01 – Análisis Granulométrico

Laboratorio de suelos

Anexo N° 14: Panel Fotográfico de Ensayo de Contenido de Humedad



Ensayo de contenido de Humedad de las muestras C-01 y C-02

Laboratorio de Suelos

Anexo N° 15: Panel fotográfico del ensayo de Límites de Consistencia



Ensayo de Límites de consistencia de muestras C-01 y C-02

Laboratorio de Suelos

Anexo N° 16: Muestras ensayo CBR



Muestras sumergidas de ensayo CBR *Laboratorio de Suelos*

Anexo N° 17: Resultados de Ensayo de Granulometría Calicata N° 01

Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, instituto del asfalto e instituto de ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019							CALICATA : 01				
CONTROL TECNOLÓGICO				ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO (NTP 339.128:1999)							
CALICATA : C-1				FECHA MUESTREO : 20/10/2019							
PROFUNDIDAD : 0.00-1.50 m				UBICACION : Km 03+500							
UBICACIÓN : LA LIBERTAD - TRUJILLO				FECHA DE ENSAYO : 31/10/2019							
KM / Nº CAPA : NA				FECHA : 20/10/2019							
ORIGEN KM : 03+500				UBICACION : Km 03+500							
DEL KM : 03+000				CARETERA : SCH. - CACH.							
AL KM : 07+000											
TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET. PARCIAL	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q' PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA				
3"	76,200						PESO TOTAL = 2.190,0 gr				
2 1/2"	63,500						PESO MAT. < # 4 = 1537,5 gr				
2"	50,800		0,0	0,0	0,0	100,0	PESO FRACCION = 1.000,0 gr				
1 1/2"	38,100		0,0	0,0	0,0	100,0	LIMITE LIQUIDO = 41,6 %				
1"	25,400		0,0	0,0	0,0	100,0	LIMITE PLASTICO = 23,0 %				
3/4"	19,100	24,0	24,0	1,1	1,1	98,9	INDICE PLASTICO = 18,7 %				
1/2"	12,700		0,0	0,0	1,1	98,9	CLASF. AASTHO = A-7-6				
3/8"	9,520	191,0	191,0	8,6	10,0	90,1	CLASF. SUCCS = SC				
1/4"	6,350		0,0	0,0	10,0	90,1					
# 4	4,760	321,0	321,0	14,9	24,8	75,2					
# 8	2,380	53,3	53,3	4,0	29,8	71,2					
# 10	2,000		0,0	0,0	29,8	71,2	Malla # 200 = 45,7 %				
# 16	1,190	61,5	99,9	4,6	33,4	66,6	% HUMEDAD P.S.H. P.S.S. % Humd.				
# 30	0,590	119,0	183,5	8,5	41,9	58,1	5,976 5,361 9,6				
# 50	0,300	58,0	94,2	4,4	46,3	53,7	OBSERVACIONES :				
# 100	0,150	36,0	58,5	2,7	49,0	51,0					
# 140	0,105		0,0	0,0	49,0	51,0					
# 200	0,074	71,0	115,3	5,3	54,4	45,7					
< # 200	FONDO	607,2	986,2	45,7	100,0						
FRACCION TOTAL		1.000,0				Coef. Uniformidad		NP			
						Coef. Curvatura		NP			

CURVA GRANULOMÉTRICA

PROCEDIMIENTO DE SECADO :		HORNO SECADO	<input checked="" type="checkbox"/>
		COCINA	<input type="checkbox"/>

ENSAYADO POR		REVISADO POR	
NOMBRE	Baca Reyna Luis Francis	NOMBRE	Ing. Tito Burgos Sarmiento
FIRMAS	García León Jean Carlos	FIRMA	<i>[Handwritten Signature]</i>

Anexo N° 18: Resultados de Límites de Consistencia Calicata N° 01

Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, instituto del asfalto e instituto de ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019		CALICATA : 01
CONTROL TECNOLÓGICO	ENSAYO DE LÍMITES DE ATEMBERG	
CALICATA : C-1		FECHA MUESTREO : 20/10/2019
PROFUNDIDAD : 0.00-1.50 m		UBICACIÓN : LA LIBERTAD - TRUJILLO
KM / Nº CAPA : NA		FECHA DE ENSAYO : 31/10/2019

LÍMITE LÍQUIDO			
Nº TARRO	1	2	3
TARRO + SUELO HUMEDO	39,20	35,00	22,00
TARRO + SUELO SECO	34,80	32,60	19,20
AGUA	3,60	2,40	3,40
PESO DEL TARRO	26,30	26,40	11,00
PESO DEL SUELO SECO	8,30	6,20	8,20
% DE HUMEDAD	43,37	38,71	41,46
Nº DE GOLPES	19	34	26

LÍMITE PLÁSTICO			
Nº TARRO	1	2	
TARRO + SUELO HUMEDO	11,60	11,30	
TARRO + SUELO SECO	11,40	11,09	
AGUA	0,20	0,21	
PESO DEL TARRO	10,59	10,10	
PESO DEL SUELO SECO	0,81	0,99	
% DE HUMEDAD	24,7	21,2	

LÍMITE LÍQUIDO

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		PROCEDIMIENTO DE SECADO :	HORNO SECADO <input checked="" type="checkbox"/>
LÍMITE LÍQUIDO	41,6		COCINA <input type="checkbox"/>
LÍMITE PLÁSTICO	23,0		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	18,6		

ENSAYADO POR		REVISADO POR	
NOMBRE	Baca Reyna Luis Francis	NOMBRE	Ing. Tito Berrios Sarmiento
FIRMA	García León Jean Carlos	FIRMA	

Anexo N° 19: Resultados de Ensayo Proctor Calicata N° 01

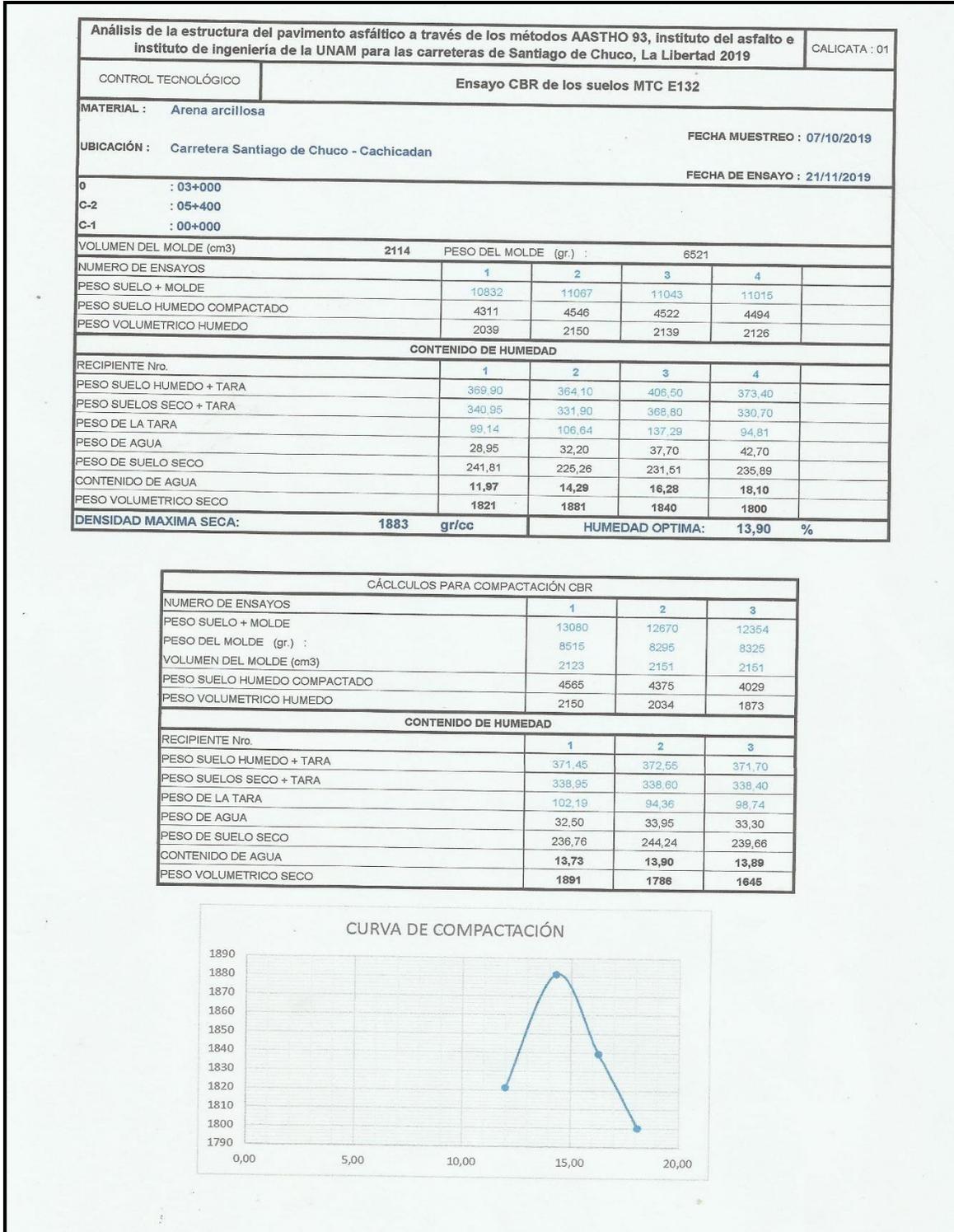
Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, instituto del asfalto e instituto de ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019					CALICATA : 01
CONTROL TECNOLÓGICO		Ensayo Proctor Estandar MTC E 116			
MATERIAL : Arena arcillosa		PROCEDENCIA ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO (NTP 339.128:1999)		FECHA MUESTREO : 20/10/2019	
UBICACIÓN : Carretera Santiago de Chuco - Cachicadan				FECHA DE ENSAYO : 07/11/2019	
0	: 03+000				
C-2	: 05+400				
0.00-1.50	m				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2114	PESO DEL MOLDE (gr.)	6521		
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	10832	11067	11043	11015	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4311	4546	4522	4494	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	2039	2150	2139	2126	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro	1	2	3	4	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	369,90	363,67	406,50	373,40	
PESO SUELOS SECO + TARA	340,95	331,90	368,80	330,70	
PESO DE LA TARA	99,14	106,64	137,29	94,81	
PESO DE AGUA	28,95	31,77	37,70	42,70	
PESO DE SUELO SECO	241,81	225,26	231,51	235,89	
CONTENIDO DE AGUA	11,97	14,10	16,28	18,10	
PESO VOLUMETRICO SECO	1821	1885	1840	1800	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1883	gr/cc	HUMEDAD OPTIMA:	13,90	%

Gráfico del Proctor

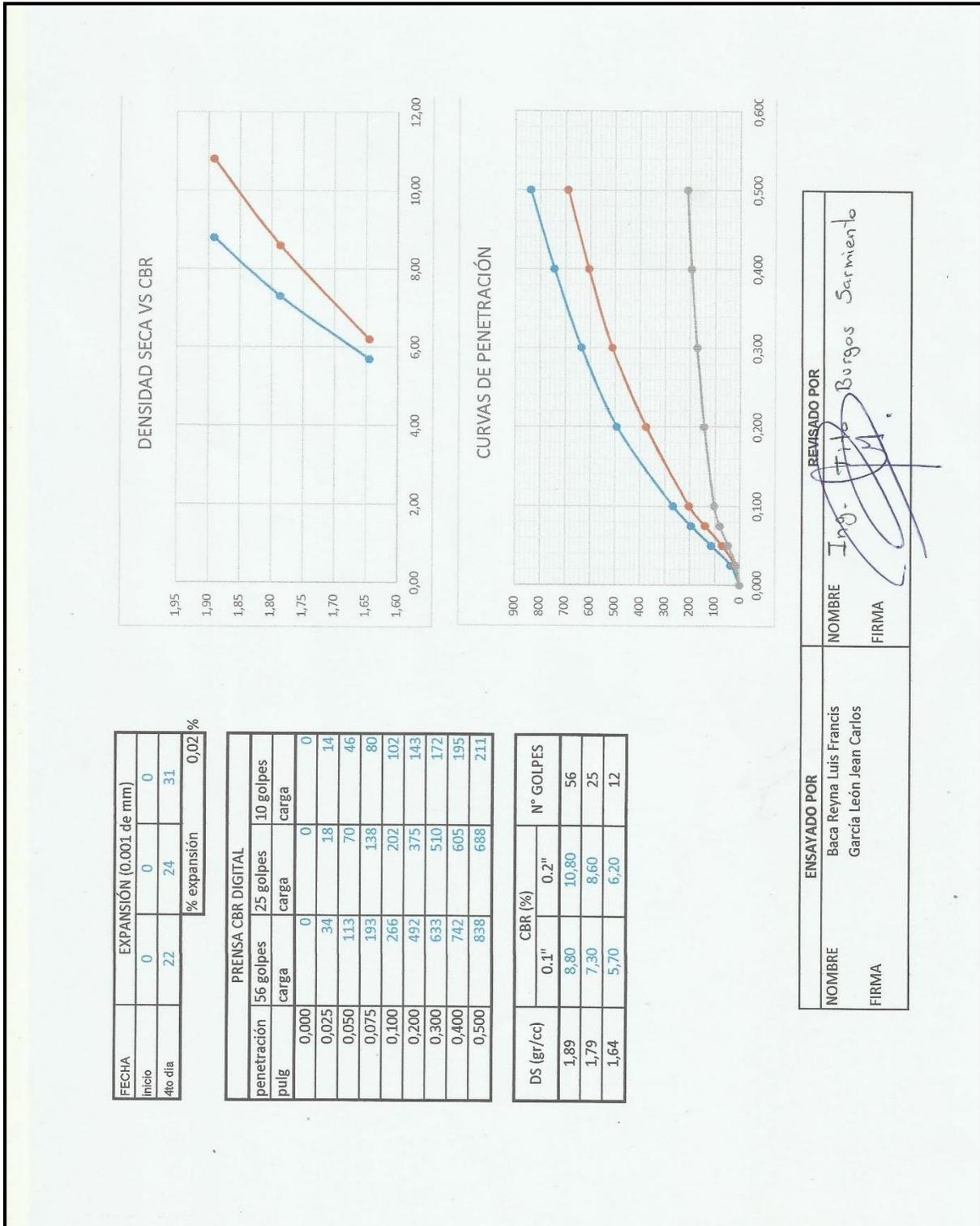
PROCEDIMIENTO DE SECADO :	HORNO SECADO	<input checked="" type="checkbox"/>
	COCINA	<input type="checkbox"/>

ENSAYADO POR		REVISADO POR	
NOMBRE	Baca Reyna Luis Francis García León Jean Carlos	NOMBRE	Ing. Tito Rivas Sarmiento
FIRMA		FIRMA	

Anexo N° 20: Resultados de Ensayo CBR Calicata N° 01



Anexo N° 21: Resultados de CBR



Anexo N° 22: Resultados Ensayo de Granulometría Calicata N° 02

Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, Instituto del asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019		CALICATA : 02
CONTROL TECNOLÓGICO		
ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO (NTP 339.128:1999)		
CALICATA : C-2		FECHA MUESTREO : 20/10/2019
PROFUNDIDAD : 0,00-1,50 m		UBICACIÓN : LA LIBERTAD - TRUJILLO
KM / Nº CAPA : NA		FECHA DE ENSAYO : 31/10/2019
ORIGEN KM : 05+400	FECHA : 20/10/2019	
DEL KM : 03+000	UBICACION : Km 05+400	
AL KM : 07+000	CARETERA : SCH. - CACH.	

TAMIZ	ABERT. mm.	PESO RET. PARCIAL	PESO RET.	%RET. PARC.	%RET. AC.	% Q PASA	DESCRIPCION DE LA MUESTRA
3"	76,200						PESO TOTAL = 3.810,0 gr
2 1/2"	63,500						PESO MAT. < # 4 = 3266,1 gr
2"	50,800		0,0	0,0	0,0	100,0	PESO FRACCION = 1.000,0 gr
1 1/2"	38,100		0,0	0,0	0,0	100,0	LIMITE LIQUIDO = 37,2 %
1"	25,400		0,0	0,0	0,0	100,0	LIMITE PLASTICO = 24,9 %
3/4"	19,100	99,1	99,1	2,6	2,6	97,4	INDICE PLASTICO = 12,30 %
1/2"	12,700		0,0	0,0	2,6	97,4	CLASF. AASHTO = A-6
3/8"	9,520	83,5	83,5	2,2	4,8	95,2	CLASF. SUCCS = SC
1/4"	6,350		0,0	0,0	4,8	95,2	
# 4	4,760	245,4	245,4	6,4	11,2	88,8	
# 8	2,360	34,3	34,3	3,0	14,3	85,7	
# 10	2,000		0,0	0,0	14,3	85,7	Malla # 200 = 44,5 %
# 16	1,190	46,6	157,6	4,1	18,4	81,6	% HUMEDAD = P.S.H. = 5,893 P.S.S = 5,281 % Humd. = 12,0
# 30	0,590	78,7	266,2	7,0	25,4	74,6	
# 50	0,300	126,1	426,5	11,2	36,6	63,4	OBSEVACIONES :
# 100	0,150	132,9	449,5	11,8	48,4	51,6	
# 140	0,105		0,0	0,0	48,4	51,6	
# 200	0,074	80,0	270,6	7,1	55,5	44,5	
< # 200	FONDO	501,4	1.695,8	44,5	100,0		
FRACCION TOTAL		1.000,0					Coef. Uniformidad = NP Coef. Curvatura = NP

CURVA GRANULOMÉTRICA

PROCEDIMIENTO DE SECADO : HORNO SECADO COCINA

ENSAYADO POR		REVISADO POR	
NOMBRE	Baca Reyna Luis Francis García León Jean Carlos	NOMBRE	Ing. Tito Borges Sarmiento
FIRMAS		FIRMA	<i>[Firma manuscrita]</i>

Anexo N° 23: Resultados Ensayo de Límites de Consistencia Calicata N° 02

Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, Instituto del asfalto e instituto de ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019		CALICATA : 02
CONTROL TECNOLÓGICO	ENSAYO DE LÍMITES DE ATEMBERG	
CALICATA : C-2		FECHA MUESTREO : 20/10/2019
PROFUNDIDAD : 0.00-1.50 m	UBICACIÓN : LA LIBERTAD - TRUJILLO	
KM / Nº CAPA : NA	FECHA DE ENSAYO : 31/10/2019	

LÍMITE LÍQUIDO				
Nº TARRO	1	2	3	
TARRO + SUELO HUMEDO	33,04	35,00	22,90	
TARRO + SUELO SECO	29,01	32,00	19,20	
AGUA	4,03	2,40	3,40	
PESO DEL TARRO	17,78	28,40	11,00	
PESO DEL SUELO SECO	11,22	6,20	8,20	
% DE HUMEDAD	35,82	38,71	41,46	
Nº DE GOLPES	28	22	14	

LÍMITE PLÁSTICO				
Nº TARRO	1			
TARRO + SUELO HUMEDO	12,96			
TARRO + SUELO SECO	11,36			
AGUA	1,60			
PESO DEL TARRO	4,83			
PESO DEL SUELO SECO	6,43			
% DE HUMEDAD	24,88			

LÍMITE LÍQUIDO

CONSTANTES FÍSICAS DE LA MUESTRA		PROCEDIMIENTO DE SECADO :	HORNO SECADO <input checked="" type="checkbox"/>
LÍMITE LÍQUIDO	37,2		COCINA <input type="checkbox"/>
LÍMITE PLÁSTICO	24,9		
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	12,3		

ENSAYADO POR		REVISADO POR	
NOMBRE	Baca Reyna Luis Francis García León Jean Carlos	NOMBRE	Ing. Tito Burgos Sarmiento
FIRMA		FIRMA	

Anexo N° 24: Resultados Ensayo Proctor Calicata N° 02

Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, instituto del asfalto e Instituto de ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019					CALICATA : 02
CONTROL TECNOLÓGICO		Ensayo Proctor Estandar			
MATERIAL : Arena arcillosa					
PROCEDENCIA ENSAYO ANALISIS GRANULOMETRICO (NTP 339.128:1999)				FECHA MUESTREO : 20/10/2019	
UBICACIÓN : Carretera Santiago de Chuco - Cachicadan					
FECHA DE ENSAYO : 07/11/2019					
C-1 : 03+500					
C-2 : 05+400					
0.00-1.50 m					
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)		2114		PESO DEL MOLDE (gr.) : 6521	
NUMERO DE ENSAYOS					
	1	2	3	4	
PESO SUELO + MOLDE	10347	10555	10664	10588	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3826	4034	4143	4067	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1810	1908	1960	1924	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.					
	1	2	3	4	
PESO SUELO HUMEDO + TARA	376,05	389,80	382,10	373,85	
PESO SUELOS SECO + TARA	329,80	338,40	328,55	320,35	
PESO DE LA TARA	93,76	98,25	97,67	108,09	
PESO DE AGUA	46,25	51,40	53,55	53,50	
PESO DE SUELO SECO	236,04	240,15	230,88	212,26	
CONTENIDO DE AGUA	19,59	21,40	23,19	25,20	
PESO VOLUMETRICO SECO	1513	1572	1591	1537	
DENSIDAD MAXIMA SECA:		1592 gr/cc		HUMEDAD OPTIMA: 22,90 %	

Gráfico del Proctor

Moisture Content (%)	Dry Density (gr/cc)
19.59	1513
21.40	1572
23.19	1592
25.20	1537

PROCEDIMIENTO DE SECADO :

HORNO SECADO	<input checked="" type="checkbox"/>
COCINA	<input type="checkbox"/>

ENSAYADO POR		REVISADO POR	
NOMBRE	Baca Reyna Luis Francis García León Jean Carlos	NOMBRE	Ing. Tito Burgos Sarmiento
FIRMA		FIRMA	

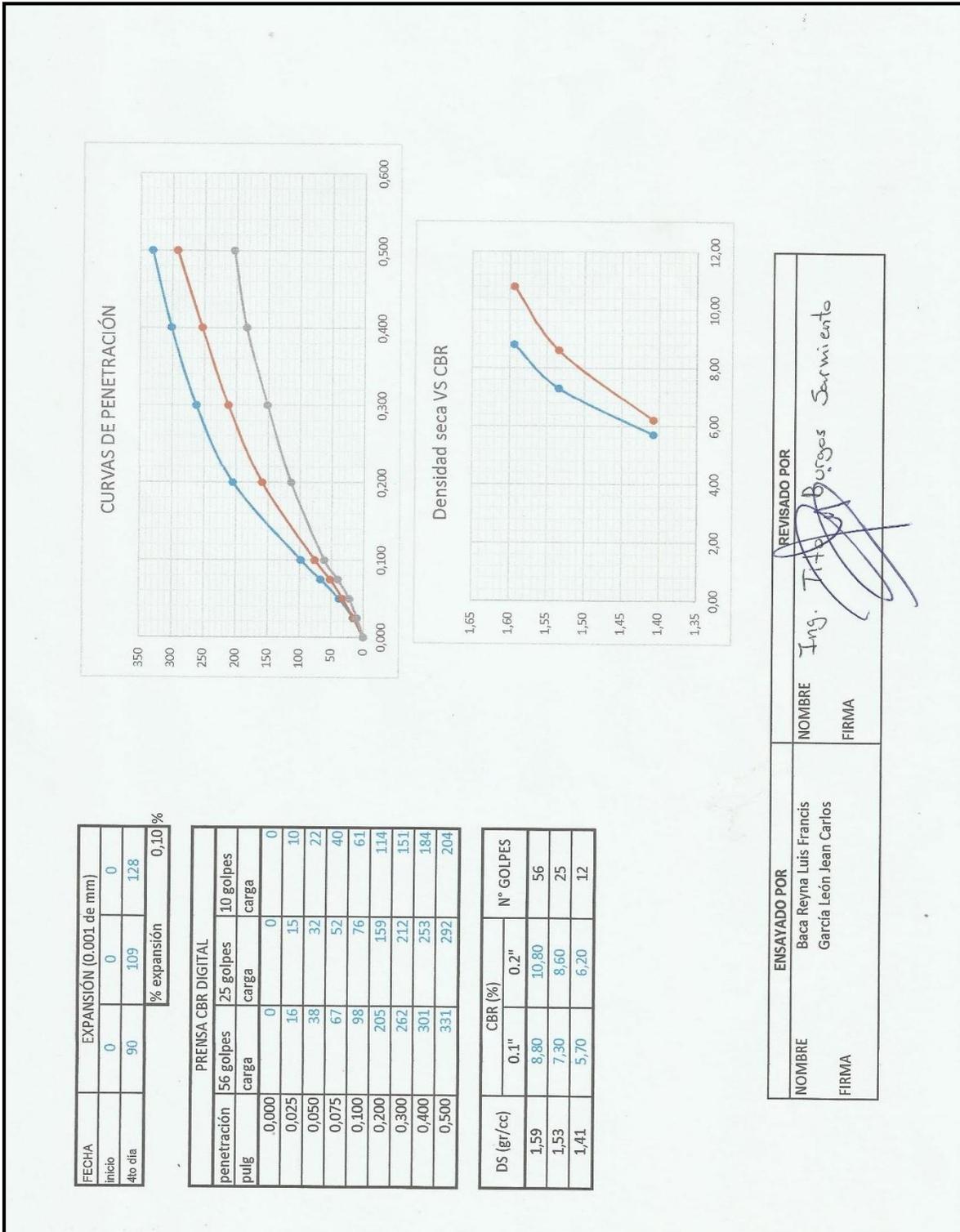
Anexo N° 25: Resultados Ensayo CBR Calicata N° 02

Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASTHO 93, instituto del asfalto e instituto de ingeniería de la UNAM para las carreteras de Santiago de Chuco, La Libertad 2019					CALICATA : 02
CONTROL TECNOLÓGICO		Ensayo CBR de los suelos MTC E132			
MATERIAL : Arena arcillosa		FECHA MUESTREO : 07/10/2019			
UBICACIÓN : Carretera Santiago de Chuco - Cachicadan		FECHA DE ENSAYO : 28/11/2019			
C-2	: 05+400				
C-1	: 03+500				
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2114	PESO DEL MOLDE (gr.) :		6521	
NUMERO DE ENSAYOS		1	2	3	4
PESO SUELO + MOLDE	10347	10555	10664	10588	
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	3826	4034	4143	4067	
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1810	1908	1960	1924	
CONTENIDO DE HUMEDAD					
RECIPIENTE Nro.		1	2	3	4
PESO SUELO HUMEDO + TARA	376,05	389,80	382,10	373,85	
PESO SUELOS SECO + TARA	329,80	338,40	328,55	320,35	
PESO DE LA TARA	93,76	98,25	97,67	108,09	
PESO DE AGUA	46,25	51,40	53,55	53,50	
PESO DE SUELO SECO	236,04	240,15	230,88	212,26	
CONTENIDO DE AGUA	19,59	21,40	23,19	25,20	
PESO VOLUMETRICO SECO	1513	1572	1591	1537	
DENSIDAD MAXIMA SECA:	1592	gr/cc		HUMEDAD OPTIMA:	22,90 %

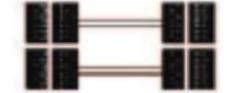
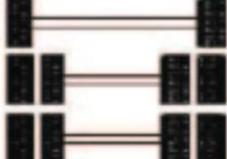
CÁLCULOS PARA COMPACTACIÓN CBR			
NUMERO DE ENSAYOS	1	2	3
PESO SUELO + MOLDE	12539	12511	11859
PESO DEL MOLDE (gr.) :	8320	8505	8185
VOLUMEN DEL MOLDE (cm ³)	2151	2123	2123
PESO SUELO HUMEDO COMPACTADO	4219	4006	3674
PESO VOLUMETRICO HUMEDO	1961	1887	1731
CONTENIDO DE HUMEDAD			
RECIPIENTE Nro.	1	2	3
PESO SUELO HUMEDO + TARA	357,45	374,10	386,50
PESO SUELOS SECO + TARA	308,45	321,60	332,15
PESO DE LA TARA	96,30	93,44	95,76
PESO DE AGUA	49,00	52,50	54,35
PESO DE SUELO SECO	212,15	228,16	236,39
CONTENIDO DE AGUA	23,10	23,01	22,99
PESO VOLUMETRICO SECO	1593	1534	1407

CURVA DE COMPACTACIÓN

Anexo N° 26: Resultados Ensayo CBR Calicata N° 02



Anexo N° 27: Factores de carga de vehículos utilizados en el diseño

Conjunto de Eje (s)	Nomenclatura	N° de Neumáticos	Grafico
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 :
RS : Rueda Simple
RD: Rueda Doble

Anexo N° 28: Factores de carga de vehículos utilizados en el diseño

Lima, domingo 12 de octubre de 2003

NORMAS LEGALES *El Peruano* Pág. 252981

ANEXO IV: PESOS Y MEDIDAS

1. PESOS Y MEDIDAS MÁXIMAS PERMITIDAS

TABLA DE PESOS Y MEDIDAS								
Configuración vehicular	Descripción gráfica de los vehículos	Long. Máx. (m)	Eje Delant	Peso máximo (t)				Peso bruto máx. (t)
				Conjunto de ejes posteriores				
				1ª	2ª	3ª	4ª	
C2		12,30	7	11	—	—	—	18
C3		13,20	7	18	—	—	—	25
C4		13,20	7	23 ¹⁾	—	—	—	30
T3S3		20,50	7	18	25	—	—	48 ²⁾
C2R2		23,00	7	11	11	11	—	40
B2		13,20	7	11	—	—	—	18
B3-1		14,00	7	16	—	—	—	23

Anexo N° 29: Tabla de factores para determinar el carril de diseño

Cuadro 6.1
Factores de Distribución Direccional y de Carril para determinar el Tránsito en el Carril de Diseño

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

Fuente: Elaboración Propia, en base a datos de la Guía AASHTO '93

Tabla de factores Fd y Fc utilizada en el cálculo de carril de diseño.

Anexo N° 30: Captura de pantalla de Software de diseño de pavimentos AASTHO

Parámetros de la ecuación de AATHO 93 calculados con software AASTHO

The screenshot shows a software window titled "Ecuación AASHTO 93" with the following content:

CÁLCULO DE LAS ECUACIONES AASHTO 1993 (2.0)
Desarrollado por: Luis Ricardo Vásquez Varela. Ingeniero Civil. Manizales, 2004.

Tipo de Pavimento: Pavimento flexible Pavimento rígido

Confiabilidad (R) y Desviación estándar (So): 95 % Zr=-1.645 So 0.45

Serviciabilidad inicial y final: PSI inicial 3.8 PSI final 2.0

Módulo resiliente de la subrasante: Mr 14518.981 psi

Información adicional para pavimentos rígidos:

Módulo de elasticidad del concreto - E _c (psi)		Coefficiente de transmisión de carga - (J)	
Módulo de rotura del concreto - S _c (psi)		Coefficiente de drenaje - (C _d)	

Tipo de Análisis: Calcular SN **SN = 2.88** Calcular W18

Ejes de 18 kips: **W18 = 1.07E+06**

Observaciones:

Buttons: **Calcular** **Salir**

Parámetros de la ecuación de AATHO 93 calculados con software AASTHO.

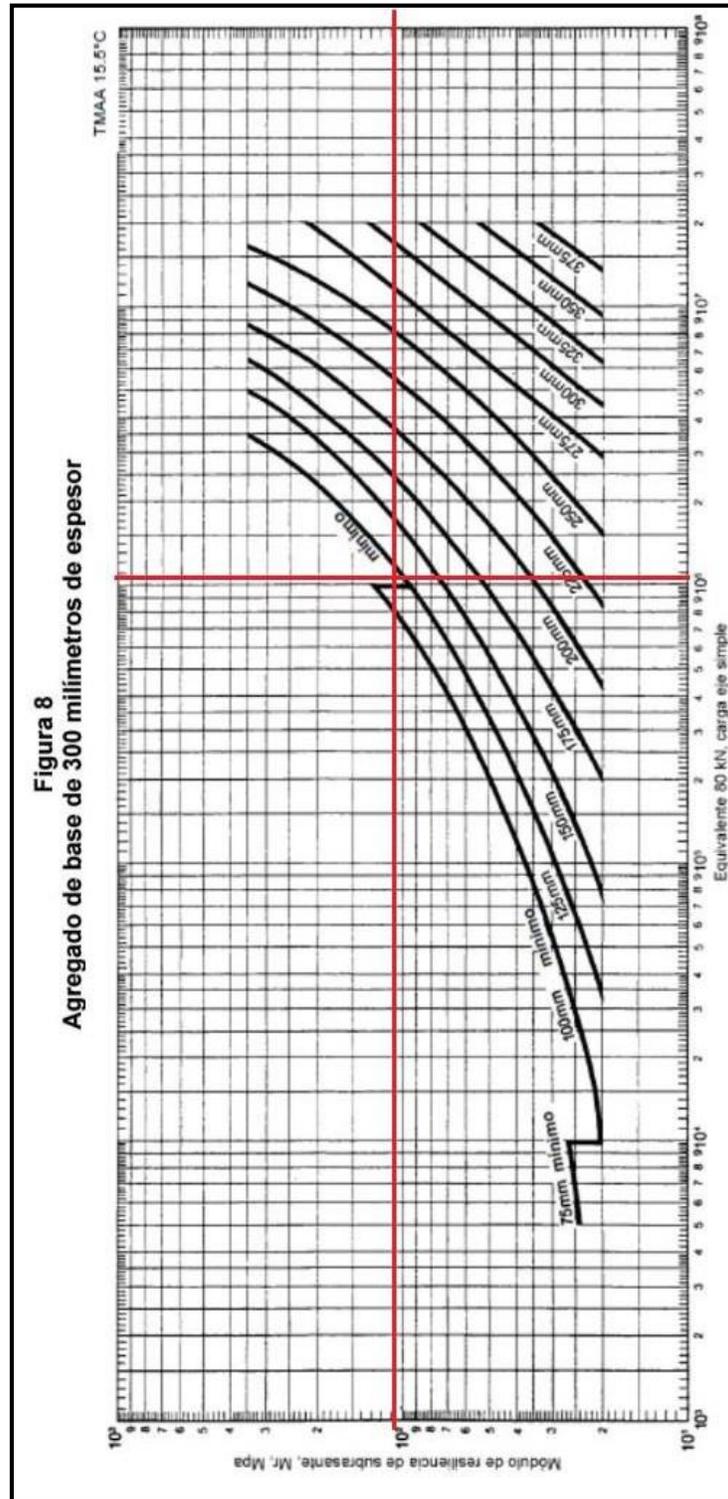
**Anexo N° 31: Hoja de cálculo Excel para cálculo de espesores de carpeta
asfáltica AASTHO 93**

DISEÑO DEL PAVIMENTO AASHTO 1993		DEL METODO	
PROYECTO : TESIS		FECHA : FEBRERO 2020	
SECCION 1 : km -			
1. REQUISITOS DEL DISEÑO			
		20	
		1064429.25	
3 PERIODO DE DISEÑO (Años)		3.8	
4 NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL (W18)		2.0	
5 SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		95%	
6 SERVICIABILIDAD FINAL (pt)		-1.645	
7 FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		0.45	
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr) OVERALL STANDARD DEVIATION (So)			
5 PROPIEDADES DE MATERIALES			
5.4 DE RESILIENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN2)		MODULO	30.00
5.5 DE RESILIENCIA DE LA SUB-BASE		MODULO	15.00
c MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)			14.52
3. CALCULO DEL NUMERO ESTRUCTURAL (Variar SN Requerido hasta que N18 Nominal = N18 Calculo)			
SN Requerido	G_t	N18 NOMINAL	N18
CALCULO 2.88	-0.17609	6.03	6.03
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
a.	COEFICIENTES		

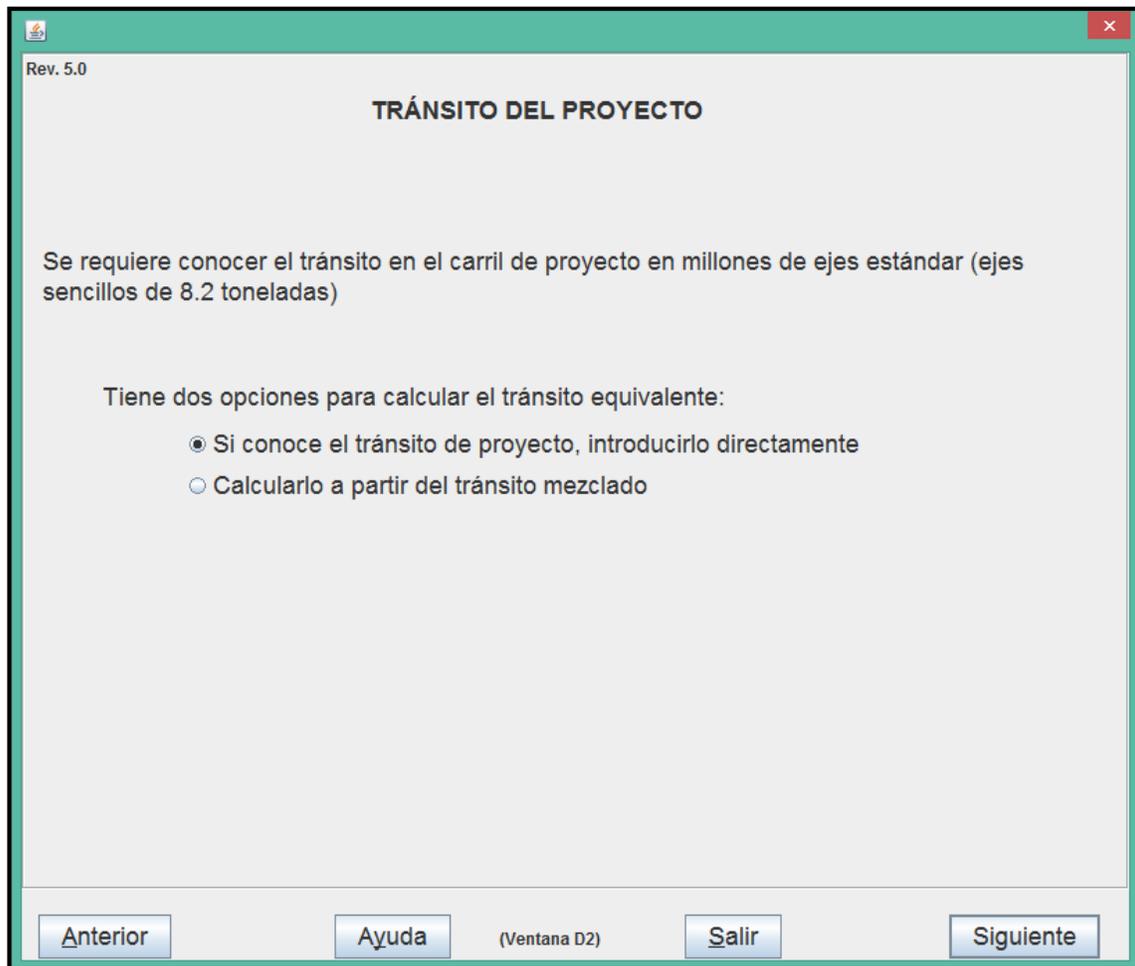
ESTRUCTURALES DE CAPA																							
Concreto Asfáltico (a1)																							
Base granular (a2)																							
Subbase (a3)																							
b COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA																							
Base granular (m2)					1.00																		
Subbase (m3)					1.00																		
					0.44																		
					0.14																		
					0.11																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>ALTERNATIVA</th> <th>SNreq</th> <th>SNresul</th> <th>D1(cm)</th> <th>D2(cm)</th> <th>D3(cm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>2.88</td> <td>2.88</td> <td>7</td> <td>12.5</td> <td>22.5</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>2.88</td> <td>2.88</td> <td>7.5</td> <td>15</td> <td>17.5</td> </tr> </tbody> </table>						ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)	1	2.88	2.88	7	12.5	22.5	2	2.88	2.88	7.5	15	17.5
ALTERNATIVA	SNreq	SNresul	D1(cm)	D2(cm)	D3(cm)																		
1	2.88	2.88	7	12.5	22.5																		
2	2.88	2.88	7.5	15	17.5																		

Se muestran 2 alternativas de diseño, se optó por escoger la Alternativa N° 01.

**Anexo N° 32: Ábaco para el cálculo de espesor de carpeta asfáltica por el método
del Instituto del Asfalto**



Anexo N° 33: Tránsito del Proyecto – Software Dispav 5



Anexo N° 34: Tráfico del proyecto para la metodología Instituto de Ingeniería de la UNAM

Rev. 5.0

TRÁNSITO DEL PROYECTO

Introduzca el tránsito de proyecto en millones de ejes estándar

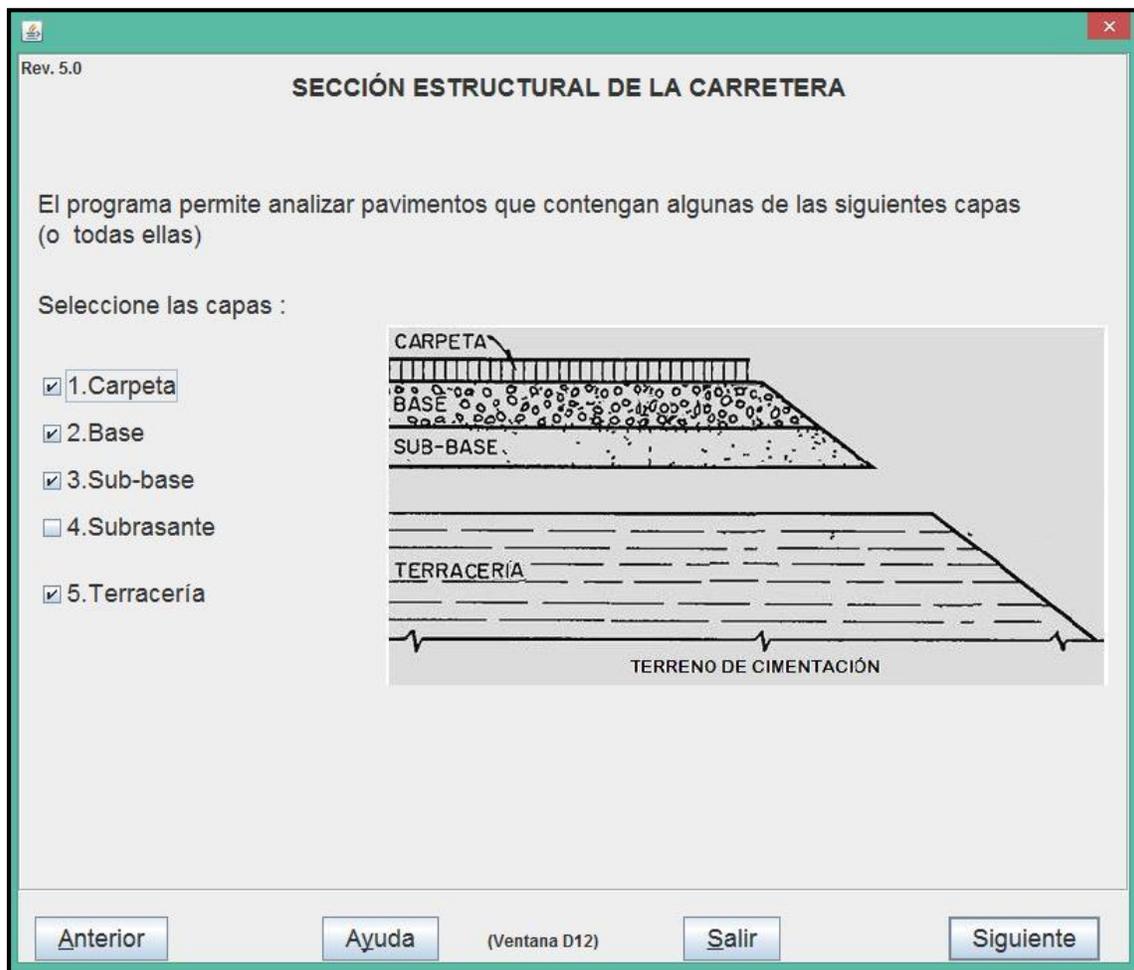
Para daño superficial (será empleado en el diseño de la carpeta) :

Para daño profundo (para prevenir deformación de la terracería) :

Anterior Ayuda (Ventana D11) Salir Siguiente

Composición del tránsito en la carretera Santiago de Chuco - Cachicadán

**Anexo N° 35: Sección de capas estructurales para la metodología Instituto de Ingeniería
de la UNAM**



Anexo N° 36: Características de los materiales – Software Dispav 5

Rev. 5.0

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Capa	CBRz %	CBRp %	Módulo de Rigidez (Kg/cm ²)	
1.Carpeta			<input type="text" value="30000"/>	
2.Base granular (min.80%)	<input type="text" value="80"/>	80.0	<input type="text" value="2793"/>	<input type="button" value="Sugerir"/>
3.Sub-base (min.25%)	<input type="text" value="40"/>	30.0	<input type="text" value="1719"/>	<input type="button" value="Sugerir"/>
5.Terracería (min.3%)	<input type="text" value="15.1"/>	15.1	<input type="text" value="869"/>	<input type="button" value="Sugerir"/>

Se sugieren los valores como módulos de rigidez de capas no estabilizadas. Esos valores se obtuvieron de $E = 130 \text{ CBRz}^{0.7}$.
 Esta ecuación se obtiene para condiciones generales, pero puede requerir adecuaciones en casos particulares.

(Ventana D13)

Anexo N° 37: Características de los Materiales – Datos introducidos en el software

Rev. 5.0

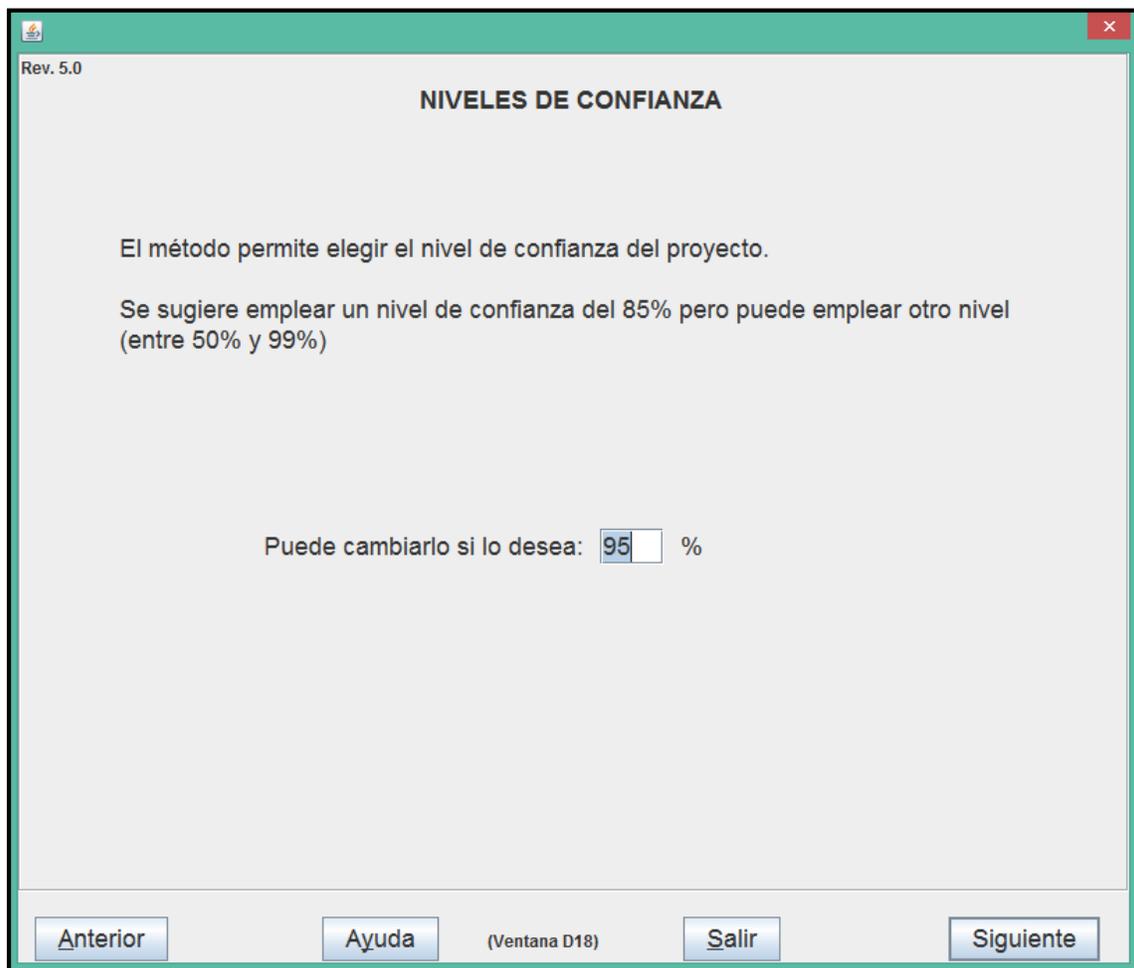
CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Capa	CBRz %	CBRp %	Módulo de Rigidez (Kg/cm ²)	Poisson
1.Carpeta			30000	0.35
2.Base granular (min.80%)	80	80.0	2793	0.35
3.Sub-base (min.25%)	40	30.0	1719	0.45
5.Terracería (min.3%)	15.1	15.1	869	0.45

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa, puede modificarlas si así lo desea.

(Ventana D13)

Anexo N° 38: Nivel de Confianza del proyecto



Rev. 5.0

NIVELES DE CONFIANZA

El método permite elegir el nivel de confianza del proyecto.

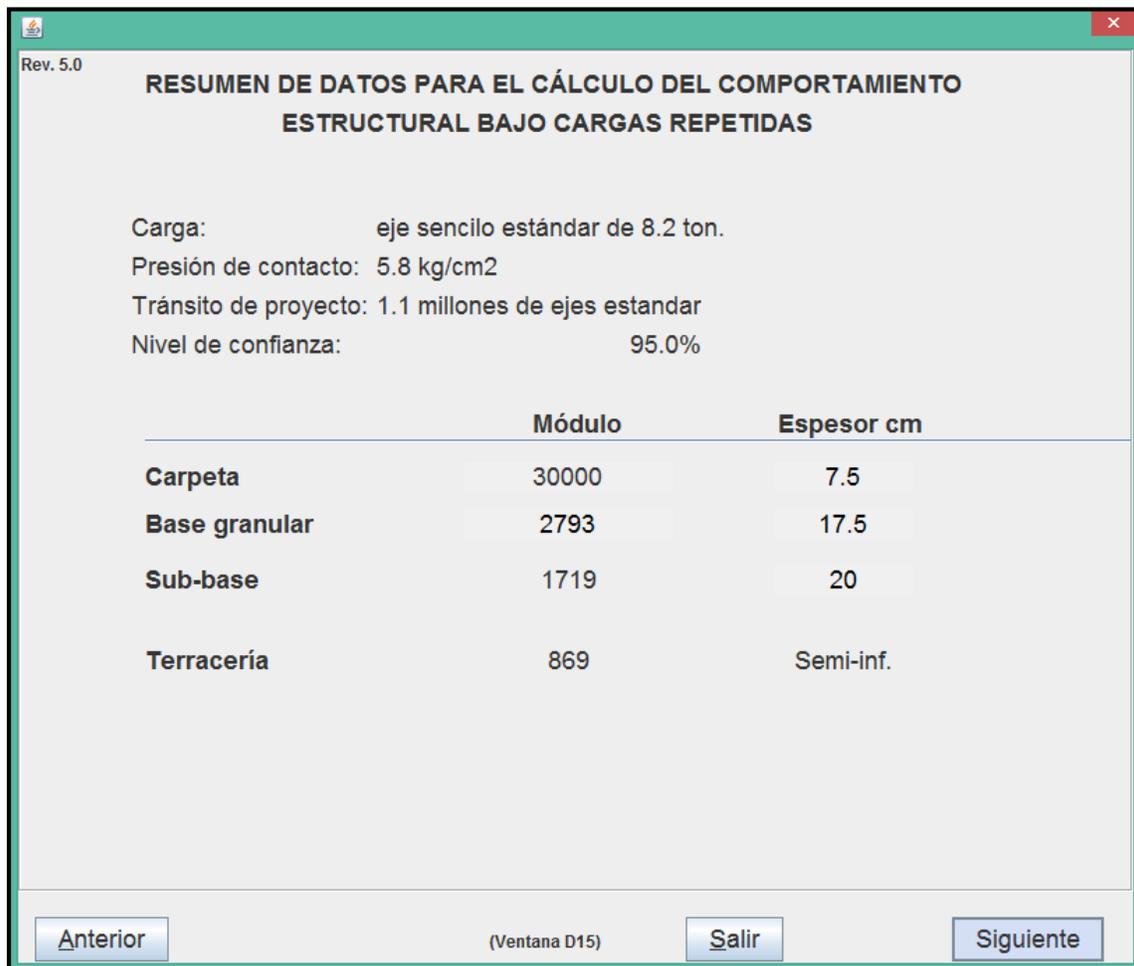
Se sugiere emplear un nivel de confianza del 85% pero puede emplear otro nivel (entre 50% y 99%)

Puede cambiarlo si lo desea: %

Anterior Ayuda (Ventana D18) Salir Siguiente

Anexo N° 39: Resumen de datos del comportamiento estructural de las capas estructurales

- Dispav 5



Rev. 5.0

RESUMEN DE DATOS PARA EL CÁLCULO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL BAJO CARGAS REPETIDAS

Carga: eje sencillo estándar de 8.2 ton.
Presión de contacto: 5.8 kg/cm²
Tránsito de proyecto: 1.1 millones de ejes estándar
Nivel de confianza: 95.0%

	Módulo	Espesor cm
Carpeta	30000	7.5
Base granular	2793	17.5
Sub-base	1719	20
Terracería	869	Semi-inf.

Anterior (Ventana D15) Salir Siguiente

Anexo N° 40: Resultados Finales del proyecto – Método del Instituto del Asfalto

Rev. 5.0

RESULTADOS FINALES DEL PROYECTO

Camino normal. Nivel de confianza en el diseño: 95.0%

Para un tránsito de 1.1 millones de ejes estándar Vida Previsible

Capa	H cm	CBRz %	E kg/cm2	Poisson	Def	Fatiga
Carpeta	7.5		30000	0.35		1
Base granular	17.5	80.0	2793	0.35	1.1	
Sub-base	20	40.0	1719	0.45	63.7	
Terracería	Semi-inf.	15.1	869	0.45	127	

	Vida Previsible	Transito Proyecto
Deformación	1.1	1.1
Fatiga	1	1.1

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto.
El diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito de proyecto crítico.

Tiene las siguientes opciones:

(Ventana D16)

Anexo41 Análisis de Costos Unitarios para Metodología AASTHO 93

S10

Página: 1

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A TRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO DE
Subpresupuesto 001 MÉTODO AATHO 93

Partida 01.01 (901104020163-0201001-01) CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=0.07 m
Costo unitario directo por: m² **38.31**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0005	21.86	0.01
0147010002	OPERARIO	hh	0.0064	23.94	0.15
0147010004	PEON	hh	0.0192	16.39	0.31
0.47					
Materiales					
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m ³	0.0700	485.00	33.95
33.95					
Equipos					
0349040032	CAMION VOLQUETE 7 m3	hm	0.0096	226.91	2.18
0349030018	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	0.0032	114.46	0.37
0349030043	RODILLO TANDEMESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70HP 8-10 ton	hm	0.0032	107.20	0.34
0349050008	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	0.0032	135.48	0.43
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0032	178.84	0.57
3.89					

Partida 01.02 (909701030406-0201001-01) BASE GRANULAR E=0.125 m
Costo unitario directo por: m² **6.57**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0009	21.86	0.02
0101010004	OFICIAL	hh	0.0022	18.14	0.04
0147010004	PEON	hh	0.0267	16.39	0.44
0.50					
Materiales					
02070400010002	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m ³	0.1250	38.23	4.78
0239050000	AGUA	m ³	0.0150	0.56	0.01
4.79					
Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	0.02
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	0.0044	107.20	0.47
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0044	178.84	0.79
1.28					

Partida 01.03 (901102020306-0201001-01) SUB - BASE GRANULAR DE E=0.225 m
Costo unitario directo por: m² **8.92**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0009	21.86	0.02
0101010004	OFICIAL	hh	0.0022	18.14	0.04
0147010004	PEON	hh	0.0222	16.39	0.36
0.42					
Materiales					
0205300071	MATERIAL CLASIFICADO PARA SUBBASE	m ³	0.2250	32.00	7.20
0239050000	AGUA	m ³	0.0290	0.56	0.02
7.22					
Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	0.02
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	0.0044	107.20	0.47
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0044	178.84	0.79
1.28					

Anexo 42: Análisis de Costos Unitarios para Metodología Instituto del Asfalto

S10

Página: 1

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A TRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO D
Subpresupuesto 002 MÉTODO INSTITUTO DEL ASFALTO

Partida 01.01 (901104020155-0201001-01) CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=0.126 m

Costo unitario directo por: m² **64.70**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0004	21.86	0.01
0147010002	OPERARIO	hh	0.0059	23.94	0.14
0147010004	PEON	hh	0.0178	16.39	0.29
0.44					
Materiales					
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m ³	0.1250	485.00	60.63
60.63					
Equipos					
0348040032	CAMION VOLQUETE 7 m3	hm	0.0089	226.91	2.02
0349030018	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	0.0030	114.46	0.34
0349030043	RODILLO TANDEMESTATICO AUTOPROPULSADO 88-70HP 8-10 ton	hm	0.0030	107.20	0.32
0349050008	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16'	hm	0.0030	135.48	0.41
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0030	178.84	0.54
3.63					

Partida 01.02 (909701030607-0201001-01) BASE GRANULAR E=0.16 m

Costo unitario directo por: m² **7.55**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0009	21.86	0.02
0101010004	OFICIAL	hh	0.0023	18.14	0.04
0147010004	PEON	hh	0.0273	16.39	0.45
0.51					
Materiales					
02070400010002	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m ³	0.1500	38.23	5.73
0239050000	AGUA	m ³	0.0150	0.56	0.01
5.74					
Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	0.02
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	0.0045	107.20	0.48
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0045	178.84	0.80
1.30					

Partida 01.03 (901102020307-0201001-01) SUB - BASE GRANULAR DE E=0.15 m

Costo unitario directo por: m² **7.65**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0015	21.86	0.03
0101010004	OFICIAL	hh	0.0036	18.14	0.07
0147010004	PEON	hh	0.0364	16.39	0.60
0.70					
Materiales					
0205300071	MATERIAL CLASIFICADO PARA SUBASE	m ³	0.1500	32.00	4.80
0239050000	AGUA	m ³	0.0290	0.56	0.02
4.82					
Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.04	0.04
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	0.0073	107.20	0.78
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0073	178.84	1.31
2.13					

Anexo 43 Análisis de Costos Unitarios para Metodología Instituto de Ingeniería
de la UNAM

ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A TRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM PARA CARRETERA SANTIAGO DE CHUCO - CACHICADAN, LA LIBERTAD, 2020

S10

Página: 1

Análisis de precios unitarios

Presupuesto 0201001 ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO ASFÁLTICO A TRAVÉS DE LOS MÉTODOS AASHTO 93, INSTITUTO DEL ASFALTO E INSTITUTO D
Subpresupuesto 003 MÉTODO INSTITUTO DE INGENIERIA DE LA UNAM

Partida 01.01 (901104020154-0201001-01) CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE DE E=0.075 m
 Costo unitario directo por: m² **40.45**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0004	21.86	0.01
0147010002	OPERARIO	hh	0.0059	23.94	0.14
0147010004	PEON	hh	0.0178	16.39	0.29
					0.44
Materiales					
0201050005	MEZCLA ASFALTICA	m3	0.0750	485.00	36.38
					36.38
Equipos					
0349040032	CAMION VOLQUETE 7 m3	hm	0.0089	226.91	2.02
0349030018	RODILLO NEUMATICO AUTOPROPULSADO 127 HP 8-23 ton	hm	0.0030	114.46	0.34
0349030043	RODILLO TANDEMESTATICO AUTOPROPULSADO 58-70HP 8-10 ton	hm	0.0030	107.20	0.32
0349050008	PAVIMENTADORA SOBRE ORUGAS 69 HP 10-16"	hm	0.0030	135.48	0.41
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0030	178.84	0.54
					3.63

Partida 01.02 (909701030506-0201001-01) BASE GRANULAR E=0.175 m
 Costo unitario directo por: m² **8.51**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0009	21.86	0.02
0101010004	OFICIAL	hh	0.0023	18.14	0.04
0147010004	PEON	hh	0.0273	16.39	0.45
					0.51
Materiales					
02070400010002	MATERIAL GRANULAR PARA BASE	m3	0.1750	38.23	6.69
0239050000	AGUA	m3	0.0150	0.56	0.01
					6.70
Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	0.02
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	0.0045	107.20	0.48
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0045	178.84	0.80
					1.30

Partida 01.03 (909701030307-0201001-01) SUB-BASE GRANULAR E=0.20 m
 Costo unitario directo por: m² **8.01**

Código	Descripción Recurso	Unidad	Cantidad	Precio \$/.	Parcial \$/.
Mano de Obra					
0101010002	CAPATAZ	hh	0.0008	21.86	0.02
0101010004	OFICIAL	hh	0.0021	18.14	0.04
0147010004	PEON	hh	0.0206	16.39	0.34
					0.40
Materiales					
0205300071	MATERIAL CLASIFICADO PARA SUBASE	m3	0.2000	32.00	6.40
0239050000	AGUA	m3	0.0290	0.56	0.02
					6.42
Equipos					
0337010001	HERRAMIENTAS MANUALES	%MO		0.02	0.02
0349030013	RODILLO LISO VIBRATORIO AUTOPROPULSADO 70-100 HP 7-9 ton	hm	0.0041	107.20	0.44
0349090000	MOTONIVELADORA DE 125 HP	hm	0.0041	178.84	0.73
					1.19