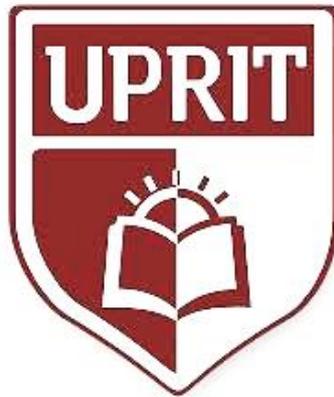


**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



**BASES TEORICAS PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN
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.**

**TRABAJO DE INVESTIGACION PARA
OPTAR EL GRADO DE BACHILLER**

AUTORES:

Anselmo Guevara Hidalgo

Fredy Elmer Quispe Añacata

**TRUJILLO - PERU
2020**



I. INDICE

I. INTRODUCCION.....	5
1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte....	6
1.1.1. Campo temático.....	8
1.1.2. Espacio.....	8
1.1.3. Tiempo.....	8
1.2. Formulación del problema.....	9
1.3. Justificación del tema.....	9
1.3.1. Realidad Problemática.....	9
1.4. Objetivos.....	13
1.4.1. Objetivo General.....	13
1.4.2. Objetivo específicos.....	13
1.5. Procedimientos metodológicos seguidos.....	13
1.5.1. Instrumentos de recolección.....	13
1.5.2. Fuentes de información.....	14
II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES	
ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION.....	14
2.1. Antecedentes.....	14
2.2. Bases teóricas.....	19
III. CONCLUSIÓN.....	54
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
V. ANEXOS.....	58

II. RESUMEN

La presente monografía busca obtener información técnica necesaria para elaborar la investigación: 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.

La presente investigación elaboró las bases teóricas de los métodos AASHTO 93, Instituto del asfalto e Instituto de ingeniería de la UNAM que tienen como finalidad elaborar el diseño de pavimentos es decir calcular los espesores necesarios para soportar las cargas vehiculares y el interperismo.

El principal 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.

La idea es tener la información necesaria para obtener los espesores de carpeta asfáltica para los métodos AASTHO 93, Instituto del Asfalto e Instituto de Ingeniería de la UNAM respectivamente, pudiendo determinar que alternativa de diseño de pavimento flexible es la mejor para la carretera Santiago de Chuco – Cachicadan.

PALABRAS CLAVE

- Estructura del pavimento asfáltico
- Métodos AASHTO 93
- Instituto del asfalto
- Instituto de ingeniería de la UNAM
- Carreteras
-

III. ABSTRAC

The present monograph seeks to obtain technical information necessary for the elaboration of the research: Analysis of the structure of the asphalt pavement through the methods AASHTO 93, Instituto del asfalto and Instituto de ingeniería de la UNAM, for the roads of Santiago de chuco, La Libertad, 2019. The present investigation elaborated the theoretical bases of the methods AASHTO 93, Institute of the asphalt and Institute of engineering of the UNAM that they have as purpose elaborate the design of pavements that is to say to calculate the thicknesses necessary to support the vehicular loads and the interperismo.

The main problem lies in the lack of an adequate rolling surface for the traffic on the roads, which will increase over the years, causing a high deficit in the road offer of the road under study, affecting the passability, comfort of the road users and even the integration and development of the communities.

The idea is to have the necessary information to obtain the thickness of the asphalt layer for the AASTHO 93 methods, the Asphalt Institute and the Engineering Institute of the UNAM, respectively, being able to determine which flexible pavement design alternative is best for the Santiago de Chuco - Cachicadan highway.

KEY WORDS

- Asphalt pavement structure
- AASHTO 93 methods
- Asphalt Institute
- UNAM Institute of Engineering
- Roads

I. INTRODUCCION

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)

1.1. Delimitación del problema que motiva el estado del arte

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.

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.

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.

(Salamanca & Zuluaga, 2014). Realizó el estudio “Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos Invias, AASTHO 93 e Instituto del Asfalto para la vía la Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del cesar”. Planteó la elaboración del diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía la YE - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas K19+250 A K25+750 ubicadas en el Departamento del Cesar – Colombia. Su diseño en infraestructura vial permitió la reactivación económica de los departamentos, permitiendo un óptimo flujo de la producción agropecuaria reduciendo los costos de transporte, tiempos de desplazamiento y facilidad de acceso para la obtención de alimentos. Finalmente en su estudio se concluyó que: La estructura recomendada para la construcción en los 6.5 km de vía evaluados es la obtenida mediante el Método del Instituto del Asfalto debido que se

optimizaron los espesores definidos por el Método AASHTO 93 y se validó el cumplimiento de los parámetros de fatiga de la subrasante y de la capa asfáltica.

Campo Temático

- Estructuras

1.1.1. Espacio

Distrito : Santiago de Chuco
Provincia : Santiago de Chuco.
Región : La Libertad

1.1.2. Tiempo

Julio 2019 a enero del 2020.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

¿Cuál son las bases teóricas que permitirán realizar la investigación 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.?

1.3. Justificación del Tema

1.3.1. Realidad Problemática

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.

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.

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.

1.3.2. Aspectos diferenciados de 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.

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 el 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 la carretera en estudio.

La carreteras Santiago de Chuco se encuentra con problemas de deterioro, todos los años presenta problemas de acumulación de agua de lluvia dentro de la superficie de la carretera, esto se debe a que por la vía circulan vehículos pesados, que en tiempo de invierno provocan ahuellamientos sobre el afirmado de la carretera, ante ello surge una difícil evacuación de las lluvias dentro de la carretera y generan pequeños charcos de agua. 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 las carreteras de Santiago de Chuco.

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, puesto que 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 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.

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 para el año 2020.

El presente trabajo de investigación fué desarrollado en las carreteras de Santiago de Chuco las cuales son unas carreteras que presenta un déficit en la calidad de servicio que ofrece, contando con una trocha carrosable inadecuada para el tráfico de vehículos que transitan por la carretera, siendo necesario la colocación y diseño de la estructura de un pavimento asfáltico que proporcione un adecuado diseño capaz de soportar tanto las cargas y tráfico que presenta la carretera.

Las cualidades de este proyecto de investigación recaen en la ubicación de la unidad de estudio que es una zona conocida por los tesisistas debido a que somos usuarios de las carreteras de Santiago de Chuco, esto hace que se pueda reconocer con claridad las carencias de la vía en estudio, las características de la zona y de esta manera determinar la estructura del pavimento asfáltico idónea para la carretera.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GENERAL

Redactar bases teóricas para realizar la investigación 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.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar información acerca de carreteras, clasificación y aspectos generales de las carreteras.
- Identificar información acerca de la estructura de pavimentos.
- Evaluar información acerca del CBR.
- Buscar información acerca de la transitabilidad de carreteras.

1.5. PROCEDIMIENTOS METODOLIGOS SEGUIDOS

1.5.1. Técnica de recolección

- La técnica utilizada en la presente investigación fue revisión documental y análisis al contenido de la búsqueda de información, clasificación y selección de información de Bases Teóricas, con la consiguiente toma de lectura de las condiciones, procesos y consecuencias observables, servirán de aporte importante a una solución al problema detectado.

1.5.2. Instrumentos de recolección



El instrumento empleado fue la matriz de datos la cual representa el modo y forma que utiliza el investigador para recolectar la información adecuada para su tema, utilizando:

- Ver Anexo 01°, Anexo N° 02.

1.5.3. Fuentes de Información

Corresponde a los instrumentos diferenciados para la toma de conocimientos, búsqueda y acceso a información necesaria.

- **Fuente de datos primaria:**
 - Manual de carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.
 - Investigaciones de artículos científicos en revistas indexadas acerca de Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, Instituto del asfalto e Instituto de ingeniería de la UNAM
 - Tesis relacionadas a Análisis de la estructura del pavimento asfáltico a través de los métodos AASHTO 93, Instituto del asfalto e Instituto de ingeniería de la UNAM

II. RESULTADOS RESPECTO A LOS ANTECEDENTES ESTADO DEL ARTE O ESTADO DE LA CUESTION

2.1 Antecedentes:

2.1.1. “Diseño de un pavimento alternativo para la avenida circunvalación sector Guacamayo 1°etapa”

(Fontalba, 2015). Buscó entregar una alternativa al diseño del pavimento de la Avenida Circunvalación Sector Guacamayo 1° 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.).

2.1.2 “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.).

2.1.3 “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).

2.1.4 “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.).

2.1.5 “Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica - 2017.”

(Escobar & Huincho, 2017) 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.).

2.1.6 “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”

(Irigoin, 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.).

2.2 Bases teóricas

2.2.1 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.

2.2.1.1 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 <u>veh/día</u>
Carreteras Duales o <u>Multicarril</u> : carreteras de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	IMDA entre 6000 y 4001 <u>veh/día</u>
Carreteras de Primera Clase: carreteras de una calzada de dos carriles.	IMDA entre 4000 - 2001 <u>veh/día</u>
Carreteras de Segunda Clase: carreteras de una calzada de dos carriles.	IMDA entre 2000 - 401 <u>veh/día</u>
Carreteras de Tercera Clase: carreteras de una calzada de dos carriles.	IMDA entre 400 - 201 <u>veh/día</u>
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: <u>carreteras</u> de una calzada.	IMDA \leq 200 <u>veh/día</u>

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

2.2.1.2 Aspectos Generales Carretera Santiago de Chuco – Cachicadán

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.

2.2.2 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: Turismo Perú La Libertad



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

Fuente: De Perú. Arqueología

2.2.2.1 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.

2.2.2.2 Altitud:

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

2.2.2.3 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.

2.2.2.4 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 sobreeanchos 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.

2.2.2.5 Fuentes de Agua:

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

2.2.3 Aspectos demográficos, sociales y económicos

2.2.3.1 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 de 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)

2.3.3.2 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).

2.3.3.3 Agricultura

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

2.3.4 Estructura de Pavimento

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

2.3.4.1 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.

2.3.4.2 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.

2.3.4.3 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.

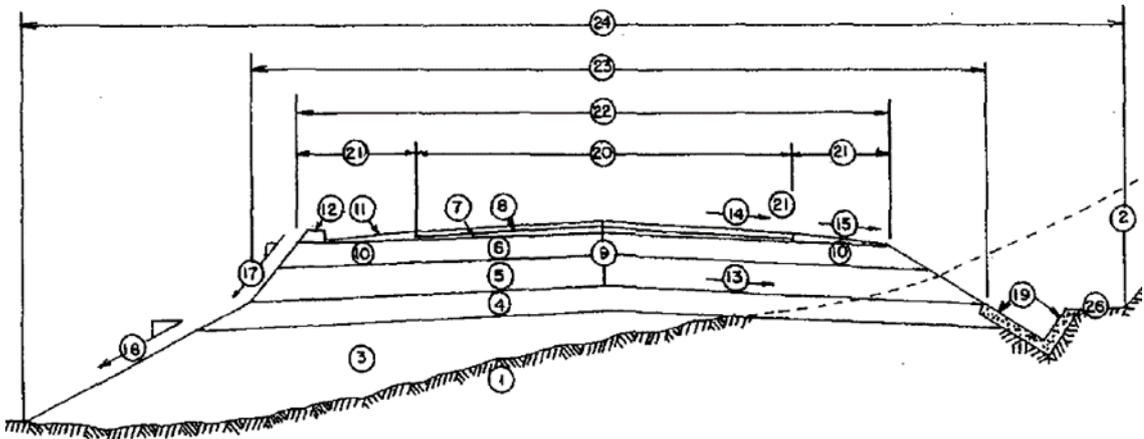


Fig. 4 Sección típica de un pavimento.

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

2.3.5 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).

(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).

2.3.6 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, micro pavimentos, 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).

2.3.7 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° Mx y CBR
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	<ul style="list-style-type: none"> -Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mx cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mx cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mx 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	<ul style="list-style-type: none"> -Calzada 2 carriles por sentido: 1 Mx cada 3 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 3 carriles por sentido: 1 Mx cada 2 km x sentido y 1 CBR cada 1 km x sentido -Calzada 4 carriles por sentido: 1 Mx 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.	<ul style="list-style-type: none"> - 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.	<ul style="list-style-type: none"> - 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.	<ul style="list-style-type: none"> - Cada 2 km se realizará un CBR
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA \leq 200 veh/día, de una calzada.	<ul style="list-style-type: none"> - 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	CBR
S0 : <u>Subrasante</u> Inadecuada	CBR < 3%
S1 : <u>Subrasante</u> Pobre	De CBR \geq 3% A CBR < 6%
S2 : <u>Subrasante</u> Regular	De CBR \geq 6% A CBR < 10%
S3 : <u>Subrasante</u> Buena	De CBR \geq 10% A CBR < 20%
S4 : <u>Subrasante</u> Muy Buena	De CBR \geq 20% A CBR < 30%
S5 : <u>Subrasante</u> Excelente	CBR \geq 30%

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

2.3.8 Temperatura

Un criterio muy importante a tenerse en cuenta es que normalmente en los territorios altos andinos 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 CA. 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 ó		85-100	
60-70 ó	60-70		Asfalto Modificado
modificado		20-150	

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

2.3.9 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.

2.3.10 Metodologías de Diseño

2.3.10.1 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:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{10^{0.74}} + 2.32 * \log_{10}(MR) - 8.07$$
$$0.4 + (SN + 1)^{5.19}$$

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.

Δ PSI : Diferencia entre índice de serviciabilidad inicial (P_o) y el índice de serviciabilidad terminal (P_t).

M_r : Módulo resiliente (ψ).

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)

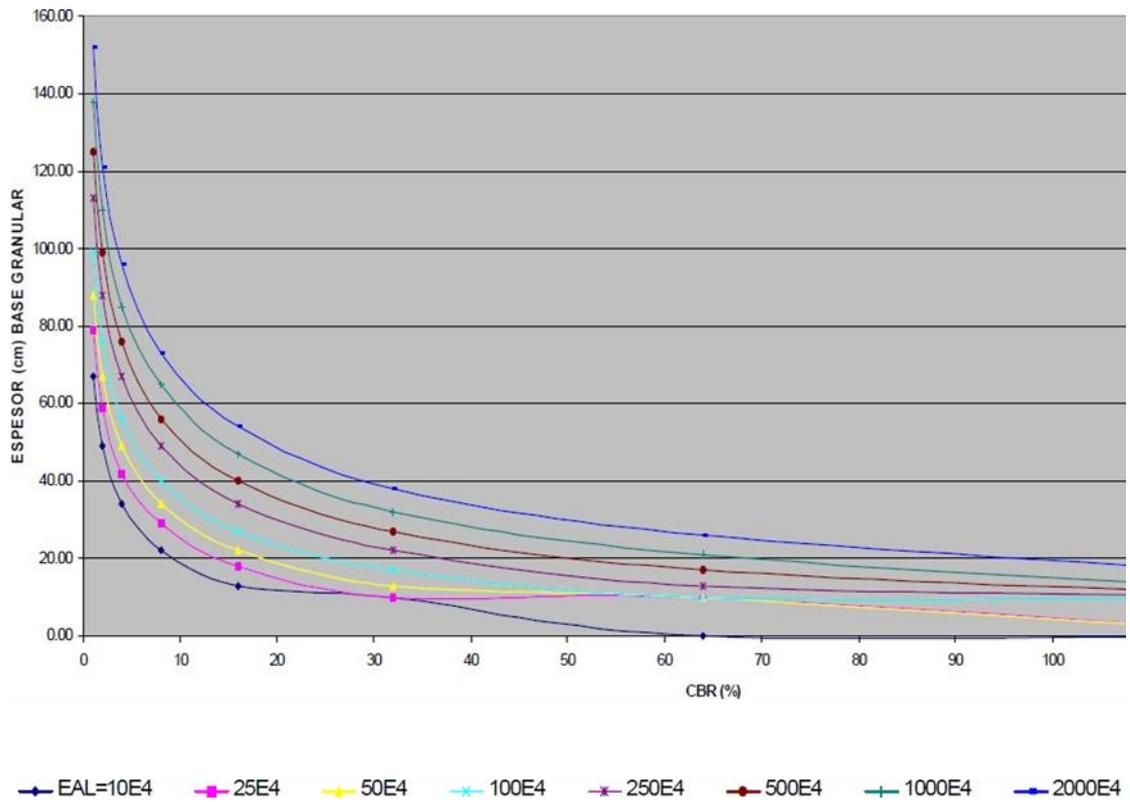


Fig. 5 Curvas de espesor de base granular para distintos tráficos.

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.

2.3.10.2 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

2. 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.

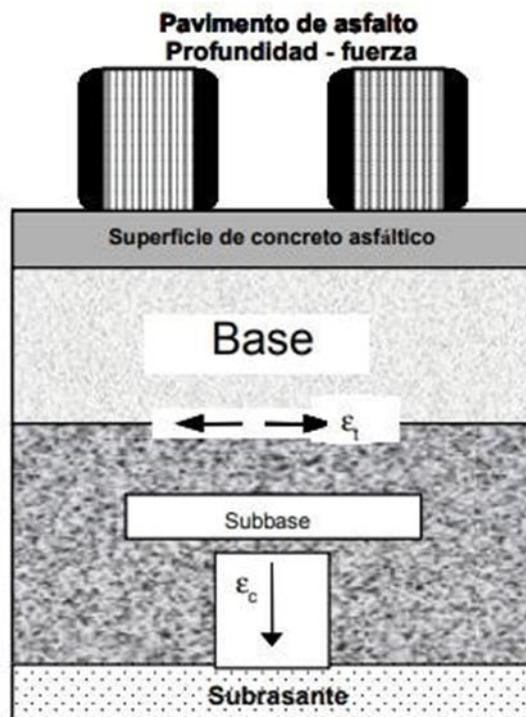


Fig. 6 Localización de tensiones consideradas en la metodología de diseño

Fuente: Tomado de Instituto del Asfalto (1991)

2.3.10.2.1 Variables de diseño

a) Periodo 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

Periodo 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 3 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>	Eje simple	Eje tándem	Eje tridem
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).

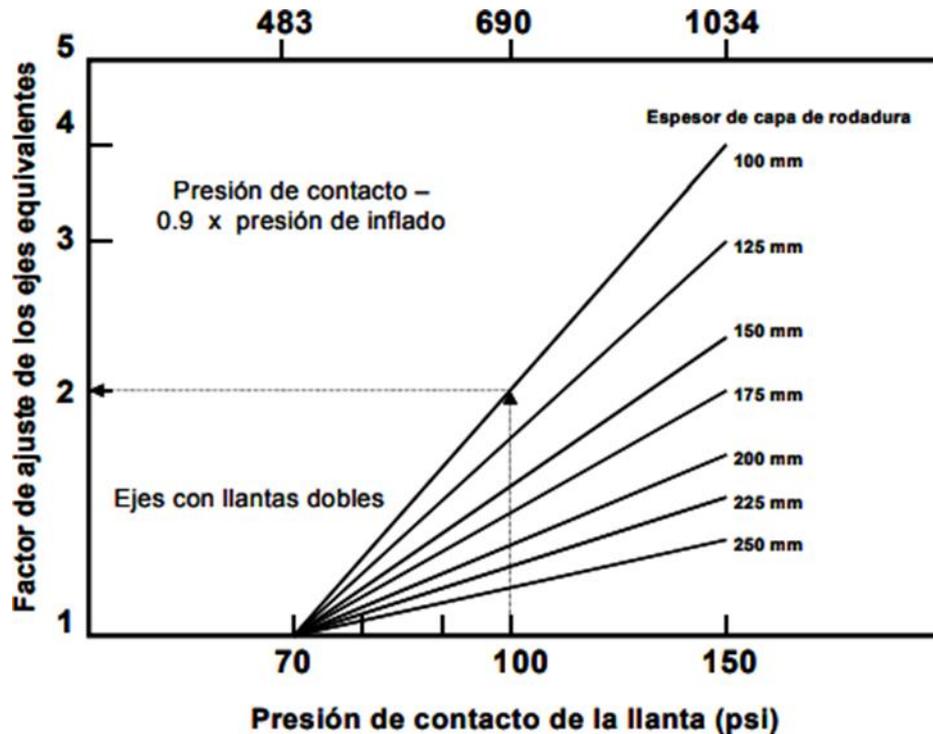


Figura 7. Factor de ajuste por presión de llantas

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:

$$Mr = 10.342 * CBR \text{ (Mpa)}$$

$$Mr = 1\,500 * CBR \text{ (psi)}$$

c.2) Valores percentiles de la capa subrasante

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

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

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)

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.

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
<u>Templdo</u>	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)

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.

Tabla 11 Espesores mínimos para bases con emulsión asfáltica

Nivel tránsito en ejes equivalentes	Espesor mínimo de carpeta asfáltica (cm)
10,000	5
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)

-Para superficies de concreto asfáltico 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) □

1.4.10.3 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.

1.4.3.3.1 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 termino 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	<u>VRSmax</u>
Base	120
Sub-base	30
<u>Subrasante</u>	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	<u>VRSp</u> 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.

2. CONCLUSION

- Se redactaron las bases teóricas para realizar la investigación 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, encontrando el material necesario para la elaboración de la tesis.
- Se identificó información acerca de carreteras, su respectiva clasificación, y se encontraron los principales aspectos generales de las carreteras.
- Se identificó la información acerca de la estructura de pavimentos, encontrando según los métodos los espesores necesarios para la elaboración del diseño.
- Se evaluó información acerca del CBR (relación de soporte California) identificando la necesidad de obtener la capacidad portante del suelo.
- Se buscó información acerca de la transitabilidad de las carreteras, identificando sus principales aspectos.

2 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 1ºetapa. Valdivia.
- Hurtado, R. (2016). Análisis comparativo entre pavimento flexible y rígido para uso en ruta cantonal de El Guarco. 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.
- PROVÍAS NACIONAL. (2018). Informe técnico Julio 2018. Lima, Perú.

Rengifo, F. (2014). Diseño de los pavimentos de la nueva carretera panamericana norte en el

tramo de Huacho a Pativilca (Km 188 A 189). Lima, Huaccho.

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.

Salamanca, J., & Zuluaga, L. (2014). Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos Invias, AASTHO 93 e Instituto del Asfalto para la vía la Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del cesar. Del Cesar - Colombia, Barranca.

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

Supo, J., & Antonio, V. (2018). Diseño de pavimento asfáltico en caliente de la vía alterna en la ruta Chivay – Caylloma. Chivay.

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



ANEXOS

ANEXO N° 1

Ítems	TEMA	AUTOR	FUENTE



ANEXO N° 2

MATRIZ DE DATOS

Ítems	TEMA	AUTOR	FUENTE
01	Guide for Design of Pavement Structures.	AASHTO. (1993)	https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf
02	The California Bearing Ratio (CBR). Pensilvania.	American Society for Testing and Materials. (2007)	http://terra-testing.com/wp-content/uploads/D1883.1117501-1.pdf
03	Flexible Pavement Design AASHTO 1993 versus Mechanistic-Empirical Pavement Design. Cairo.	Ayman, A. (2013).	https://www.imsanalysis.com/pavement-condition-assessment.html?gclid=Cj0KCQiAs6yBRC7ARIsAF49CdXhgR4PaycvuaAgkZgZetbLGrrW3RixPFwlph86OVcKRPbrNguR6EaAlnVEALw_wcB
04	Tópicos de Pavimentos de Concreto. Lima, Perú.	Becerra, M. (2012).	https://www.academia.edu/9036949/Autor_T%C3%B3picos_de_Pavimentos_de_Concreto
05	Las carreteras, definición y tipos. Nueva Ingeniería	Benito, G. (2005).	http://www.nuevaingenieria.com/las-carreteras-definicion-y-tipos/
06	Informe Técnico Carretera Shorey - Santiago de Chuco.	Consorcio ALVAC - JOHESA. (2013)	https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:zH79_SiQzDAJ:https://www.pvn.gob.pe/wp-content/uploads/2018/01/La-Libertad-f2016.doc+&cd=1&hl=es-419&ct=clnk&gl=pe
07	Manual Centroamericano para diseño de pavimentos. Guatemala	Coronado, J. (2008).	https://sjnavarro.files.wordpress.com/2008/08/manual-de-pavimentos.pdf
08	Diseño Estructural de Pavimentos Asfálticos, Incluyendo Carreteras de Altas Especificaciones. Series del Instituto de Ingeniería. Instituto de Ingeniería,	Corro, S., & Prado, G. (1999).	https://www.academia.edu/2560188/0/DISE%C3%91O_ESTRUCTUR



	UNAM. México.		<u>AL DE PAVIMENTOS ASF% %81LTICOS INCLUYENDO CA RRETERAS DE ALTAS ESPEC IFICACIONES DISPAV-5 - VERSI% 2.0</u>
--	---------------	--	--