



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**Implementación de una propuesta de diseño estructural para mejorar la transitabilidad vial de la avenida Cesar Vallejo - Trujillo, 2019.**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO DE:  
Bachiller en Ingeniería Civil

**AUTORES**

Hernández Silva, Erik Junior ( ORCID: 0000-0001-7012-658X)

Salas Huaman, Keiko Paola (ORCID: 0000-0001-7300-9426)

Sánchez Meza, Jhonar (ORCID: 0000-0002-7518-7012)

Vargas Machuca Gutiérrez, Diego Sebastián (ORCID: 0000-0002-2489-0277)

**ASESORA:**

Dra. Gálvez Carrillo, Rosa Patricia (ORCID: 0000-0002-4612-109X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Diseño de Infraestructura Vial

TRUJILLO – PERÚ

2019

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Carátula .....	i
Índice de contenidos .....	ii
Índice de tablas .....	iv
Índice de figuras .....	v
RESUMEN .....	6
ABSTRACT .....	7
I. INTRODUCCION:.....	8
II. METODO.....	16
2.1. Tipo y diseño de investigación .....	16
2.2. Población muestra y muestreo:.....	16
2.3. Técnicas e instrumentos y recolección de datos: .....	17
2.4. Procedimiento .....	17
2.5. Método de análisis de datos .....	18
2.6. Aspectos éticos:.....	18
III. RESULTADOS: .....	19
IV. DISCUSIÓN: .....	23
V. CONCLUSIONES: .....	26
VI. RECOMENDACIONES: .....	27
VII. REFERENCIAS:.....	28
VIII. ANEXOS .....	33
ANEXO 1:.....	33
ANEXO 2:.....	33
ANEXO 3.....	34
ANEXO 4.....	35
ANEXO 6.....	36

ANEXO 7 .....	37
ANEXO 8.....	38
ANEXO 9:.....	38
ANEXO 10.....	39
ANEXO 11.....	39
ANEXO 12.....	40
ANEXO 13: Certificado de estudios de suelos.....	41
ANEXO 15.....	43
ANEXO 16: factores de corrección de las componentes del pavimento del manual de diseño de pavimentos. ....	43
ANEXO 17: Carta de diseño del instituto del asfalto.....	44
ANEXO 18.....	45
ANEXO 19.....	46
ANEXO 20:.....	48
ANEXO 21:.....	48
ANEXO 22: Matriz de operacionalización de variables .....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: AASHTO, Guide for Design of Pavement.....	35
Tabla 2: Numero de calicatas por km .....	36
Tabla 3: Tipos de subrasante .....	36
Tabla 4: Ecuaciones para cada tipo de Eje .....	39
Tabla 5: Resultados evaluación del estado superficial .....	39
Tabla 6: Índice medio diario anual .....	40
Tabla 7: Pendiente de bombeo de acuerdo a la superficie .....	40
Tabla 8: Formatos del ministerio de transporte, resolución de resultados de Equivalentes (ESAL). .....	41
Tabla 9: Ejes Equivalentes según el número de repeticiones.....	47
Tabla 10: Análisis de los tratamientos alternos del Asfalto tramo I margen derecha .....	48
Tabla 11: Análisis de los tratamientos alternos del Asfalto tramo I margen izquierda .....	48
Tabla 12: Optimización de recursos en el HDM4 .....	50
Tabla 13: Operacionalización de variables independientes .....	51
Tabla 14: Operacionalización de variables dependientes .....	52

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Bermas.....	<b>36</b>
Figura 2.1: Casos fenómeno de bombeo .....	36
Figura 2.2: Tercer Casos fenómeno de bombeo .....	37
Figura 3: Tipos de ejes para cada vehículo .....	<b>39</b>
Figura 4: Cargas admisibles permisibles de acuerdo al tipo .....	39
Figura 5: Grafica del comportamiento por tramo en el HDM4.....	51

## RESUMEN

La investigación de tipo descriptivo simple transversal, se desarrolló con el objetivo de implementar una propuesta de diseño estructural para mejorar la transitabilidad vial en la avenida Cesar Vallejo – Trujillo durante el periodo 2019. La población fue la avenida César Vallejo, en la que, por un muestreo no probabilístico por conveniencia, la muestra que se consideró fueron los dos carriles del tramo entre la avenida Villarreal y la avenida Pesqueda. La recolección de datos se ejecutó mediante la observación, empleando el método del PCI que nos permitió encontrar el índice de condición del pavimento, así mismo demandó realizar calicatas para la toma de muestras que requería la evaluación estructural, también se realizó el cálculo del volumen vehicular mediante el conteo de vehículos. El análisis de resultados se efectuó utilizando Microsoft Excel 2016, con ello, se pasó aplicar el método que propone el Instituto del Asfalto para mantenimiento y rehabilitación de pavimentos. Se determinó que la avenida César Vallejo se encontraba en estado de mala serviciabilidad con una subrasante de porcentaje regular, por lo que se implementó la propuesta de sobrecapa asfáltica de 12cm en el tramo de la avenida Villarreal con la avenida Pesqueda – Trujillo durante el 2019.

### **Palabras clave:**

Método PCI, evaluación estructural, diseño estructural, sobrecapa.

## **ABSTRACT**

The research of a simple cross-sectional descriptive type was developed with the objective of implementing a structural design proposal to improve road traffic on Cesar Vallejo Avenue - Trujillo during the period 2019. The population was César Vallejo Avenue, in which, for a non-probabilistic sampling for convenience, the sample considered were the two lanes of the stretch between Villarreal Avenue and Pesqueda Avenue. The data collection was executed by observation, using the PCI method that allowed us to find the condition index of the pavement, Also required to carry out calicatas for the taking of samples that required the structural evaluation, was also made the calculation of the vehicle volume through the counting of vehicles. The analysis of results was carried out using Microsoft Excel 2016, with which the method proposed by the Asphalt Institute for the maintenance and rehabilitation of pavements was applied. Cesar Vallejo Avenue was found to be in a state of poor service with a regular percentage underpass, for which the proposal of an asphalt overlay of 12cm was implemented in the stretch of Villarreal Avenue with Pesqueda Avenue. Trujillo during 2019.

### **Keywords:**

PCI method, structural evaluation, structural design, overlay.

## I. INTRODUCCIÓN:

En los últimos años la ciudad de Trujillo se ha convertido en una de las ciudades con mayor actividad vehicular, la cual, cuenta con múltiples pistas trabajadas con asfalto en frío, que al transcurrir los años se ha ido deteriorando por diversos factores ambientales y técnicos. En el año 2017, ocurrieron siete huaicos que afectaron a las principales avenidas y calles de la ciudad que fueron inundadas dejando gran parte de las pistas en pésimo estado, a pesar que ya han pasado dos años después del fenómeno del niño costero, aun se siguen percibiendo fallas en el pavimento, ante esta situación surge la prioridad de evaluar el pavimento flexible para determinar su estado con el fin de crear una propuesta de diseño estructural que se adecue al flujo vehicular de manera que garantice la mejora de transitabilidad .

Ante la problemática surge la necesidad de buscar formas alternas de estudiar de manera óptima las condiciones del pavimento ante las diferentes metodologías de estudio, se utilizó el método del Pavement Condition Index (PCI), por ser un método práctico al momento de evaluar e identificar las diversas fallas superficiales, que suelen presentarse en el pavimento, que afecta de manera significativa la transitabilidad de esa zona , por ende es necesario la evaluación estructural para determinar el estado operacional del tramo, la cual soporta enormes cargas de tráfico vehicular , producida por los diferentes tipos de vehículos que transitan y contribuye de manera directa con el desgaste o fatiga de la superficie de rodadura, entre otros factores .

El trabajo de investigación se realiza en la Urb. La Rinconada, en la Av. Cesar Vallejo, paramétrico entre la Av. Federico Villa Real y Av. Pesqueda, perteneciente a la provincia de Trujillo, en el cual se presencia a simple vista baches y deterioro de la carpeta de rodadura, que afectan la transitabilidad, en donde aproximadamente transitan 7200 vehículos/ día, para esto se desarrollara un plan de inspección para diagnosticar la transitabilidad de la zona mediante el estudio de tráfico y la evaluación del pavimento, en donde se divide en 39 secciones del cual solo se toma 12 secciones para evaluar a lo largo de todo el tramo de cada carril , posteriormente se realizará una evaluación estructural por



análisis de componentes , para poder diseñar una sobrecapa por medio del instituto del asfalto cuyo diseño será modelado y analizado por el software HDM4.

En este trabajo de investigación se busca evaluar la transitabilidad o flujo vehicular, de tal manera que se pueda plantear la implementación de una propuesta de diseño estructural para mejorar la transitabilidad vial de la avenida Cesar Vallejo. En el que se tendrá en cuenta el cumplimiento de los parámetros de la norma MTC 2018, AASHTO 93 y algunas consideraciones del instituto del asfalto para pavimentos, en el que se determinará ¿Qué características tendrá la propuesta de diseño estructural para mejorar la transitabilidad vial de la avenida Cesar Vallejo -Trujillo?

Para ello, realizamos un estudio del tráfico que por consiguiente será utilizado en el diseño estructural de la vía con el manual que propone el instituto de asfalto en el que se utilizaran cartas de diseño para calcular la altura de grosor en la sobre capa y el bombeo adecuado para un mejor drenaje , de manera que nos permita contrarrestar la magnitud del daño en el pavimento asfáltico a través de un mantenimiento, rehabilitación, para mejorar la calidad de vida socioeconómica; es por eso que hemos creído necesario adaptar tecnologías y normas estandarizadas del extranjero para comprobar si es posible cumplir con lo planteado.

Son numerosas las investigaciones a nivel nacional sobre el índice de la condición estructural y operacional del pavimento (Vidarte, Domingo, Castañeda & Salazar,2017, Carlos & Paredes,2018;Bautista,2018,Espinoza,2018;Albino & Cisneros,2018) La mayoría de ellas se centran en el estudio estructural y superficial del pavimento en el cual utilizan métodos empíricos mecánicos estandarizados como el AASHTO93 y el método del PCI para diagnosticar y evaluar el estado de la carpeta de rodadura ,empleando valores matemáticos que están determinados por ábacos y tablas que se utilizan para medir la capacidad de servicio superficial y el nivel de integridad de la estructura del pavimento, cuyo diseño estructural está sujeto a parámetros de AASHTO 93 y los requerimientos a las normas de suelos y pavimentos, mediante este estudio se establecieron un

sistema de gestión y mantenimiento que tuvo un impacto positivo en la mejora de la transitabilidad en las vías de estudio .

A nivel nacional, se realizaron investigaciones sobre el Método del Instituto de Asfalto para pavimentos flexibles (Tapara & Paz, 2017; Irigoien, 2018; Berrocal & López, 2018) La mayoría de ellas se centran en el estudio del Método del Instituto de Asfalto, el cual emplea conceptos teóricos, experimentales y programas de cómputo, también se emplean ábacos que permiten ejecutar este método de forma más operativa.

Existen diversas investigaciones a nivel internacional sobre la importancia de las condiciones del pavimento (Muhammad y Syed, 2019; AJIT et al., 2017; Najafi, Flintsch &Khaleghian,2016; Arhin et al., 2015; Karlaftis & Atef Badr,2015;Vlahogianni,2015; Kallioras, Kepaptsoglou &Lagaros,2015; Maheshwari, Kachroo, Paz & Khaddar;2015 ).Todas estas investigaciones coinciden en la necesidad de una evaluación en los pavimentos para saber las condiciones en la que actualmente se encuentran para su posterior mantenimiento con el fin de mejorar su desempeño en su periodo o tiempo de vida para el cual fue diseñado en beneficio de la comunidad, así como también estas investigaciones tienen un enfoque innovador en el que emplean softwares para simular y predecir el comportamiento del flujo vehicular , implementándose un sistema integral como una herramienta confiable para el proceso de toma de decisiones que controlen las deficiencias en función de riesgo de accidentes.

El presente trabajo de investigación se justifica mediante un estudio detallado de la transitabilidad vial con el fin de implementar una propuesta de diseño estructural más óptima posible , que a su vez sea viable ,para ello se realizó un estudio del tráfico acompañado de una evaluación superficial y estructural del pavimento, para determinar el grado de severidad de la estructura ,de acuerdo a las fallas presentes sobre la superficie de la carpeta asfáltica , el cual influye de manera negativa en la transitabilidad vial, es por eso que se llevara a cabo un diagnostico general de su estado, para dar a conocer las causas que las producen ,para proporcionar alternativas estratégicas de solución en su mejora ; en este estudio se utilizara el método del PCI , AASHTO 93 y el instituto del

asfalto ;que son métodos estandarizados ,que nos permite evaluar ,calificar y diseñar de manera objetiva la carpeta de rodadura mediante ábacos, tablas y cartas de diseños .

Mediante estos formatos calcularemos los valores de deducción, para determinar los índices la severidad y la condición del área afectada presente en el pavimento del lugar de estudio, los cuales serán contrastados y empleados para el diseño estructural, que se simulara mediante un software HDM4 que nos permita evaluar las características que deben tener nuestra propuesta. Este proyecto de investigación será útil para la comunidad estudiantil y la sociedad en general.

El objetivo general de este proyecto es : Plantear la Implementación de una propuesta de diseño estructural para mejorar la transitabilidad vial de la avenida Cesar Vallejo-Trujillo, y como objetivos específicos: Determinar el volumen de tráfico promedio diario de la Av. César Vallejo, posteriormente evaluar la condición superficial del pavimento mediante el método PCI, así como también evaluar la condición estructural del pavimento mediante estudios geotécnicos que nos propone la norma E.050, AASHTO93 y el Instituto del Asfalto, finalmente elaborar la propuesta para mejorar de la condición de transitabilidad en la Av. Cesar Vallejo. Para explicar estos aspectos se plantea la siguiente Hipótesis: Implementando una propuesta de diseño estructural de la sobrecopa y bombeo, se mejorará la transitabilidad vial de la avenida Cesar Vallejo – Trujillo.

El pavimento, está constituido por capas, la cual se construye básicamente a nivel de la subrasante del terreno, con la finalidad de resistir los esfuerzos que son distribuidos a lo largo de toda la vía que son provocados por el gran volumen del flujo vehicular diario. Dentro de estos componentes que lo conforma esta: base, sub-base y la carpeta de rodadura (ver anexo 1). Donde, la carpeta de rodadura, es una de las primeras capas que puede estar constituida por materiales ya sea de concreto, bitumen o también se utilizan adoquines, en cambio la base o capa intermedia se apoya sobre el terreno de fundación, cuya función es soportar, distribuir y a su vez transferir cargas producidas por el tránsito, teniendo un (CBR  $\geq$  80%); después de esta capa sigue la subbase que

particularmente va después de la base y antes de la carpeta de rodadura. A veces se utilizan capas de drenaje acoplados a un sistema de control de la capilaridad del agua, cuyo rango del CBR  $\geq 40\%$ . (Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos; 2014, p.23- 24).

El comportamiento estructural en pavimentos flexibles , se debe a variables tales como las condiciones climáticas, es por esto que los pavimentos en temporadas donde hace calor el pavimento se contrae haciendo que sus partículas se esfuerzen al máximo causando rotura interna, las prácticas de conservación y mantenimiento muchas veces es un factor determinante debido a que muchas veces no se le da un mantenimiento adecuado a la carpeta de rodadura haciendo que esta se comporte de manera negativa ante los esfuerzos verticales por las llantas de los vehículos y efectos de la carga reiterada a largo plazo, esto se da cuando la vía es bastante transcurrida y por ende el pavimento sufre de fatiga causando una roturas y fallas superficiales(ver anexo02).( Instituto mexicano del transporte (Alfonzo Rodríguez, Rodolfo Gutiérrez y Paul Anguas; 2017, p-28)

En la actualidad podrían darse muchas definiciones y descripciones de los tipos de fallas presentes en pavimentos, ya sea por funcionalidad o estructuralmente, es precisamente aquí donde se ven las fallas funcionales, las cuales podemos encontrar en la capa asfáltica, principalmente se generan a causa de la falta de cohesión de las capas del pavimento, esto origina que la transitabilidad se altere, provocando que los vehículos no circulen de forma cómoda. En cambio, cuando hablamos de las fallas estructurales se originan por alteración de los materiales empleados en las capas del pavimento, por efecto de las cargas de tránsito que en sus repetitivo accionar, no logran a resistir toda la carga en simultáneo, causando agrietamiento en la estructura en función de la tensión o tracción de las capas. El índice de serviciabilidad está en función a la condición requerida del pavimento que proveen los usuarios y el manejo seguro que al mismo tiempo sea cómodo. Cuando el conductor circula en la vía, experimenta una sensación de seguridad o inseguridad el cual depende de la percepción y control que tenga sobre el vehículo. El valor para este parámetro varía según el

índice de serviciabilidad que presenta la estructura (Norma ASTM D6433-07).  
(ver anexo 3)

La evaluación del pavimento, es un estudio minucioso que evalúa de manera técnica , y a su vez permite determinar el estado en el que se encuentra la estructura , así como también de la superficie de la carpeta asfáltica , en la cual se enfoca en analizar la magnitud de daño o severidad presente en el asfalto en deterioro, así como también evalúa su resistencia a las sollicitaciones de carga a las que son sometidas constantemente , con el fin de hacer un diagnóstico general que sea objetivo ,y confiable al momento de pronosticar las condiciones en las que se encuentra el pavimento para su posterior diseño , mantenimiento , rehabilitación , mejoramiento y conservación del mismo (Leguía & Pacheco,2016,p.35;Thenoux & Gaete,2012,p.1-2 ).

El (PCI), es una metodología más completa y objetiva, que califica a los pavimentos flexibles , así como también a los pavimentos rígidos, la cual se rige a ciertos modelos de Gestión Vial , que fue desarrollado por Ingenieros de la armada de los Estados Unidos , la misma que fue adaptada por ingeniero venezolano Augusto Jugo , quien adoptó este procedimiento de manera estandarizada, el cual tuvo una aceptación amplia , es de carácter matemático, utilizado para designar valores que van de 0 a 100, con el fin de clasificar e identificar las falles según el nivel de severidad, en donde 0 se denota para pavimento fallido y 100 designa una condición impecable. (Leguía & Pacheco,2016, p39;orros, urbaez & corredor,2009, p41-44). Ver anexo 03

El tránsito se define como un fenómeno generado por el volumen vehicular en una vía. Antes de hacer el diseño geométrico de la vía se debe tener en cuenta las características del tránsito que va a circular por la vía a diseñar. (Mozo, 2011, p10). La característica y el diseño de una vía, debe tener en cuenta los índices de tránsito y las condiciones necesarias para el tránsito vehicular, con comodidad vial ya que esto permitirá el desarrollo de carreteras y más propósitos de transporte. El volumen del tránsito es la cifra de vehículos que transitan sobre una vía, la cual será determinada, en función a las estadísticas, estudios de tránsito y mediciones reales de campo. Se debe tener en cuenta el

volumen inicial de diseño, como también la tasa de crecimiento para el tiempo de diseño. (Corros, Urbáez y Corredor, 2009, p.20)

El índice medio diario anual (IMDA) expresa el promedio aritmético de los volúmenes cotidianos durante el año, esto nos permite tener una idea del rendimiento de la vía en la sección estimada y permite ejecutar los cálculos de viabilidad económica. (MTC, 2018, p.92). Al momento de graficar estos valores se obtendrá el volumen horario de demanda máxima, que para la gran parte de las vías de tránsito mixto (aquellos que no presentan un componente preponderante, por ejemplo: turismo), concuerda con el volumen agrupado a la trigésima hora de mayor demanda. (Manual de carreteras: diseño geométrico, 2018, p.94)

La clasificación o tipo de vehículos se describen porcentualmente la aportación que pertenece en el IMDA a todas las categorías de vehículos que acorde al Reglamento Nacional de Vehículos, se describen a continuación: (Manual de carreteras de diseño geométrico, 2018, p.92) (Ver anexo 04). La capacidad vial, se define como el máximo número de vehículos que circulan sobre una sección uniforme de la vía durante un lapso de tiempo determinado. El tiempo que se utiliza para la mayoría de casos de análisis de capacidad vial es de 15 minutos, por lo que considera que este lapso de tiempo es el más cortó, durante el cual puede presentarse un flujo constante, para posteriormente convertir el volumen de 15 minutos a una tasa de flujo horario, que viene a ser es la tasa máxima horaria. (Mozo, 2011, p.42)

El crecimiento del tránsito está en relación con el tiempo de vida de una carretera por ende se precisa la evaluación de las alteraciones en cada fragmento de la misma, cuyo análisis refleja la complejidad por la obsolescencia de la propia infraestructura, con los siguientes cambios en los volúmenes de tráfico, patrones, y demanda por ende se utilice como base para el diseño un periodo de veinte años. (Corros y Urbáez, 2017). El peso total del vehículo, tanto vacío como cargado, según sea el caso se obtendrá en las estaciones de pesaje mediante el uso de un sistema de balanzas electrónicas, la cual nos ayudara a determinar el peso bruto total, así como el peso en cada uno de los ejes del

vehículo. En la siguiente tabla (anexo 06 y 07) se da a conocer las cargas máximas para los diversos tipos de vehículos pesados. (Corros y Urbaés, 2017)

El factor de equivalencia de carga tiene el propósito de evaluar el daño en un pavimento flexible, de diferentes cargas a un eje estándar, se considera factores de equivalencia de carga por eje, FEC. Cuyos valores son obtenidos a partir de los resultados empíricos de la AASHO Road Test. (Minaya, Ordoñez, 2016, p.98). El estudio de mecánica de suelos son hoyos exploratorios (calicatas) a “cielo abierto” de 1,5 m de profundidad mínima, las cuales se realizan para ver las diferentes capas del suelo y obtener datos de laboratorio. El CBR (California Bearing Ratio), es un ensayo normalizado por AASHTO T – 193, es una medida de la resistencia al esfuerzo cortante del suelo bajo contextos de densidad y humedad controladas (Becerra, 2012, p. 73).

Hace algunos años atrás, el diseñar un pavimento fue en función a datos obtenidos por la experiencia, al transcurrir el tiempo, las características de los vehículos y su demanda cambió, lo que limita los valores y parámetros para dichos métodos. Por otro lado, el diseño del pavimento bajo los métodos empíricos (Hirooka y otros, 2019). Dimensionar la estructura de pavimento que se diseñe debe obedecer que las deformaciones por tracción producidas en la fibra inferior de las capas de asfalto y las deformaciones verticales por compresión en la parte superior de la subrasante no sean superiores a los valores admisibles dados por el tránsito de diseño que debe soportar la estructura para la duración de servicio definido. (Salamanca & Zuluaga, 2014, P.22)

El método AASTO 93, está referenciado en las cargas de los vehículos y lo que pueda resistir la subrasante para el cálculo de las capas del pavimento. La finalidad es determinar del número estructural requerido (SNr), para identificar y determinar los espesores de cada capa de la estructura, las cuales serán construidas sobre la subrasante con finalidad de tener una favorable serviciabilidad durante el periodo de diseño establecido en el proyecto. (MTC, 2018, P.181)

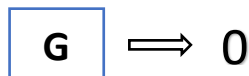
La técnica del instituto del asfalto se basa en utilizar la teoría elástica en multicapas, que utiliza nuevos resultados por parte de ese organismo. Sin embargo, se da a conocer que este método vigente, sugiera una implementación futura. (Instituto mexicano del asfalto, 2015)

Las cartas de diseño son graficas a escala logarítmica que nos permiten tener las tres situaciones climáticas, una vez obtenida el total de ejes equivalentes recolectados en la etapa de diseño y el Módulo de Resiliencia se diseña la capa de la subrasante, para alcanzar los espesores finales de pavimentos de una sola capa formada con concreto asfáltico y bases granulares sin tratamiento con espesores de 15 y 30 cm (Ver anexo 04 y 05). (Instituto mexicano del asfalto, 2015)

## II. MÉTODO

### 2.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación a realizar es de tipo cuantitativo, diseño no experimental, descriptivo simple, transversal.



Leyenda

G: Evaluación y extracción de 2 calicatas, 12 secciones del tramo y vehículos.

O: Toma de muestras de la calicata, identificación de las fallas y determinación del flujo vehicular.

### 2.2. Población muestra y muestreo:

**Población- muestra:** la Población a estudiar en el trabajo de investigación es el tramo de vía de la Avenida Cesar Vallejo, que se encuentra paramétrico entre la Avenida Federico Villa Real y Pesqueda en la ciudad de Trujillo, la cual se analizará y evaluará los 2 carriles de la avenida que tienen 1000 metros en cada carril. El muestreo fue no probabilístico por conveniencia.



**Criterios de selección:**

Criterios de inclusión: conjunto de calicatas, secciones y vehículos que transitan de la Av. Cesar Vallejo de la ciudad de Trujillo.

**Criterio de exclusión:** conjunto de calicatas, secciones y vehículos que transitan en otros tramos.

**2.3. Técnicas e instrumentos y recolección de datos:**

Se utilizó la técnica de la observación, empleando guías, formatos y tablas estandarizadas de observación.

En el estudio del tráfico se emplea la guía diseño de estructuras de pavimento AASHTO-93 y el MTC- 2018.

Evaluación superficial se empleó el método del PCI, mediante formatos, ábacos y tablas.

Análisis de componentes se hará un estudio de mecánica de suelos según las tablas de la guía de diseño de ASSHTO 93.

Diseño estructural se utilizó el método del instituto del asfalto empleando cartas de diseño y software.

**2.4. Procedimiento**

El trabajo de investigación se realizó en tres fases:

Primera fase, se desarrolló la evaluación de condición del pavimento, a nivel superficial usando el método del PCI y a nivel estructural mediante la destrucción del análisis de componentes de la vía.

- Para la condición superficial se realizó la observación y determinación de las fallas, con el manual del PCI y criterio del evaluador.
- A través de los ábacos que propone el PCI se calculó el índice de condición del pavimento.
- Para el análisis de componentes primeramente se hizo unas calicatas de un metro por un metro de área y por una profundidad de 1.5 metros.
- Seguidamente se extrajo una muestra por cada km, la cual se colocó sobre una bolsa hermética para trasladarla al laboratorio para evitar pérdidas de material o la adición de sustancias extrañas.
- En el laboratorio se realizó los estudios mediante ensayos compactación estándar –por el método “A” de acuerdo a nuestra

granulometría, con el fin de determinar las propiedades físicas y mecánicas de suelo.

Segunda fase, se llevó a cabo el estudio de tráfico para cuantificar el índice medio diario (IMD) de la Av. César Vallejo, mediante el conteo vehicular.

- Se determinó las estaciones de tráfico.
- Se procedió al conteo vehicular durante 24 horas, en 3 días, en ambos sentidos de la vía.
- En el conteo se clasificó los tipos de vehículos que se desplazan en la vía.
- Para el procesamiento de los datos obtenidos, se tabularon los valores en una hoja de cálculo de Microsoft Excel.
- Se procedió a calcular el índice medio diario de la vía.

Tercera fase, se planteó el rediseño de la capa asfáltica mediante el método que propone el instituto del asfalto.

- Primero se tomaron los datos del CBR obtenidos en los estudios de suelo, y los resultados del factor ESAL para calcular su espesor de las diferentes cartas de diseño según el método del instituto del asfalto.
- Una vez diseñado se procedió a ingresar datos al software para simular el comportamiento que va tener nuestro diseño.

## **2.5. Método de análisis de datos**

Se utilizó un método de análisis descriptivo cuyos resultados fueron procesados en Microsoft Excel 2016.

## **2.6. Aspectos éticos:**

Se demostró la veracidad de los datos y la confidencialidad de los resultados.

### III. RESULTADOS:

Del objetivo 1: Determinar el volumen de tráfico promedio diario de la Av. César Vallejo

Los datos obtenidos fueron tomados del conteo de vehículos durante tres días consecutivos desde el día sábado 19 hasta el lunes 21 del mes de octubre del 2019, en el cual se obtuvo un IMD de 18544 vehículos de las 2 estaciones, donde se clasifico lo vehículos según lo que estipula el MTC,2018 (ver anexo 08 ,10 y 12)

Del objetivo 2: Evaluar la condición superficial del pavimento mediante el método PCI.

Según los datos obtenidos en campo el carril N.º 01 posee un estado crítico, ya que presenta tramos deteriorados que son desfavorables para la transitabilidad en todo el trayecto de la vía, con el método PCI, se registraron valores del índice de condición del pavimento, en un rango entre 0 y 40 que nos da como resultado un estado malo de su valor deducido y corregido a partir de las tablas o ábacos proporcionados por el manual de evaluación del pavimento. Los resultados se pueden observar en la tabla 4 (ver anexo 09)

Para el carril N.º 02, se obtuvieron datos, cuyos resultados fueron más favorables a diferencia del primer carril, este presenta un estado regular, ya que los valores deducidos del índice del PCI oscilan entre 32 y 78, por lo que podemos apreciar que hay 3 secciones que están en muy mal estado. los resultados se pueden observar en la tabla 5 (ver anexo 09).

Del objetivo 3: Evaluar la condición estructural del pavimento mediante estudios geotécnicos que nos propone la norma E.050

En la norma en el cuadro 4,1del Manual de Carreteras “Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos”,2018(ver anexo 04) ,establece que para el refuerzo y/o rehabilitación del pavimento se deben usar 4 calicatas pero en nuestro caso se evaluó 1 calicata por tener un tramo

de 1km ; en el que se obtuvo un suelo S2 por poseer  $6\% < \text{CBR} < 10\%$  (rango establecido en el cuadro 4.10 del MTC,(ver anexo05), presenta arena limosa(SM), así como también, se encontró arcillas de plasticidad baja que tiene contenidos de arena; y el CBR para cada carril es diferente ,como podemos ver el CBR de la avenida Cesar Vallejo del carril N° 1, tiene un porcentaje de 8.48% posee un estado regular de la subrasante (ver anexo 14); mientras que el CBR de la avenida Cesar Vallejo del carril N° 2, tiene un porcentaje de 9.25% posee un estado regular para la subrasante (ver anexo 14.1).

Del objetivo 4: Elaborar la propuesta para mejorar de la condición de transitabilidad en la Av. Cesar Vallejo.

Según el factor ESAL se tiene un promedio de  $3.22 * 10^7$  EE, ejes de los vehículos, se emplearon factores como factor carril equivalente a 0.5 para dos carriles (ver anexo 12), y cargas de 7tn ,11tn, 18tn y 25tn (ver anexo06) cargas establecida por el tipo de ejes simples, dobles y triples; gracias a estas cargas se determinó el factor camión, en función a un periodo de diseño (fuente INEI); estos datos están sustentados en el manual de carreteras “diseño geométrico”.

El valor obtenido del módulo de Resiliencia a partir del CBR critico fue de 69.15Mpa por medio de la ecuación de correlación de la Guía empírica de diseño de pavimentos de AASHTO,2018; (ver anexo 15).

Con el método del espesor efectivo del instituto del asfalto se obtuvieron factores correctivos de 0.5 para la carpeta asfáltica y la base ;0.2 para la sub -base granular y 0 para la subrasantes estos valores varían según el estado del pavimento en nuestro caso (manual de diseño del pavimento ,2008 de la tabla 8.1 factores de conversión de las componentes existentes del pavimento ;ver anexo 16) el pavimento presenta  $10 < \text{IP}$ , evidencia una degradación de agregados , grietas en todo el tramo de la vía, así como también tiene un bombeo de 1% según los estudios de análisis de componentes(datos importados de un expediente técnico de la prolongación vallejo proporcionado por la municipalidad de Trujillo).

Con los factores anteriores se obtuvo un  $E_e (Mac) = 2.5\text{cm}$  que viene hacer el espesor efectivo de la mezcla asfáltica,  $E_e (Bs) = 10\text{cm}$  para la base del suelo,  $E_e (Sbg) = 3\text{cm}$  de la base granular; siendo su espesor total de 16cm de la mezcla asfáltica y nuestro espesor requerido de esfuerzo total es de 27.5 cm (valor obtenido de la carta de diseño A-7 del Instituto del Asfalto. Ver anexo 17), con lo anteriores resultados se determinó que el espesor real de refuerzo a utilizar de la capa ya existente es de 12cm y para el bombeo se encontró que tiene 1% (dato importado de un expediente técnico de la prolongación vallejo proporcionado por la municipalidad de Trujillo), se consideró un bombeo de 2.5% para un tratamiento superficial (según MTC, 2018, en la tabla 304.3 bombeo de calzadas, ver anexo 11).

Con el software del HDM4 para caminos, en el programa de rehabilitación de la avenida Cesar Vallejo, para un modelo de tráfico interurbano de alta transitabilidad de una carretera de clase primaria de dos carriles aplicado en IMD mayor a 3000 vehículos, se obtuvo en el flujo de costos en relación a sus beneficios de costo un valor actual neto de 0.372 para el tramo 3000TPDA/Malo al utilizar la alternativa de tratamientos ( incluye R+B+Tratamiento doble al 20% área y alternativa de 8cm de refuerzo), alternativa capa de rodadura (reapeo de 12cm y reforzamiento ) y alternativa de 8cm de refuerzo , en cuanto al tramo 3000TPDA/Regular su valor neto actual fue de 0.826 para tratamientos dobles de 5cm de refuerzo , y 0.822 alternativa carpeta asfáltica , teniendo como resultado final del análisis de estrategias y programas la alternativa de tratamientos para tramo y alternativa de 5cm de refuerzo como las más óptimas y rentables. (ver anexo19).

En cuanto a su clásica de retorno dadas por el modelo VAN (valor anual neto) del tramo 3000TPDA/Malo fue de 112.6 y 138.1 que son mayores al 12% de la tasa de descuento y para 3000TPDA/ el TIR fue de 102.6 y 200.7, estos valores están dentro del rango  $-90 < \text{TIR} < +900$  (ver anexo19).

En cuanto al comportamiento del pavimento deteriorado en el HDM4, se determinó que la alternativa base alcanza los 8 IRI máximo para requerir una reconstrucción, en cuanto a las alternativas de solución al aplicarse los tratamientos dobles, cubrir grietas, fisuras y baches su rugosidad permanece constante debido a su espesor de 25mm, en cambio si aplicamos la alternativa de los 5cm de refuerzo su índice de rugosidad baja considerablemente hasta llegar a un tiempo de deterioro más prolongado que requeriría su reconstrucción el mismo comportamiento tiene si hacemos un recapeo de 12cm con un refuerzo de 5cm (anexo 20).

#### IV. DISCUSIÓN:

A partir de los resultados obtenidos, el pavimento de la Av. César Vallejo, en el tramo de la Av. Federico Villarreal hasta la Av. Pesqueda, se encuentra en estado de mala serviciabilidad (Ver anexo 6), de ello podemos reafirmar lo publicado por Leguía y Pacheco (2017) en su tesis, "Evaluación superficial del pavimento flexible por el método PCI en las vías arteriales", que indica que la serviciabilidad está en función al propósito de construcción del pavimento con el fin de brindar un viaje confortable, seguro y cómodo para los usuarios. Credibilidad de ello es la evaluación del índice de condición superficial del pavimento bajo el método del PCI realizada a la vía. Estos rangos obtenidos manifiestan que se necesita medidas correctivas según el Manual del Instituto del Asfalto MS-17, que comparte el proceso de rehabilitación y mejoras de pavimentos. Partiendo de este criterio, se plantea incorporar una propuesta de diseño para la estructura con fines de mejorar la serviciabilidad en el tramo.

Se ejecutó la evaluación estructural por el método de análisis de componentes en la vía, determinándose el estado actual de la estructura del pavimento y a su vez los CBR de diseño, mediante la cual, según los resultados obtenidos, se llega a la conclusión que la propuesta idónea de reparación estructural es proponer un recapeo en la superficie de rodadura. (Instituto del Asfalto 1986). Para ello, se realizó el estudio de tráfico actual en el pavimento, obteniéndose un IMDA de 18544 veh/día de todos los vehículos que transitan en la vía. Así mismo, se determinó el número de ejes equivalentes proyectadas para un periodo de 20 años, (ver anexo13) teniendo en consideración las cargas que soportara nuestro pavimento a diseñar, y al mismo tiempo diseñar el espesor de la sobrecapa efectiva de refuerzo obtenida fue de 12 cm, la cual está en función al factor  $E_{sal} = 3,22 \cdot 10^7 E_e$ .

para este caso se tomó en cuenta los criterios implantados por el Instituto del Asfalto. Para determinar la cantidad de vehículos que transitan ,en el que

se identificó que existe una sobre demanda en cuanto a su diseño inicial, el cual tuvo un efecto negativo que ha generado un deterioro progresivo que fue producido más por los vehículos pesados como camiones, trayler y semi trayles cuyos  $1.45 \cdot 10^6 < Ee < 8,16 \cdot 10^6$ , acá se puede apreciar que las cargas emitidas por los ejes de un tándem es menor que los ejes de vehículos estándar (ver anexo 18).

Durante la evaluación de la condición estructural del pavimento se identificó que la subrasante se encuentra en buen estado por lo que no necesita ser reforzada, es por eso que solo se trabajara a nivel de base y mezcla asfáltica, ya que se encuentran en un nivel crítico principalmente en el primer carril que están deterioradas por la fatiga, debido a que no se tuvieron en cuenta las recomendaciones mínimas de los espesores proporcionados en el estudio de suelos, así como también no alcanzó al grado de compactación estimada, entre otros factores que se da a conocer Bonilla, et al(2017), que la gran mayoría de pavimentos que fueron construidos años anteriores, no cumple con los criterios y parámetros que estipula la norma, así como también afirma que gran parte de estas estructuras asfálticas no tienen un mantenimiento continuo por año, por lo que es necesario incorporar una propuesta de diseño estructural del pavimento que sea reforzadas con fibras las cuales serán analizadas y simuladas en un software que le permita determinar su comportamiento ante las deflexiones y viabilidad de la propuesta.

Con el HDM4, analizamos 4 alternativas de tratamiento, en el que se observó que si usamos un refuerzo de 5 cm durante los 2 primeros años este tendrá un costo de 0,154 y 0.193 mil dólares y para el tramo malo el refuerzo de 8cm solo se usaría en el primer (2019)y año 2037, el cual tendrá un costo de 0.193 mil dólares, y si (ver anexo 21) en cuanto a costo se refiere, mientras que en su comportamiento vemos que para el tratamiento base al alcanzar su deterioro máximo al alcanzar los 8 IRI se tendría que reconstruirla por lo que no sería rentable, caso similar es si aplicamos la alternativa de tratamientos ya que vemos que alcanza su rugosidad máxima



y su deterioro permanece constante así que no tiene sentido hacer este tratamiento , si usamos un recapeo con un refuerzo de 5 u 8cm este tiende a mejorar su rugosidad así como también es más rentable a largo plazo(ver anexo 20) .

Con los datos obtenidos, en el presente trabajo de investigación, se toma en cuenta el recapeo de 12cm con un refuerzo de 8cm para el carril en estado malo y de 5cm para el carril en estado regular como solución a la rehabilitación de la vía, acorde a las diferentes cargas que está sometido el pavimento, es así que es oportuno un mantenimiento, ya que a largo plazo si no se llega a realizar, las fallas podrían ser graves y demanda una reconstrucción en su totalidad, este contexto es de alto costo y muy poco viable por lo que afectaría la transitabilidad. (Gonzales Daniel, 2018).

## **V. CONCLUSIONES:**

- Se determinó el volumen de tráfico promedio de la Av. César Vallejo y con ello el índice medio diario anual (IMDA) de 18544 veh/día.
- Se realizó la evaluación superficial del pavimento con el método PCI en ambos sentidos de la vía y se determinó el índice de condición superficial del pavimento.
- Se evaluó la condición estructural del pavimento con el método de análisis de componentes y ensayos propuestos por la norma E. 050.
- Se elaboró la propuesta de refuerzo de la sobrecapa para mejorar la condición de transitabilidad en la Av. César Vallejo.

## **VI. RECOMENDACIONES:**

- De lo investigado anteriormente, se recomienda realizar la rehabilitación y mantenimiento de las vías que fueron afectadas a causa del fenómeno del niño costero por presentar propiedades superficiales similares.
- Por lo expuesto en el presenta trabajo de investigación, es recomendable realizar la rehabilitación del pavimento en la Av. César Vallejo, por las condiciones en las que actualmente se encuentra.
- Para el cálculo del IMDA es recomendable realizar el conteo vehicular actual de la vía, por las variaciones del volumen de tráfico que se dan al transcurrir su período de vida útil.
- Para futuras investigaciones en mantenimiento y rehabilitación de pavimentos flexibles, se recomienda identificar la situación in situ de la vía y realizar los estudios, de acuerdo a lo que propone el Instituto del Asfalto en el manual MS-17.
- Se recomienda hacer un manteniendo rutinario programado de manera anual de tal manera que se prolongue su vida útil y se haga tratamientos correctivos necesarios que a su vez sea rentable.

## VII. REFERENCIAS:

AASHTO. Guide for design of pavement structures. Washington.1993.

ABAD QUITO, Hilario. Análisis comparativo del reciclado con asfalto espumado y la técnica convencional en la conservación periódica de la carretera Conococha Huaraz 2010-2011. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). Huaraz: UNASAM, escuela profesional de ingeniería civil, 2016.

ALBINO GONZALES, Yoshiro y CISNEROS TORRES, Gerson. Diagnóstico de la transpirabilidad vial y propuesta del diseño estructural del pavimento en las calles 5 y 9 del centro poblado Alto Trujillo – Trujillo - La Libertad. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). Trujillo: UPAO, escuela profesional de ingeniería civil, 2017.

American Association of State Highway and Transportation Officials. AASHTO. Guide for design of pavement structures. Washington, D.C.: 1ra eds. 2001. Disponible en: <https://habib00ugm.files.wordpress.com/2010/05/aashto1993.pdf>

ARHIN Stephen y OTROS. Predicting Pavement Condition Index Using International Roughness Index in a Dense Urban Area [En línea]. Washington: Editorial científica y académica, 2015. Disponible en: <http://article.sapub.org/10.5923.j.ice.20150501.02.html>

Aristides, Karlaftis & Atef Badr. Predicting asphalt pavement crack initiation following rehabilitation treatments: Transportation Research Part C: Emerging Technologies [en línea] vol. (55), 2016. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15001205?via%3Dihub>

Asociación mexicana del asfalto [en línea]. México: 2015 – [fecha de consulta: 25 de septiembre 2019].

ASTM International D6433 - 07. Standard Practice for roads and parking lots pavement condition index surveys. United States. 2007. 11p-23p.

BECERRA S. Mariano. Tópico de pavimentos de concreto diseño, construcción y supervisión [En línea]. Lima: 1ra edición. Flujo libre, 2012. Disponible en: [https://issuu.com/flujolibreperu/docs/libro\\_pavimentos\\_al\\_cap\\_2](https://issuu.com/flujolibreperu/docs/libro_pavimentos_al_cap_2)

BERROCAL CASTILLO, Elwin & LOPEZ HEREDIA, Juan. Diseño óptimo de la estructura del pavimento flexible para la avenida central – Nuevo Chimbote, mediante los métodos: Instituto de asfalto y AASHTO 93. Trabajo de titulación (ingeniero civil). Nuevo Chimbote: UNS, escuela profesional de ingeniería civil. 2018.

CORROS, Maylin, URBÁEZ, Ernesto y CORREDOR, Gustavo. Manual de evaluación de pavimentos. En: diseño de pavimentos. Lima: maestrías en vías terrestres, 2009. p. 20.

Departamento de administración y evaluación de pavimentos. Identificación de fallas y técnicas de reparación [En línea]. DGRS, 2016. Disponible en: <http://www.mopc.gob.do/media/2335/sistema-identificaci%C3%B3n-fallas.pdf>

Eleni I. Vlahogianni. Optimization of traffic forecasting: Intelligent surrogate modeling: Transportation Research Part C: Emerging Technologies [En línea] vol. (55), 2015. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0968090X15000959>

Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico [En línea]. Santiago de Chile: 2012 – [fecha de consulta: 18 de octubre 2019]

GONZÁLEZ MORGADO, Daniel. Metodologías de reparación para pavimentos flexibles de mediano y bajo tránsito. Trabajo de titulación (Ingeniero constructor). Santiago de Chile: UNEB, ingeniería en construcción, 2018.

HILIKUÍN BRAÑEZ, Mariana. Evaluación del estado de conservación del pavimento, utilizando el método PCI, en la av. Jorge Chávez del distrito de Pocollay en el año 2016. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). Tacna: UTP, escuela profesional de ingeniería civil, 2016.

IRIGOIN QUESQUÉN, Rony. Comparación entre los métodos AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para optimizar el diseño del pavimento flexible en el Ah San Lorenzo – José Leonardo Ortiz – Chiclayo – Perú. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). Lima: USMP, escuela profesional de ingeniería civil. 2018.

LAVADO PISCO, Raúl. Innovación tecnológica en la construcción de pavimentos rígidos con utilización del Método Losas Cortas en la av. 26 noviembre, VMT 2018. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). Lima: UCV, escuela profesional de ingeniería civil, 2018.

LEGUÍA LOARTE, Paola y PACHECO RISCO, Hans. Evaluación superficial del pavimento flexible por el método Pavement Condition Index (PCI) en las vías arteriales: Cincuentenario, Colón y Miguel Grau. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). Lima: USMP, escuela profesional de ingeniería civil, 2016, p35.

M.T.C – Manual de carreteras: diseño geometría [En línea]. (2018). [Fecha de consulta: 24 Setiembre 2019]. Disponible en:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf)

M.T.C. Manual De Carreteras Suelos, Geología, Geotecnia Y Pavimentos [En línea]. (2014) - [Fecha de consulta: 26 Setiembre 2019]. Disponible en:

[https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas\\_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/RD%2036%202016%20MTC%2014%20Aprueba%20Manual%20Tuneles\\_Original\\_A.PDF](https://portal.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/MANUALES%20DE%20CARRETERAS%202019/RD%2036%202016%20MTC%2014%20Aprueba%20Manual%20Tuneles_Original_A.PDF)

Magazine International Journal of Pavement Research and Technology [En línea]. (2017) - [Fecha de consulta: 19 Setiembre 2019]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1996681417301487>

MOZO SÁNCHEZ, José. Análisis de Nivel de Servicio y Capacidad de Segmentos Básicos de Autopistas, Segmentos Trenzados y Rampas de acuerdo al Manual de Capacidad de Carreteras HCM2000 aplicando MathCad. Trabajo de titulación (Ingeniero civil). México: UNAM, división de ingenierías civil y geomática. 2011, p41.

MUHAMMAD Zafar y SYED Shah. “Condition Survey for Evaluation of Pavement Condition Index of a Highway” [En línea]. Sindh. Departamento de Matemáticas y Estadística, University of Engineering (2019). Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/334032695\\_Condition\\_Survey\\_for\\_Evaluation\\_of\\_Pavement\\_Condition\\_Index\\_of\\_a\\_Highway](https://www.researchgate.net/publication/334032695_Condition_Survey_for_Evaluation_of_Pavement_Condition_Index_of_a_Highway)

NAJAFI, FLINTSCH & KHALEGHIAN (2016). Fuzzy logic inference-based Pavement Friction Management and real time slippery warning systems: A proof of concept study. [En línea]. Accident Analysis & Prevention, vol. (90). p41-49.

Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.02.007>

POVEDA PENAGOS, Manuel, BERNAL ROJAS, Fausto y MARÍN ZAMORA Andrés. Diseño de un pavimento para la estructura vial, de la vía conocida como “el kilómetro 19”, desde el k2+000 al k2+500, que comunica a los municipios de Chipaque, en el departamento de Cundinamarca. Trabajo de titulación (Especialista en pavimentos). Bogotá: universidad católica de Colombia, especialización en pavimentos, 2014.

Rico R., Alfonso, Rodolfo Téllez G., Rodolfo y Garnica A., Paul. Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias [en línea]. sanfandila Qro.: Eds. Instituto mexicano de transporte, 1998. Disponible en:

<https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt104.pdf>

SALAMANCA NIÑO, María y ZULUAGA BAUTISTA, Santiago. Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos Invias, Aashto 93 e instituto del asfalto para la vía Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el departamento del cesar. Trabajo de titulación (Especialista en ingeniería de pavimentos). Bogotá: universidad católica de Colombia, especialización en pavimentos, 2014, p.22.

TAPARA TACO, Franclin & PAZ VILLALOBOS, José. Diseño de pavimento flexible por el método instituto de asfalto. Trabajo de maestría (ingeniero civil en mención geotécnica y vías terrestres). Cusco: UNSAAC, escuela de posgrado. 2017.

THENOUX, Guillermo y GAETE, Rodrigo (2012). Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico. Chile: Revista Ingeniería de Construcción. Fecha de consulta: 21 de Setiembre del 2019.

Disponible en: <http://www.ricuc.cl/index.php/ric/article/viewFile/364/306>

TUNI PARI, Raúl. Diseño Estructural De Pavimentos Flexibles Parí [ En línea].

2007. p12. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/145803580/disen-estructural-de-pavimento-flexible>

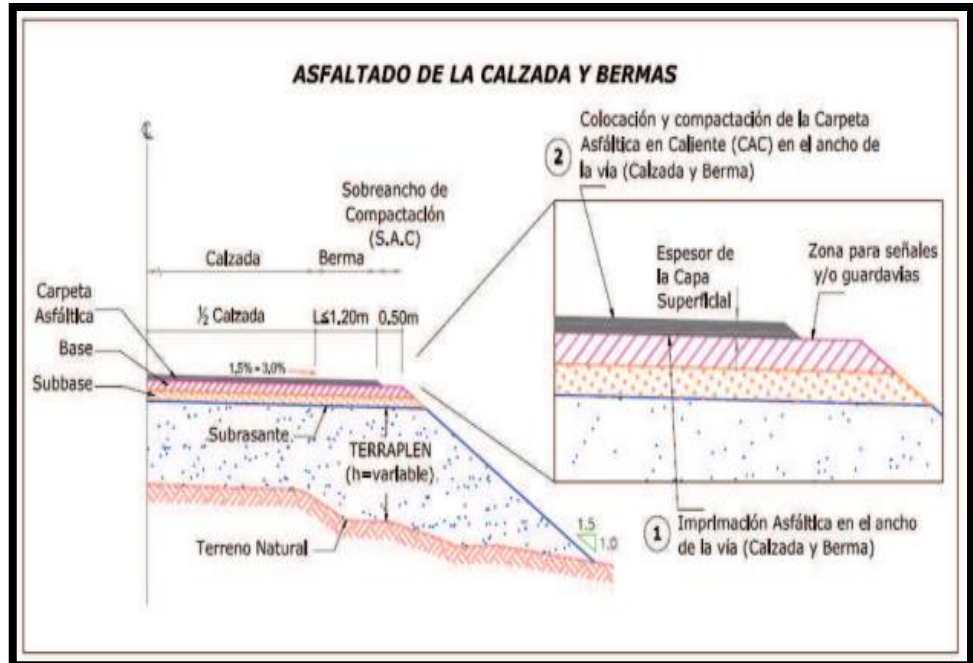
VALERIANO, Juan. Sistemas actuados y coordinados de control de tráfico. [En línea]. Lima 1ra. Ed. 2018. Disponible en: <http://www.construccion.org/articulos/completo.php?>



## VIII. ANEXOS

### ANEXO 1:

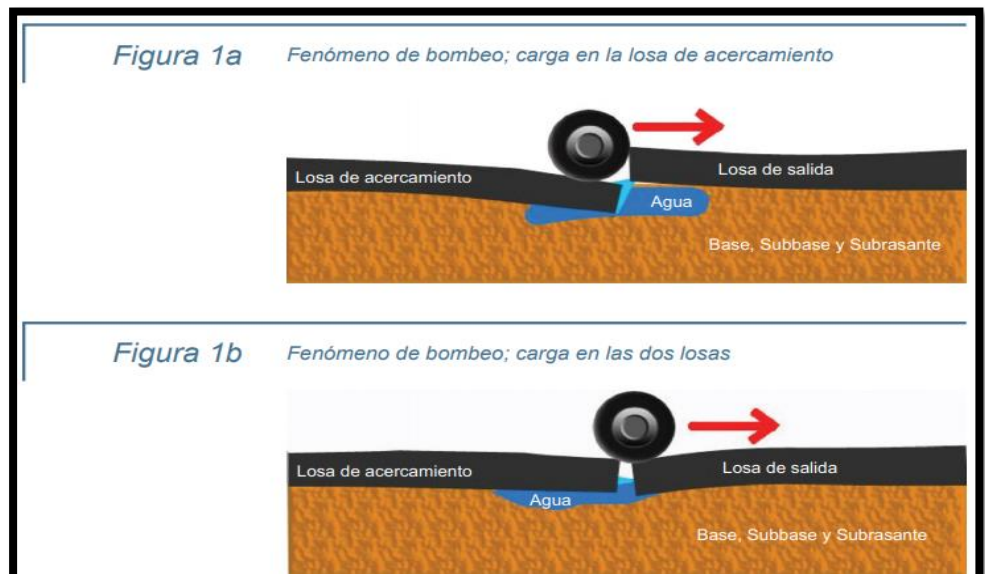
Figura 1: Bermas



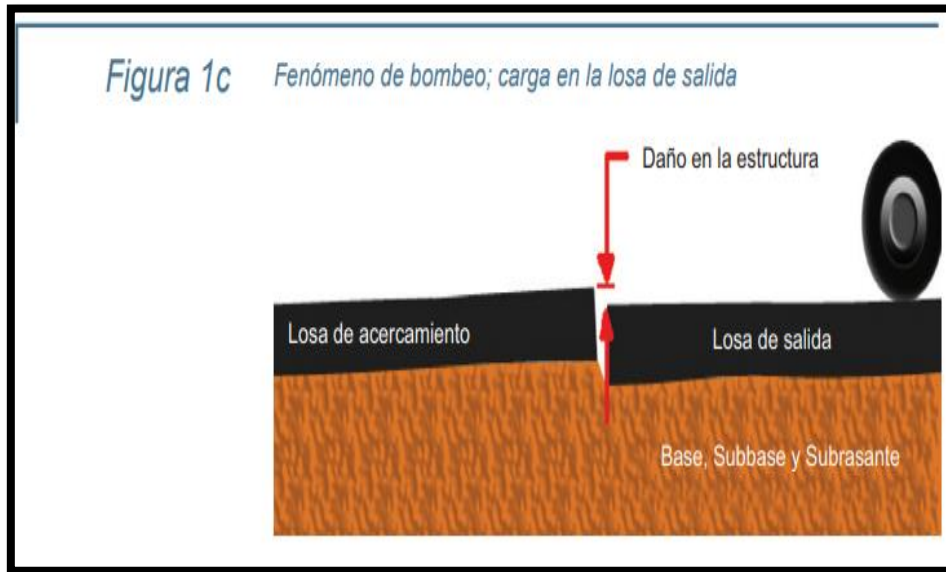
Fuente: figura 12.10 de bermas (Mtc.2018).

### ANEXO 2:

Figura 2.1: Casos fenómeno de bombeo



**Figura 2.2:** Tercer Casos fenómeno de bombeo



Fuente: Montenegro, Alfonso. (2016) "Ingeniería de Pavimentos".

**ANEXO 3**

**Tabla 1:** AASHTO, Guide for Design of Pavement

ÍNDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)	CALIFICACIÓN
5 - 4	MUY BUENA
4 - 3	BUENA
3 - 2	REGULAR
2 - 1	MALA
1 - 0	MUY MALA

Fuente:  
 Procedimiento estandarizado del método Estructures 1993 PCI según  
 ASTM D6433-03.

## ANEXO 4

**Tabla 2:** Numero de calicatas por km

Tipo de Carretera	Profundidad (m)	Número mínimo de Calicatas	Observación
Autopistas: carreteras de IMDA mayor de 6000 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras Duales o Multicarril: carreteras de IMDA entre 6000 y 4001 veh/día, de calzadas separadas, cada una con dos o más carriles	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>Calzada 2 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 3 carriles por sentido: 4 calicatas x km x sentido</li> <li>Calzada 4 carriles por sentido: 6 calicatas x km x sentido</li> </ul>	
Carreteras de Primera Clase: carreteras con un IMDA entre 4000-2001 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>4 calicatas x km</li> </ul>	Las calicatas se ubicarán longitudinalmente y en forma alternada
Carreteras de Segunda Clase: carreteras con un IMDA entre 2000-401 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>3 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Tercera Clase: carreteras con un IMDA entre 400-201 veh/día, de una calzada de dos carriles.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>2 calicatas x km</li> </ul>	
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: carreteras con un IMDA ≤ 200 veh/día, de una calzada.	1.50m respecto al nivel de subrasante del proyecto	<ul style="list-style-type: none"> <li>1 calicata x km</li> </ul>	

*Fuente: cuadro 4.1 número de calicatas por km según MTC2018 “suelos y pavimentos”.*

## ANEXO 5



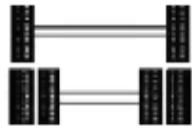



**Tabla 3:** Tipos de subrasante

Categorías de Subrasante	CBR
S <sub>0</sub> : Subrasante Inadecuada	CBR < 3%
S <sub>1</sub> : Subrasante Pobre	De CBR ≥ 3% A CBR < 6%
S <sub>2</sub> : Subrasante Regular	De CBR ≥ 6% A CBR < 10%
S <sub>3</sub> : Subrasante Buena	De CBR ≥ 10% A CBR < 20%
S <sub>4</sub> : Subrasante Muy Buena	De CBR ≥ 20% A CBR < 30%
S <sub>5</sub> : Subrasante Excelente	CBR ≥ 30%

*Fuente: cuadro 4.10 de subrasantes del MTC-2018*

## ANEXO 6












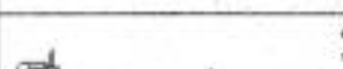

**Figura 3:** Tipos de ejes para cada vehículo.

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

**Fuente:** figura 6.1: Ejes para cada vehículo en el MTC 2018

## ANEXO 7

Figura 4: Cargas admisibles permisibles de acuerdo al tipo

REGULACIÓN	DESIGNACIÓN COVENIN 614	TIPO DE VEHICULO	EJES TOTALES	EJES SIMPLES	EJES TANDEM	EJES TRIPLES	CARGA MAX. PERMISIBLE (T)
2RD	2 Ejes	 Camión o autobús de dos ejes.	2	2			19.0
0-3E	3 Ejes	 Camión de tres ejes.	3	1	1		26.0
2-31	2 S 1	 Camión tractor con dos ejes y semirremolque con un eje.	3	3			32.0
2-32	2 S 2	 Camión tractor con dos ejes y semirremolque con dos ejes.	4	2	1		37.0
2-33	2 S 3	 Camión tractor con dos ejes y semirremolque con tres ejes.	5	2		1	42.0
3-31	3 S 1	 Camión tractor con tres ejes y semirremolque con un eje.	4	2	1		37.0
3-32	3 S 2	 Camión tractor con tres ejes y semirremolque con dos ejes.	5	1	2		46.0
3-33	3 S 3	 Camión tractor con tres ejes y semirremolque con tres ejes.	6	1	1	1	48.0
REMOLQUE	2 R 2	 Camión con dos ejes y remolque con dos ejes.	4	4			42.0
REMOLQUE	2 R 3	 Camión con dos ejes y remolque con tres ejes.	5	3	1		46.0
REMOLQUE	3 R 2	 Camión con tres ejes y remolque con dos ejes.	5	3	1		48.0
REMOLQUE	3 R 3	 Camión con tres ejes y remolque con tres ejes.	6	2	2		48.0
REMOLQUE	3 R 4	 Camión con tres ejes y remolque con cuatro ejes.	7	1	3		48.0

fuentes: la carga de ejes equivalentes de la COVENIN 614-1997 Norma

## ANEXO 8

**Tabla 4:** Ecuaciones para cada tipo de Eje .

Tipo de Eje	Eje Equivalente ( $EE_{8,2 tn}$ )
Eje Simple de ruedas simples ( $EE_{S1}$ )	$EE_{S1} = [ P / 6.6 ]^{4.0}$
Eje Simple de ruedas dobles ( $EE_{S2}$ )	$EE_{S2} = [ P / 8.2 ]^{4.0}$
Eje Tandem (1 eje ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TA1}$ )	$EE_{TA1} = [ P / 14.8 ]^{4.0}$
Eje Tandem ( 2 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TA2}$ )	$EE_{TA2} = [ P / 15.1 ]^{4.0}$
Ejes Tridem (2 ejes ruedas dobles + 1 eje rueda simple) ( $EE_{TR1}$ )	$EE_{TR1} = [ P / 20.7 ]^{3.9}$
Ejes Tridem (3 ejes de ruedas dobles) ( $EE_{TR2}$ )	$EE_{TR2} = [ P / 21.8 ]^{3.9}$
P = peso real por eje en toneladas	

**Fuente:** cuadro 6.3 ecuaciones para ejes equivalentes MTC2018 “suelos y pavimentos”.

## ANEXO 9:

**Tabla 5:** Resultados evaluación del estado superficial

CARRIL N° 1 - REGRESO DE AV. PESQUEDA A LA AV. FEDERICO VILLA REAL			PCI SECCIÓN	ESTADO DE SECCIÓN
DESCRIPCIÓN	PCI	ESTADO		
Tramo N° 1	20	muy mala	31.42	MALO
Tramo N° 10	40	Mala		
Tramo N° 12	20	muy mala		
Tramo N° 15	52	Regular		
Tramo N° 17	19	muy mala		
Tramo N° 20	0	Fallado		
Tramo N° 21	32	Mala		
Tramo N° 23	48	regular		
Tramo N° 26	82	muy buena		
Tramo N° 28	4	fallado		
Tramo N° 35	38	Mala		
Tramo N° 39	22	muy mala		
CARRIL N° 2 - IDA DE AV. FEDERICO VILLAREAL A AV. PESQUEDA			PCI SECCIÓN	

DESCRPCIÓN	PCI	ESTADO		ESTADO DE SECCIÓN
Tramo N° 02	78	muy bueno	44.92	REGULAR
Tramo N° 06	63	bueno		
Tramo N° 08	52	regular		
Tramo N° 09	58	bueno		
Tramo N° 10	18	muy malo		
Tramo N° 12	58	bueno		
Tramo N° 15	43	regular		
Tramo N° 17	50	regular		
Tramo N° 18	35	malo		
Tramo N° 20	32	malo		
Tramo N° 22	42	regular		
Tramo N° 39	10	fallado		
<b>PCI DE LA AVENIDA CESAR VALLEJO</b>			<b>38.17</b>	<b>MALO</b>

## ANEXO 10

Tabla 6: Índice medio diario anual

MTC UGPP-DEC		INDICE MEDIO DIARIO ANUAL, POR SENTIDO Y TIPO DE VEHICULO																
En Valores Absolutos y Relativos																		
TRAMO	RUTA	ESTACION	SENTIDO	IMD	TIPO DE VEHICULO												SEMIFR	TRAYLRS
					AUT	CAM	CAMIONETA	MICROBUS	OMNIBUS	OMNIBUS	CAMION 2E	CAMION 3E	CAMION 4E					
JAEN-SAN	R-05N	E01	E	10714.92	8835	694	359	504	131	0	171	12	2	3	3			
			S	7829.553	6333	407	318	493	89	0	163	10	6	7	2			
			E+S	18544.47	15168	1101	678	997	220	0	334	22	8	11	5			
			%	100.0	81.8	5.9	3.7	5.4	1.2	0.0	1.8	0.1	0.0	0.1	0.03			

Fuente: formatos del ministerio de transporte, resolución de resultados de IMDA

## ANEXO 11


Tabla 7: Pendiente de bombeo de acuerdo a la superficie .

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación <500 mm/año	Precipitación >500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2,0	2,5
Tratamiento superficial	2,5	2,5-3,0
Afirmado	3,0-3,5	3,0-4,0

Fuente: tabla 304 .03 estimación de bombeo según el MTC ,2018

## ANEXO 12

**Tabla 8:** Formatos del ministerio de transporte, resolución de resultados de Equivalentes (ESAL).

 Ministerio de Transportes y Comunicaciones	CALCULO DE EJES EQUIVALENTES ( ESAL )									FACTOR DE CRECIMIENTO	ESAL	
	IMD 2019	CARRIL DE DISEÑO (factor direccional)	IMDA	EJE EQUIVALENTE					TOTAL			
				CARGA VEH.	EJE DELANTERO	1º EJE	2º EJE	3º EJE				4º EJE
<b>Auto movil, Camioneta, Cmta Rural y Micro</b>	15168	7583.99	2768156.35							0.0001	22.02	33.3983661
	1101	550.36	200881.4							1.1500	22.02	5086689.6
	678	338.94	123713.1							2.7500	22.02	7491107.92
	997	498.6	181989	7tn	1.265					1.265	22.02	5070598.54
<b>Omnibus( 2E y 3E)</b>	<b>220</b>	110.19	40219.35	7-11tn	1.265	3.238				4.504	29.75	5388230.12
	<b>0</b>	0.21	76.65	0						0	29.75	0
<b>Camion(2E,3E,4E)</b>	<b>334</b>	166.92	60925.8	7-11tn	1.265	3.238				4.504	29.75	8162295.77
	22	11.21	4091.65	7-18 tn	1.265		2.019			3.285	29.75	399783.113
	8	3.83	1397.95	7-25 tn	1.265			2.088		3.353	29.75	139440.329
<b>Semitraylers(2S2,2S3,3S2.Y &gt;=3S3)</b>	11	5.3	1934.5	7-11-25tn	1.265	3.238		1.706		6.210	29.75	357341.988
<b>Traylers 2T2,2T3,3T2 y &gt;=3T3</b>	5	2.69	981.85	7-18-25tn	1.265		2.019	1.706		4.991	29.75	145762.083
										32.0107729		<b>32241282.9</b>



## ANEXO 13: Certificado de estudios de suelos

### ANEXO 13.1: Certificado de estudios de suelos de la calicata C-10

CALICATA C-10				
ESTRATO	E-01	E-02	E-03	E-1
PROF. (m)	0.00 – 0.0625	0.0625 – 0.15	0.15 – 0.30	0.30 - 1.50
SUCS	---	---	---	SM
DESCRIPCION	CARPETA ASFALTICA	AFIRMADO	HORMIGÓN	ARENA CON AGLOMERANTE LIMOSO
< 200	---	---	---	31.70 %
LL	---	---	---	0.00 %
LP	---	---	---	0.00 %
IP	---	---	---	0.00 %
% W	---	---	---	7.44 %
$\gamma_{seco}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	---	---	---	1.273
M.D.S.	---	---	---	1.675
D.C.H.	---	---	---	13.40
CBR (100%M.D.S.)	---	---	---	8.48

Dónde:

SUCS: Sistema Unificado Clasificación de Suelos.

< 200 : Partículas menores del tamiz N° 200.

LL : Limite Líquido.

LP : Limite Plástico.

IP : Índice Plástico.

%Wn : Contenido de Humedad Natural.

$\gamma_{seco}$  : Peso volumétrico seco (Ton/m<sup>3</sup>).

**INGEOMA**

*Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde*  
Jefe de Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales



Fuente: Estudio de suelos expediente técnico de la municipalidad provincial de Trujillo

**ANEXO 13.2: Certificado de estudios de suelos de la calicata C-04**

90

**CALICATA C-04**

ESTRATO	E-01	E-02	E-03	E-1
PROF. (m)	0.00 – 0.0625	0.0625 – 0.15	0.15 – 0.30	0.30 - 1.50
SUCS	-----	-----	-----	5M
DESCRIPCION	CARPETA ASFALTICA	AFIRMADO	HORMIGÓN	ARENA CON AGLOMERANTE LIMOSO
< 200	-----	-----	-----	31.09 %
LL	-----	-----	-----	0.00 %
LP	-----	-----	-----	0.00 %
IP	-----	-----	-----	0.00 %
% W	-----	-----	-----	10.22 %
$\gamma_{sicc}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	-----	-----	-----	1.285
M.D.S.	-----	-----	-----	1.693
O.C.H.	-----	-----	-----	13.20
CBR (100%M.D.S.)	-----	-----	-----	9.25

  
  
**Ing. Roberto Carlos Salazar Alcalde**  
JEFE DE LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS Y MATERIAS

Fuente: Estudio de suelos expediente técnico de la municipalidad provincial de Trujillo.

## ANEXO 15

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

Fuente: Manual de carreteras 2018

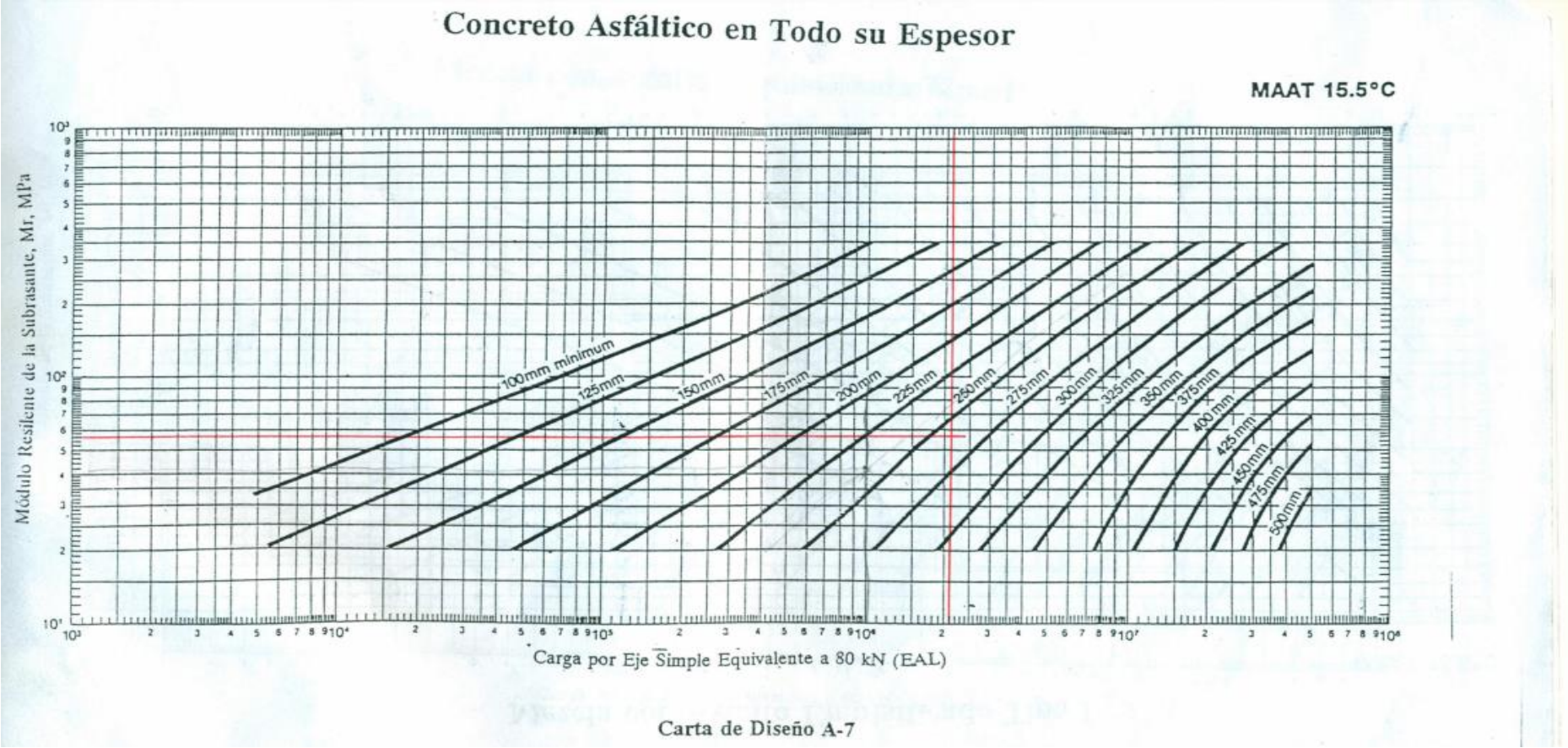
**ANEXO 16:** factores de corrección de las componentes del pavimento del manual de diseño de pavimentos.

**Table 8-1 Conversion Factors for  
Converting Thickness of Existing Pavement Components to Effective Thickness (T<sub>e</sub>)**

Classification of Material	Description of Material	Conversion Factors*
I	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Native subgrade in all cases.</li> <li>b. Improved Subgrade**—predominately granular materials—may contain some silt and clay but have P.I. of 10 or less.</li> <li>c. Lime modified subgrade constructed from high plasticity soils—P.I. greater than 10.</li> </ul>	0.0
II	Granular Subbase or base—reasonably well-graded, hard aggregates with some plastic fines and CBR not less than 20. Use upper part of range if P.I. is 6 or less; lower part of range if P.I. is more than 6.	0.1 - 0.2
III	Cement or lime-fly ash stabilized subbases and bases** constructed from low plasticity soils—P.I. of 10 or less.	0.2 - 0.3
IV	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Emulsified or cutback asphalt surfaces and bases that show extensive cracking, considerable raveling or aggregate degradation, appreciable deformation in the wheel paths, and lack of stability.</li> <li>b. Portland cement concrete pavements (including those under asphalt surfaces) that have been broken into small pieces (2 feet or less in maximum dimension [0.6 meters]) prior to overlay construction. Use upper part of range when subbase is present; lower part of range when slab is on subgrade.</li> <li>c. Cement or lime-fly ash stabilized bases** that have developed pattern cracking, as shown by reflected surface cracks. Use upper part of range when cracks are narrow and tight; lower part of range with wide cracks, pumping or evidence of instability.</li> </ul>	0.3 - 0.5
V	<p>Fractured Slab Techniques</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>a. Rubblization</li> <li>b. Crack/Break and Seat</li> </ul> <p>(When unstabilized base is present, use lower end of range. When stabilized base is present, use upper end of range.)</p>	0.4 - 0.7 0.5 - 0.7

Fuente: tabla 8.1 factores de corrección de las componentes del pavimento del manual de diseño de pavimentos 2008.

ANEXO 17: Carta de diseño del instituto del asfalto



## ANEXO 18

**Tabla 9:** Ejes Equivalentes según el número de repeticiones

Tipos Tráfico Pesado expresado en EE	Rangos de Tráfico Pesado expresado en EE
T <sub>P0</sub>	> 75,000 EE ≦ 150,000 EE
T <sub>P1</sub>	> 150,000 EE ≦ 300,000 EE
T <sub>P2</sub>	> 300,000 EE ≦ 500,000 EE
T <sub>P3</sub>	> 500,000 EE ≦ 750,000 EE
T <sub>P4</sub>	> 750,000 EE ≦ 1'000,000 EE
T <sub>P5</sub>	> 1'000,000 EE ≦ 1'500,000 EE
T <sub>P6</sub>	> 1'500,000 EE ≦ 3'000,000 EE
T <sub>P7</sub>	> 3'000,000 EE ≦ 5'000,000 EE
T <sub>P8</sub>	> 5'000,000 EE ≦ 7'500,000 EE
T <sub>P9</sub>	> 7'500,000 EE ≦ 10'000,000 EE
T <sub>P10</sub>	> 10'000,000 EE ≦ 12'500,000 EE
T <sub>P11</sub>	> 12'500,000 EE ≦ 15'000,000 EE
T <sub>P12</sub>	> 15'000,000 EE ≦ 20'000,000 EE
T <sub>P13</sub>	> 20'000,000 EE ≦ 25'000,000 EE
T <sub>P14</sub>	> 25'000,000 EE ≦ 30'000,000 EE
T <sub>P15</sub>	> 30'000,000 EE

Fuente: Elaboración Propia

Fuente: cuadro 6.15 de Ejes Equivalentes según el número de repeticiones del MTC -2018

## ANEXO 19

**Tabla 10:** Análisis de los tratamientos alternos del Asfalto tramo I margen derecha

# H D M - 4

HIGHWAY DEVELOPMENT & MANAGEMENT

## Relaciones Beneficio Coste

Nombre del estudio: Programa de Rehabilitación de la AV.Cesar Vallejo

Fecha de ejecución: 05-12-2019

Moneda: U S Dollar (millones)

Tasa de descuento: 12.00% .

Tramo: 3000TPDA/MALO

Alternativa	Valor actual de los costes totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costes de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E- C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Alternativa de los tratamientos	0.213	0.190	0.190	0.562	0.000	0.372	1.745	1.961	112.6 (1)
Alternativa de 5cm de refuerzo	0.182	0.159	0.159	0.463	0.000	0.304	1.669	1.915	138.1 (1)
Alternativa de 8cm de refuerzo	0.213	0.190	0.190	0.562	0.000	0.372	1.745	1.961	112.6 (1)
Alternativa Carpeta de rodadura	0.213	0.190	0.190	0.562	0.000	0.372	1.745	1.961	112.6 (1)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Fuente: HDM4

**Tabla 11:** Análisis de los tratamientos alternos del Asfalto tramo I margen Izquierda.

Subreport - Cost

3000TPDA,

5

6

7

8

9

3000TPDA,

0

1

2

3

4

Tramo: 3000TPDA/REGULAR

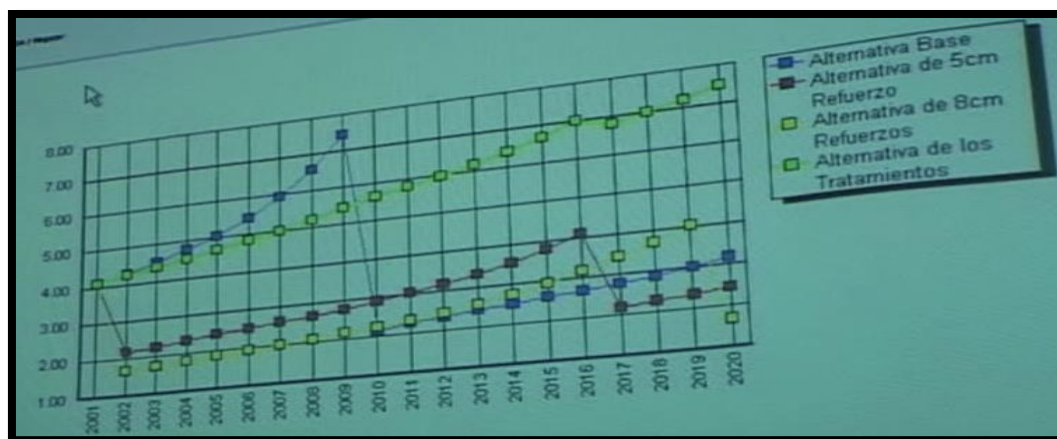
Alternativa	Valor actual de los costos totales de la administración (RAC)	Valor actual de los costos de capital de la administración (CAP)	Incremento en Costes de la Administración (C)	Disminución en Costes de los Usuarios (B)	Beneficios Exógenos Netos (E)	Valor Actual Neto (VAN = B + E - C)	Ratio VAN/Coste (VAN/RAC)	Ratio VAN/Coste (VAN/CAP)	Tasa Interna de Rentabilidad (TIR)
Alternativa Base	0.023	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Alternativa de 5cm de refuerzo	0.273	0.250	0.250	1.076	0.000	0.826	3.026	3.311	200.7 (3)
Alternativa de 8cm de refuerzo	0.251	0.251	0.234	-7.503	0.000	-7.757	-30.092	-30.175	No Solution
Alternativa Carpeta Asfáltica	0.273	0.250	0.250	1.076	0.000	0.826	3.026	3.311	200.7 (3)
Alternativa de Tratamiento	0.273	0.250	0.250	1.076	0.000	0.826	3.026	3.311	200.7 (3)

El número entre parentesis es el número de soluciones de la TIR en el rango -90 a +900

Fuente: HDM4

**ANEXO 20:**

Figura 5: Grafica del comportamiento por tramo en el HDM4.



Fuente: HMD4

**ANEXO 21:**

Tabla 12: Optimización de recursos en el HDM4

Tramo de carretera	Clase de carretera	Longitud	IMD TM	Firme	Trabajos	Año	Coste (m\$)	Coste acum.	Coste de la inversión	NPV/CAP
3000TPDA/REGULAR	Primaria	1.0	18440	Bituminosa	5cm Refuerzo con	2019	0.1543	.	0.2	3.311
3000TPDA/MALO	Primaria	1.0	18440	Bituminosa	8cm Refuerzo con	2019	0.1929	.	0.3	1.961
3000TPDA/REGULAR	Primaria	1.0	18622	Bituminosa	5cm Refuerzo con	2020	0.1543	.	0.5	3.311
3000TPDA/MALO	Primaria	1.0	20960	Bituminosa	8cm Refuerzo con	2032	0.1929	.	0.7	1.961
3000TPDA/REGULAR	Primaria	1.0	22020	Bituminosa	5cm Refuerzo con	2037	0.1543	.	0.8	3.311



**ANEXO 22:** Matriz de operacionalización de variables

**Tabla 13:** Operacionalización de variables independientes

VARIABLE	DEF. CONC.	DEF. OPERAC.	INDICADORES	ESCALA MEDIC.
La transitabilidad	Nivel de servicio de la infraestructura vial que asegura un estado del flujo vehicular regular de un determinado periodo. (MTC,2015)	caracterización del tránsito	Identificar, describir y calcular: - estudio de clasificación vehicular.	Cualitativa nominal
		Estudios De Tráfico (mediante formatos establecidos por AASHTO 93).	- volumen de tráfico promedio diario. - volumen total de tráfico. - índice medio diario. - índice medio diario anual.	Cuantitativa de razón
		Proyección De Tránsito.	periodo de vida útil del pavimento. - tasa de crecimiento. - volumen de tránsito proyectado.	
		Trafico De Diseño (Tablas, y ecuaciones de diseño).	- Peso por Eje de los Vehículos de Carga y peso total - Determinación del ESAL.	

**Tabla 14:** Operacionalización de variables dependientes.

VARIABLE	DEF. CONC.	DEF. OPERAC.	INDICADORES	ESCALA MEDIC.
DISEÑO ESTRUCTURAL	Labor que permite conocer el estado de los pavimentos (Canturías e Ibañez, 2017)	Evaluación superficial por Método Pavement Condition Index (PCI).	- calcular el índice de integridad del pavimento -la condición operacional de la superficie. - Identificar la escala de clasificación PCI.	Cuantitativa de intervalo  Cualitativa Ordinal
		Evaluación estructural (por análisis de componentes)	-Determinación del Módulo de Reacción. -Determinación del Módulo de Resiliencia. -Utilización el método del CBR.	Cuantitativa de intervalo
		Diseño De Sobrecapas Para Pavimentos Flexibles Por El Instituto Del Asfalto.	-Determinar espesores de la carpeta de rodadura mediante cartas de diseño.	Cuantitativa de intervalo