



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

Comparación de resultados del diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO 93 y método mecanicista, Andahuaylas 2021

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**AUTOR:**

Prado Canchari Dante (ORCID: 0000-0003-0668-5998)

**ASESOR:**

Mg. Requis Carbajal, Luis Villar (ORCID: 0000-0002-3816-7047)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

“Diseño de Infraestructura Vial”

**LIMA-PERÚ**

**2022**

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de investigación a mis padres y maestros quienes me han acompañado en este camino largo para alcanzar mi crecimiento profesional.

### **AGRADECIMIENTO**

Manifiesto mi agradecimiento a la Universidad Cesar Vallejo por brindarme la oportunidad de titularme como ingeniero civil, a mi docente asesor por brindarme su tiempo y paciencia a fin de culminar con mi etapa de investigación. Agradezco especialmente a mi familiar por acompañarme y ayudar en el camino del profesionalismo.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>AGRADECIMIENTO</b> .....	<b>III</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>X</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	<b>34</b>
3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación.....	34
3.2 Variables y Operacionalización.....	35
3.3 Población y muestra de investigación.....	36
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.5 Procedimientos.....	37
3.6 Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos.....	38
3.7 Aspectos éticos.....	38
<b>IV. RESULTADOS</b> .....	<b>39</b>
<b>V. DISCUSIÓN</b> .....	<b>64</b>
<b>VI. CONCLUSIONES</b> .....	<b>70</b>
<b>VII. RECOMENDACIONES</b> .....	<b>72</b>
<b>REFERENCIAS</b> .....	<b>73</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>78</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Valores de calidad de roca triturada.....	8
<b>Tabla 2</b> Deflexión en Pavimento Rígido.....	10
<b>Tabla 3</b> Rango establecido de tráfico en caminos pavimentados.....	15
<b>Tabla 4</b> Requisitos Granulométricos de la base granular.....	19
<b>Tabla 5</b> Valores Mínimo de CBR para base granular.....	19
<b>Tabla 6</b> Requisitos granulométricos de la sub base granular.....	20
<b>Tabla 7</b> Requisitos de calidad de la sub base granular. ....	21
<b>Tabla 8</b> Fallas en pavimento flexible según PCI.....	23
<b>Tabla 9</b> Serviciabilidad de vía. ....	27
<b>Tabla 10</b> Confiabilidad en vía.....	27
<b>Tabla 11</b> Capacidad de drenaje.....	28
<b>Tabla 12.</b> Definición de Variables.....	35
<b>Tabla 13.</b> Operacionalización de Variables.....	36
<b>Tabla 14.</b> Características del estudio de tráfico vehicular. ....	39
<b>Tabla 15.</b> Factor de Corrección Estacional.....	39
<b>Tabla 16</b> Conteo vehicular.....	42
<b>Tabla 17</b> Cálculo del IMDS e IMDA.....	43
<b>Tabla 18</b> Tránsito Proyectado.....	43
<b>Tabla 19</b> Cálculo de ejes equivalentes.....	45
<b>Tabla 20</b> Ejes Equivalentes.....	48
<b>Tabla 21</b> Niveles de Confiabilidad.....	48
<b>Tabla 22</b> Parámetros Zr para confiabilidad.....	49
<b>Tabla 23</b> Error Normal Combinado.....	49

<b>Tabla 24</b> Índice de Serviciabilidad.....	50
<b>Tabla 25</b> Coeficiente de drenaje – Pavimento Flexible.....	55
<b>Tabla 26</b> Condiciones para Diseño de Pavimento Flexible AASHTO-93.....	58
<b>Tabla 27</b> Condiciones para dimensiones de capas de pavimento flexible.....	59
<b>Tabla 28</b> Temperatura y relación de Poisson.....	61

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Comportamiento de los pavimentos rígidos y pavimentos flexibles.....	10
Figura 2 Componentes de un pavimento rígido. ....	11
Figura 3. Estructura del pavimento flexible.....	12
Figura 4 Pavimento Flexible. ....	12
Figura 5 Deformación elástica – plástica de un Pavimento.....	13
Figura 6 Deformación de Esfuerzos. ....	14
Figura 7 Diagrama de Componentes del Pavimento Asfáltico.....	17
Figura 8 Asfalto a temperatura ambiente. ....	18
Figura 9 Comportamiento viscoelástico del pavimento.....	18
Figura 10 Rotura de pavimento asfáltico.....	21
Figura 11 Falla de Piel de Cocodrilo.....	24
Figura 12 Relación de densidad y de vacíos en la mezcla asfáltica.....	24
Figura 13 Exudación en Pavimento.....	25
Figura 14 Fisuras en Bloque.....	25
Figura 15 Evolución de metodología de análisis de diseño de pavimentos.....	29
Figura 16 Componentes de la metodología Mecanicista.....	29
Figura 17 Desempeño de la Vía y su predicción.....	31
Figura 18 Datos de entrada para respuesta de la modelo estructural.....	32
Figura 19 Ensayo de módulo dinámico.....	33
Figura 20 Relación entre $a_2$ de base granular y parámetros de resistencia.....	52
Figura 21 Relación entre $a_3$ de sub-base granular y parámetros de resistencia.....	53
Figura 22 Gráfica para determinar el módulo resiliente de capa asfáltica.....	54
Figura 23 Estructura de Pavimento flexible AASHTO – 93.....	57

Figura 24 Estructura de Pavimento AASHTO – 93 en hoja de cálculo.....	59
Figura 25 Gráfica para determinar el módulo resiliente.....	60
Figura 26 Pre modelación de pavimento flexible con Software WinDepav.....	62
Figura 27 Resultados del diseño de pavimento flexible con Software WinDepav...	63

## RESUMEN

El objetivo central de esta investigación corresponde a comparar los resultados del diseño de pavimento flexible con el método AASHTO-93 y Método Mecanicista a fin de averiguar la mejor opción a utilizar, para esta investigación la metodología utilizada es la de tipo aplicada en un nivel descriptivo, la población se concentra en los dos tipos de metodologías a evaluar lo mismo que la muestra. Como resultado de este informe se ha diseñado el pavimento en los dos métodos, en AASHTO – 93 las capas del pavimento por de 10 centímetros para la capa asfáltica, 15 para la sub base y 20 para la base y no se pudo identificar ecuaciones de deformación mientras que en el método mecanicista si ha calculado estas ecuaciones todas siendo menores de 1 como parámetro para que el pavimento cumpla con su función.

Con esta investigación se llega a la conclusión de que el método mecanicista en uno de los métodos científicos más recientes para modelar diseños de pavimentos flexibles utilizando parámetros de la zona en donde se va a realizar el proyecto al contrario del método AASHTO – 93 que solamente nos brinda las capas de la estructura.

**Palabras Clave:** AASHTO – 93, Método Mecanicista, Pavimento flexible, deformación, Métodos.

## **ABSTRACT**

The central objective of this research corresponds to compare the results of the flexible pavement design with the AASHTO-93 method and the Mechanistic Method in order to find out the best option to use, for this research the methodology used is the type applied at a descriptive level. , the population is concentrated in the two types of methodologies to evaluate the same as the sample. As a result of this report, the pavement has been designed in both methods, in AASHTO – 93 the pavement layers by 10 centimeters for the asphalt layer, 15 for the sub-base and 20 for the base and they were not in contact with the deformation reactions while in the mechanistic method if you have calculated these equations all being less than 1 as a parameter for the pavement to fulfill its function.

With this research, it is concluded that the mechanistic method is one of the most recent scientific methods to model flexible pavement designs using parameters of the area where the project is going to be carried out, contrary to the AASHTO - 93 method that only provides the layers of structure.

**Keywords:** AASHTO – 93, Mechanistic Method, Flexible pavement, deformation, Methods.

## I. INTRODUCCIÓN

En Latinoamérica se muestra la elaboración y ejecución de proyectos de pavimentos flexibles con el fin de unir poblaciones que se encuentran relativamente alejadas de las ciudades, o para conectar lugares en constante desarrollo y mejorar el transporte y la comunicación, sin embargo, la forma en cómo se diseñan estos pavimentos flexibles y sus características se han visto afectadas por los diversos elementos que no se consideran en el método AASHTO 93, que es el método con el que actualmente se diseñan la gran mayoría de pavimentos.

AASHTO 93 es un método empírico, elaborado básicamente para las condiciones de clima y calidad de materiales de Illinois, y como sabemos estas características del lugar son distintas a zonas tropicales o zonas relativamente altas, en su sistema suceden errores como el no acomodarse a las condiciones del lugar donde se propone el pavimento, las características de los materiales, las condiciones del clima y la forma de mantenimiento.

El autor Corredor M. (2016) para la evaluación del Método AASHTO 93, sostiene:

Las ecuaciones para el cálculo del Método AASHTO 93 fueron elaboradas considerando los resultados de comportamiento que el pavimento tendría al aplicar la forma estructural y las cargas a las que se va encontrar expuesta; debemos considerar en la parte estructural los materiales y su calidad, también la solución con las que se prepara las capas y los espesores de capa. (p. 10).

Tras lo descrito anteriormente, cuando llega el momento de aplicarlo o ejecutarlo, el diseño presenta distintas dificultades y el personal técnico llega a la conclusión de usar la combinación de este método, empírico, y el uso de método mecanísticos. Se debe indicar que el limitante de este método siempre estará ligado a las condiciones con las que se diseñó en la época.

El método mecanicista es aquel que bajo sus características busca tener un enfoque científico con la teoría suficiente para entender el análisis de un pavimento, su comportamiento, el clima y el tránsito de vehículos. La metodología nombrada en este párrafo tiene por finalidad hacernos conocer el comportamiento del pavimento con relación a su evolución en el tiempo y los daños o deterioros que en ese mismo lapso de tiempo pudiera presentar, entonces, se puede realizar el

dimensionamiento y diseño con la confiabilidad de que los valores propuestos serán suficientes para las fallas que pudieran ocurrir. Esta metodología se basa en el uso del recurso de mecánica de los sólidos, el cual sirve para calcular la respuesta del pavimento, ya sean deformaciones, esfuerzos y/o deflexiones).

Se sabe que, aunque el método mecanicista es distinto a los métodos empíricos como el AASHTO-93, presentan algunas características similares, por ejemplo, el criterio de diseño es el mismo, este criterio se basa en que la falla que presenta el pavimento se debe a la suma o cantidad de deformaciones a tracción o lo que se llama fatiga en la zona inferior de la capa asfáltica ; aunque también puede generarse la falla por la acumulación de la deformación vertical en la subrasante. Por lo tanto, no se toma en cuenta las fallas que podrían ocurrir en la base y sub base (Rondón y otros, 2007, p. 50)

En el Perú se carece de investigación acerca de los métodos mecanicistas, por lo cual resulta necesaria el ahondamiento en el tema, el cual nos ofrecerá nuevas formas de ingeniería en pavimento, además de calidad en los diseños y la comparación con los métodos empíricos. Por lo cual en la presente investigación se realizará una comparación a través de un análisis entre la alternativa AASHTO-93 y su software con el MÉTODO MECANÍSTICO y el Software WinDepav,

Por todo lo antes mencionado elijo este tema de investigación. La finalidad será realizar la comparación entre el método AASHTO 93 y el MÉTODO MECANICISTA en el diseño de un pavimento flexible, de esta manera se busca realizar la discusión de los resultados para afianzar conocimientos y prácticas con los métodos actuales. Los trabajos se realizan en el tramo Ramal KM0 - Cumbre Pacucha KM1.

Para lo antes mencionado se ha identificado un problema general de estudio el cual se basa en ¿Cómo realizar la comparación de resultados del diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA?

El trabajo de investigación presentado en este proyecto contiene una justificación tecnológica debido a que se presenta mayor marco teórico de temas enfocados a las nuevas metodologías de diseño de infraestructura vial y el cómo aplicarlas en la realidad problemática de nuestro país, debe entenderse que

actualmente se tiene un gran desconocimiento en los métodos mecanicistas comparado al método AASHTO 93, este último se ha utilizado en los últimos años desde su lanzamiento para el cálculo y diseño de pavimentos flexibles, sin embargo, gracias al avance de la tecnología y la investigación se ha evolucionado en metodologías, lo cual hace que cada país se encuentre preocupado en acomodarse a estas nuevas formas de diseño. Se debe destacar que el método mecanicista es capaz de determinar la acción del pavimento flexible en situaciones que el proyectista considere, que en algunos casos pueden llegar a ser críticas, en estas situaciones se consideran las cargas, el clima y el periodo de diseño.

Se considera también una justificación metodológica porque se va a utilizar nuevas metodologías que se encuentran actualmente aplicándose en países desarrollados como los Estados Unidos. A esto se le puede agregar que existe muy pocas referencias de investigaciones enfocadas al presente tema.

La presente investigación se considera de mucha importancia para la población ingenieril que se encuentran en constante búsqueda de nuevos métodos que tengan por finalidad mejorar los diseños propuestos para pavimentos flexibles, los beneficios son que se puede obtener resultados de las reacciones que llegue a tener un pavimento flexible en el periodo de diseño con el que se elabore y considerando las condiciones climáticas y de esfuerzo en el que se encuentren. Entonces las ventajas que observaremos se basarán en la comparación del diseño de pavimento flexible con el método AASHTO 93 y el Método mecanicista, además de esto se obtendrán conocimientos de los parámetros que utilizan los dos métodos para la elaboración del diseño.

Luego de obtener los resultados de investigación se podrá elaborar las recomendaciones que se dirigen hacia el mejoramiento de las técnica y usos de metodologías beneficiando la calidad de infraestructura vial del país. Adicionalmente la información recolectada podrá ser replicada en futuras investigaciones como referencia para estudiantes de ingeniería civil.

El objetivo primordial de esta investigación es elaborar un análisis comparativo de los resultados del diseño de pavimento flexible entre el método ASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA. Y la hipótesis general es que el análisis

comparativo entre los resultados del diseño de pavimento flexible entre el método ASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA concluye en que el método mecanicista se acomoda a las características ambientales y de esfuerzo en un determinado periodo siendo el ideal para la elaboración de diseño de pavimentos flexible, mientras que el AASHTO 93 utiliza procedimientos empíricos que utilizan parámetros establecidos.

## II. MARCO TEÓRICO

GARCIA Vargas, y otros (2014), en su tesis denominada *Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del metodo mecanicista empirico, con el metodo AASHTO 93* (Trabajo de graduación previo a la opción al grado de Ingeniero Civil). Universidad de el Salvador, San Salvador, tiene como objetivo general realizar la comparación y en análisis de un pavimento flexible utilizando las alternativas IMT-PAVE, CR-ME y el método AASHTO 93, también contempla los objetivos específicos, en primer lugar de comparar las variables y el método que cada metodología utiliza, así como identificar los beneficios y/o perjuicio que causaría en la estructura del pavimento, y como segundo objetivo específico se propone averiguar los parámetros que cada alternativa exige y la facilidad de encontrarlo en el medio donde se realiza la investigación. Los autores concluyen en que las metodologías mecanísticas son de gran ayuda con respecto a el dimensionamiento de los espesor, resultan ser mucho mas precisos al tener una imagen mucho mas claro en lo que respecta a espectros de carga; tambien concluyen que en comparación a la metodología AASHTO 93, el método CR-ME es más confiable ya que la información de clima como de deformaciones la hace mucho más puntual.

XINGQIANG (2012). *Risk analysis and reliability improvement of Mechanistic-Empirical pavement design* (Tesis presentada en cumplimiento parcial de los requisitos para el grado de Doctor en Filosofía en Ingeniería). Universidad de Arkansas, Arkansas. La presente investigación tiene como objetivo final identificar riesgos e incertidumbres en los métodos de diseño de pavimentos empíricos mecánicos, además de proponer un nuevo procedimiento para el análisis de confiabilidad en MEPDG basado en la simulación de Monte Carlo. El autor concluye que el análisis análisis y la evaluación de riesgos podrían aplicarse para comprender la incertidumbre en el pavimento. diseño, y luego aumentar la confiabilidad del proceso de diseño. Usando holográfico Modelado jerárquico (HHM) y Proceso jerárquico analítico (AHP) El diseño fue inspeccionado con gran detalle. En total, se compararon y clasificaron 75 factores para Identificar parámetros críticos. En resumen, el método de confiabilidad propuesto fue “diseño probabilístico basado en Monte Carlo simulación de modelos de superficie de respuesta”, lo que permitió revelar que los diseñadores podrían evaluar fácilmente

un diseño preliminar y, en particular, investigar el influencia de la variación individual en el diseño del pavimento.

GILLET (2001), en su tesis titulada *Accuracy in Mechanistic Pavement Design Consequent upon Unbound Material Testing* (Tesis presentada a la universidad de Nottingham para el grado de doctor de Filosofía). Universidad de Nottingham, Southampton. El autor de esta tesis se propone como objetivo central Aislar e identificar las diversas inexactitudes que pueden introducirse en pruebas triaxiales de carga repetida de materiales de pavimento no ligados, por tanto también se genera el objetivo de determinar las diferencias en los resultados obtenidos de diferentes aparatos utilizando los mismos materiales bajo y por último determinar las diferencias en los parámetros de los materiales resultantes para el pavimento; concluyen en que los parámetros de los materiales para los diseños de pavimentos hicieron una cantidad insignificante de diferencia con la vida útil prevista del pavimento. Por tanto, las pruebas triaxiales de carga repetida sofisticadas y costosas de materiales en las capas inferiores (suelos de subrasante) no son beneficiosas en lo que respecta al análisis del pavimento.

JANÍA Arellano (2016) en la tesis nombrada *Implementación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico AASHTO 2008 en la Región Piura* (Tesis para optar el grado de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Vial). Universidad de Piura, Piura. La presente tesis tiene como objetivo fundamental llevar a efecto la guía de diseño de pavimentos M-E en nuestro país y lo que considera también contemplar modelos y estándares específicos para cada región dentro del territorio nacional, concentrándose principalmente en la ciudad de Piura. El autor concluye en que la metodología AASHTO 93 utilizada hasta la actualidad no muestra un desempeño moderado ante la alta tasa de tráfico y el clima de las carreteras del Perú ya que no considera los factores fundamentales para el correcto dimensionamiento como son velocidad, temperatura, cargas pesadas, entre otros; además concluye también que la guía de diseño mecánico empírico permitirá en un futuro no muy lejano el dimensionamiento y por ende la construcción de pavimentos que traigan con ellos confiabilidad y durabilidad favoreciéndose ellos mismo, las personas y los autos; y por último concluye en que durante el análisis de la carretera en evaluación se deja ver que el principal problema de ahuellamiento y fisuras es causado por la alta

densidad de tránsito, clima y material utilizados, los cuales no están destinados a soportar cargas pesadas.

FERREYRA Sarmiento, y otros (2020). En su tesis denominada *Análisis Mecánico Empírico y Criterios de falla de las estructuras del pavimento flexible en la Av. Metropolitana, Ate-2020* (Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil) Universidad Cesar Vallejo, Lima. Los autores proponen como objetivo determinar en qué medida el análisis mecánico empírico permitirá poner en consideración las opciones con las que se puede intervenir para moderar las fallas de los pavimentos flexibles en la avenida Metropolitana Ate-2020; además considera dos objetivos específicos; el primero es relacionar el análisis del método PCI y el método Mecánico Empírico; y analizar cuál es la relación entre el análisis mecánico empírico y los factores influyentes en la avenida Metropolitana, Ate-2020. Se concluye en que el programa WinDepav propuesto por la guía mecánica calcula en qué medida la carretera se deteriora, en este caso la carretera de la avenida metropolitana presenta principalmente agrietamiento sobre pasando el número por nueve veces mayor en la fibra interior, mientras que el PSI calculó el estado de deterioro del pavimento, pero de manera superficial, este método indicó diecinueve fallas.

En cuanto a las bases teóricas para la presente investigación desarrollaremos en primer lugar conceptos sobre CBR para posteriormente tocar temas sobre pavimento como materia de estudio en esta tesis.

Según el autor H. Huang (2004) en su libro *Pavement Analysis and Design* conceptualiza el CBR de la siguiente manera:

Se llama CBR o California Bearing Ratio a una prueba de penetración, esta consiste básicamente en utilizar un pistón estándar de 2 pulgadas, esta se utiliza para realizar una penetración en el suelo a una tasa estándar de 0.05 pulgadas por minuto. Se realiza la penetración hasta 0.5 pulgadas que representa a 12.7 milímetros y la relación que guarda con el soporte de la roca que se ve triturada se llama CBR.

**Tabla 1** Valores de calidad de roca triturada

<b>P</b>	<b>Pr</b>
0.1 in. (2.5 mm)	1000 psi (6.9 MPa)
0.2 in. (5.0 mm)	1500 psi (10.4 MPa)
0.3 in. (7.6 mm)	1900 psi (13.1 MPa)
0.4 in. (10.2 mm)	2300 psi (15.9 MPa)
0.5 in. (12.7 mm)	2600 psi (17.9 MPa)

Nota: P = Penetración; Pr = Presión. Tomado de Manual de Pavement Analysis and Design, 2004, p. 291.

El autor Williams (2021) menciona que el CBR es la prueba que compara la resistencia a la penetración de un determinado material con la de una piedra triturada. Es así que generalmente la arcilla tiene un valor de menos al 20%, mientras que las piedras se encuentran en un valor de entre 80% a 100% de CBR (p. 8).

“El pavimento es aquel que se encarga de recibir las cargas que genera el tránsito y transferirlas a las capas que se encuentran por debajo de la superficial de manera regular o igual” (Garzon y Hernández, 2018, p. 10).

Para Garcia en Concepto de Pavimento (2018) nos dice:

El pavimento exige ciertas condiciones para que se pueda considerar funcional como con la verticalidad, el trazo horizontal que se plantea, el ancho de la calzada, la resistencia a considerar que va a soportar, las fallas como el agrietamiento y, por último, pero no menos importante la forma de adherencia entre el vehículo y el pavimento llevándolo inclusive a situaciones extremas como cuando está húmeda. Es importante tomar en cuenta que los materiales que realizan el trabajo de soporte y que tienen mayor capacidad de carga se deben colocar en las capas superiores, mientras que los que son propensos a no sostener cargas pesadas, se colocan en las capas inferiores tomando en cuenta que son materiales que se encuentran de forma natural y por lo tanto resultan ser económicas y viables o fáciles de encontrar. Es importante considerar la forma en la que se va a construir el pavimento, en primer lugar, de importancia de debe tener la compactación y la humedad puesto que, si no se consolida bien, posteriormente cuando los vehículos transcurran por encima de la capa asfáltica el material se acomodará por efecto de las cargas y se producirían deformaciones (párr.

1)

Cuando la estructura de pavimento se encuentra asentada sobre una fundación correctamente elaborada, la principal función que contempla es la de ofrecer una superficie de rodadura correcta que va a buscar que los vehículos estén seguros y confortables, entonces, se puede transitar a velocidades propuesta incluso cuando la condición climática sea desfavorable. (Universidad Mayor de San Simon, 2004, p. 2)

Con respecto al peligro que genera las fallas en el pavimento, Luo (2005) refiere que estos se presentan de forma en que se pueden percibir a simple vista, sin embargo, la relación entre el deterioro del pavimento y la condición del pavimento no se encuentra correctamente definida es verificable que la capacidad de un pavimento flexible es afectada por fallas observables. Las fallas que se presentan se pueden dividir en fallas estructurales y fallas funcionales, la primera refiriéndose a la capacidad de carga del pavimento y la segunda a la calidad de conducción y seguridad de la superficie (p. 10).

Por otro lado, Rashad y Tarefder (2020) indican que generalmente se reconocen dos tipos de pavimentos: pavimento flexible y pavimento rígido, sin embargo, también es posible una combinación de estos dos pavimentos, y se denomina pavimento compuesto. Simplemente, se puede colocar una capa de capa de asfalto encima de una capa de hormigón para crear un pavimento compuesto (p. 2)

Los pavimentos dichos propiamente se pueden dividir en dos tipos, uno el pavimento rígido y el pavimento flexible, el primero se basa en el uso de concreto u hormigón y en el segundo se utiliza concreto asfáltico.

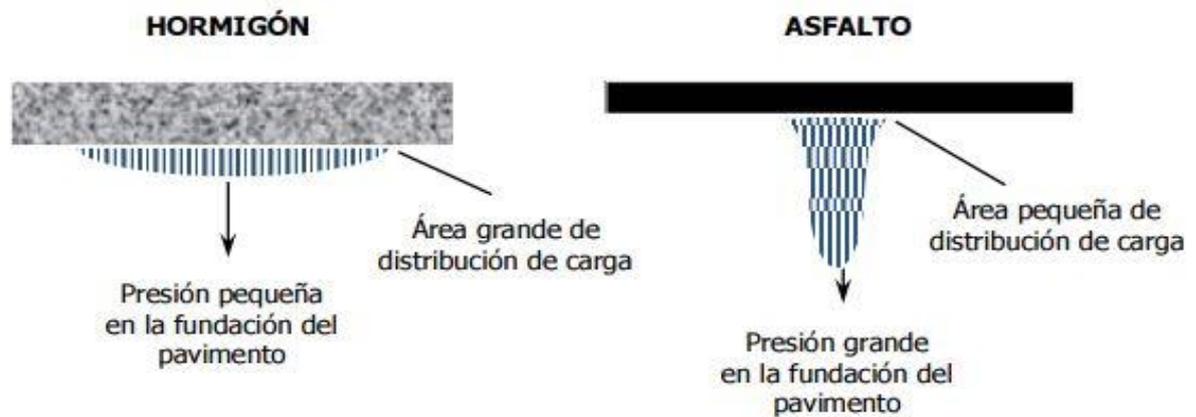


Figura 1 Comportamiento de los pavimentos rígidos y pavimentos flexibles. Tomada de «Manual de Diseño de Pavimentos», por V. Corso. 2006, p. 1.

El pavimento rígido es aquel que se encarga de proporcionar la estabilidad estructural necesaria para el soporte de las cargas que los vehículos ejercen, además está elaborada de hormigón, se trata de que la carga sea distribuida en toda la losa de concreto y ejercer menos carga a la subrasante. Los pavimentos rígidos se diseñan básicamente para resistir a la fatiga que se trata de la variación estructural que ocurre internamente entre los materiales del concreto al estar sometidas a cargas constantes de tráfico, cuando ocurre falla se observan las grietas. (Deshmukh , 2017, p. 451)

**Tabla 2** Deflexión en Pavimento Rígido

N°	DC (mm)		TC – eficiencia (%)
	LC	LD	
1	0.202	0.077	37.85
2	0.205	0.081	39.56
3	0.227	0.085	37.70
4	0.246	0.079	32.03
5	0.198	0.077	38.59
6	0.220	0.083	37.86
7	0.253	0.079	31.13
8	0.191	0.083	43.52
9	0.191	0.079	41.22
10	0.202	0.083	41.12

Nota: DC = Deflexión corregida; TC = Transferencia de carga; LC = Losa Cargada; LD = Losa descargada. Tomado de Desing of Rigid Pavement: Hypothesis, 2017, p. 451.

Las fallas más conocidas en lo que respecta a pavimento rígido son las fisuras transversales y longitudinales causadas por fatiga cuando el espesor de la losa no es la correcta, erosión o asentamientos. También existen las fallas de erosión por bombero y escalonamiento lo que es básicamente cuando el agua se encuentra en movimiento junto al material que se encuentra por debajo de la losa de concreto, posteriormente este material emerge a la superficie a consecuencia de la acción de la carga. (H. Calo, 2012, p. 4)

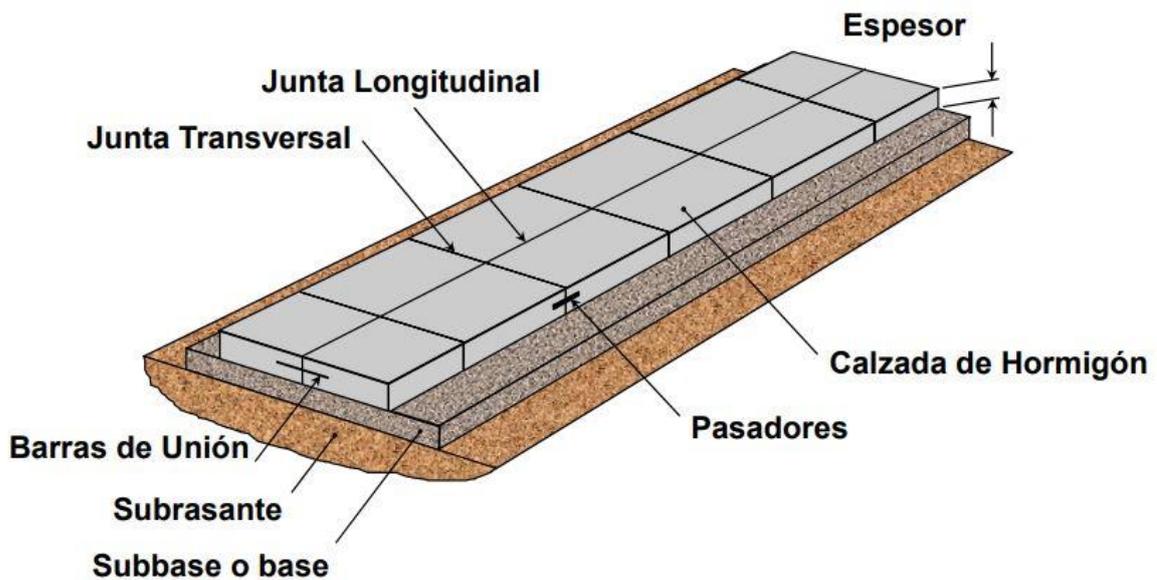


Figura 2 Componentes de un pavimento rígido. Tomada de «Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón», por H. Calo. 2012, p. 3.

Los pavimentos flexibles suelen revestirse con materiales asfálticos. Estos pavimentos son llamado flexible porque las estructuras del pavimento pueden flexionarse o doblarse bajo una carga de tráfico. Una estructura de pavimento flexible requiere varias capas de materiales porque estas capas no son lo suficientemente rígidos para distribuir la carga de la rueda a un área grande. Debajo de la capa de asfalto, se ve comúnmente una capa base de agregado triturado. Debajo de la capa base, también se utiliza una capa de subbase en función de la resistencia de la subrasante. El suelo se puede mejorar compactando o mezclando un poco de suelo mejorado, molienda de asfalto, agregado de baja calidad en función de la disponibilidad de estos materiales y el grado de mejora requerida.



*Figura 3.* Estructura del pavimento flexible. Tomada de «Cartilla-Guía ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito», por Garzon y Hernandez. 2018, p. 5.

“El mortero de asfalto, bicapa, micro pavimentos, mezclas calientes y frías de asfalto y macadam asfáltico son considerados como capas de rodadura que se encuentran sobre capas granulares.” (MTC, 2013, p. 24)



*Figura 4* Pavimento Flexible. Tomada de «Pavement Design: Materials, Analysis, and Highways», por Rashad y Tarefder, 2020, p. 23.

El comportamiento elástico del pavimento va a permitir averiguar el módulo de elasticidad del suelo, esto se realiza a través de ensayos y el predominante es el CBR. La presión que se genera al suelo resulta ser permanente entonces se genera a deformación elástica. (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 3)

Para entender el concepto del comportamiento elástico – plástico se debe saber que el suelo sobre el cual se apoya el pavimento sufre de variaciones de cargas y descargas.

Entendamos que cuando un vehículo sea del tipo cualquiera se acerca a un punto al que nombraremos “A”, entonces sucede que el terreno comienza con la deformación y llega a la deformación máxima cuando el vehículo se encuentra precisamente en el punto “A” a lo que llamaremos deformación total. Posteriormente a ese proceso el vehículo comienza a alejarse y el terreno intenta regresar a su lugar, lo cual no consigue, de aquí concluimos que la deformación que se recupera y vuelva a su estado normal se llama deformación elástica y la que no recupera su posición inicial se llama deformación plástica. A esto le llamamos Plastificación. (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 4)

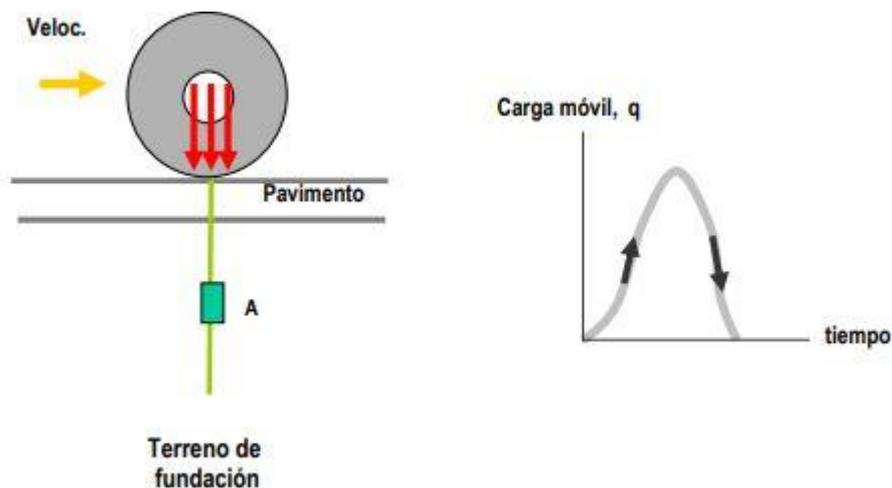


Figura 5 Deformación elástica – plástica de un Pavimento. Tomada de «Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos», por Minaya y Ordóñez, 2006, p. 4.

El momento en el que la llanta se posiciona sobre el pavimento asfáltico genera esfuerzos horizontales y esfuerzos verticales, si hablamos de la estructura típica de pavimentos que se encuentran actualmente los esfuerzos horizontales se dispersan por la carpeta de asfalto, al principio en la parte superficial contiene un valor positivo, pero a medida que sucede la disipación pasa a un valor negativo en la estructura interna. Posteriormente se notarán las fisuras que han sido generadas por el proceso anteriormente explicado. Cuando hablamos de deformaciones debemos saber también que existen fallas sumamente ligadas a este problema lo

que provoca la deformación por tracción y el agrietamiento. (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 9)

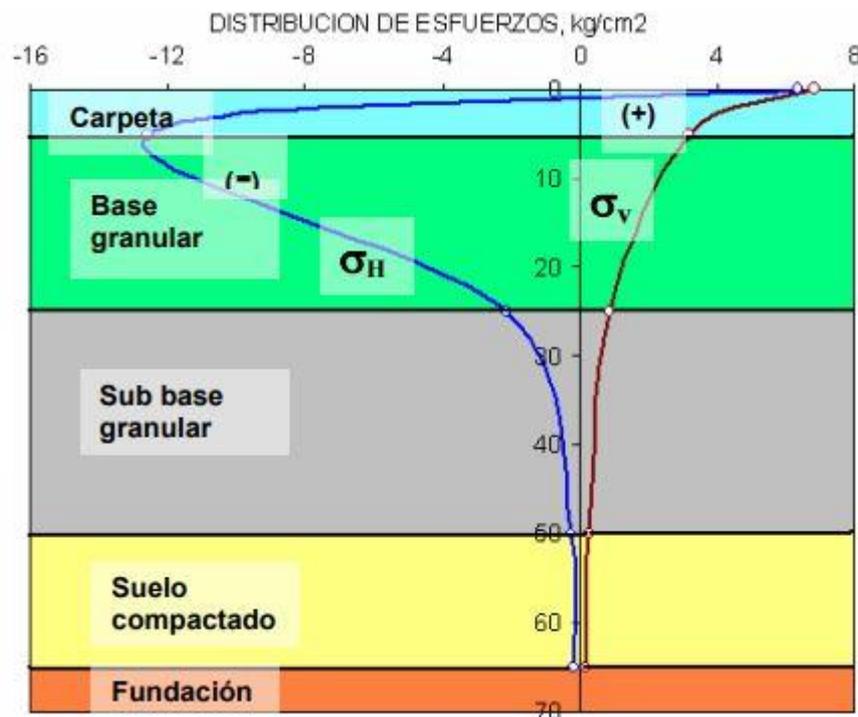


Figura 6 Deformación de Esfuerzos. Tomada de «Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos», por Minaya y Ordóñez, 2006, p. 9.

Para entender el concepto sobre demanda de tráfico debemos saber que en América Latina como en cada uno de sus países y específicamente Andahuaylas, la cantidad de tráfico ocasionado por vehículos y la mala distribución de vías para sus tipos, ha crecido considerablemente; esto generó el agrietamiento de las vías que se encuentran en mal estado y que posteriormente requieren de mantenimiento. Según Humpiri (2015) sostiene que “el pavimento es el encargado de sostener todas las cargas que el tránsito de vehículos va a producir sobre ella, entonces es importante conocer ciertas características de los vehículos como son: las presiones de las llantas, la frecuencia con que respectivo vehículo pasa y la velocidad” (p. 6)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones contempla lo siguiente:

El tráfico vial se considera como un aspecto importante y esencial que, antes de diseño, se necesita conocer con mucha precisión, esto a fin de que el dimensionamiento y diseño de la vía de pavimento sean satisfactorias. Cuando se realiza el IMDA o el

estudio del Índice Medio Diario Anual se debe conocer también la clasificación de cada vehículo. En los casos en que hubiera una fuente de información continua, precisa o que los flujos fueran muy pequeños, deberá justificarse adecuadamente la elección del tamaño la muestra. (2013, p. 73)

Según (AASHTO-93, 1993) La información de tráfico requerida incluye cargas de eje, configuración de eje y número de aplicaciones. La prueba ASSHO demuestra que el daño que provoca una carga definida en un solo eje se representa por 18000 libras, como carga única, una carga de 12000 libras no causó daños, y que se requirieron 23 aplicaciones de carga de 12000 libras en un solo eje para poder causar daño o simplemente la reducción de la capacidad de carga. Una carga que equivale a 18000 libras y que se ejerce en un solo eje con el número de repeticiones definido lo que provoca daños por la constancia en aplicación y el conteo continuo se le denomina factor de equivalencia.

El número de repeticiones en un solo eje equivalente a 18000 libras y que genera daños tan solo en una prueba es a lo que se le llama factor de equivalencia de carga.

**Tabla 3** Rango establecido de tráfico en caminos pavimentados

<b>TT</b>	<b>RTP</b>
Tp5	> 1000,000 EE ≤ 1 500,000 E
Tp6	> 1 500,000 EE ≤ 3 000,000 EE
Tp7	> 3 000,000 EE ≤ 5 000,000 EE
Tp8	> 5 000,000 EE ≤ 7 500,000 EE
Tp9	> 7 500,000 EE ≤ 10 000,000 EE
Tp10	> 10 000,000 EE ≤ 12 500,000 EE
Tp11	> 12 500,000 EE ≤ 15 000,000 EE
Tp12	> 15 000,000 EE ≤ 20 000,000 EE
Tp13	> 20 000,000 EE ≤ 25 000,000 EE
Tp14	> 25 000,000 EE ≤ 30 000,000 EE
Tp15	> 30 000,000 EE

Nota: TT = Tipo de Tráfico; RTP = Rango de Tráfico Pesado; EE = Ejes Equivalentes. Tomado de Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos MTC, 2014, p. 72.

Uno de los principales problemas que presenta el pavimento flexible con respecto al tráfico es el daño que causan los neumáticos de base ancha, los autores Al-Qadi y Wang (2009), menciona que la industria del neumático no va acorde con la industria del pavimento cuando relacionan los daños que le hacen los neumáticos y sus cargas al pavimento, una de las actualizaciones con respecto a llantas ha sido el cambio de dobles neumáticos a neumáticos de base ancha, sin embargo, la primera generación de llantas de base ancha causaba daños significativos en el pavimento (p. 1).

En resumen el estudio de tráfico será parte fundamental en el diseño de pavimento para lograr predecir el alcance futuro al que llegará la estructura, el tiempo de vida del pavimento dependerá en demasía de este estudio de tráfico.

Se entiende que la estructura y Materiales del pavimento flexible se compone por cuatro capas, la primera, que es la superficial consta de asfalto llamándose entonces la capa asfáltica o capa de rodadura, la segunda consiguiente a la capa de rodadura se denomina base, seguida de la sub base y por último la sub rasante, esta es el terreno natural que encontramos en el área de ejecución y la cual es soporte para las otras tres capas que se encuentran por encima de ella. A continuación, desarrollaremos cada una de ellas.

El agente cementante negro conocido como asfalto se ha utilizado para la construcción de carreteras durante siglos, llamado capa de rodadura o capa asfáltica. Aunque existen depósitos naturales de asfalto, o roca asfáltica, la más utilizada en la actualidad se produce durante el refinado de petróleo crudo. El asfalto es un componente de la mayoría de los petróleos y está aislado a través del proceso de refinación (MAPA, 2014, p. 13)

La ventaja que trae consigo la utilización del asfalto en la ingeniería y las construcciones donde se aplique es la versatilidad con la que se caracteriza, sin embargo, se convierte en un sólido cuando se encuentra en temperaturas poco extremas, sin embargo, aplicándole el calor respectivo se puede convertir en un líquido, disolviéndolo en solventes o emulsionándolo. El asfalto es un cemento fuerte que se adhiere fácilmente y es altamente impermeable y duradero, lo que lo

hace particularmente útil en construcción de carreteras. También es muy resistente a las acciones de la mayoría de los ácidos y sales.

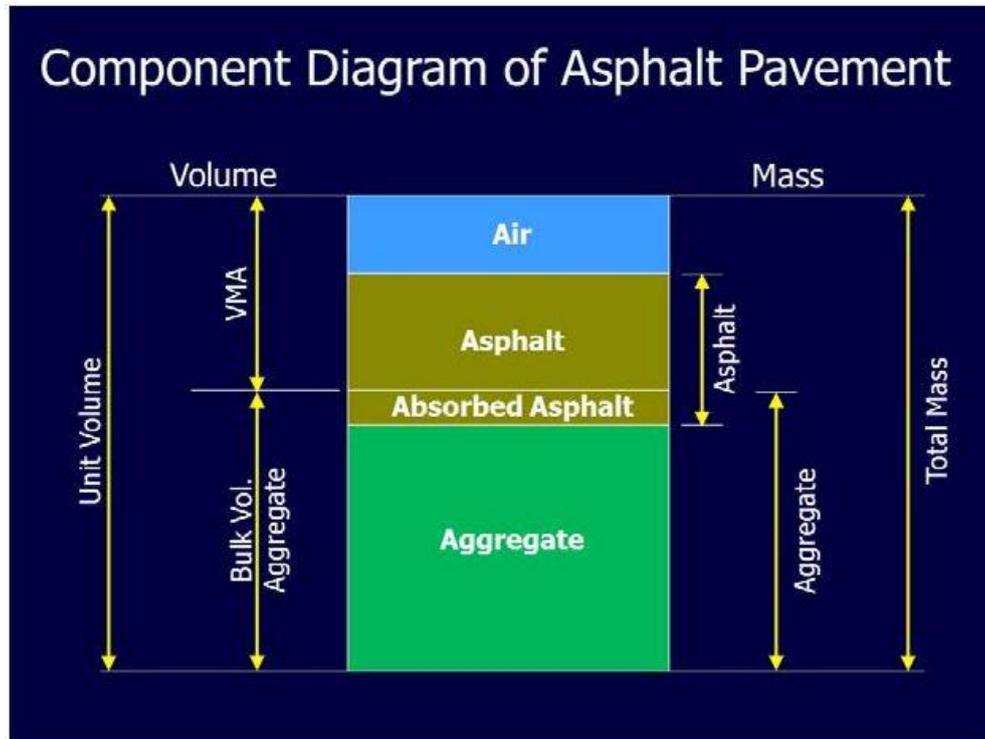


Figura 7 Diagrama de Componentes del Pavimento Asfáltico. Tomada de «ASPHALT Paving Desing Guide», por MAPA, 2014, p. 18.

El pavimento de asfalto se conoce por muchos nombres diferentes: pavimento de asfalto, hormigón asfáltico, planta mezcla, mezcla bituminosa, hormigón bituminoso, asfalto de mezcla en caliente, asfalto de mezcla en caliente y muchos otros. Es una combinación de dos ingredientes principales: agregados y aglutinante de asfalto. Los agregados totales son aproximadamente el 95% de la mezcla total en peso y se mezcla con 5% del aglutinante.

Según la ASTM se define al asfalto como tipo de concreto negro y su rigidez depende de la temperatura en la que se encuentre la zona, el asfalto a temperaturas de 135°C es mínimamente sólido, lo cual permite que cuando se junte con el agregado la adherencia sea correcta, también es probado que el asfalto es impermeabilizante y que no se afecta con el contacto con ciertos ácidos como las cales. (Minaya y Ordóñez, 2006, p. 13)

“La mezcla asfáltica que se utiliza para pavimento flexible se caracteriza por contener cemento y materiales pétreos en cantidades establecidas” (Garzon y Hernández, 2018, p. 19).



Figura 8 Asfalto a temperatura ambiente. Tomada de «Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos», por Minaya y Ordóñez, 2006, p. 14.

Como lo hemos mencionado antes el asfalto tiene un comportamiento viscoelástico, quiere decir que a mayores temperaturas más líquido se hace, sin embargo, en temperaturas altas el asfalto toma un comportamiento rígido, entonces si la temperatura es muy baja provocará en el asfalto grietas y posteriormente procederá a quebrarse. A esto llamamos en comportamiento mecánica del asfalto.

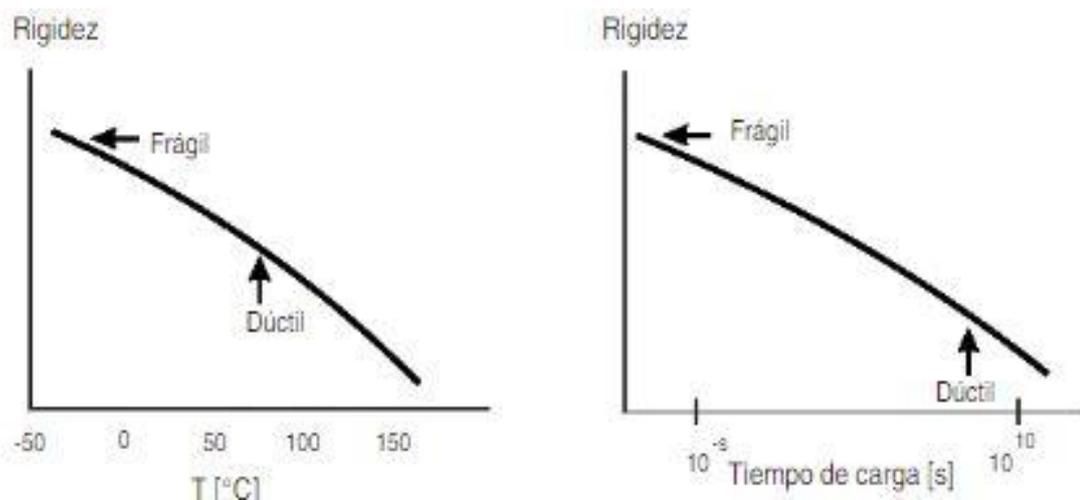


Figura 9 Comportamiento viscoelástico del pavimento. Tomada de «Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos», por Minaya y Ordóñez, 2006, p. 18.

Este segundo elemento se constituye por agregados que previamente han sido triturados, base granular, quiere decir que es material y no funciona como adherente, es muy importante hacer hincapié en sus características como la gradación la resistencia y su plasticidad. La principal función con la que se encuentra la base granular es la de servir como soporte estructural del componente.

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones brinda parámetros a los que nuestro diseño se debe ajustar.

**Tabla 4** *Requisitos Granulométricos de la base granular*

T	% Pasante en peso			
	Gradación A*	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100	-	-
1"	-	75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
#4	25-55	30-60	35-65	50-85
#10	15-40	20-45	25-50	40-70
#40	8-20	15-30	15-30	25-45
#200	2-8	5-15	5-15	8-15

\*En zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm

Nota: T = Tamiz; GA = Gradación A; GB = Gradación B; GC = Gradación C; GD = Gradación D. Tomado de Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción MTC, 2013, p. 180.

El material de la base será analizado en laboratorio para calcular el CBR, lo cual dependerá del tipo y el volumen de tráfico que exista en la zona de estudio.

**Tabla 5** *Valores Mínimo de CBR para base granular*

TT	ESAL	CBR (100% MDS)
Ligero y Medio	$\leq 5 \times 10^6$ ESAL	Mín. 80%
Pesado	$> 5 \times 10^6$ ESAL	Mín. 100%

Nota: TT = Tipo de Tráfico; ESAL = Equivalent Single Axle Loads (Cargas Equivalentes) Tomado de Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción MTC, 2013, p. 60.

Para definir la sub base granular, Pazmiño sostiene al respecto:

La sub base es un componente más de la estructura que conforma el pavimento flexible, se encuentra entre la base y la sub rasante, estando la última por debajo de la sub base, al igual que la base, pero con lagunas diferencias se conforma por material granular, el espeso de esta capa se definirá evaluando dos características, la primera el tipo de material que se utiliza y segundo la calidad del material. (2019, p. 3)

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Perú ha evaluado ciertos parámetros a los cuales el diseño de la sub base granular deben ajustarse.

**Tabla 6** *Requisitos granulométricos de la sub base granular*

Tamiz	% Pasante en peso			
	Gradación A*	Gradación B	Gradación C	Gradación D
2"	100	100	-	-
1"	-	75-95	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100
#4	25-55	30-60	35-65	50-85
#10	15-40	20-45	25-50	40-70
#40	8-20	15-30	15-30	25-45
#200	2-8	5-15	5-15	8-15

\*En zonas cuya altitud sea igual o superior a 3000 msnm

Nota: T = Tamiz; GA = Gradación A; GB = Gradación B; GC = Gradación C; GD = Gradación D. Tomado de Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción MTC, 2013, p. 180.

Adicionalmente el MTC nos brinda los requisitos de calidad, los cuales se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 7** Requisitos de calidad de la sub base granular.

Ensayo	Norma MTC	Requerimiento	
		<3000 msnm	≥ 3000 msnm
Abrasión	MTC E 207	50 % máx.	50 % máx
CBR (100% MDS)	MTC E 132	40 % mín	40 % mín.
Límite Líquido	MTC E 110	25 % máx	25 % máx.
Índice de Plasticidad	MTC E 111	6 % máx.	4 % máx.
Equivalente de Arena	MTC E 114	25% mín.	35% mín
Sales Solubles	MTC E 219	1% máx	1% máx.
Partículas Chatas y Alargadas	-	20 % máx.	20 % máx.

Nota: Tomado de Manual de Carreteras – “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción MTC, 2013, p. 265.

Cuando consideramos identificar las fallas en el pavimento flexible nos encontramos con una serie de beneficios futuros, ya que se podría reducir los costos asociados con las fallas en el pavimento. Uno de las principales causas para las fallas en el pavimento es el mal mantenimiento por lo cual se debe tener como principal consideración y objetivo realizar un método de mantenimiento de pavimento que sea eficaz y rentable.



*Figura 10* Rotura de pavimento asfáltico. Tomada de «The constructor Building ideas», por The Construction Encyclopedia, 2017, p. 1.

Existen diversos tipos de fallas que analizaremos, el primero fallas por exposición, aquí podemos entender que las fallas ocurridas por exposición se deben a las condiciones climáticas en la que el pavimento se encuentre, otra de las

razones para las fallas por exposición se debe al uso de componentes químicos en climas fríos o en una altura promedio, así también consideraremos en fallas por exposición a los rayos ultravioletas, este último causa que el pavimento entre en una fase de oxidación para posteriormente quebrarse. Por ejemplo si el pavimento se somete a temperaturas de mayores a 140 grados centígrados (punto de ablandamiento) se empezará a mover y desfigurar y cuando empiece con la reducción de la temperatura, el pavimento se seca o se contrae, por lo tanto ocurre la falla notándose el agrietamiento; por otro lado el agua también se considera como un agente para las fallas por exposición ya que a través de las grietas provocadas por el anterior caso el agua ingresará a las capas inferiores y causará daños estructurales, también se debe considerar a las cargas de vehículos y petróleo, estos vehículos tienen escapes de aceites lo que hace que el aglutinante del pavimento se ablande; y por último tenemos el envejecimiento de pavimentos flexibles, esto sucede a causa de todas las causas anteriores en lo que refiere a fallas por exposición, aunque también encontramos la falla debido a averías, aquí podemos considerar la angustia ambiental y el daño estructural, entonces en el primer caso se trata de los factores ambientales como el agua, nieve, productos químicos, entre otros y con respecto al daño estructural se deduce que es gracias a las sobrecargas, la humedad de la sub rasante, el efecto escarcha o estándares de diseño bajos. (The constructor Building ideas, 2017)

**Tabla 8** Fallas en pavimento flexible según PCI

FALLA N°	TIPO – NOMBRE	UNIDAD
1	GRIETA PIEL DE COCODRILO	m2
2	EXUDACIÓN DE ASFALTO	m2
3	GRIETAS DE CONTRACCIÓN (BLOQUE)	m2
4	ELEVACIONES - HUNDIMIENTO	m
5	CORRUGACIONES	m2
6	DEPRESIONES	m2
7	GRIETAS DE BORDE	m
8	GRIETAS DE REFLEXIÓN DE JUNTAS	m
9	DESNIVEL CALZADA – HOMBRILLO	m
10	GRIETAS LONGITUDINALES Y TRANSVERSALES	m
11	BACHES Y ZANJAS REPARADAS	m2
12	AGREGADOS PULIDOS	m2
13	HUECOS	N°
14	CRUCE DE RIELES	m2
15	AHUELLAMIENTO	m2
16	DEFORMACIÓN POR EMPUJE	m2
17	GRIETAS DESLIZAMIENTO	m2
18	HINCHAMIENTO	m2
19	DISGREGACIÓN O DESINTEGRACIÓN	m2

Nota: FAL = Falla; UND = Unidad. Tomado de Maestría en vías Terrestres Módulo III Diseño de pavimentos I Evaluación de Pavimentos, 2010, p. 6.

Los tipos de fallas en pavimentos flexibles son generalmente debido a fallas estructurales.

En primer lugar, tocaremos la falla de Piel de Cocodrilo o agrietamiento de cocodrilo, para esto Zevallos en su tesis refiere:

La piel de cocodrilo es aquella que presenta fisuras en forma de polígonos o parecidas a la piel de cocodrilo, estas pueden llegar a ser de hasta 50 centímetros, también se le conoce como agrietamiento por fatiga y lo que la provoca es el alto tráfico y la carga constante que esto ejerce en el pavimento. El origen del agrietamiento se encuentra en la parte inferior de paquete de asfalto, posteriormente emergen a la superficie y es en donde se conectan. Otra de las causas más comunes para esta falla es el envejecimiento del ligante asfáltico lo cual provoca que el pavimento no tenga la flexibilidad inicial, entonces de todo lo anterior se concluye en que la piel de cocodrilo nos permite ver la pérdida en cuanto a capacidad estructural dentro del pavimento ya que la resistencia disminuye de manera considerable. (2018, p. 33)



Figura 11 Falla de Piel de Cocodrilo. Tomada de «The constructor Building ideas», por The Construction Encyclopedia, 2017, p. 1.

Otra de las fallas más comunes es la de Exudación para lo cual los autores Cervantes y Salas refieren:

La exudación se entiende por definir el deterioro que existe en la parte superficial del asfalto, se puede notar que el asfalto ha tomado lugar en la superficie y al combinarse con los agregados finos provoca el alisamiento. Esta falla se puede originar por no tener suficiente contenido de aire en la mezcla o por la exageración de asfalto. (2016, p. 2)

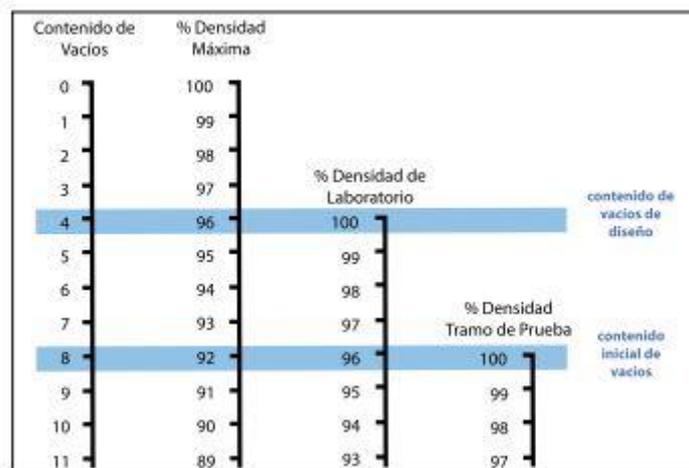


Figura 12 Relación de densidad y de vacíos en la mezcla asfáltica. Tomada de «Causas y Consecuencias de la Exudación», por Cervantes y Salas, 2016, p. 2.



*Figura 13* Exudación en Pavimento. Tomada de «Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca – 2017.», por Zevallos, 2018, p. 34.

Por otro lado, tenemos a las fisuras en bloque que al principio se presentan como rajaduras sin dirección y únicas o solas, luego de un tiempo se convertirán en fisuras continuas o en direcciones distintas gracias al tránsito y a la carga de los vehículos. La causa fundamental para este tipo de falla es la fatiga. Se puede considerar que las grietas finas son menor o iguales a 1 mm, las grietas medianas oscilan entre mayores a 1 mm y menos o iguales a 3 mm y las grietas gruesas son las que tienen el ancho mayor a 3mm (Fernandez Vasquez, 2019, p. 18)



*Figura 14* Fisuras en Bloque. Tomada de «Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca – 2017.», por Zevallos, 2018, p.

35.

Con respecto al diseño de pavimento flexibles los autores Rondon y Reyes (2015) mencionan que una estructura de pavimento flexible se define por la agrupación de capas asfálticas una debajo de la otra, estas se forman a base de materiales granulares las cuales a su vez descansan sobre un terreno natural o subrasante. (p. 27).

Según los autores Pichardo y García el método AASHTO-93 se basa principalmente en averiguar y encontrar un número estructural o SN, este SN va ser el que sea capaz de soportar la carga solicitada. Este método contempla en su relación los coeficientes  $a_{1,2,3}$ , los cuales contienen también cada uno sus números estructurales, estos números se calcularán con el uso de un Software, en este software encontraremos ciertos requerimientos de entrada para iniciar con el diseño como es el número de ejes que se va a considerar en el diseño, la serviciabilidad, confiabilidad y el módulo de resiliencia (2014, p. 10)

“El método AASHTO, o anteriormente AASHO y más conocido con ese nombre, se origina en el país de los Estados Unidos en los años sesenta, que observaba un ensayo que se realiza a escala en Illinois por dos años” (Salamanca y Zuluaga, 2014, p. 20)

“El método AASHTO se considera un método de regresión que se ha puesto en funcionamiento gracias a las pruebas en carretera de los años 50 y su guía ha sido publicada en el año 1972” (Escobar Bellido, y otros, 2017, p. 19)

Entre las variables de diseño del Metodo AASHTO – 93 se encuentra el tránsito el cual sirve de variable para determinar la carga equivalente acumulada y por ende el espesor de de la losa de hormigón, otra de las variables es la serviciabilidad lo cual se encarga de ofrecer a los conductores seguridad al manejar, por otro lado tenemos a pérdida del índice de serviciabilidad lo cual se determina con los valores del índice de servicio inicial y el índice de servicio terminal, lo cual significa la perdida de calidad de la carretera, esto se calcula con la fórmula  $\Delta PSI = p_o - p_t^{10}$ ; la confiabilidad es otra de las variables del método ASSHTO – 93 que basicamente es la confiabilidad en la estructura de pavimento para soportar determinado número de repeticiones durante su vida útil, otras de las variables son la desviación estándar del sistema, el módulo de resiliencia en la

subrasante, el módulo de resiliencia en la sub base, base y hormigón asfáltico, los coeficientes estructurales, el drenaje y el número estructural o SN. (Aristizabel Morales, y otros, 2014, p. 12)

Se puede entender al índice de serviciabilidad como el valor mínimo antes de realizar un mantenimiento a la vía.

Por otro lado la confiabilidad de la vía se refiere al factor de seguridad con que el diseño debe contar, se puede entender también como lo contrario a la probabilidad de falla, entonces este índice de confiabilidad nos proporciona un grado de certeza de que el pavimento cumpla su fin de manera correcta y favorable.

**Tabla 9** *Serviciabilidad de vía.*

<b>IS (p)</b>	<b>C</b>
0 - 1	Muy mala
1 - 2	Mala
2 - 3	Regular
3 - 4	Buena
4 - 5	Muy Buena

Nota: IS = Índice de Serviciabilidad; C = Calificación. Tomado de Diseño de un Pavimento Flexible por los métodos AASHTO y Racional, 2014, p. 13.

**Tabla 10** *Confiabilidad en vía*

<b>CF</b>	<b>NC, R, recomendado</b>	
	<b>U</b>	<b>R</b>
Interestatales y vías rápidas	85 – 99.9	80 . 99.9
Arterias Principales	80 – 99	75 – 95
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 – 80	50 – 80

Nota: CL = Clasificación Funcional; NC = Nivel de Confiabilidad, U = Urbano, R = Rural. Tomado de Diseño de un Pavimento Flexible por los métodos AASHTO y Racional, 2014, p. 15.

**Tabla 11** *Capacidad de drenaje*

<b>CD</b>	<b>TE</b>
Excelente	2 horas
Bueno	1 día
Regular	1 semana
Malo	1 mes
Muy malo	Agua no drenada

Nota: CD = Calidad de Drenaje; TE = Tiempo de Evacuación. Tomado de Diseño de un Pavimento Flexible por los métodos AASHTO y Racional, 2014, p. 21.

El método AASHTO-93 presenta algunas desventajas, es así que Stephanos (2007) explica que la mayor desventaja de los métodos de regresión a los cuales pertenece el AASHTO-93 es la limitación de su aplicación porque solo se pueden aplicar a condiciones que resulten similares a las condiciones en las que fueron diseñados, por ejemplo, el método tratado en este párrafo ha sido modificado al pasar de los años para acomodarlos a las condiciones de zona (p. 5).

Las metodologías mecanicistas pretenden tener un enfoque puramente científico, con un marco teórico suficiente que permita el análisis completo de la mecánica del comportamiento de un pavimento ante las acciones del clima y del tránsito vehicular. Esto es, un marco teórico en donde las propiedades fundamentales de los materiales se conocen, y se pueden determinar en laboratorio o en campo. Esta metodología facilita la predicción correcta de la evolución en el tiempo de los diferentes deterioros que se pudieran presentar y, por ende, aumentar en gran medida la confiabilidad de los diseños

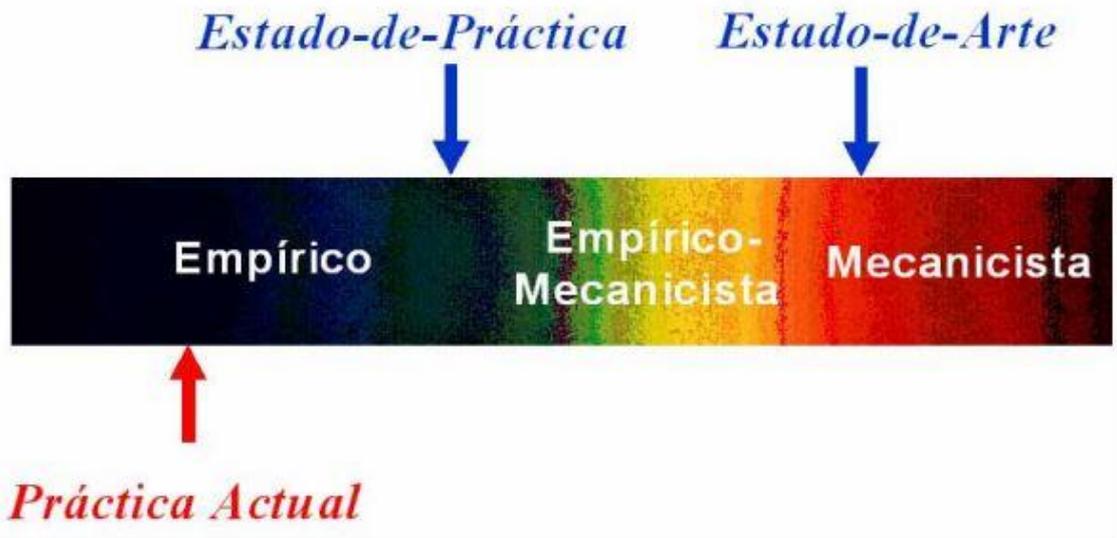


Figura 15 Evolución de metodología de análisis de diseño de pavimentos. Tomada de «Conceptos Mecanicistas en Pavimentos», por Garnica y Correa, 2004, p. 4.

A continuación, presentamos una ilustración de un esquema clave que permite comprender todos los componentes presentes en las metodologías mecanicistas

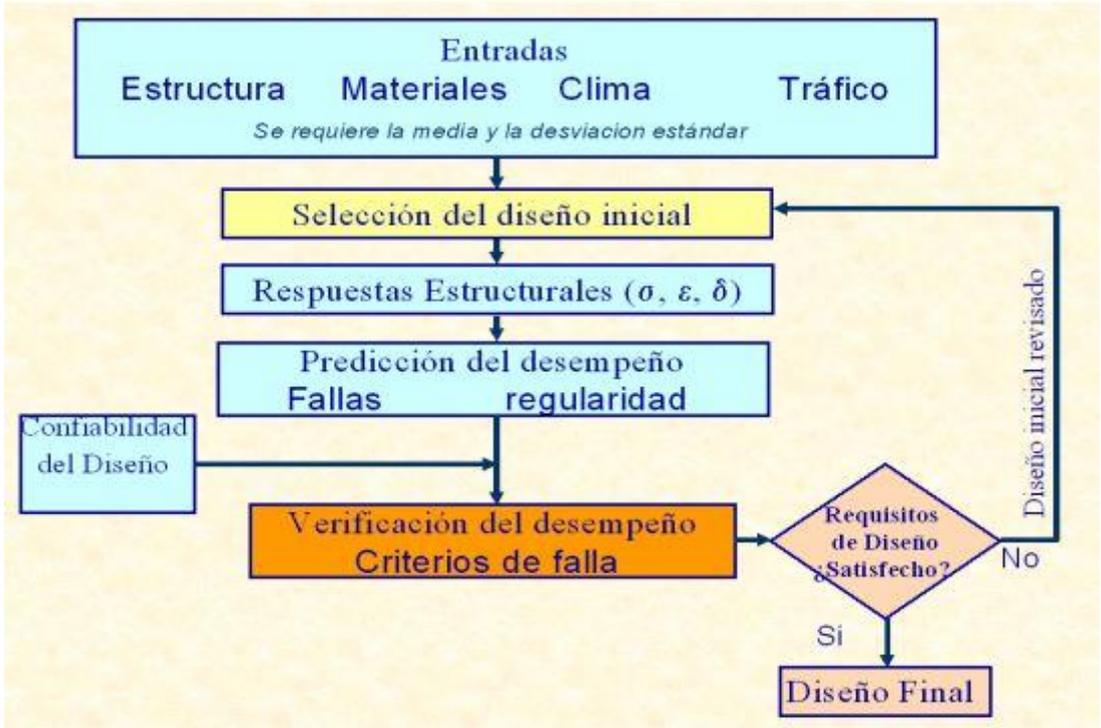


Figura 16 Componentes de la metodología Mecanicista. Tomada de «Conceptos Mecanicistas en Pavimentos», por Garnica y Correa, 2004, p. 8.

Cuando hablamos de los componentes de entrada en el método mecanicista nos referimos a ciertos criterios del diseño de pavimentos como son los espesores de las capas, las características de los materiales que se van a utilizar en cada una de las capas desde la sub rasante hasta la capa asfáltica, que serán módulos dinámicos o resilientes, el clima, precipitación y temperatura de la zona por donde se construirá la carretera, y por último pero no menos importante la cantidad de tránsito vehicular en ejes equivalentes o en distribución de cargas. Con el fin de realizar un primer diseño se hará un cálculo probabilístico o estimación de los valores de cada componente de entrada.

Luego de realizar el diseño preliminar seguirá el procedimiento del cálculo lo que va a generar datos que nos indicarán las respuestas que la estructura de pavimento tendrá. Nos proporcionaran información sobre la manera en cómo los esfuerzos se distribuyen, la cantidad de deformaciones y deflexiones que tendrán que soportar la estructura. Este cálculo por el método mecanicista tomará como teoría la elasticidad y por la cual se calcularán cada una de las capas, entonces se le llamará multicapas. Cuando el pavimento responde estructuralmente se podrá calcular el daño que va a sufrir en su etapa de funcionamiento para cualquier tipo de falla, existen las fallas por fatiga, los agrietamientos térmicos, deformaciones, nivel de regularidad medido a través del índice de Regularidad Internacional (IRI), entre otros.

Las ventajas más importantes del método mecanicista para diseño de pavimentos flexibles es que ya no se calculará solamente para el espesor de la estructura ya que se incluirán además las predicciones de durabilidad y calidad, se consideran los materiales y la estructura, se toma en cuenta en clima y la seguridad de la vía, la adaptabilidad a la zona donde se proyecte el pavimento y por último la predicción del desempeño del pavimento. (García, Gutiérrez y Hernández, 2014, p. 17)



Figura 17 Desempeño de la Vía y su predicción. Tomada de «Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empírico, con el método AASHTO 93», por García, Gutiérrez y Hernández, 2014, p. 17.

En el método mecanicista y sus conceptos se consideran los modelos de respuesta, los cuales básicamente son usados para identificar los esfuerzos y las deformaciones, además se debe mencionar que estas características dependen de las condiciones locales. Las respuestas donde se identifican los esfuerzos y deformaciones se utilizan para calcular los datos que ocurrirían en el pavimento cada mes, entonces se debe entender que la falla que se presente será relativa en distintos tipos de deterioro como agrietamiento o ahuellamiento. (García y otros, 2014, p. 19)



*Figura 18* Datos de entrada para respuesta de la modelo estructural. Tomada de «Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empirico, con el método AASHTO 93.», por García, Gutiérrez y Hernández, 2014, p. 19.

Cuando se obtenga el diseño inicial se deberá empezar a calcular las respuestas estructurales con respecto a deformación, deflexión y distribución de esfuerzos, se considera al pavimento como sistema multicapas y se utiliza la teoría de la elasticidad.

En el método empírico o AASHTO – 93 se realiza el conteo vehicular con el concepto de ejes equivalentes, a diferencia del método mecanicista que cuenta los camiones cargados; entonces el ESAL ya no se utiliza como un dato de entrada; lo que se quiere decir es que se trata de utilizar los vehículos considerando las cargas distribuidas en cada eje.

Con respecto a los materiales se determinan en ensayos de laboratorio, se trata del ensayo para mezclas asfálticas, módulo dinámico y el ensayo de Módulo de resiliencia.



*Figura 19* Ensayo de módulo dinámico. Tomada de «Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empirico, con el método AASHTO 93.», por García, Gutiérrez y Hernández, 2014, p. 24.

Con respecto al clima se tiene claro que es uno de los elementos con mayor importancia en el diseño mecanicista de los pavimentos flexibles, específicamente en los materiales, sus variables más importantes se encuentran en la temperatura y humedad, en la humedad encontraremos la precipitación lo cual influirá en otros agentes como el viento o radiación solar sobre todo en zonas de mayor altura.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1 Tipo, nivel y diseño de investigación**

##### **3.1.1 Enfoque de Investigación**

La presente investigación tendrá un enfoque cuantitativo ya que el proceso de elaboración es secuencial y numérica.

Según el autor Hernández, Fernández y Baptista El enfoque cuantitativo tiene la necesidad de medir, contar, estimar, calcular la magnitud o resultados de los problemas de la investigación, es así que la recolección de datos se hace parte fundamental de la investigación (2014, p. 4)

##### **3.1.2 Tipo de Investigación**

La presente investigación es de tipo aplicada.

La investigación aplicada es aquella que busca utilizar los conocimientos antes adquiridos y estudiados. Se usa la información de conocimientos de autores que investigaron el tema, así como de sus resultados, lo cual nos sirve para conocer la realidad de forma organizada y sistemática. (Vargas Cordero, 2009, p. 159)

##### **3.1.3 Nivel de Investigación**

La presente investigación es de nivel descriptivo.

Según su naturaleza o profundidad, el nivel de una investigación es aquel que mide el nivel de conocimiento que tiene el investigador o autor respecto al tema a estudiar y al problema planteado, entonces los distintos niveles de investigación usan métodos adecuados para desarrollar la investigación de una forma correcta. (Valderrama Mendoza, 2012, p. 39)

##### **3.1.4 Diseño de Investigación**

El diseño de la presente investigación será Diseño No Experimental.

Este diseño de basa en que los conceptos utilizados para la investigación se han elaborado con anterioridad sin tener necesariamente la intervención del autor. Entonces este diseño no va a realizar ninguna modificación a ninguna variable, tan solo se analiza el comportamiento de los pavimentos y los métodos con los cuales se va a diseñar y por último se analiza cada procedimiento.

## 3.2 Variables y Operacionalización

### 3.2.1 Identificación de variables

#### *Variable dependiente*

- PAVIMENTO FLEXIBLE

#### *Variable Independiente*

- MÉTODO AASHTO-93
- MÉTODO MECANICISTA

**Tabla 12.** *Definición de Variables*

<b>VARIABLES</b>	<b>DEFINICIÓN CONCEPTUAL</b>
Pavimento flexible	<p>Se define al pavimento flexible como la estructura conformada por cuatro capas, la de la superficie sirve como capa de rodadura mientras que las otras hacen el papel estructural y de resistencia.</p> <p>Es el pavimento con superficie asfáltica conformado por una o varias capas de asfalto y los cuales pueden apoyarse en un base y sub base granular. (Norma técnica CE.010, 2010, p. 33)</p>
Método AASHTO-93	<p>El método AASHTO-93 se entiende como un método empírico preocupado principalmente en obtener números estructurales capaces de soportar cargas, posteriormente se calcula las dimensiones de las alturas de cada capa.</p>
Método Mecanicista	<p>El método mecanicista es la nueva actualización en lo que se refiere a diseño de pavimentos. Esta metodología contempla variadas formas de diseño de pavimento flexible y datos específicos de la zona en donde se va a construir la estructura.</p>

Nota: Elaboración Propia

### 3.2.2 Operacionalización de variables

Tabla 13. Operacionalización de Variables

VARIABLES	TIPO	INDICADORES
Pavimento flexible	Dependiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Límites de Consistencia.</li> <li>- Granulometría.</li> <li>- Contenido de Humedad.</li> <li>- Densidad Máxima.</li> <li>- Velocidad.</li> <li>- Trazo</li> <li>- Perfil Longitudinal</li> <li>- Estudio de Tráfico</li> <li>- IMD</li> </ul>
Método AASHTO-93	Independiente	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Límites de Consistencia.</li> <li>- Granulometría.</li> <li>- Contenido de Humedad.</li> <li>- Densidad Máxima.</li> <li>- IMD</li> </ul>
Método Mecanicista		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Metodología AASHTO – 93</li> <li>- Clima</li> <li>- Software WinDepav</li> </ul>

Nota: Elaboración Propia

### 3.3 Población y muestra de investigación

#### 3.3.1 Población de estudio

La población de investigación son las metodologías para el diseño de concreto que se van a evaluar; AASHTO-93 Y MÉTODO MECANICISTA.

#### 3.3.2 Muestra de estudio

La muestra de estudio resulta ser las misma que la población de estudio.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnica:

Recolección de Datos: Se utiliza la técnica de recolección de datos para satisfacer las necesidades de los Software con los que vamos a trabajar ya que nos exigen datos de entrada tomadas solo en campo.

Instrumentos:

Fichas de observación: Las fichas de observación servirán para realizar las anotaciones de los datos en campo.

Hojas de Cálculo: Se consideran las hojas de cálculo con la finalidad de realizar parte del diseño.

Software AASHTO-93 Y MÉTODO MECANICISTA: Son necesarios estos instrumentos para el correcto dimensionamiento del diseño.

### **3.5 Procedimientos**

Para realizar la presente investigación se ha tomado en cuenta tres puntos importantes, los cuales serán ejecutados de manera secuencial.

1. Recolección de datos; en este punto se acumula toda la información con respecto a métodos de diseño de pavimento flexible, empíricos y mecanicistas, esta información deberá dar a conocer las variables y características de cada una. Se recolecta la información del tránsito de vehículos y sus tipos mediante el Conteo vehicular para posteriormente elaborar IMDA.
2. Estudios de Laboratorio; con el fin de elaborar un correcto diseño se hará necesario la evaluación de mecánica de suelos. Se tomará una muestra de calicata la cual se llevará a laboratorio en donde se realizan pruebas de Límites de Consistencia, Granulometría, Contenido de Humedad, Densidad Máxima según el Manual de Carreteras Suelos Geología, Geotecnia y Pavimentos.
3. Procesamiento de Datos y Resultados; en este punto se utilizarán los recursos físicos y electrónicos, aquí se deben procesar los datos tomados en campo y los resultados del estudio de mecánica de suelos. Se diseñará el pavimento con cada metodología para realizar la comparación correspondiente. Se realizará en primer lugar el diseño con el Método AASHTO – 93 y posteriormente con el Software WinDepav del método

mecanicista, utilizando los Manuales de carreteras Diseño Geométrico DG – 2014 según la Norma Técnica CE – 010 Pavimentos Urbanos

### **3.6 Métodos, instrumentos y procedimientos de análisis de datos**

El procesamiento de datos, se presentará en cuadros estadísticos (hojas de cálculo MS Excel) y gráficos elaborados a base de técnicas estadísticas para hacerlos comprensibles, a partir de los gráficos se analiza e interpreta las variables consideradas en la investigación las que deben estar orientadas a probar la hipótesis.

### **3.7 Aspectos éticos**

La presente investigación se realiza con las normas técnicas peruanas vigentes, además de tomar en cuenta metodologías que se utilizan en el extranjero; además los involucrados en la realización de la investigación muestran veracidad en los resultados obtenidos tras los ensayos y cálculos.

#### IV. RESULTADOS

Para realizar la presente investigación se tomará en cuenta dos metodologías concernientes al diseño de pavimentos flexibles, en primer lugar, el método AASHTO – 93 y en segundo lugar el método mecanicista. Elaboraremos en primer lugar un mapa de procedimiento para cada metodología, posteriormente desarrollaremos cada método con los correspondientes estudios básicos realizados para cada uno.

##### METODOLOGÍA AASHTO – 93

1. Elaborar el tránsito de diseño: En este paso se desarrolla la verificación del número de ejes equivalentes.

Para elaborar nuestros ejes equivalentes como primer paso identificaremos el peaje más cercano a la zona de estudio, en este caso se considera el Peaje de Pichirhua, además de eso debemos identificar el factor de vehículos livianos y vehículos pesados dependiendo al mes de estudio que lo proporciona el Ministerio de Comunicaciones, también se debe tomar en cuenta el tramo, el mes de control, el año de control, y el tiempo de estudio u obra en ejecución.

**Tabla 14.** *Características del estudio de tráfico vehicular.*

<b>Tramo</b>	RAMAL KM0 - CUMBRE PACUCHA KM1
<b>Mes de control</b>	Enero
<b>Año de Control</b>	2022
<b>Peaje cerca</b>	Pichirhua
<b>Sentido</b>	Ambos
<b>Departamento</b>	Apurímac

Nota: Elaboración Propia

**Tabla 15.** *Factor de Corrección Estacional*

<b>Factor de corrección Liviano.</b>	1.0429
<b>Factor de corrección Pesado.</b>	1.0749

Nota: Tomado de Factores de corrección vehicular del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

Se realiza el estudio de control con el conteo de siete días seguidos haciendo un resumen en el formato convencional de ida y de vuelta.

**Tabla 16** *Conteo vehicular*

DÍAS DE ESTUDIO DE CONTROL		AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				
				PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E	>= 3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
																					
05/01/2022	IDA	137	49	96	7	124	1	0	0	24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	VUELTA	122	45	83	6	118	2	0	0	21	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	TOTAL	259	94	179	13	242	3	0	0	45	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
06/01/2022	IDA	125	51	89	11	124	2	0	0	23	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0
	VUELTA	130	43	91	9	124	5	0	0	21	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0
	TOTAL	255	94	180	20	248	7	0	0	44	0	0	0	0	0	0	14	0	0	0	0
07/01/2022	IDA	128	52	92	3	118	1	0	0	20	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
	VUELTA	125	46	77	4	123	2	0	0	19	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	TOTAL	253	98	169	7	241	3	0	0	39	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
08/01/2022	IDA	135	37	82	7	117	3	0	0	5	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
	VUELTA	133	55	86	6	131	4	0	0	10	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	TOTAL	268	92	168	13	248	7	0	0	15	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
09/01/2022	IDA	128	51	86	4	125	4	0	0	26	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
	VUELTA	140	50	93	7	138	5	0	0	29	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	TOTAL	268	101	179	11	263	9	0	0	55	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0
10/01/2022	IDA	145	68	111	5	154	4	0	0	19	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	VUELTA	161	79	111	9	159	7	0	0	28	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
	TOTAL	306	147	222	14	313	11	0	0	47	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	0
11/01/2022	IDA	148	70	108	9	175	2	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	VUELTA	175	75	133	8	158	1	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	TOTAL	323	145	241	17	333	3	0	0	21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Nota: Elaboración Propia

A continuación, se realiza el cálculo del índice medio diario semanal y el índice promedio diario anual, para el segundo caso se debe considerar los factores de corrección de vehículos livianos y pesados.

$$IMDs = \sum \text{conteo de } \frac{ida}{7} + \sum \text{conteo de vuelta}/7$$

$$IMDa = \sum \text{conteo de } \frac{ida}{7} * \text{factor de corrección vehicular(liviano o pesado)} + \sum \text{conteo de vuelta}/7 \text{factor de corrección vehicular(liviano o pesado)} z$$

**Tabla 17 Cálculo del IMDS e IMDA**

IMDs	IDA	135.1428571	54	94.85714286	6.57142857	133.857	2.42857	0	0	18	0	0	0	0	0	2.28571429	0	0	0	0
	VUELTA	140.8571429	56.142857	96.28571429	7	135.857	3.71429	0	0	20	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0
	TOTAL	276	110.14286	191.1428571	13.5714286	269.714	6.14286	0	0	38	0	0	0	0	0	5.28571429	0	0	0	0
IMDa	IDA	140.9404857	56.3166	98.92651429	6.85334286	139.6	2.53276	0	0	19.3482	0	0	0	0	0	2.45691429	0	0	0	0
	VUELTA	146.8999143	58.551386	100.4163714	7.3003	141.685	3.87363	0	0	21.498	0	0	0	0	0	3.2247	0	0	0	0
	TOTAL	287.8404	114.86799	199.3428857	14.1536429	281.285	6.40639	0	0	40.8462	0	0	0	0	0	5.68161429	0	0	0	0
IMDa	TOTAL	288	115	199	14	281	6	0	0	41	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0

Nota: Elaboración Propia

El ministerio de Transportes y comunicaciones nos ofrece las tasas de crecimiento vehicular en función al departamento, para este caso con respecto a los vehículos pesados la tasa es de 6.65%, mientras que para los vehículos ligeros la tasa será de 0.59%.

Posteriormente calculamos el tránsito proyectado a final de ejecución

**Tabla 18 Tránsito Proyectado**

CRECIMIENTO DE TRÁFICO EN "n"																				
IMDa 2026	TOTAL	293.128	117.048	202.543	14.249	286.003	6.107	0.000	0.000	49.735	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	7.278	0.000	0.000	0.000	0.000

Nota: Elaboración Propia

Para este cálculo se utiliza la fórmula que nos brinda en Ministerio de Transportes y Comunicaciones en el Manual de carreteras, capítulo 12, apartado 6.3 Cálculo de tasas de crecimiento y proyección:

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

Para calcular los ejes equivalentes utilizaremos el cuadro 6.3 del Manual de Carreteras: Relación de cargas por eje para EE.

**Tabla 19** Cálculo de ejes equivalentes

TIPO DE VEHÍCULOS			IMDa 2026	TIPO	# RUEDAS	CARGA	TIPO EE	EE (8.2 Tn)	EE*IMDa
				EJE		EJE Tn	(8.2 Tn)	Flexible	Flexible
VEHÍCULO LIVIANO	AUTO	1 EJE	293.128	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.15448
		2 EJE	293.128	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.15448
	STATION WAGON	1 EJE	117.048	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.06169
		2 EJE	117.048	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.06169
	PICK UP	1 EJE	202.543	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.10674
		2 EJE	202.543	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.10674
	PANEL	1 EJE	14.249	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.00751
		2 EJE	14.249	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.00751
	RURAL Combi	1 EJE	286.003	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.15073
		2 EJE	286.003	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.15073
	MICRO	1 EJE	6.107	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.00322
		2 EJE	6.107	SIMPLE	2	1	EES1	0.000527	0.00322
BUS	2 E	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
	> = 3 E	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	TAMDEM	6	16	EETA1	1.365945	0
CAMIONES	2 E	1 EJE	49.735	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	62.9336
		2 EJE	49.735	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	161.058
	3 E	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	TAMDEM	8	18	EETA2	2.019213	0
	4 E	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0

		2 EJE	0.000	TRIDEM	10	23	EETR1	1.508184	0
SEMI TRAILER	2S1/2S2	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		3 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
	2S3	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		3 EJE	0.000	TRIDEM	12	25	EETR2	1.706026	0
	3S1/3S2	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	TAMDEN	8	18	EETA2	2.019213	0
		3 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
	>= 3S3	1 EJE	7.278	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	9.2098
		2 EJE	7.278	TAMDEN	8	18	EETA2	2.019213	14.6966
		3 EJE	7.278	TRIDEM	12	25	EETR2	1.706026	12.4171
TRAILER	2T2	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		3 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		4 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
	2T3	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		3 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		4 EJE	0.000	TAMDEN	8	18	EETA2	2.019213	0
	3T2	1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	TAMDEN	8	18	EETA2	2.019213	0
		3 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0

	3T3	4 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		1 EJE	0.000	SIMPLE	2	7	EES1	1.265367	0
		2 EJE	0.000	TAMDEM	8	18	EETS2	2.019213	0
		3 EJE	0.000	SIMPLE	4	11	EES2	3.238287	0
		4 EJE	0.000	TAMDEM	8	18	EETA2	2.019213	0

Nota: Elaboración Propia

En seguida determinamos que el periodo de diseño es de 20 años, para el factor de crecimiento acumulado (Fca) utilizamos la fórmula:

$$Fca = \frac{(1 + r)^{Pd} - 1}{r}$$

Con respecto a la calzada, sentido y carril por sentido se tomará en 1, 2 y 1 respectivamente, consecuente a esto el factor de direccional será de 0.5 y el factor de carril será de 1.

Por último, para el cálculo de ejes equivalentes utilizamos la fórmula siguiente:

$$\#\# EE (8.2 tn) = \sum (EE * Fca * 365) \text{ o}$$

$$\#\# EE (8.2 tn) = 365 \sum (EE * IMDa) * Fca * Fd * Fc$$

**Tabla 20 Ejes Equivalentes**

<b>Tiempo (años) de vida útil del pavimento</b>	<b>Pd</b>	<b>20</b>
<b>Factor "Fca" de veh pesados</b>	Fca	20.12685556
<b>N° (Calzadas, sentido, carril por sentido)</b>	1 calzada/2 sentidos/1 carril	
<b>Factor direccional</b>	Fd	0.5
<b>Factor de carril</b>	Fc	1
<b>Número de EE (ejes equivalentes) (ESALs)</b> <b>## EE (8.2 tn) = <math>\sum (EE * Fca * 365)</math> o</b> <b>#EE (8.2 tn) = <math>365 \sum (EE * IMDa) * Fca * Fd * Fc</math></b>	ESALs para flexible	959,734.28

Nota: Elaboración Propia

- Determinar los parámetros de diseño: En primer lugar, se determina la confiabilidad (R) como punto de partida esto se utilizará para darle un grado de seguridad al diseño de pavimento flexible y así poder darle un grado de incertidumbre y un nivel de seguridad; entonces la confiabilidad será lo opuesto a la probabilidad de falla.

**Tabla 21 Niveles de Confiabilidad**

TC	CR	
	ZU	ZR
Rutas interestatales y autopistas	85 – 99.9	80- 99.9
Arterias principales	80 – 99	75 - 99
Colectoras	80 – 95	75 – 95
Locales	50 - 80	50 - 80

Nota: TC = Tipo de Camino; CR = Confiabilidad Recomendada, ZU = Zona Urbana, ZR = Zona Rural. Tomado Diseño de Pavimentos (AASHTO-93), 2006, p. 137.

**Tabla 22** *Parámetros Zr para confiabilidad*

R (U%)	50	70	75	80	85	90	92	94	95	98	99.99
Zr	0.000	-0.524	-0.674	-0.841	-1.037	-1.282	-1.105	-1.555	-1.645	-2.054	-3.750

Nota: R = Nivel de Confianza; Zr = Factor de Seguridad. Tomado Diseño de Pavimentos (AASHTO-93), 2006, p. 196.

Nuestro tipo de camino a considerar será de rutas interestatales y autopistas en zona rural, entonces tomaremos un valor promedio de Confiabilidad del 80% y el factor de seguridad será de -0.841.

Entonces:

$$R = 80\%$$

$$Zr = -0.841$$

El segundo parámetro que debemos considerar será el error normal combinado ( $S_0$ ), este parámetro considera la desviación del diseño propuesto, desviación de materiales, variación de tránsito y condiciones ambientales.

**Tabla 23** *Error Normal Combinado*

PP	S0	
	Flexible	Rígido
	0.40 – 0.50	0.30 – 0.40
Construcción Nueva	0.45	0.35
Sobre capas	0.50	0.40

Nota: PP = Proyecto de Pavimento; S0 = Error Normal Combinado. Tomado Diseño de Pavimentos (AASHTO-93), 2006, p. 184.

Para el presente trabajo de investigación consideramos que este pavimento flexible se trata de una construcción nueva, por lo tanto, el error normal combinado corresponde a 0.45.

$$S_0 = 0.45$$

El otro parámetro que se considera en la Guía de Diseño de Pavimentos del AASHTO 93 es la serviciabilidad que se cuenta de entre 0 y 5 lo que significa que cero muy pobre y cinco muy buena en lo que se refiere al uso confortable de la vía.

**Tabla 24** Índice de Serviciabilidad

PSR	Condición
0-1	Muy Pobre
1-2	Pobre
2-3	Regular
3-4	Buena
4-5	Muy buena

Nota: PRS = Clasificación de Serviciabilidad Presente. Tomado Diseño de Pavimentos (AASHTO-93), 2006, p. 19.

Índice de Servicio que resulta ser la Diferencia de serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final.

$$\Delta PSI = P_o - P_f$$

Dónde:

$\Delta PSI$  = Índice de Serviciabilidad

$P_o$  = Serviciabilidad Inicial

$P_f$  = Serviciabilidad Final

Para el pavimento flexible que diseñamos asumiremos que la serviciabilidad inicial será de 4.2 y para nuestra serviciabilidad final lo definiremos de acuerdo a la condición de vía como mostramos en la anterior tabla.

Por lo tanto:

$$\Delta PSI = 4.2 - 2.5 = 1.7$$

El tercer parámetro a tener en cuenta para el diseño de pavimento flexible con metodología AASHTO-93 es el tránsito o la carga que ejerce el tránsito en el pavimento, esto se representa como el eje equivalente y según la guía de diseño pavimento flexible AASHTO – 93 se utilizarán ejes equivalentes de 80 KN. Entonces se cuenta el tránsito de manera que el número de ejes equivalente de 80 KN en el carril de diseño durante el periodo de diseño.

Para calcular los coeficientes estructurales consideramos que en la capa asfáltica el coeficiente estructural depende del módulo resiliente, lo cual se determinará de la frecuencia de carga y de la temperatura del asfalto, entonces debemos tener dos datos fundamentales, en primer lugar debemos tener la velocidad de operación de vehículos pesados y las series de tiempo de temperatura promedio de la zona. Entonces calcularemos la frecuencia de aplicación de carga y la temperatura efectiva de la capa asfáltica que se halla con la siguientes fórmulas:

$$f = \frac{v}{2\pi}; \quad T_s = (-0.0093 * T_a^2 + 1.569 * T_a - 1.578)(-0.084 * \ln h_s + 1.55)$$

Dónde:

f = Frecuencia de aplicación de la carga

v = Velocidad de operación de vehículos (km/h)

T<sub>s</sub> = Temperatura efectiva de la capa asfáltica (°C)

T<sub>a</sub> = Temperatura media del aire (°C)

h<sub>s</sub> = Espesor de la capa asfáltica (mm)

Debemos considerar la gráfica del módulo resiliente de la mezcla asfática.

Para calcular el coeficiente estructural de la capa asfáltica (a<sub>1</sub>) utilizamos la fórmula siguiente:

$$a_1 = 0.184 * \ln(E_1) - 1.9547$$

Dónde:

E<sub>1</sub> = Módulo resiliente (PSI)

3. Determinar la capacidad de Subrasante: El otro parámetro que se involucra en el diseño de pavimento flexible es la subrasante que se representa como la resistencia a las cargas de tránsito, este parámetro se caracteriza por el módulo resiliente lo que se obtendrá en esta ocasión con el CBR. El módulo resiliente se puede dar en tres casos:

Caso 1: Módulo Resiliente en condiciones Óptimas:

$$MR_D = F_{amb} * MR_{ópt}$$

Caso 2: Módulo Resiliente medido en campo:

$$MR_D = \frac{F_{amb}}{F_{amb \text{ del mes}}} * MR_{in \text{ situ}}$$

Caso 3: Módulo Resiliente sumergido:

$$MR_D = MR_{sumergido}$$

Para el caso presente utilizaremos la ecuación definida en la Guía AASHTO – 93 para CBR´s menores al 10%, tomando en cuenta que nuestro CBR es de 9.8%. Para el cálculo del módulo resiliente de la sub rasante.

$$M_R = 1500 * CBR$$

Entonces:

$$M_R = 1500 * 9.8 = 14700 \text{ Psi}$$

Para calcular el coeficiente estructural de base y sub base granular ( $a_2$  y  $a_3$ ) utilizaremos los gráficos de la Guía AASHTO - 93:

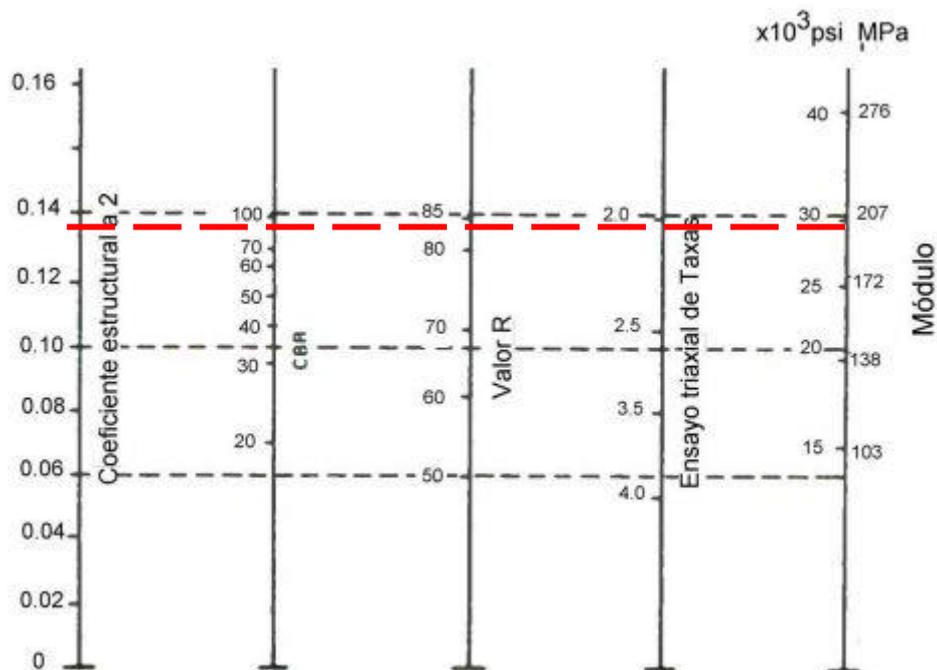


Figura 20 Relación entre  $a_2$  de base granular y parámetros de resistencia. Tomada de «Diseño de Pavimentos (AASHTO-93).», por V. Cordo, 2006, p. 118.

$$a_2 = 0.249 * \log(E_2) - 0.977$$

Para el caso planteado el  $M_R = 30000\text{psi}$ ;  $a_2 = 0.138$

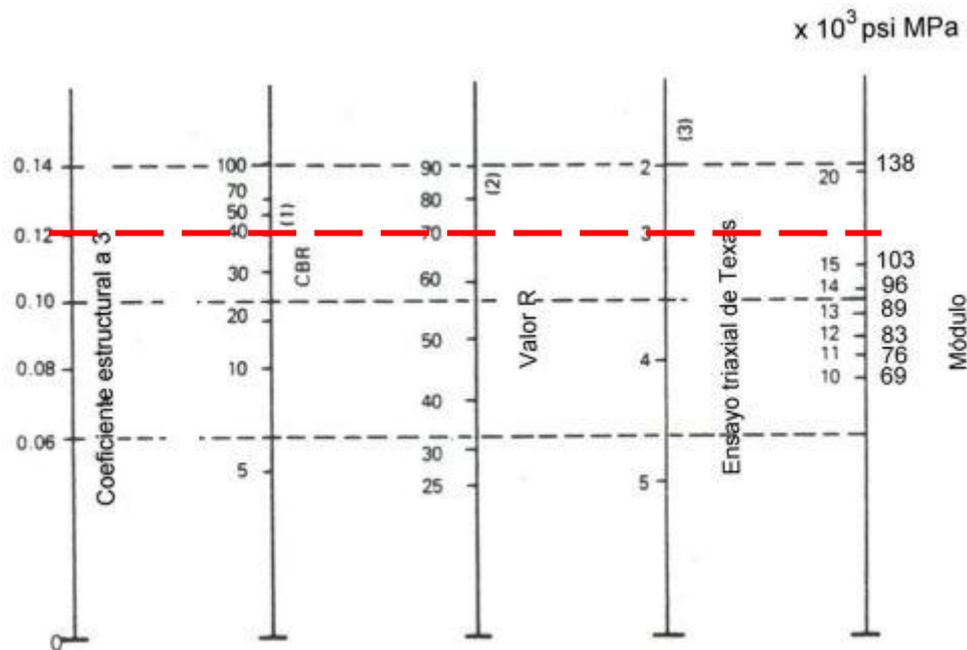


Figura 21 Relación entre  $a_3$  de sub-base granular y parámetros de resistencia. Tomada de «Diseño de Pavimentos (AASHTO-93).», por V. Cordo, 2006, p. 118.

$$a_3 = 0.227 * \log(E_3) - 0.839$$

Para el caso planteado el  $M_R = 17000\text{psi}$ ;  $a_3 = 0.12$

Calculamos el módulo resiliente de la mezcla asfáltica que procede de la siguiente manera:

Primero la frecuencia de aplicación.

$$f = \frac{v}{2\pi} \rightarrow f = \frac{40}{2\pi} \rightarrow f = 4.78\text{Hz} \equiv 5\text{Hz}$$

Segundo Temperatura efectiva de la capa de asfalto.

$$T_s = (-0.0093 * T_a^2 + 1.569 * T_a - 1.578)(-0.084 * \ln h_s + 1.55)$$

$$T_s = (-0.0093 * 23.5^\circ\text{C}^2 + 1.569 * 23.5^\circ\text{C} - 1.578)(-0.084 * \ln 100_s + 1.55) = 35^\circ\text{C}$$

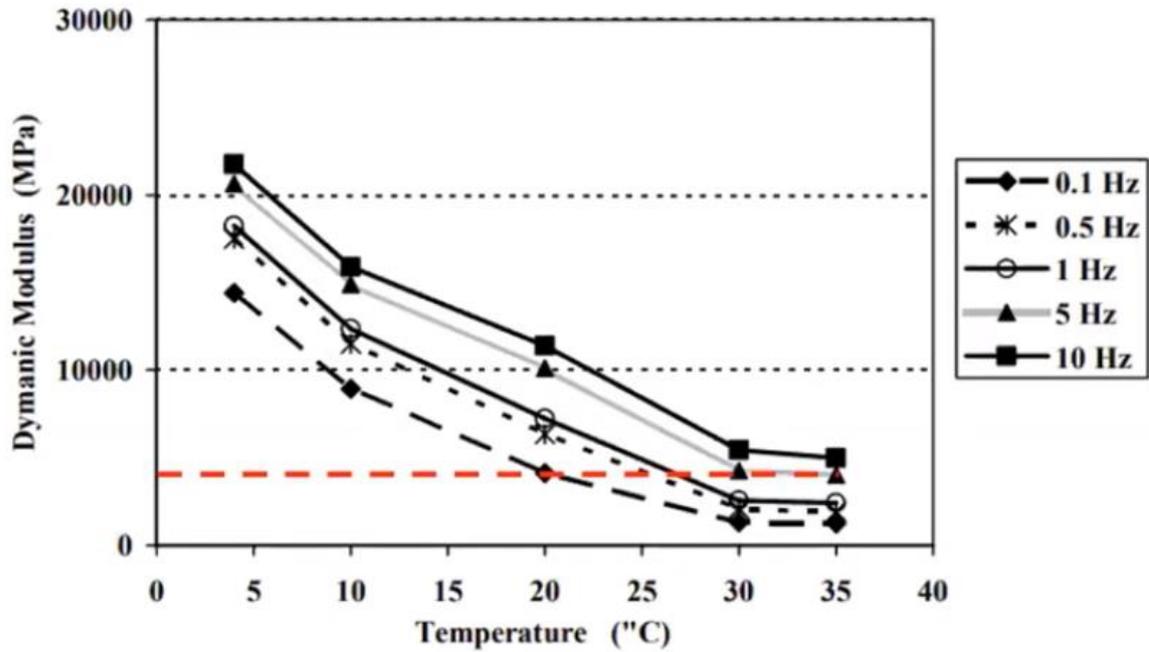


Figura 22 Gráfica para determinar el módulo resiliente de capa asfáltica

Por lo tanto:

$$Mr = 4017 \text{ Mpa}$$

$$Mr = 582617 \text{ psi}$$

Entonces:

$$a_1 = 0.184 * \ln(E_1) - 1.9547$$

$$a_1 = 0.184 * \ln(582617) - 1.9547 = 0.488$$

En cuanto al drenajes calcularemos los coeficientes de drenaje; primero determinaremos el porcentaje de lluvias en el año con la ayuda de los datos meteorológicos de SENAMI, se debe mencionar que actualmente el drenaje es regular:

$$\% \text{ días lluvia} = 55/365 = 29\%$$

**Tabla 25** Coeficiente de drenaje – Pavimento Flexible.

CD	% de tiempo en que el pavimento está expuesto a niveles de humedad próximos a la saturación.			
	<1%	1-5%	5-25%	>25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.2	1.20
Bueno	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Pobre	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy Pobre	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Nota: PP = Calidad de Drenaje. Tomado Diseño de Pavimentos (AASHTO-93), 2006, p. 148.

Entonces los parámetros  $m_2 = m_3 = 0.8$

4. Número Estructural Requerido: El número estructural se representa por la siguiente fórmula:

$$\log(W_{18}) = Z_r * S_0 + 9.36 * \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\log\left(\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32 * \log(M_r) - 8.07$$

Dónde:

$W_{18}$ : Número de aplicaciones de ejes equivalentes durante el periodo de diseño.

$Z_r$ : Parámetros estadístico asociados a la incertidumbre del índice de servicio.

$S_0$ : Desviación estándar total de la distribución normal de errores en variables de diseño.

$SN_i$ : Número Estructural de la capa  $i$ .

$\Delta PSI$ : Diferencia entre los índices de servicio inicial y final.

$M_r$ : Módulo resiliente, en PSI.

Luego de determinar todas las variables reemplazamos en la fórmula para la capa asfáltica:

$$\log(959734) = -0.841 * 0.45 + 9.36 * \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\log\left(\frac{1.7}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32$$

$$* \log(30000) - 8.07 = 1.865$$

El número estructural requerido para la base granular será el que de la misma fórmula con la única diferencia de que el módulo resiliente es distinto.

$$\log(959734) = 1.282 * 0.45 + 9.36 * \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\log\left(\frac{1.7}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32$$

$$* \log(17000) - 8.07 = 2.327$$

Para la sub base granular utilizaremos la misma fórmula, pero al igual que para la base granular variamos el módulo resiliente.

$$\log(959734) = 1.282 * 0.45 + 9.36 * \log(SN_i + 1) - 0.20 + \left[ \frac{\log\left(\frac{1.7}{4.2 - 1.5}\right)}{0.40 + \left(\frac{1094}{(SN_i + 1)^{5.19}}\right)} \right] + 2.32$$

$$* \log(10500) - 8.07 = 2.794$$

5. Número Estructura Proporcionalado: Este representa el número estructura puede dar cierta estructura de pavimento, se da por la siguiente ecuación:

$$SN = a_1 h_1 + a_2 m_2 h_2 + a_3 m_3 h_3$$

Dónde:

SN: Número estructural del pavimento.

a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>: Coeficientes estructurales de capa asfáltica, base y sub base correspondientemente.

h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub>, h<sub>3</sub>: Espesores de capa asfáltica, base y sub base en pulgadas.

m<sub>2</sub>, m<sub>3</sub>: Coeficientes de drenaje de base y sub base.

Entonces para la capa asfáltica tenemos:

$$h_1 = \frac{SN_1}{a_1} \rightarrow h_1 = \frac{1.865}{0.488} = 3.82" \equiv 4"$$

$$SN_1^* = a_1 * h_1 \rightarrow SN_1^* = 0.488 * 4 = 1.952$$



**Tabla 26** Condiciones para Diseño de Pavimento Flexible AASHTO-93

VARIABLES	SÍMBOLO	VALOR
Carga de Tráfico Vehicular	ESAL (W18)	959,734.28
Suelo Sub Rasante	CBR	9.80
	Regular	
Módulo de resiliencia de la Sub Rasante $Mr = 2555 * CBR^{0.64}i(PSI)$	Mr	11009.703
Tipo de Tráfico	Tp	TP4
Número de etapa c/u a 10-20 años de diseño	n	1.00
Nivel de Confiabilidad	R%	80.00
Coeficiente estadístico de desviación estándar normal	ZR	-0.842
Desviación estándar combinado	So	0.45
Índice de serviciabilidad inicial según rango de tráfico	Pi	3.80
índice de serviciabilidad final según rango de tráfico	Pt	2.00
Diferencia de serviciabilidad según rango de tráfico	$\Delta PSI$	1.80
$\log_{10}(W_{18}) = Z_a S_o + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.2 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{1.2 - 1.5}\right)}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_g) - 8.07$		

De la formula resolvemos que el SN es igual a 2.74563.

**Tabla 27** Condiciones para dimensiones de capas de pavimento flexible.

Carga Superficial a1	Base a2	Sub base a3	
Carpeta asfáltica en frío, mezcla asfáltica con emulsión	Base granular CBR 80%, compactado al 100% de la MDS	Sub base Granular CBR 40%, compactada al 100% de la MDS	
Capa superficial recomendada para tráficos ≤ 1,000,000 EE	Capa de Base recomendada para Tráfico ≤ 5,000,000 EE	Capa de Sub Base recomendada para tráfico ≤ 15,000,000 EE	
0.17	0.052	0.047	
	Drenaje en la Base (m2)	Drenaje en la Sub Base (m3)	
	1 día	Bueno	1 semana
	3	1.075	3
		Mediano	0.9

Fuente: Elaboración Propia

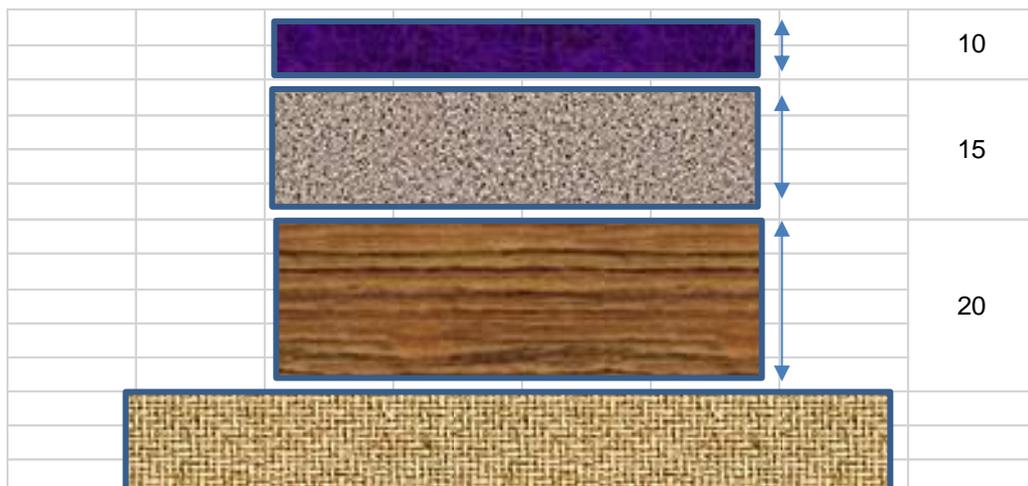


Figura 24 Estructura de Pavimento AASHTO – 93 en hoja de cálculo.

## METODOLOGÍA MECANICISTA

Para calcular el pavimento flexible mediante el método mecanicista como primer paso calcularemos primero el módulo resiliente de la sub rasante a partir del CBR

$$Mr = 1500 * CBR$$

$$Mr = 1500 * 9.8 = 14700$$

A continuación, calculamos el módulo resiliente de la sub base a partir de la sub rasante.

$$E_n = E_{n+1}[1 + 7.18 * \log(h_n) - 1.56 * \log(E_{n+1}) * \log(h_n)]$$

$$E_n = 14700[1 + 7.18 * \log(8") - 1.56 * \log(14700) * \log(8")]$$

$$E_n = 27754.489psi = 1951.334 kg/cm^2$$

Calculamos también el módulo resiliente de la base a partir del módulo de la sub base.

$$E_n = E_{n+1}[1 + 10.52 * \log(h_n) - 2.1 * \log(E_{n+1}) * \log(h_n)]$$

$$E_n = 27754.489[1 + 10.52 * \log(6") - 2.1 * \log(27754.489) * \log(6")]$$

$$E_n = 66565.61 psi = 4680.0255 kg/cm^2$$

Como paso número cuatro calculamos la relación de Poisson.

Para base y Sub base granular  $\nu = 0.35$

Sub rasante  $\nu = 0.40$

Finalizamos con el módulo resiliente de la capa asfáltica.

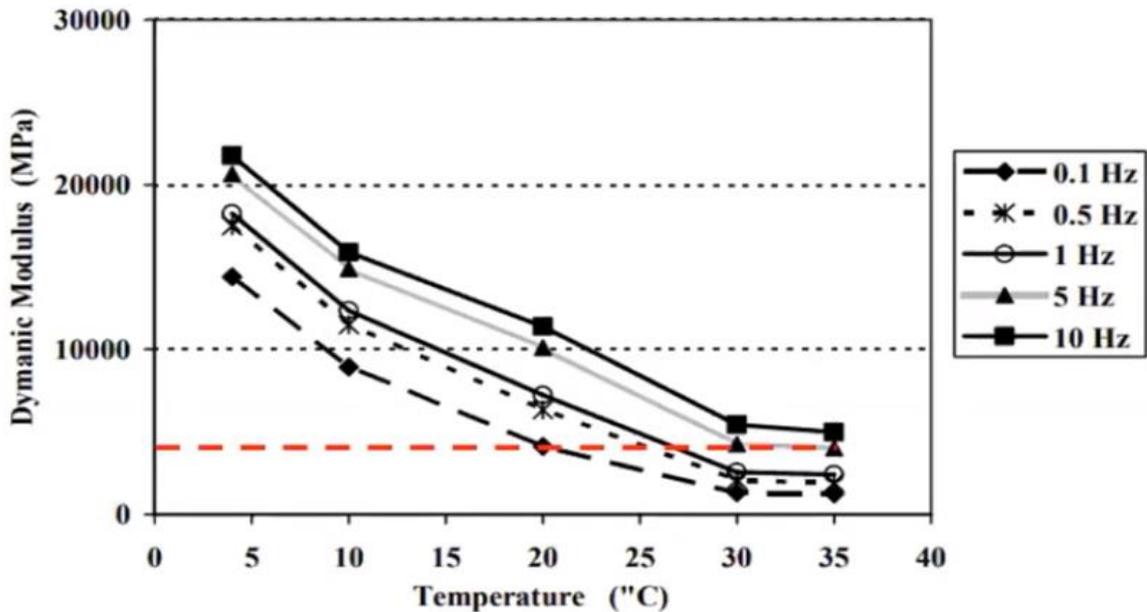


Figura 25 Gráfica para determinar el módulo resiliente

Mr = 582617 psi

**Tabla 28** *Temperatura y relación de Poisson*

<b>Temperatura de la capa asfáltica</b>	<b>Relación de Poisson</b>
< 5	0.15 – 0.20
5 – 21	0.20 – 0.30
21 – 37	0.30 – 0.40
37 - 54	0.40 – 0.48
> 54	0.45 – 0.48

Nota: Tomada de Geotecnia Aplicada

$$V = 0.35$$

Empezamos por utilizar el Software WinDepav el que se basa en el programa DPAV.

Para iniciar debemos colocar la descripción del proyecto como dato fundamental para que el programa procese los resultados, también colocamos el número de capas que serán cuatro porque tenemos la base, la sub base, la capa asfáltica y la sub rasante, también colocamos los parámetros elásticos de cada una de las capas, es decir, el módulo de elasticidad en kg/cm<sup>2</sup> y el módulo de Poisson, luego se colocan el espesor de cada una de las capas en centímetros, a continuación el programa calcula los esfuerzos horizontales y el diseño por compresión o el daño por deformación permanente, en este apartado escogemos la ley por fatiga a utilizar que será Asphalt Institute, en la deformación permanente calculamos el daño por compresión. Por último, seleccionamos el modelo de carga que actuará sobre la superficie de pavimento, en el radio del área de contacto el valor depende de la carga aplicada y la presión de inflado de llantas.

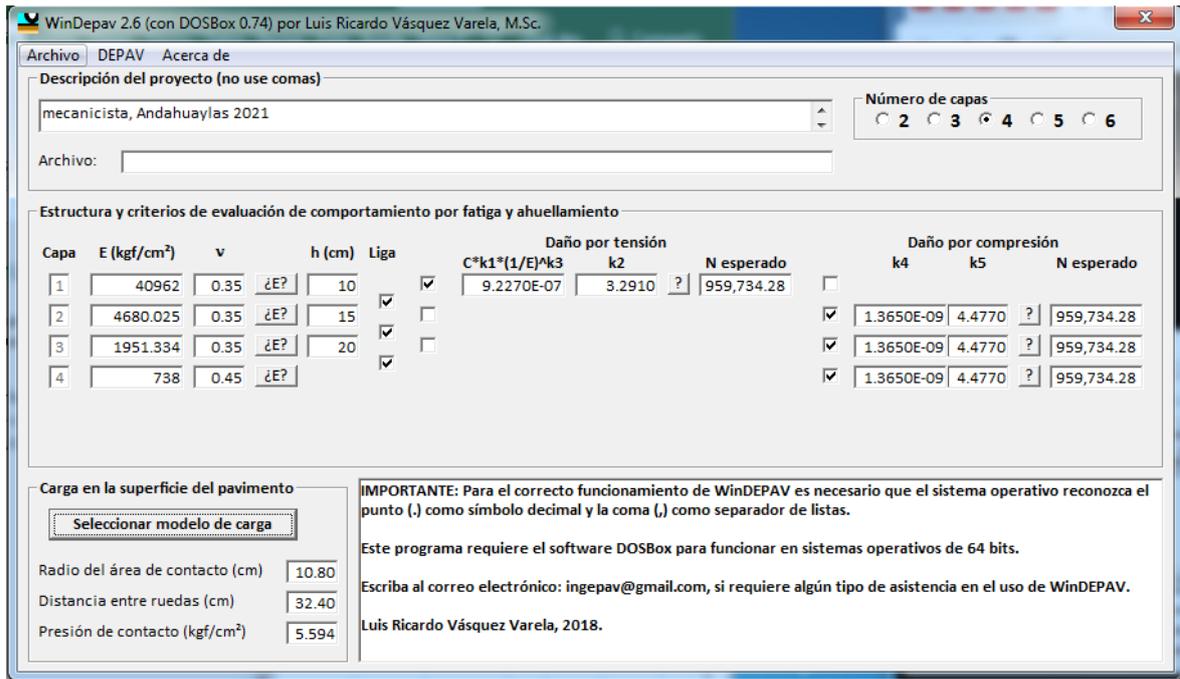


Figura 26 Pre modelación de pavimento flexible con Software WinDepav

En la siguiente figura observamos nuestros resultados con las cuatro capas, en cada una se notan dos líneas, es decir, el Z al inicio y al final de cada capa, también tenemos el esfuerzo de tracción ( $\sigma_T$ ), este es el que llega a cada profundidad del pavimento, también aparece el  $\sigma_Z$  que disminuye a medida que se profundiza e este caso de los  $5.598E+00$  kg/cm<sup>2</sup> que aplicada la carga en la zona superior del pavimento solamente llega  $1.948E-01$  kg/cm<sup>2</sup>, es decir todo la estructura disipa el esfuerzo hasta este nivel. En la zona de tracción vemos el  $\epsilon_T$  o la deformación horizontal que presenta la capa, y el  $\epsilon_Z$  que nos muestra la deformación vertical, adicionalmente también vemos el N admisible o la capacidad máxima de carga en el pavimento, que en este caso será de  $2.4410E+06$ ; en los factores de daño debemos tomar en cuenta que si los valores son mayores a uno la estructura no cumple, sin embargo, en esta estructura los valores cumplen, la base granular cuenta con la misma condición ya que no supera el valor 1 resistiendo  $1.5943E+06$ , de igual forma la sub base soporta  $6.0475E+06$  y la sub rasante cuenta también con un valor aceptable al soportar  $3.8206E+07$ .

Resultados del análisis

Archivo:

Descripción del proyecto: Comparación de resultados del diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO 93 y método mecanicista, Andahuaylas 2021

Sistema de carga: Radio de las ruedas (cm) ; Distancia entre los centros de las ruedas (cm) ; Presión de contacto de las ruedas (kg/cm<sup>2</sup>)

Posición del valor máximo para una carga: A Bajo una rueda simple; B Bajo una de las ruedas de la carga; C Al centro de la carga

Gráficos de respuesta; Exportar resultados a Excel (csv)

**Respuestas estructurales en las interfaces y evaluación del comportamiento por fatiga y ahueamiento.**

Número de capas:

No.	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	v	Z (cm)	Sigma		Tracción (fatiga)			Compresión		
				T (kgf/cm <sup>2</sup> )	Z (kgf/cm <sup>2</sup> )	Épsilon T (microstrain)	N admisible	Factor de daño	Épsilon Z (microstrain)	N admisible	Factor de daño
1	3.500E+04	0.30	0.00	1.132E+01	5.598E+00	193.0			-89.6		
	Continua		12.00	-7.067E+00	1.581E+00	-168.0	2.4410E+06	0.000	153.0		
2	3.500E+03	0.35	12.00	2.345E-02	1.581E+00	-168.0			431.0	1.5943E+06	0.001
	Continua		33.00	-4.568E-01	5.292E-01	-149.0			231.0		
3	1.800E+03	0.35	33.00	-9.626E-02	5.292E-01	-149.0			320.0	6.0475E+06	0.000
	Continua		48.00	-1.173E-01	3.080E-01	-107.0			212.0		
4	1.800E+03	0.35	48.00	-1.173E-01	3.080E-01	-107.0			212.0	3.8206E+07	0.000
	Continua		63.00	-1.917E-01	1.948E-01	-110.0			180.0		
5	7.964E+02	0.40	63.00	-1.183E-02	1.948E-01	-110.0			253.0		

Deflexión en el centro de la rueda doble D0 (1/100 mm)

Radio de curvatura (m)

Radio de curvatura x Deflexión (m x mm/100)

Salir y descartar los resultados

Figura 27 Resultados del diseño de pavimento flexible con Software WinDepav

## V. DISCUSIÓN

**Hipótesis General: El análisis comparativo entre los resultados del diseño de pavimento flexible entre el método ASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA concluye en que el método mecanicista se acomoda a las características ambientales y de esfuerzo en un determinado periodo siendo el ideal para la elaboración de diseño de pavimentos flexible, mientras que el AASHTO 93 utiliza procedimientos empíricos que utilizan parámetros establecidos.**

Según los resultados obtenidos en el apartado de cálculos, se determina que si bien el método mecanicista se acomoda a condiciones de zona en estudio y nos provee de datos que nos indican las condiciones de falla por compresión y tensión, los resultados en el método AASHTO-93 no difieren en gran magnitud, sin embargo, se habla de un caso en específico. Para cumplir con la hipótesis general planteada el método AASHTO-93 no nos proporciona datos de fallas que ocurrirán en el periodo de diseño que se propone al pavimento flexible. En el caso del diseño estructural mantienen similitud en el cálculo de dimensiones, para el caso específico de esa investigación el método MECANICISTA con el software WinDepav toma como precedente el cálculo de dimensiones y módulo resiliente de las capas que se realiza mediante un proceso empírico, al procesarlo en el Software las condiciones de diseño cumplen al no ser mayores a uno con respecto a fallas por compresión ni tensión, las dimensiones en los dos métodos fueron en la base 20 centímetros, sub base 15 centímetros y capa asfáltica 10 centímetros, cabe indicar que los ejes equivalentes del pavimento corresponden a una carretera de tipo 4, es decir de 959,734.28 Tn. Los módulos resilientes calculados para el método mecanicista fueron para la base 1051.334 kg/cm<sup>2</sup>, para la sub base contamos con un módulo resiliente de 4680.025 kg/cm<sup>2</sup> y en la capa asfáltica tendremos 40962 kg/cm<sup>2</sup>.

Los resultados obtenidos para la hipótesis general se comparan con los resultados de García, Gutiérrez y Hernández (2014), quienes obtienen resultados con el método IMT-PAVE de base granular con un espesor de 15 a 30 centímetros, sub base granular de 10 centímetros y carpeta asfáltica de 15 centímetros cada uno con un módulo de resiliencia 300 Mpa, 150 Mpa y 150 Mpa respectivamente, concluyen también en que metodologías mecanísticas son de gran ayuda con respecto a el dimensionamiento de los espesores, resultan ser mucho más precisos

al tener una imagen mucho mas claro en lo que respecta a espectros de carga; tambien concluyen que en comparación a la metodología AASHTO 93, el método IMT-PAVE es más confiable.

A partir de los mencionado en los anteriores párrafos se considera aceptable la hipótesis general que cita que *el análisis comparativo entre los resultados del diseño de pavimento flexible entre el método ASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA concluye en que el método mecanicista se acomoda a las características ambientales y de esfuerzo en un determinado periodo siendo el ideal para la elaboración de diseño de pavimentos flexible, mientras que el AASHTO 93 utiliza procedimientos empíricos que utilizan parámetros establecidos.*

**Hipótesis Específica N° 01: La relación entre el método AASHTO-93 y Método mecanicista en el diseño de pavimento flexible muestra diferencias marcadas con respecto a las características de entrada.**

Para obtener los resultados de diseño de pavimentos elaborados con cada uno de los métodos, han sido necesarios ciertos elementos, en primer lugar, es indispensable contar con el conteo vehicular por siete días seguidos, el índice promedio medio diario, el índice promedio medio anual y el total de estos, además es necesario para los dos métodos contar con el módulo de resiliencia y los ejes equivalentes. Para el caso de los ejes equivalentes los resultados serán los mismos, el IMDa total para autos es de 288 vehículos, para Station Wagon es de 115, para camionetas Pick up es de 199, para camionetas panel es de 14, para camionetas rural o combi es de 281, para micros es de 6, para camiones 2E es de 41, para Semi Trayler  $\geq 3S3$  es de 6, mientras que no se encuentran las otras categorías, con este conteo se elabora el crecimiento de tráfico para los años de ejecución y posteriormente se calculan los ejes equivalentes resultando en 959,734.28 Tn, correspondiente a una vía de tipo 4 con 1 calzados, 2 sentidos y un carril, El Módulo resiliente según el método AASHTO para la base es de 30000 PSI, para la sub base es de 17000 psi, para la sub rasante considera 14700 PSI y para la capa asfáltica 582617 PSI; en el método mecanicista el módulo resiliente para la base es de 4680 kg/cm<sup>2</sup>, 1951.334 kg/cm<sup>3</sup> para la sub base, para la sub rasante 739 kg/cm<sup>2</sup> y para la capa asfáltica 40692 kg/cm<sup>2</sup>. La diferencia que existe entre

estos métodos es que mientras uno utiliza los índices de serviciabilidad y nivel de confianza el otro utiliza ecuaciones de daño y parámetros de módulo de carga.

Estos resultados se comparan con los resultados de la tesis de Ferreyra y Guillermo (2020) quienes utilizaron el método WinDepav para realizar el diseño del pavimento flexible para un caso en específico y concluyen en que este método mecanicista calcular la medida de deterioro del pavimento en un determinado año de diseño, por lo tanto, se entiende que se utilizan distintos datos de entrada a los del AASHTO-93.

Con lo antes descrito se puede mencionar que la hipótesis específica número uno es aceptable, sin embargo, debe ser objetada ya que en pequeña medida se utilizan los mismos datos de entrada y en el proceso se van modificando.

**Hipótesis Específica N° 02: El método mecanicista mejora el diseño del pavimento flexible con respecto a la durabilidad y calidad.**

Los resultados nos indican que si bien el método AASHTO-93 no predice las fallas a ocurrir ni la carga máxima a soportar, es importante destacar que las dimensiones de las capas no difieren en gran medida de las calculadas por el método mecanicista, entonces, se debe tomar en cuenta que no siempre las capas y los módulos resilientes hallados por el método AASHTO satisfacen las condiciones de las ecuaciones de fallas, en el caso propuesto en esta investigación las capas cumplen con soportar las cargas, sin embargo, se debe indicar que el tipo de vía es de tipo 4 con un eje equivalente menores a 1000000. La durabilidad dependerá del cálculo correcto mientras que la calidad dependerá del material que se utilice.

Los resultados para esta hipótesis se comparan con los resultados de Jaña (2016) quien resalta que el método mecanicista empírico va a permitir la ejecución de proyecto con respecto a pavimentos que generen confianza y calidad, ya que se evalúa la densidad de tránsito, clima y materiales.

La hipótesis específica número dos es aceptable luego de los resultados y comparación bibliográfica obtenida, esta hipótesis cita que *el método mecanicista mejora el diseño del pavimento flexible con respecto a la durabilidad y calidad.*

**Hipótesis Específica N° 03: Los estudios básicos para la elaboración de pavimento flexible serán similares en los métodos AASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA.**

Con respecto a los estudios básicos para el diseño de pavimentos flexibles bajo los métodos AASHTO-93 y Método Mecanicista, es primordial elaborar el estudio de CBR, posterior a eso se pueden extraer de datos que nos brindan diversas instituciones, como para el caso de la temperatura, se debe solicitar un reporte a la instancia correspondiente en el Perú, dato que cada estación climatológica guarda; los estudios de mecánica de suelos son importantes para saber el estado de subrasante en donde se va a fundar la estructura de pavimento. Con respecto al CBR en este caso específico, se obtuvo un CBR de 9.8% al 100% del MDS, la temperatura promedio es de 23.5°.

El Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones refiere que es importante realizar las pruebas de CBR y el cálculo de módulo de resiliencia, y aunque en el Perú aún no se hayan aplicado metodologías mecanicistas y tampoco exista una guía correspondiente, los estudios básicos resultan ser similares.

La hipótesis específica número tres es aceptable luego de ver en los resultados que los estudios básicos realizados fueron en general similares y que solo se incrementó uno en el método mecanicista, esta hipótesis cita que *los estudios básicos para la elaboración de pavimento flexible serán similares en los métodos AASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA.*

**Hipótesis Específica N° 04: Los parámetros de diseño en el METODO MECANICISTA resultan ser más completos a diferencia del método AASHTO.**

Para realizar el procedimiento de cálculos en el apartado de resultado de esta tesis se ha debido tomar en cuenta diversos parámetros con respecto al diseño geométrico y diseño estructural, con respecto al diseño geométrico se deben tomar en cuenta la cantidad de conteo vehicular para así averiguar los ejes viales existentes y el diseño estructural nos obliga a seguir parámetros de diseño de las Guías de los dos métodos, la información que se maneja en cada método es distinta con respecto al clima y temperatura, además el procedimiento en el método

mecanicista para predecir fallas no está contemplado en el método AASHTO-93, por tal motivo se entiende que los parámetros a utilizar son menores.

Los resultados en la presente tesis para la hipótesis específica N° 04 se comparan con los resultados de Rodríguez Fernandez (2013) que concluye en que al finalizar su investigación en la comparación de los métodos de diseño de pavimento se observa que para cada uno existe una diferencia marcado con respecto a la cantidad de información que se requiere y que las ecuaciones que marcan las fallas o deterioros se encuentran diferencias, si bien el autor refiere que el método que utiliza más información es el AASHTO dice también que los resultados no se pueden emplear en situaciones generalizadas.

Luego de lo descrito en los párrafos anteriores se debe decir que la hipótesis específica N° 04 es aceptable la cual refiere que *los parámetros de diseño en el método mecanicista resultan ser más completos a diferencia del método AASHTO.*

**Hipótesis Específica N° 05: La evolución de la metodología ASSHTO-93 a MÉTODO MECANICISTA en la construcción de pavimentos flexibles será sumamente influyente al mejorar la calidad de diseño.**

Los resultados que se han obtenido en esta investigación demuestran que mientras más completa sea la información y se maneje científicamente, la probabilidad de tener un buen diseño de pavimento flexible se acrecienta, la evolución de las metodologías es importante para contar con carreteras de alta calidad, en la investigación científica se debe verificar los materiales y sus componentes, en nuestro caso en específico el asfalto debe cumplir con la temperatura adecuada para evitar en el futuro fallas, el material granular debe ser de buena calidad y ser verificada en laboratorio; con respecto al lugar de fundación, el terreno debe cumplir con la capacidad portante que permita soporta la carga de la estructura de pavimento y la carga que se va aplicar encima de ella. Por último, la calidad de diseño se refiere también a la seguridad que se le da al conductor para manejar con tranquilidad y asegurándose que el diseño de pavimento no sea el causal de accidentes.

Los resultados para esta hipótesis se pueden comparar con las conclusiones de los autores Rico, Téllez y Garnica (1998) quienes escriben en su conclusión número

diez que acepta la evolución de los métodos para mejorar la calidad de diseño de pavimentos nombrando al método mecanicista como preferido, además nombra que este método trabaja con las teorías de elasticidad y viscoelasticidad, sin embargo sostiene también que se deben realizar más estudios al respecto ya que actualmente la confiabilidad es baja.

A criterio del autor de esta tesis la hipótesis específica N° 05 es aceptable porque considera que un método basado solamente en un caso específico no es suficiente para acomodarse a diversas características de zonas en donde el empirismo o funciona, los métodos mecanicistas van mejorando on el tiempo.

## VI. CONCLUSIONES

**Primero:** Con respecto al objetivo general sobre elaborar un análisis comparativo de los resultados de diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO Y MECANICISTA, se concluye en que al realizar la comparación se obtienen resultados con diferencias marcadas con respecto a las fórmulas de soporte de carga, además de que el método AASHTO no considera ciertas variables de la zona como la temperatura, sin embargo el caso específico de esta tesis las dimensiones de las capas han sido similares calculados en los dos métodos.

**Segundo:** Para el objetivo específico N° 01 que habla sobre establecer la relación entre el método AASHTO-93 y Método mecanicista en el diseño de pavimento flexible. Se concluye que las características de entrada son distintas para cada método, el método AASHTO – 93 tiene un procedimiento mas grande con gráficos y ecuaciones que la guía proporciona mientras que los métodos mecanicistas por ser científicos solo necesitan de algunos datos científicos y calcula en el Software la carga a soportar así como verifica si los espesores de capa cumplen para el periodo de diseño y para la cargas aplicada.

**Tercero:** En el objetivo específico N° 02 el cual pretende definir la forma en la que el método mecanicista mejoraría el diseño de pavimento flexible, se concluye en que al utilizar el método mecanicista como método para futuros diseños de pavimento se puede afianzar la calidad y seguridad de un pavimento, este método pretende que sea durable al realizar las ecuaciones de deformaciones verticales y horizontales.

**Cuarto:** Para el objetivo específico N° 03 que solicita precisar los estudios básicos que intervienen en el diseño de pavimento con los dos métodos en estudio se concluye que, el estudio de suelos es importante para verificar la capacidad de carga el terreno donde se va asentar la estructura y cómo transmitira las cargas, además es importante conocer el e conteo vehicular para clasificar la carretera y saber el número de ejes viales, adicionalmente el CBR debe ser lo más óptimo posible, de lo contrario se deben tomar otro tipo de medidas para mejorar el terreno.

**Quinto:** Con respecto al objetivo específico N° 04 que pretende señalar los parámetros del método AASHTO-93 y MÉTODO MECANICISTA para diseñar

pavimentos flexibles, se concluye en que el método AASHTO usa parámetros de diseño complejos que se reflejan en la guía de diseño, sin embargo, el método mecanicista utiliza información científica lo cual asegura que los resultados en este método sean seguros.

**Sexto:** En el objetivo específico N° 05 que quiere evaluar la evolución de la metodología AASHTO a la metodología mecanicista y su influencia en el diseño de pavimento flexible, se concluye en que toda evolución que se haga científicamente es recomendable para ser utilizada en distintos escenarios, si bien algunos autores no tienen la suficiente confianza en estos métodos, se debe decir que el método AASHTO no ha conseguido ser funcional en todos los casos por lo tanto es aceptable analizar y utilizar los nuevos métodos científicos.

## VII. RECOMENDACIONES

**Primero:** Para el objetivo general se recomienda que los resultados obtenidos en esta tesis se hagan de uso de investigadores o proyectistas que pretendan implementar nuevos métodos de pavimentos flexibles que generen confianza y seguridad además de durabilidad.

**Segundo:** Respecto al primer objetivo específico se recomienda a las entidades correspondientes realizar guías o manuales que faciliten la recopilación de información para métodos avanzados, la relación de los métodos empíricos y mecanicista es similar, sin embargo, a la actualidad en la mayoría de los casos el Perú no los utiliza.

**Tercero:** Para el objetivo específico N° 02 se recomienda que se utilice la investigación plasmada en esta tesis para afianzar los conocimientos y reconocer que los métodos científicos modernos han desplazado a los métodos empíricos y que se deben poner en marcha para garantizar seguridad y calidad al conductor.

**Cuarto:** Con respecto al objetivo específico N° 03 se recomienda utilizar los estudios básicos nombrados en esta tesis, sin embargo, se recomienda también generar otro tipo de estudios dependiendo a la zona en donde se encuentre el proyecto.

**Quinto:** Con respecto al objetivo específico N° 04 se recomienda buscar bibliografía sobre los parámetros de diseño de cada método y aplicarlos en las zonas donde se proyecten pavimentos flexibles con la finalidad de acomodarse a cada situación.

**Sexto:** En el objetivo específico N° 05 se recomienda que los diseños de pavimentos flexibles sean influenciados por metodologías científicas modernas respetando las empíricas y sus parámetros, es importante que se tomen en cuenta los métodos empíricos para saber la base del funcionamiento de una metodología mecanicista.

## REFERENCIAS

- AASHTO-93. 1993.** *AASHTO Guide for Desing of Pavement Structures 1993.* Washington : American Association of State Highway, 1993. 1-56051-055-2.
- AL-QADI, Imad L. y WANG, Hao. 2009.** *Evaluation of Pavement Damage Due to New Tire Designs.* Illinois : Illinois Center for Transportation, 2009. 0897-9191.
- ARISTIZABEL Morales, Laura Marcela, y otros. 2014.** *Diseño de un Pavimento Flexible por los métodos AASHTO y Racional.* Universidad Libre, Pereira : 2014.
- CERVANTES Calvo, Víctor y SALAS Chaves, Mauricio. 2016.** *Causas y Consecuencias de la Exudación.* Universidad de Costa Rica, Costa Rica : PITRA-LanammeUCR, 2016.
- CORREDOR M., Gustavo. 2016.** *Experimento Vial de la AASHO y las Guías de Diseño AASHTO.* Lima : Universidad Nacional de Ingeniería, 2016.
- CORREDOR M., Gustavo y CORROS B., Maylin. 2010.** *Maestría en vías Terrestres Módulo III Diseño de pavimentos I Evaluación de Pavimentos.* Universidad Nacional de Ingeniería, Managua : 2010.
- DESHMUKH , Ashlesha. 2017.** *Desing of Rigid Pavement: Hypothesis.* Chhattisgarh : Scopus Indexed, 2017. 0976-6316.
- ESCOBAR Bellido, Luis y HUINCHO Ochoa, Jesus. 2017..** *Diseño de PAVIMENTO Flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa - Sachapite, Huancavelica - 2017.* Universidad Nacional de Huancavelica, Huancavelica : 2017.
- FERNANDEZ Vasquez, Victor Jhordan. 2019.** *Evaluación de las Fallas Estructurales del pavimento flexible de la avenida Francisco Vidal, Huacho.* Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, Huacho : 2019.
- FERREYRA Sarmiento, VALIA y GUILLERMO Huari, Lesly Adriana. 2020.** *Análisis Mecánico Empírico y Criterios de falla de las estructuras del pavimento flexible en la Av. Metropolitana, Ate-2020.* Universidad Cesar Vallejo, Lima : 2020.

**GARCIA Vargas, Angel Baltazar, GUTIÉRREZ Romero, Felipe Alberto y HERNÁNDEZ Soriano, Josué David. 2014.** *Análisis comparativo para diseño de pavimentos flexibles mediante las alternativas: IMT-PAVE y CR-ME del método mecanicista empírico, con el método AASHTO 93.* Universidad de el Salvador, San Salvador : 2014.

**GARCIA, Ana Luis. 2018.** Arqhys decoración. *Concepto de pavimento.* [En línea] Arqhys decoración, 2018. <https://www.arqhys.com/contenidos/pavimento-concepto.html>.

**GARNICA Anguas, Paul y CORREA, Angel. 2004.** *Conceptos Mecanicistas en Pavimentos.* Sanfandila : SCT, 2004. 0188-7297.

**GARZON Reina, Allison Manuela y HERNÁNDEZ Mendez, Leicy Yaimir. 2018.** *Cartilla - Guía ilustrativa del Proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito.* Universidad Piloto de Colombia , Seccional Alto Magdalena : 2018.

**GILLET, Simon D. 2001.** *Accuracy in Mechanistic Pavement Design Consequent upon Unbound Material Testing .* University of Nottingham Roughton International , Southampton : 2001.

**H. Calo, Diego. 2012.** *Diseño y Construcción de Pavimentos de Hormigón. Diseño de Pavimentos Rígidos.* San Salvador de Jujuy : ICPA, 2012.

**H. Huang, Yang. 2004.** *Pavement Analysis and Design.* Kentucky : PEARSON, 2004. 0-13-142473-4.

**HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto, FERNÁNDEZ Collado, Carlos y BAPTISTA Lucio, Pilar. 2014.** *Metodología de la Investigación.* México : Mc Graw Hill Education, 2014. 978-1-4562-2396-0.

**HUMPIRI Pineda, Katia. 2015.** *Análisis superficial de pavimentos flexibles para el mantenimiento de vías en la región Puno.* Universidad Andina "Néstor Cáceres Velásquez", Juliaca : 2015.

**JAÑA Arellano, Cristian Gonzalo. 2016.** *Implementación de la Guía de Diseño Mecánico - Empírico AASHTO 2008 en la Región Piura.* Universidad de Piura, Piura : 2016.

**LUO, Zairen. 2005.** *Flexible Pavement Condition Model Using Clusterwise Regression and Mechanistic-Empirical Procedure for Fatigue Cracking Modeling.* The University of Toledo, Toledo : 2005.

**MAPA. 2014.** *ASPHALT Paving Design Guide.* Minnesota : Minnesota Asphalt Pavement Association , 2014.

**MINAYA Gonzáles, Silene y ORDÓÑEZ Huamán, Abel. 2006.** *Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos.* Universidad Nacional de Ingeniería, Lima : 2006.

**MTC. 2013.** *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.* Perú : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2013.

—. **2014.** *Manual de Carreteras: Suelos, Geología, Geotecnia y Pavimentos.* Lima : Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014.

**NORMA TÉCNICA CE.010. 2010.** *Pavimentos Urbanos.* Lima : MTC, 2010.

**PAZMIÑO Lovato, Geovanny Alexander. 2019.** *Comparación Técnica entre los Ensayos de laboratorio de Módulo de Young y CBR para base y sub base. Casos de estudio mina Compañía JHV (TENA).* Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito : 2019.

**PICHARDO DÍAZ, Allam y GARCÍA Roa, Cesar. 2014.** *Estudio Comparativo entre el método ASSHTO 93 y el método C.E.B.T.P para diseño de estructura de pavimento flexible.* Universidad Nacional Pedro Henríquez Ureña, San Domingo, D.N. : 2014.

**RASHAD Islan, M. y A. Tarefder, Rafiqul. 2020.** *Pavement Design: Materials, Analysis, and Highways.* EE.UU. : Mc Graw Hill, 2020. 9781260458916.

**RICO Rodríguez, Alfonso, TÉLLEZ Gutiérrez, Rodolfo y GARNICA Anguas, Paul. 1998.** *Pavimentos flexibles. Problemática, metodologías de diseño y tendencias.* Sanfandila : Instituto Mexicano de Transportes, 1998. 0188-7297.

**RODRÍGUEZ Fernandez, Bárbara I. 2013.** *Análisis comparativo de métodos de diseño de pavimentos flexibles.* Universidad del Bío - Bío, Concepción : 2013.

**RONDON , Hugo y REYES, Fredy. 2015.** *Pavimentos materiales, construcción y diseño.* Bogotá : Ecoe Ediciones, 2015. 978-958-771-175-2.

**RONDÓN Quintana, Hugo Alexander y REYES Lizcano, Fredy Alberto. 2007.** *Metologías de diseño de pavimentos flexibles: Tendencias, alcances y limitaciones.* Bogotá : Ciencia e Ingeniería Neogranadina, 2007. 0124-8170.

**SALAMANCA Niño, María Angélica y ZULUEGA Bautista, Santiago Arturo. 2014.** *Diseño de la Estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS, AASHTO-93 e INSTITUTO DEL ASFALTO para la vía LA YE - SANTA LUCIA Barranca Lebrija entre los Abcisas K19+250 a K25+750 ubicada en el departamento del Cesar.* Universidad Católica de Colombia, Bogotá : 2014.

**STEPHANOS, Peter. 2007.** *Evaluation of Mechanistic-Empirical Design Procedure. Implementation of the NCHRP 1-37A Desing Guide.* Lutherville : s.n., 2007. Vol. 2.

**THE CONSTRUCTOR Building ideas. 2017.** THE CONSTRUCTOR Building ideas. *The Construction Encyclopedia.* [En línea] THE CONSTRUCTOR Building ideas, 2017. [Citado el: 22 de 11 de 2021.] <https://theconstructor.org/transportation/types-failures-in-flexible-pavements-repair/16124/>.

**Universidad Mayor de San Simon. 2004.** *Pavimentos.* Cochabamba : Universidad Mayor de San Simón, 2004.

**V. Corso , Oscar. 2006.** *Manual de Diseño de Pavimentos.* Escuela de Camino de Montaña - Universidad Nacional de San Juan, La Paz : 2006.

**VALDERRAMA Mendoza, Santiago. 2012.** *Pasos para elaborar proyectos de Investigación Científica.* Lima : San Marcos, 2012. 978-612-302.

**VARGAS Cordero, Zoila Rosa. 2009.** *La investigación aplicada: Una forma de conocer las realidades con evidencia científica.* San Pedro, Montes de Oca, Costa Rica : Revista Educación, 2009. 0379-7082.

**WILLIAMS Rushema, Billy. 2021.** *Examination of the Correlation between Shear Strength, California Bearing Ratio, and Index Properties of Fine-grained Soil.* Kennesaw State University, Kennesaw : 2021.

**XINGQIANG, Danny Xiao. 2012.** *Risk analysis and reliability improvement of Mechanistic-Empirical pavement design.* Universidad of Arkansas, Arkansas : 2012.

**ZEVALLOS Gamarra, Rafael Ernesto. 2018.** *Identificación y Evaluación de las fallas superficiales en los pavimentos flexibles de algunas vías de la ciudad de Barranca – 2017.* Universidad César Vallejo, Perú : 2018.

## ANEXOS

### Anexo 1. Matriz de Consistencia

Comparación de resultados del diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO 93 y método mecanicista, Andahuaylas 2021							
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos	Método de Investigación
¿Cómo realizar la comparación de resultados del diseño de pavimento flexible entre el método AASHTO 93 y METODO MECANICISTA?	Elaborar un análisis comparativo de los resultados del diseño de pavimento flexible entre el método ASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA.	El análisis comparativo entre los resultados del diseño de pavimento flexible entre el método ASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA concluye en que el método mecanicista se acomoda a las características ambientales y de esfuerzo en un determinado periodo siendo el ideal para la elaboración de diseño de pavimentos flexible, mientras que el AASHTO 93 utiliza procedimientos empíricos que utilizan parametros establecidos.	VD: PAVIMENTO FLEXIBLE	Propiedades Mecánicas del Suelo	Límites de Consistencia	HOJAS DE CALCULO	TIPO: Aplicado DISEÑO: No Experimental NIVEL: Descriptivo ENFOQUE: Cuantitativo
					Granulometría	HOJAS DE CALCULO	
					Contenido de Humedad	HOJAS DE CALCULO	
					Densidad Máxima	HOJAS DE CALCULO	
				Diseño Geométrico y Estructural	Velocidad	HOJAS DE CALCULO	
					Trazo	HOJAS DE CALCULO	
					Perfil Longitudinal	HOJAS DE CALCULO	
					Estudio de Tráfico	HOJAS DE CALCULO	
					Estudio Topográfico	Levantamiento Topográfico	
					IMD	Fichas de Observación	
¿Cuál es la relación entre el método AASHTO-93 y Método mecanicista en el diseño de pavimento flexible?	Establecer la relación entre el método AASHTO-93 y Método mecanicista en el diseño de pavimento flexible.	La relación entre el método AASHTO-93 y Método mecanicista en el diseño de pavimento flexible muestra diferencias marcadas con respecto a las características de entrada.	VI: MÉTODO AASHTO-93	Propiedades Mecánicas del Suelo	Límites de Consistencia	HOJAS DE CALCULO	Población y Muestra
					Granulometría	HOJAS DE CALCULO	
¿De qué manera mejora el Método mecanicista		El método mecanicista mejora el diseño del pavimento flexible			Contenido de Humedad	HOJAS DE CALCULO	<b>Población:</b> La población de investigación

el diseño del pavimento flexible?	Definir la forma en que el Método mecanicista mejora el diseño del pavimento flexible.	con respecto a la durabilidad y calidad.	VI: MÉTODO MECANICISTA	Diseño Geométrico y Estructural	Densidad Máxima	HOJAS DE CALCULO	son las metodologías para el diseño de concreto que se van a evaluar; AASHTO-93 Y MÉTODO MECANICISTA. <b>Muestra:</b> La muestra de estudio resulta ser la misma que la población de estudio.
¿Cuáles son los estudios básicos para la elaboración del diseño de pavimento flexible con el fin de realizar la comparación entre el método AASHTO 93 y MÉTODO MECNICISTA?	Precisar los estudios básicos para la elaboración del diseño de pavimento flexible con el fin de realizar la comparación entre el método AASHTO 93 y MÉTODO MECNICISTA.	Los estudios básicos para la elaboración de pavimento flexible serán similares en los métodos AASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA.			IMD	Fichas de Observación	
¿Cuáles son los parámetros del método AASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA con el fin de diseñar pavimento flexible?	Señalar los parámetros del método AASHTO 93 y MÉTODO MECANICISTA con el fin de diseñar pavimento flexible.	Los parámetros de diseño en el METODO MECANISITA resultan ser más completos a diferencia del método AASHTO.			Metodología AASHTO - 93	HOJAS DE CALCULO	
¿En qué medida influye la evolución de metodología de ASSHTO-93 a MÉTODO MECANICISTA en la construcción de pavimentos flexibles?	Evaluar la influencia de la evolución de metodología de ASSHTO-93 a MÉTODO MECANICISTA en la construcción de pavimentos flexibles.	La evolución de la metodología ASSHTO-93 a MÉTODO MECANICISTA en la construcción de pavimentos flexibles será sumamente influyente al mejorar la calidad de diseño..			Clima	Fichas de Observación	
					Softward WinDepav	Softward	

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 2. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADOR	Instrumento
VD: PAVIMENTO FLEXIBLE	Se define al pavimento flexible como la estructura conformada por cuatro capas, la de la superficie sirve como capa de rodadura mientras que las otras hacen el papel estructural y de resistencia. Es el pavimento con superficie asfáltica conformado por una o varias capas de asfalto y los cuales pueden apoyarse en un base y sub base granular.	Se realiza el diseño de pavimento flexible con la finalidad de comparar dos métodos de diseño y así observar el mejor comportamiento estructural y funcional.	Propiedades Mecánicas del Suelo	Límites de Consistencia	HOJAS DE CALCULO
				Granulometría	HOJAS DE CALCULO
				Contenido de Humedad	HOJAS DE CALCULO
				Densidad Máxima	HOJAS DE CALCULO
				Velocidad	HOJAS DE CALCULO
			Trazo	HOJAS DE CALCULO	
			Diseño Geométrico y Estructural	Perfil Longitudinal	HOJAS DE CALCULO
				Estudio de Tráfico	HOJAS DE CALCULO
				Estudio Topográfico	Levantamiento Topográfico
				IMD	Fichas de Observación
VI: MÉTODO AASHTO-93	El método AASHTO-93 se entiende como un método empírico preocupado principalmente en obtener	Se realiza el diseño de pavimento flexible con el métodos de diseño AASHTO - 93 con ayuda	Propiedades Mecánicas del Suelo	Límites de Consistencia	HOJAS DE CALCULO
				Granulometría	HOJAS DE CALCULO
				Contenido de Humedad	HOJAS DE CALCULO

	números estructurales capaces de soportar cargas, posteriormente se calcula las dimensiones de las alturas de cada capa.	memria de la guia AASHTO y el Manual de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones.		Densidad Máxima	HOJAS DE CALCULO
			Diseño Geométrico y Estrcutural	IMD	Fichas de Observación
				Metodología AASHTO - 93	HOJAS DE CALCULO
VI: MÉTODO MECANICISTA	El método mecanicista es la nueva actualización en lo que se refiere a diseño de pavimentos. Esta metodología contempla variadas formas de diseño de pavimento flexible y datos especificos de la zona en donde se va a construir la estructura.	Se realiza el diseño de pavimento flexible con el método mecanicista a travez del programa WinDepav y literatura de métodos innovadores actuales.		Clima	Fichas de Observación
				Softward WinDepav	Softward

Fuente: Elaboración Propia

### Anexo 3. Conteo Vehicular Día 1 - Ida

FORMULARIO N° 1

CVI-Ida ①

#### ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA		ESTACION	↓
SENTIDO	IDA	DIA	↓
UBICACION	Ramal de Pacucha	FECHA	05/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER			TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 	
8:00 - 9:00	5	5	5	2	14	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00 - 10:00	12	3	8	-	8	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00 - 11:00	16	7	6	3	14	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00 - 12:00	17	5	8	1	14	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00 - 13:00	20	4	11	-	12	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00 - 14:00	18	7	15	-	20	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00 - 15:00	16	8	13	1	14	1	-	-	1	-	-	-	-	-	↓	-	-	-	-	-
15:00 - 16:00	15	7	16	-	16	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00 - 17:00	18	3	14	-	12	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	137	49	96	7	124	1	0	0	24	0	0	0	0	0	↓	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA :



ING.RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC : \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 4. Conteo Vehicular Día 1 - Vuelta

CVL - Vuelta ②

FORMULARIO N° 1

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETER		ESTACION	↓
SENTIDO	Vuelta	DIA	↓
UBICACIÓN	Ramal de Pacueha	FECHA	05/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS				MICRO 	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 	2 E 		3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 		
8:00 - 9:00	5	5	5	2	14	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00 - 10:00	12	3	8	-	8	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00 - 11:00	16	7	6	3	14	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00 - 12:00	17	5	8	4	14	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00 - 13:00	20	4	11	-	12	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00 - 14:00	18	7	15	-	20	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00 - 15:00	16	8	13	1	14	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
15:00 - 16:00	15	7	16	-	16	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00 - 17:00	18	3	14	-	12	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	137	49	96	7	124	1	0	0	24	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA :  \_\_\_\_\_

ING.RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC : \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 5. Conteo Vehicular Día 2 - Ida

FORMULARIO N° 1

3

CVZ-Ida

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA		ESTACION	↓
SENTIDO	Ida	DIA	2
UBICACIÓN	Ramal de Pacucha	FECHA	06/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER			TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 		
8:00-9:00	6	6	6	2	17	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	12	6	7	-	7	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
10:00-11:00	15	6	5	1	13	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-12:00	14	4	8	1	13	1	-	-	4	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
12:00-13:00	17	5	11	2	11	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-14:00	16	7	12	4	12	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
14:00-15:00	15	7	11	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00-16:00	13	8	14	1	17	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00-17:00	17	2	15	-	16	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
TOTALES	125	51	89	11	124	2	0	0	23	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA : 

ING.RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 6. Conteo Vehicular Día 2 – Vuelta

FORMULARIO N° 1

CU2 - Vuelta <sup>(24)</sup>

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA		ESTACION	1
SENTIDO	Vuelta	DIA	2
UBICACIÓN	Ramal de Pacucha	FECHA	06/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS				BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 	MICRO 	2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 	
8:00 - 9:00	7	6	6	3	12	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00 - 10:00	10	3	6	-	8	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	
10:00 - 11:00	16	5	7	2	15	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:00 - 12:00	16	4	9	1	15	1	-	-	4	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	
12:00 - 13:00	16	5	9	-	12	2	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:00 - 14:00	18	6	20	2	21	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	
14:00 - 15:00	19	5	10	-	20	1	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	
15:00 - 16:00	15	5	13	1	15	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:00 - 17:00	13	4	11	-	6	-	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	
TOTALES	130	43	91	9	124	5	0	0	21	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	

JEFE DE BRIGADA



ING.RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 7. Conteo Vehicular Día 3 – Ida

FORMULARIO N° 1

CV3-Ida ③

### ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETER	
SENTIDO	Ida
UBICACIÓN	Ramal de Paucha

ESTACION	1
DIA	3
FECHA	07/02/2022

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
8:00 - 9:00	5	3	7	1	13	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00 - 10:00	9	4	7	1	5	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00 - 11:00	22	8	7	-	14	-	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
11:00 - 12:00	12	7	6	-	10	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00 - 13:00	20	4	11	1	13	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00 - 14:00	19	7	14	-	20	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00 - 15:00	16	7	13	-	22	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
15:00 - 16:00	15	8	12	-	10	1	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00 - 17:00	10	4	15	-	11	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	128	52	92	3	118	4	0	0	20	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:



ING.RESPONS:

SUPERV.MTCC:

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 8. Conteo Vehicular Día 3 – Vuelta

FORMULARIO Nº 1

CV3- Vuelta <sup>6</sup>

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA		ESTACION	1
SENTIDO	Vuelta	DIA	3
UBICACIÓN	Ramal de Pacucha	FECHA	07/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 		
8:00-9:00	6	5	6	2	13	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	9	2	5	-	13	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10:00-11:00	11	4	5	-	15	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:00-12:00	17	7	8	1	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
12:00-13:00	22	2	5	1	10	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:00-14:00	17	7	12	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:00-15:00	14	9	11	-	15	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
15:00-16:00	13	7	15	-	17	-	-	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:00-17:00	16	3	10	-	11	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTALES	125	46	77	4	123	2	0	0	19	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	

JEFE DE BRIGADA:



ING.RESPONS:

\_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC:

\_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 9. Conteo Vehicular Día 4 – Ida

FORMULARIO N° 1

CU4-Ida 4

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA	
UBICACIÓN	Ramal de Pacucha
Sentido =	Ida

ESTACION	1
DIA	4
FECHA	08/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 	
8:00-9:00	7	3	7	1	12	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	14	4	6	1	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00-11:00	16	5	7	1	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-12:00	16	3	8	-	16	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00-13:00	19	2	8	-	11	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-14:00	13	6	12	1	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00-15:00	17	5	11	2	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00-16:00	19	6	12	1	12	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
16:00-17:00	19	3	11	-	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	135	37	82	7	117	3	0	0	5	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:  \_\_\_\_\_  
 ING.RESPONS: \_\_\_\_\_  
 SUPERV.MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 10. Conteo Vehicular Día 4 – Vuelta

FORMULARIO Nº 1

CV4-Vuelta ⑧

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETER	
UBICACIÓN	Ramal de Pacucha
Sentido =	vuelta

ESTACION	1
DIA	4
FECHA	08/02/2022

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
8:00 - 9:00	4	5	5	1	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
9:00 - 10:00	9	3	9	-	11	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00 - 11:00	15	7	6	2	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00 - 12:00	14	7	7	1	10	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00 - 13:00	19	5	7	1	22	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00 - 14:00	23	5	14	-	14	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00 - 15:00	19	9	11	1	15	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00 - 16:00	10	9	14	-	14	-	-	-	2	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-
16:00 - 17:00	20	5	13	-	17	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	133	55	86	6	131	4	0	0	10	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:



ING. RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV. MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 11. Conteo Vehicular Día 5 – Ida

FORMULARIO Nº 1

CVS-Ida 

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETER	
UBICACIÓN	Rancho de Paucha
Sentido =	Ida

ESTACION	1
DIA	5
FECHA	09/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS				MICRO 	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 	2 E 		3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 				
8:00-9:00	4	6	7	1	13	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	13	3	8	2	8	1	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00-11:00	17	7	5	-	12	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-12:00	11	7	6	-	14	-	-	-	4	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00-13:00	22	6	10	1	12	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-14:00	15	8	14	-	23	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00-15:00	15	5	12	-	17	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00-16:00	14	5	13	-	14	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00-17:00	17	4	11	-	12	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	128	51	86	4	125	4	0	0	26	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA :



ING.RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC : \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 12. Conteo Vehicular Día 5 – Vuelta

FORMULARIO Nº 1

(10)  
cus-vuelta

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA	
UBICACIÓN	Ramal de Pasucha
Sentido =	Ida

ESTACION	1
DIA	5
FECHA	09/02/2022

HORA	AUTO 	STATION WAGON 	CAMIONETAS			MICRO 	BUS		CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP 	PANEL 	RURAL Combi 		2 E 	3 E 	2 E 	3 E 	4 E 	2S1/2S2 	2S3 	3S1/3S2 	>= 3S3 	2T2 	2T3 	3T2 	3T3 		
8:00 - 9:00	7	4	5	2	15	-	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
9:00 - 10:00	12	3	5	2	9	1	-	2	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
10:00 - 11:00	12	5	8	-	20	2	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
11:00 - 12:00	22	5	10	1	16	1	-	3	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
12:00 - 13:00	20	3	9	1	15	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
13:00 - 14:00	17	7	14	-	13	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
14:00 - 15:00	16	9	12	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	
15:00 - 16:00	17	8	17	-	19	1	-	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
16:00 - 17:00	17	6	13	1	13	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
TOTALES	140	50	93	7	138	5	0	0	29	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	

JEFE DE BRIGADA:

ING.RESPONS:

SUPERV.MTCC:

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 13. Conteo Vehicular Día 6 – Ida

FORMULARIO Nº 1

CV6-Ida <sup>(11)</sup>

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETERA	
UBICACIÓN	Ramol de Pasucha
Sentido = Ida	

ESTACION	1
DIA	6
FECHA	10/07/2022

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3	
8:00-9:00	6	7	6	-	13	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	15	6	7	1	16	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00-11:00	12	7	8	2	15	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-12:00	16	8	13	-	18	-	-	-	3	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
12:00-13:00	20	5	14	-	14	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-14:00	15	7	12	-	23	1	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00-15:00	18	12	18	1	25	2	-	-	2	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
15:00-16:00	22	9	17	1	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00-17:00	21	7	16	-	14	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	145	68	111	5	154	4	0	0	19	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:  \_\_\_\_\_  
 ING.RESPONS: \_\_\_\_\_  
 SUPERV.MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 14. Conteo Vehicular Día 6 – Vuelta

FORMULARIO Nº 1

12  
Cvo - Vuelta

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

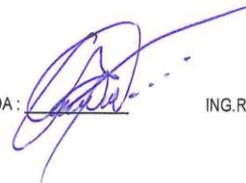
TRAMO DE LA CARRETERA	
UBICACIÓN	Ramal de Páucar

Sentido = vuelta

ESTACION	1
DIA	6
FECHA	10/02/2022

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi	2 E		3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
8:00-9:00	7	9	11	-	20	1	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	10	6	9	1	3	-	-	-	5	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
10:00-11:00	21	9	7	2	22	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-12:00	20	10	7	-	16	2	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00-13:00	22	7	11	1	19	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-14:00	21	10	21	1	23	1	-	-	1	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-
14:00-15:00	20	11	11	1	19	2	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00-16:00	18	9	20	1	23	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00-17:00	22	8	14	2	14	1	-	-	6	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-
TOTALES	161	79	111	9	159	7	0	0	28	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:



ING.RESPONS: \_\_\_\_\_

SUPERV.MTCC: \_\_\_\_\_

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 15. Conteo Vehicular Día 7 – Ida

FORMULARIO Nº 1

13

C07-Ida

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETER	
UBICACIÓN	Ramal de Pacucha
Sentido = Ida	

ESTACION	1
DIA	7
FECHA	11/02/2022

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			MICRO	BUS		CAMION			SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi		2 E	3 E	2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3		
8:00-9:00	9	8	9	-	13	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00-10:00	11	5	7	1	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00-11:00	14	7	11	5	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00-12:00	14	6	10	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00-13:00	23	9	12	-	18	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00-14:00	26	6	16	2	24	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00-15:00	16	12	13	-	27	1	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00-16:00	19	11	17	1	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00-17:00	16	6	13	-	27	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	148	70	108	9	175	2	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:



ING.RESPONS:

SUPERV.MTCC:

Fuente: Elaboración Propia

# Anexo 16. Conteo Vehicular Día 7 – Vuelta

CV7-Vuelta (19)

FORMULARIO Nº 1

## ESTUDIO DE CLASIFICACION VEHICULAR

TRAMO DE LA CARRETER	
UBICACIÓN	Ramal de Pascha

Sentido = vuelta

ESTACION	5
DIA	7
FECHA	11/02/2022

HORA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS				MICRO	BUS			CAMION				SEMI TRAYLER				TRAYLER				TOTAL	
			PICK UP	PANEL	RURAL Combi			2 E	3 E		2 E	3 E	4 E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>= 3S3	2T2	2T3	3T2	3T3			
8:00 - 9:00	6	7	4	3	17	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9:00 - 10:00	12	9	10	-	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10:00 - 11:00	22	5	9	-	20	-	-	-	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11:00 - 12:00	20	9	12	1	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
12:00 - 13:00	21	10	20	1	18	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13:00 - 14:00	12	12	23	1	20	-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
14:00 - 15:00	34	11	15	1	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15:00 - 16:00	20	9	20	-	26	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16:00 - 17:00	28	3	20	1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
TOTALES	175	75	133	8	158	1	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

JEFE DE BRIGADA:



ING. RESPONS:

SUPERV. MTCC:

Fuente: Elaboración Propia

## Anexo 17. Contenido de Humedad

**CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM D - 2216 / MTC E 108 - 2000**

**TESIS:**  
 "COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANDAHUAYLAS 2021"

**MUESTRA:** C-1  
**PROF. :** 1,50 m  
**UBICACIÓN:** DISTRITO ANDAHUAYLAS Y PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
 REGION APURIMAC  
**SOLICITADO:** BACH. PRADO CANDIARI DANTE  
**FECHA :** ENERO DEL 2022

Nº MUESTRAS	1	2	PROMEDIO
Peso de la Cápsula gr.	23,74	23,42	
Peso de la Cápsula + Suelo Humedo gr.	41,20	43,92	
Peso de la Cápsula + Suelo Seca gr.	35,28	37,50	
Peso del Agua gr.	5,92	6,42	
Peso de Suelo Seca gr.	11,54	14,08	
Porcentaje de Humedad %	51,30	45,60	48,45

**PROMEDIO DE HUMEDAD % = 48,45**



NOTA: Muestra proporcionada por el interesado

## Anexo 18. Límites de consistencia.



### FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

- ELABORACION Y EJECUCION DE PROYECTOS DE INGENIERIA  
 - EDIFICACIONES - CARRETERAS - PUENTES  
 - OBRAS HIDRAULICAS - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS  
 - ALQUILER Y VENTA DE INSUMOS DE INGENIERIA Y OTROS  
 - GEOLOGIA  
 - GEOTECNIA  
 - MINERIA  
 - IMPACTO AMBIENTAL  
 - TRANSPORTES  
 - ASESORIA, CONSULTORIA Y EJECUTORIA DE OBRA

---

#### ENSAYO DE LIMITES DE CONSISTENCIA ASTM D - 4318

**TESIS:**  
"COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANAHUAYLAS 2021"

**MUESTRA:** C-1  
**PROF.:** 1,50 m  
**UBICACIÓN:** DISTRITO ANAHUAYLAS Y PROVINCIA ANAHUAYLAS  
 REGION APURIMAC  
**SOLICITADO:** BACH. PRADO CANCHARI DANTE  
**FECHA:** ENERO DEL 2022

#### LIMITE LIQUIDO

	4	3	2	1
Muestra N°	13,90	13,64	13,38	13,38
Peso de la capsula	28,46	28,16	27,98	27,14
Peso capsula + suelo humedo	24,04	23,72	23,38	22,68
Número de golpes	44	32	23	14
Peso suelo seco	10,14	10,08	10,00	9,30
Peso agua	4,42	4,44	4,60	4,46
% humedad	43,6	44,0	46,0	48,0

**OBSERVACIONES:**

#### LIMITE PLASTICO

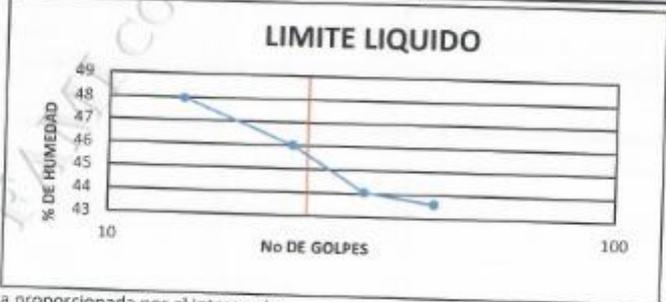
	1	2	3
Muestra	13,52	13,44	13,48
Peso de la capsula	25,34	25,68	25,51
Peso capsula + suelo humedo	22,90	23,14	23,02
Peso suelo seco	9,38	9,70	9,54
Peso agua	2,44	2,54	2,49
% humedad	26,0	26,2	26,1

**RESULTADOS**

LIMITE LIQUIDO 45,6

LIMITE PLASTICO 26,1

INDICE PLASTICO 19,5



**LIMITE LIQUIDO**



**FAMI** CONTRATISTAS  
GENERALES S.R.L.  
Ing. Edwin Miranda Palomino  
C.O. N° 000000  
GERENTE

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

# Anexo 19. Ensayo Granulométrico



## FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

- ELABORACION Y EJECUCION DE PROYECTOS DE INGENIERIA  
 - EDIFICACIONES - CARRETERAS - PUENTES - GEOLOGIA - MINERIA  
 - OBRAS HIDRAULICAS - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - GEOTECNIA - IMPACTO AMBIENTAL  
 - ALQUILER Y VENTA DE INSUMOS DE INGENIERIA Y OTROS - ASESORIA, CONSULTORIA Y EJECUTORIA DE OBRA - TRANSPORTES

---

### ENSAYO DE ANALISIS GRANULOMETRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 2000

**TESIS:** "COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANDAHUAYLAS 2021"

**MUESTRA:** C-1  
**PROF. :** 1,50 m  
**UBICACIÓN:** DISTRITO ANDAHUAYLAS Y PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
 REGION APURIMAC  
**SOLICITADO:** BACH. PRADO CANCHARI DANTE  
**FECHA :** ENERO DEL 2022

TAMAÑO DE TAMIZES	PESO RETENIDO (Pulg.) (mm.) (gr)	% RETENIDO (%)	% QUE PASA (%)
4"	101,60	0,00	100,00
2"	50,80	0,00	100,00
1 1/2"	38,10	0,00	100,00
1"	25,40	60,00	93,61
3/4"	19,10	56,00	87,43
1/2"	12,70	52,00	81,90
3/8"	9,52	36,00	78,06
Nº 4	4,76	49,00	72,84
Nº 10	2,00	46,00	67,94
Nº 40	0,43	59,00	61,66
Nº 100	0,14	44,00	56,98
Nº 200	0,07	16,00	55,27
CAZUELA		519	0,00
<b>TOTAL :</b>	<b>939,60</b>	<b>100</b>	

#### GRAFICO DE GRANULOMETRIA



ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO MTC E 107- 2000

SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS		DATOS PARA CLASIFICACION		
		CLASIFICACION	VALOR	
SUELO DE GRANO GRUESO, MAS DEL 50% RETENIDO EN LA MALLA Nº 200	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de limo	PASA Nº 4	72,84
	GP	Gravas mal graduadas, mezcla de grava y arena con poco o nada de limo	PASA Nº 10	67,94
	GM	Gravas limosas, mezclas de grava arena y limo	PASA Nº 40	61,66
	GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla	PASA Nº 200	55,27
	SC	Arcillas arenosas, mezcla de arena y arcilla	RETIENE Nº 4	27,16
SUELO DE GRANO FINO, 50% O MAS PASA LA MALLA Nº 200	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava con poco o nada de limo	D10	0,013
	SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava con poco o nada de limo	D30	0,04
	SM	Arenas limosas, mezcla de arena y limo	D60	0,32
	SC	Arenas arcillosas, mezcla de arena y arcilla	Cu	24,24
	ML	Limo inorgánico, polvo de roca, limo arenoso, o arcillosos ligeramente plásticos	Cc	0,371
	CL	Arcillas inorgánicas de baja plasticidad, arcillas con grava, arcillas arena- limosas.	LL	45,6%
	OH	Arcillas orgánicas de alta plasticidad	LP	26,1%
PI	Turba y otros suelos altamente orgánicos	IP	19,5%	
Atalante Orgánico		<b>CLASIFICACION</b>		
		ASHTO	A-7-6	
		SUCS	CL	

NOTA: Muestra proporcionada por el interesado



**FAMI** CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
 Ing. Edison Miranda Patamayo  
 CIP. Nº 17217  
 GERENTE

Oficina y Laboratorio: Jr. Guillermo Cáceres Trezona Nº 460 Andahuaylas - Apurimac RUC 20005103581 e mail: famicontratistas@gmail.com Cel: 983065344 / 983019242

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

# Anexo 20. Ensayo CBR



## FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

- ELABORACION Y EJECUCION DE PROYECTOS DE INGENIERIA
- EDIFICACIONES
- OBRAS HIDRAULICAS
- ALQUILER Y VENTA DE INSUMOS DE INGENIERIA Y OTROS

- CARRETERAS
- PUENTES
- LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

- GEOLOGIA
- GEOTECNIA
- ASESORIA, CONSULTORIA Y EJECUTORIA DE OBRA

- MINERIA
- IMPACTO AMBIENTAL
- TRANSPORTES

---

**ENSAYO DE VALOR SOPORTE DE LOS SUELOS (CBR) MTC E 132 - 2000**

**TESIS:**  
"COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANDAHUAYLAS 2021"

**MUESTRA:** C-1  
**PROF.:** 1.50 m  
**UBICACIÓN:** DISTRITO ANDAHUAYLAS Y PROVINCIA ANDAHUAYLAS  
REGION APURIMAC  
**SOLICITADO:** BACH PRADO CANCHARI DANTE  
**FECHA:** FEBRO DEL 2022

DATOS GENERALES						
Maxima Densidad Seca (Kg/ m3)	1,76	Peso del martillo	10 lbs			
Humedad Optima	15,42%	Altura del martillo	18 pulg			
Humedad Natural	48,45%	Número de Capas	5 capas			

DATOS DEL MOLDE (cm.)			
	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Altura	56 GOLPES	25 GOLPES	12 GOLPES
Diámetro	11,70	11,70	11,70
Volumen	15,20	15,20	15,20
	2123,10	2123,10	2123,10

DATOS DE COMPACTACION			
	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)	56 GOLPES	25 GOLPES	12 GOLPES
Peso del Molde (gr)	8.360	8.120	7.900
Peso de la Muestra Compacta (gr)	4.080	4.095	4.060
Densidad Humeda (gr/cm3)	4.280	4.065	3.840
Densidad Seca (gr/cm3)	2.02	1.91	1.81
	1.75	1.66	1.57

DATOS DE CONTENIDO DE HUMEDAD						
	1	2	3	4	5	6
Peso del Tarro (gr)	19,72	19,50	20,54	20,30	14,86	20,06
Peso del Tarro + Suelo Humedo (gr)	68,10	64,28	68,80	67,14	64,50	65,06
Peso del Tarro + Suelo Seco (gr)	61,78	56,46	62,50	61,00	58,00	59,10
Peso del Agua (gr)	6,32	5,82	6,30	6,14	6,50	5,90
Peso del Suelo Seco (gr)	42,06	38,96	41,90	40,70	43,14	39,04
Contenido de Humedad	15,0%	14,9%	15,0%	15,1%	15,1%	15,1%
Contenido de Humedad Promedio	15,0%					

DATOS DE ABSORCIÓN			
	MOLDE 1	MOLDE 2	MOLDE 3
Peso M+M C. despues de Inmersión (gr)	8.815	8.854	8.870
Peso del Molde y Muestra Compacta (gr)	8.360	8.120	7.900
Porcentaje de Absorción	10,63%	18,06%	25,26%

ENSAYO DE EXPANSION												
CTE. DIAL EXPANSION			MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
FECHA	HORA	TIEMPO TRASC.	Dial	Pulg.	% Exp.	Dial	Pulg.	% Exp.	Dial	Pulg.	% Exp.	
22/06/2021	16,00	00 horas	0	0,000	0,00%	0	0,000	0,00%	0	0,000	0,00%	
23/06/2021	16,00	24 horas	900,00	0,800	13,03%	900,00	0,900	19,54%	1050,00	1,050	22,79%	
24/06/2021	16,00	48 horas	722,00	0,722	15,67%	1100,00	1,100	23,85%	1280,00	1,280	27,79%	
25/06/2021	16,00	72 horas	800,00	0,800	17,37%	1320,00	1,320	28,66%	1360,00	1,360	29,96%	
26/06/2021	16,00	96 horas	810,00	0,810	17,68%	1350,00	1,350	29,31%	1470,00	1,470	30,61%	

ENSAYO DE PENETRACION												
CTE. ANILLO= 1.0115"DN-0 1772			MOLDE N° 1			MOLDE N° 2			MOLDE N° 3			
AREA PISTON= 3.0 Pulg Cuadradas			36 GOLPES			25 GOLPES			12 GOLPES			
TIEMPO	PENETRACION		Dial	Carga Lb	Esfuer PSI	Dial	Carga Lb	Esfuer. PSI	Dial	Carga Lb	Esfuer. PSI	
	(mm)	(pulg)										
0.5 min	0,64	0,025	45	45	15	36	36	12	22	23	8	
1.0 min	1,27	0,050	136	136	45	112	114	38	56	57	19	
1.5 min	1,91	0,075	202	204	68	180	182	61	90	91	30	
2.0 min	2,54	0,100	292	295	98	247	250	83	124	125	42	
4.0 min	5,08	0,200	607	614	205	517	523	174	405	409	136	
6.0 min	7,62	0,300	854	864	288	742	750	250	585	591	207	
8.0 min	10,16	0,400	1034	1046	349	854	864	288	674	681	242	
10.0 min	12,70	0,500	1034	1046	349	854	864	288	674	681	242	

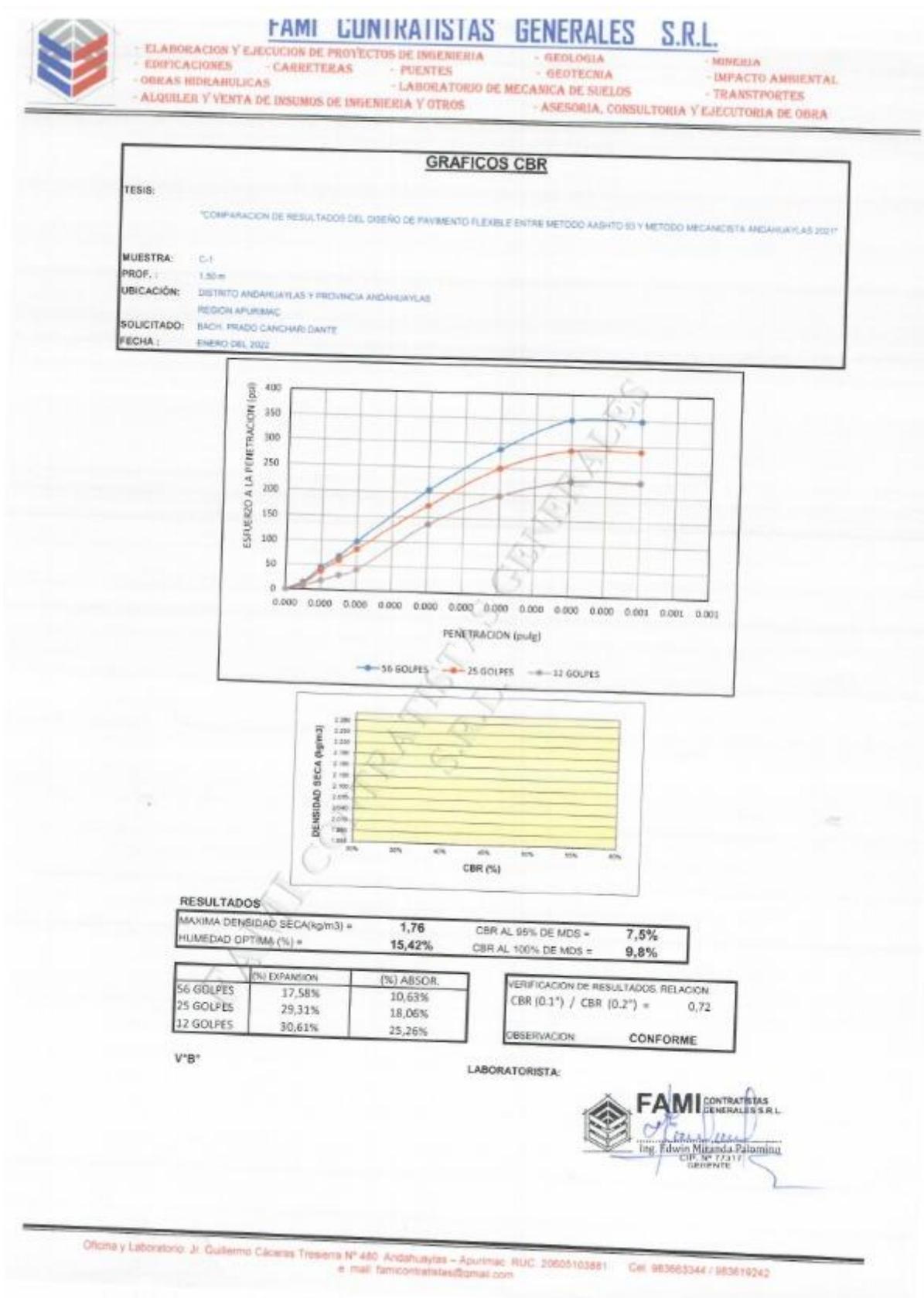


**FAMI** CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.  
Ing. Edwin Miranda Palomino  
CITE N° 7217  
HUACHTA

Oficina y Laboratorio: Jr. Guillermo Cáceres Trejarta N° 480 Andahuaylas - Apurimac RUC: 2050102881 Cel: 983065344 / 983019242  
e mail: famicontratistas@gmail.com

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

## Anexo 21. Gráfico CBR



Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

## Anexo 22. Capacidad de carga a 1.5 m.

 <b>FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.</b>	
- ELABORACIÓN Y EJECUCIÓN DE PROYECTOS DE INGENIERIA - EDIFICACIONES - CARRETERAS - PUENTES - OBRAS HIDRAULICAS - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - ALQUILER Y VENTA DE INSUMOS DE INGENIERIA Y OTROS - GEOLOGIA - GEOTECNIA - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - ASESORIA, CONSULTORIA Y EJECUTORIA DE OBRA - MINERIA - IMPACTO AMBIENTAL - TRANSPORTES	
<b>CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA A 1,5 m</b>	
<b>TESIS:</b> "COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANDAHUAYLAS 2021"	
<b>MUESTRA:</b> C-1 <b>PROF. :</b> 3.00m <b>UBICACIÓN:</b> DISTRITO DE ANDAHUAYLAS, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, REGION APURIMAC <b>SOLICITADO:</b> BACH. PRADO CANCHARI DANTE <b>FECHA :</b> ENERO DEL 2022	
Densidad Natural = 1.40 gr/cm3 Cohesion = 0.17 Kg/cm2 Angulo de fricción = 4,06 ° % Pasa N° 200 = 76,20 %	
<b>DATOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA</b> DENSIDAD NATURAL $\gamma_{sat}$ (Kg/cm <sup>3</sup> ) = 0,0014	
Para Df = 1,50 m B = 1,00 m L = 1,50 m	<b>PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA SE HA UTILIZADO LA FORMULA DE: LA ECUACION GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA MEYERHOF</b>
<b>FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA</b> Nc = 8,20 Nq = 1,44 Ng = 0,35	
<b>FACTORES DE PROFUNDIDAD</b> dc = 1,60 dq = 1,18 dg = 1,00	
<b>FACTORES DE FORMA</b> Sc = 1,15 Sq = 1,05 Sg = 0,73	
<b>TENSION VERTICAL = q = q<sub>0</sub></b> q = 0,210 Kg./Cm <sup>2</sup>	
<b>CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA (q<sub>u</sub>)</b> q <sub>u</sub> = 2,374 Kg./Cm <sup>2</sup>	
<b>CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA NETO (q<sub>neto</sub>)</b> q <sub>neto</sub> = 2,164 Kg./Cm <sup>2</sup>	
<b>FACTOR DE SEGURIDAD = FS=1/3= 0,33</b>	
<b>CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE</b> q <sub>adm</sub> = 0,72 Kg./Cm <sup>2</sup>	
 <b>FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.</b> Ing. Edwin Miranda Palomino C.I.M. N° 77317 GERENTE	
Oficina y Laboratorio: Jr. Guillermo Cáceres Trezona N° 480 Andahuaylas - Apurimac. RUC: 20605103861 Cel. 983663344 / 983619242 e-mail: famicontratistas@gmail.com	

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

## Anexo 23. Capacidad de carga a 2.0 m



### FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.

- ELABORACION Y EJECUCION DE PROYECTOS DE INGENIERIA
- EDIFICACIONES
- OBRAS HIDRAULICAS
- ALQUILER Y VENTA DE INSUMOS DE INGENIERIA Y OTROS

- CARRETERAS
- PUENTES
- LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

- GEOLOGIA
- GEOTECNIA
- ASESORIA, CONSULTORIA Y EJECUTORIA DE OBRA

- MINERIA
- IMPACTO AMBIENTAL
- TRANSPORTES

---

#### CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA A 2 m

**TESIS:**  
"COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANDAHUAYLAS 2021"

**MUESTRA:** C-1  
**PROF. :** 3.00m  
**UBICACIÓN:** DISTRITO DE ANDAHUAYLAS, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, REGION APURIMAC  
**SOLICITADO:** BACH. PRADO CANCHARI DANTE  
**FECHA :** ENERO DEL 2022

Densidad Natural	=	1,40 gr/cm3
Cohesion	=	0,17 Kg/cm2
Angulo de fricción	=	4,06 °
% Pasa N° 200	=	76,20 %

**DATOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA**

DENSIDAD NATURAL  $\gamma_{nat}$  (Kg/cm<sup>3</sup>) = 0,0014

Para	Df =	2,00	m	PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA SE HA UTILIZADO LA FORMULA DE: LA ECUACION GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA MEYERHOF
	B =	1,50	m	
	L =	1,50	m	

**FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA**

Nc = 6,20  
Nq = 1,44  
Ng = 0,35

**FACTORES DE PROFUNDIDAD**

dc = 1,53  
dq = 1,16  
dg = 1,00

**FACTORES DE FORMA**

Sc = 1,23  
Sq = 1,07  
Sg = 0,60

**TENSION VERTICAL =  $q = q_c$**

$q = 0,281$  Kg./Cm<sup>2</sup>

**CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA ( $q_u$ )**

$q_u = 2,551$  Kg./Cm<sup>2</sup>

**CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA NETO ( $q_{neto}$ )**

$q_{neto} = 2,270$  Kg./Cm<sup>2</sup>

**FACTOR DE SEGURIDAD = FS=1/3=** 0,33

**CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE**

$q_{adm} = 0,76$  Kg./Cm<sup>2</sup>



**FAMI** CONTRATISTAS  
GENERALES S.R.L.  
Ing. Edwin Miranda Pezoma  
C.D. N° 7317  
GENORTE

Oficina y Laboratorio: Jr. Guillermo Cáceres Trepoza N° 480 Andahuaylas - Apurimac RUC: 20605103851 Cel: 983663344 / 983619242  
e-mail: famicontrataes@gmail.com

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

## Anexo 24. Capacidad de carga a 2.5 m

 <b>FAMI CONTRATISTAS GENERALES S.R.L.</b>	
- ELABORACION Y EJECUCION DE PROYECTOS DE INGENIERIA - EDIFICACIONES - CARRETERAS - PUENTES - OBRAS HIDRAULICAS - ALQUILER Y VENTA DE INSUMOS DE INGENIERIA Y OTROS	
- GEOLOGIA - GEOTECNIA - LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS - ASESORIA, CONSULTORIA Y EJECUTORIA DE OBRA	
- MINERIA - IMPACTO AMBIENTAL - TRANSPORTES	

<b>CALCULO DE CAPACIDAD DE CARGA A 2,5 m</b>	
<b>TESIS:</b> "COMPARACION DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE ENTRE METODO AASHTO 93 Y METODO MECANICISTA ANDAHUAYLAS 2021"	
<b>MUESTRA</b>	C-1
<b>PROF.</b>	3,00m
<b>UBICACIÓN:</b>	DISTRITO DE ANDAHUAYLAS, PROVINCIA DE ANDAHUAYLAS, REGION APURIMAC
<b>SOLICITADO:</b>	BACH. PRADO CANCHARI DANTE
<b>FECHA:</b>	ENERO DEL 2022

Densidad Natural	=	1,40 gr/cm <sup>3</sup>
Cohesion	=	0,17 Kg/cm <sup>2</sup>
Angulo de fricción	=	4,06 °
% Pasa N° 200	=	76,20 %

DATOS PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA	
DENSIDAD NATURAL $\gamma_{nat}$ (Kg/cm <sup>3</sup> )	= 0,0014

Para Df = 2,50 m	<b>PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE CARGA SE HA UTILIZADO LA FORMULA DE: LA ECUACION GENERAL DE LA CAPACIDAD DE CARGA MEYERHOF</b>
B = 1,50 m	
L = 1,50 m	

FACTORES DE CAPACIDAD DE CARGA	
Nc = 6,20	
Nq = 1,44	
Ng = 0,35	

FACTORES DE PROFUNDIDAD	
dc = 1,57	
dq = 1,20	
dg = 1,00	

FACTORES DE FORMA	
Sc = 1,23	
Sq = 1,07	
Sg = 0,60	

TENSIÓN VERTICAL = $q = q_0$	
$q = 0,351$ Kg./Cm <sup>2</sup>	
CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA ( $q_u$ )	
$q_u = 2,875$ Kg./Cm <sup>2</sup>	
CAPACIDAD DE CARGA ÚLTIMA NETO ( $q_{neto}$ )	
$q_{neto} = 2,524$ Kg./Cm <sup>2</sup>	
FACTOR DE SEGURIDAD = FS=1/3=	<b>0,33</b>
<b>CAPACIDAD DE CARGA ADMISIBLE</b>	
$q_{adm} =$	<b>0,84 Kg./Cm<sup>2</sup></b>

 <b>FAMI</b> CONTRATISTAS GENERALES S.R.L. Ing. Edwin Miranda Palomino CIP. N° 37317 GERENTE
---

Oficina y Laboratorio: Jr. Guillermo Cáceres Trezona N° 490 Andahuaylas - Apurimac RUC: 20605103861 Cel: 983963344 / 983619242  
 e-mail: famicontratas@bomai.com

Fuente: Estudio de Mecánica de Suelos

## Anexo 25. Excavación de calicata.



Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 26. Extracción de material de calicata.



Fuente: Elaboración Propia.

## Anexo 26. Conteo Vehicular



Fuente: Elaboración Propia.