



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO FLEXIBLE Y  
PROPUESTA DE DISEÑO DE LA AV. ANDRÉS AVELINO  
CÁCERES DE LA CIUDAD DE JULIACA, 2021**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. KENYI CRISTIAN HUANCA GUTIERREZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2023**



## Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

**EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DEL PAVI  
MENTO FLEXIBLE Y PROPUESTA DE DIS  
EÑO DE LA AV. ANDRÉS AVELINO CÁCE  
RES**

AUTOR

**KENYI CRISTIAN HUANCA GUTIERREZ**

RECuento DE PALABRAS

**25297 Words**

RECuento DE CARACTERES

**127201 Characters**

RECuento DE PÁGINAS

**142 Pages**

TAMAÑO DEL ARCHIVO

**3.2MB**

FECHA DE ENTREGA

**Jul 20, 2023 4:41 AM GMT-5**

FECHA DEL INFORME

**Jul 20, 2023 4:42 AM GMT-5**

### ● 16% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 14% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 11% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Cros:

### ● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

  
Mariana A. Garcia Loayza  
CIP. 26223

  
Emilio Castillo Aroni  
DOCENTE UNIVERSITARIO  
COD. UNA N° 920514

Resumen



## DEDICATORIA

*A mi madre Isabel quien en el transcurso de toda mi vida educativa estuvo presente apoyándome y alentándome, siendo pilar fundamental en cada etapa; la persona que me enseñó a mirar más allá de los problemas para siempre dar solución.*

*A mi padre Hermógenes porque nunca me faltó los consejos y la exigencia, demostrándome que los límites se los pone uno mismo, la persona que me enseñó la calma para poder mantenerme firme en las situaciones difíciles.*

*A mi novia Leonela que en el transcurso de la tesis estuvo presente brindándome su apoyo en todo momento e incentivándome a seguir cumpliendo mis sueños.*

***Kenyi Cristian Huanca Gutierrez***



## AGRADECIMIENTO

*A la Universidad Nacional del Altiplano, escuela profesional de ingeniería civil por ser el lugar de la fuente de conocimiento y el espacio de buenas anécdotas que quedarán en mi memoria.*

*Al M Sc. Mariano Roberto García Loayza por su disposición y comprensión en el desarrollo de la presente tesis.*

*A los miembros del jurado, Dr. Cesar Edwin Guerra Ramos, Dr. Samuel Huaquisto Cáceres y la Ing. Gleny Zoila de la Riva Tapia, les agradezco su asesoría y aportes que fueron vitales para la culminación exitosa de esta investigación.*

*A todas las personas que formaron parte de esta etapa, de quienes recibí su amistad y apoyo en algún.*

*A todos, muchas gracias*

***Kenyi Cristian Huanca Gutierrez.***



# ÍNDICE GENERAL

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTO**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN ..... 15**

**ABSTRACT ..... 16**

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA ..... 17**

**1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... 20**

1.2.1 Problema general ..... 20

1.2.2 Problemas específicos..... 20

**1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN ..... 20**

**1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN ..... 23**

1.4.1 Objetivo general ..... 23

1.4.2 Objetivos específicos ..... 23

**1.5 HIPÓTESIS ..... 23**

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN ..... 24**

**2.2 MARCO TEÓRICO..... 27**



2.2.1	Pavimento .....	27
2.2.2	Función de un pavimento .....	29
2.2.3	Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos .....	29
2.2.4	Características que debe reunir un pavimento .....	30
2.2.5	Tipos de pavimento .....	31
2.2.5.1	Pavimento flexible.....	31
2.2.5.2	Pavimento rígido.....	36
2.2.5.3	Pavimento semirrígido.....	37
2.2.6	Ciclo de vida del pavimento .....	38
2.2.7	Evaluación estructural de pavimentos flexibles .....	41
2.2.8	Ensayos de la evaluación estructural .....	44
2.2.8.1	Exploración de suelos .....	44
2.2.8.2	Muestra representativa.....	45
2.2.8.3	Contenido de humedad .....	46
2.2.8.4	Análisis granulométrico por tamizado.....	47
2.2.8.5	Límites de Atterberg .....	48
2.2.8.6	Índice de plasticidad .....	49
2.2.8.7	Clasificación de suelos .....	50
2.2.8.8	Proctor modificado .....	51
2.2.8.9	Valor Relativo de Soporte (CBR).....	52
2.2.9	Diseño estructural del pavimento .....	53

### **CAPÍTULO III**

#### **MATERIALES Y MÉTODOS**

<b>3.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>61</b>
------------	--	-----------



3.1.1	Tipo de investigación .....	61
3.1.2	Alcance de la investigación .....	61
3.1.3	Ámbito de estudio.....	62
3.1.4	Población .....	64
3.1.5	Muestra .....	65
<b>3.2</b>	<b>DESCRIPCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO .....</b>	<b>65</b>
<b>3.3</b>	<b>EXPLORACIÓN DE SUELO .....</b>	<b>67</b>
<b>3.4</b>	<b>CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD .....</b>	<b>69</b>
<b>3.5</b>	<b>CÁLCULO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO ....</b>	<b>72</b>
<b>3.6</b>	<b>CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG.....</b>	<b>74</b>
3.6.1	Límite Líquido.....	74
3.6.2	Límite plástico .....	80
<b>3.7</b>	<b>CÁLCULO DEL PROCTOR MODIFICADO.....</b>	<b>84</b>
<b>3.8</b>	<b>CÁLCULO DEL CBR .....</b>	<b>87</b>
<b>3.9</b>	<b>CÁLCULO DEL DISEÑO ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO .....</b>	<b>92</b>
3.9.1	Estudio de tráfico.....	92
3.9.2	Índice medio diario anual .....	94
3.9.3	Ejes equivalentes .....	97
3.9.4	Diseño del pavimento flexible.....	103
<b>3.10</b>	<b>LAVADO ASFÁLTICO .....</b>	<b>107</b>
<b>3.11</b>	<b>ENSAYO MARSHALL .....</b>	<b>110</b>

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1</b>	<b>PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE.....</b>	<b>120</b>
------------	--	------------



<b>4.2</b>	<b>PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE</b>	<b>125</b>
<b>4.3</b>	<b>ESPEORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO AASHTO 93</b>	<b>130</b>
4.3.1	Diseño de concreto asfáltico (Marshall)	132
<b>4.4</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>136</b>
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>138</b>
<b>VI.</b>	<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>140</b>
<b>VII.</b>	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>141</b>
<b>ANEXOS</b>		<b>145</b>

**ÁREA:** Transportes

**TEMA:** Pavimento flexible

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:** Transportes y gestión vial

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 31 de julio del 2023





## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Estructura típica del pavimento flexible .....	28
Figura 2	Estructura de un pavimento flexible .....	32
Figura 3	Capa de rodadura .....	34
Figura 4	Pavimento rígido.....	37
Figura 5	Ciclo de vida de los pavimentos. ....	40
Figura 6	Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación ....	40
Figura 7	Coefficiente estructural de la capa de la carpeta asfáltica.....	56
Figura 8	Coefficiente estructural de capa de base granular sin tratar.....	57
Figura 9	Estabilizada con asfalto .....	57
Figura 10	Estabilizada con cemento.....	58
Figura 11	Coefficiente estructural de la capa subbase granular .....	58
Figura 12	Coefficiente de capa estructural de la base (a2).....	59
Figura 13	Coefficiente de capa estructural de la subbase (a3) .....	59
Figura 14	Ubicación de la región Puno en el mapa del Perú .....	62
Figura 15	Ubicación de la provincia de San Román en el mapa de la región Puno .	63
Figura 16	Ubicación de Juliaca en el mapa de la provincia de San Román.....	63
Figura 17	Ubicación de la vía en estudio .....	64
Figura 18	Ubicación del tramo en estudio .....	65
Figura 19	Vista desde el Jr. Machupicchu de la vía en estudio .....	66
Figura 20	Exploración de suelo de la calicata 03.....	68



Figura 21	Ensayo de contenido de humedad.....	70
Figura 22	Ensayo de granulometría .....	73
Figura 23	Límites de consistencia (LL) .....	76
Figura 24	Límites de consistencia (LP).....	81
Figura 25	Ensayo de proctor modificado .....	86
Figura 26	Ensayo de CBR.....	90
Figura 27	Clasificación vehicular .....	96
Figura 28	Variación diaria de vehículos .....	97
Figura 29	Curva granulométrica de los agregados para el ensayo Marshall.....	114
Figura 30	Porcentaje de la composición de materiales por capa.....	127
Figura 31	Porcentaje CBR por capa .....	129
Figura 32	Curva granulométrica de los agregados obtenidos en el lavado asfáltico ... .....	130
Figura 33	Distribución de altura de las capas .....	131
Figura 34	Curva densidad vs % de asfalto .....	132
Figura 35	Curva Estabilidad vs % de asfalto .....	133
Figura 36	Curva vacíos de mezcla vs % de asfalto .....	133
Figura 37	Curva Fluencia vs % de asfalto.....	134
Figura 38	Curva vacíos llenos de asfalto vs % de asfalto .....	134
Figura 39	Curva V.M.A. vs % de asfalto .....	135



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Ubicación, profundidad y número de agujeros.....	44
Tabla 2	Criterios para determinar los puntos de investigación.....	45
Tabla 3	Sistema de clasificación AASHTO.....	51
Tabla 4	Valores de penetración y presión en (CBR) .....	53
Tabla 5	Valores de confiabilidad recomendada por AASHTO-93.....	55
Tabla 6	Alturas de estratos encontrados en cada una de las calicatas. ....	68
Tabla 7	Resultado del contenido de humedad .....	71
Tabla 8	Número de tamices en el ensayo de granulometría .....	72
Tabla 9	Clasificación SUCS y AASHTO .....	74
Tabla 10	Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 01 .....	77
Tabla 11	Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 02 .....	78
Tabla 12	Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 03 .....	79
Tabla 13	Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 04 .....	80
Tabla 14	Cálculo del límite plástico en la calicata 01 .....	82
Tabla 15	Cálculo del límite plástico en la calicata 02 .....	82
Tabla 16	Cálculo del límite plástico en la calicata 03 .....	83
Tabla 17	Cálculo del límite plástico en la calicata 04 .....	83
Tabla 18	Cálculo de la máxima densidad seca y humedad óptima.....	87
Tabla 19	Cálculo del CBR al 95 y 100% .....	91
Tabla 20	Estudio de tráfico .....	92



Tabla 21	Volumen de tráfico diario .....	94
Tabla 22	Tráfico vehicular sin corrección .....	95
Tabla 23	Cálculo del IMDa.....	95
Tabla 24	Tráfico vehicular IMD anual corregido .....	96
Tabla 25	Tráfico actual por tipo de vehículo .....	98
Tabla 26	Factores de equivalencia.....	99
Tabla 27	Demanda proyectada.....	100
Tabla 28	Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo .....	102
Tabla 29	Valores brindados para el coeficiente de drenaje .....	106
Tabla 30	Valores para selección de la cantidad de masa en el lavado asfáltico ....	108
Tabla 31	Granulometría de los resultados del lavado asfáltico .....	109
Tabla 32	Gradación para MAC 1 .....	113
Tabla 33	Resultados de la granulometría de agregados para Marshall.....	114
Tabla 34	Dosificación de agregados para ensayo Marshall.....	115
Tabla 35	Tipos de cemento asfáltico según la temperatura media anual.....	115
Tabla 36	Número de golpes según la clase de mezcla.....	116
Tabla 37	Datos de las muestras para un 4.5% de asfalto .....	116
Tabla 38	Datos de las muestras para un 5% de asfalto .....	117
Tabla 39	Datos de las muestras para un 5.5% de asfalto .....	117
Tabla 40	Datos de las muestras para un 6 % de asfalto .....	118
Tabla 41	Datos de la muestra para un 6.5% de asfalto .....	118
Tabla 42	Cuadro resumen del ensayo Marshall.....	119



Tabla 43	Perfil estratigráfico de la calicata 01.....	120
Tabla 44	Perfil estratigráfico de la calicata 02.....	122
Tabla 45	Perfil estratigráfico de la calicata 03.....	123
Tabla 46	Perfil estratigráfico de la calicata 04.....	124
Tabla 47	Contenido de humedad y clasificación de suelos .....	126
Tabla 48	CBR al 100% de cada una de las calicatas .....	128
Tabla 49	Dosificación de los agregados para el ensayo Marshall .....	132
Tabla 50	Características para un 5.8% de asfalto .....	135



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials.
ASTM:	American Society for Testing and Materials.
NTP:	Norma Técnica Peruana.
CBR:	California Bearing Ratio.
MTC:	Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
ICCG:	Instituto del Cemento y del Concreto de Guatemala.
FEC:	Factor de Equivalencia de Carga.
ESAL:	Numero de ejes equivalentes.
DD:	Factor de distribución Direccional.
DL:	Factor de distribución por carril.
IMDA:	Índice Medio Diario Anual.
IMDS:	Índice Medio Diario Semanal.



## RESUMEN

El pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, al año 2023 cumple 11 años de vida útil, durante este tiempo ha sufrido deterioro tanto por efecto del tráfico y el clima, sin embargo, no justifica la severidad que se visualiza, generando incomodidad a la población aledaña, puesto que con el paso del tiempo esta ha estado tomando mayor relevancia. Esta vía es de alto tránsito, conectando la salida Arequipa con la salida Lampa, siendo vía que conduce a ESSALUD y dentro de su longitud alberga un espacio para la futura municipalidad del distrito La capilla. La presente investigación tiene por objetivo principal evaluar la estructura del pavimento flexible y determinar los espesores óptimos de las capas por el método AASHTO 93 de la avenida mencionada, planteándose una investigación de tipo aplicada, y un nivel de investigación descriptivo, no experimental. Se concluye que el deterioro del pavimento flexible es en consecuencia de la insuficiencia de la resistencia del material de la capa base, al no llegar al CBR mínimo indicado por la norma, además, se determinó los siguientes espesores de diseño: carpeta asfáltica de 6 cm, 20 cm de base granular y 30 cm de sub base granular. También, se determinó las proporciones a utilizar en el diseño del concreto asfáltico, esta dosificación está compuesta por 21% de grava  $<3/4''$ , 15% de grava  $<1/2''$ , 31% de arena triturada, 31.5% de arena zarandeada y 1.5% de cal hidratada.

Palabras Clave: Pavimento flexible, evaluación estructural, CBR



## ABSTRACT

The flexible pavement of Av. Andrés Avelino Cáceres in the city of Juliaca, in the year 2023, will have 11 years of useful life, during this time it has suffered deterioration both due to the effect of traffic and the weather, however, it does not justify the severity that is visualizes, generating discomfort to the surrounding population, since with the passage of time it has been taking on greater relevance. This road is of high traffic, connecting the Arequipa exit with the Lampa exit, being a road that leads to ESSALUD and within its length it houses a space for the future municipality of the La Capilla district. The main objective of this investigation is to evaluate the structure of the flexible pavement and determine the optimal thickness of the layers by the AASHTO 93 method of the mentioned avenue, considering an applied type of investigation, and a descriptive, non-experimental level of investigation. It is concluded that the deterioration of the flexible pavement is a consequence of the insufficient resistance of the base layer material, as it does not reach the minimum CBR indicated by the standard, in addition, the following design thicknesses were determined: 6 cm asphalt layer , 20 cm of granular base and 30 cm of granular sub base. Also, the proportions to be used in the design of asphalt concrete were determined, this dosage is composed of 21% gravel <math><3/4''</math>, 15% gravel <math><1/2''</math>, 31% crushed sand, 31.5% of shaken sand and 1.5% of hydrated lime.

Keywords: Flexible pavement, structural evaluation, CBR





# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la provincia de San Román, es usual encontrar diversas patologías en los pavimentos existentes durante su vida útil, circunstancia debida a la poca intervención de mantenimientos que se realiza sin previa evaluación superficial y/o estructural, para optar por un método adecuado de intervención. La Av. Andrés Avelino Cáceres, motivo de la presente investigación, se encuentra en un estado de conservación “malo” y tiene un periodo de vida de 10 años, que no llega al tiempo de vida útil para el cual fue diseñado. Asimismo, en el tramo de estudio, se observa el deterioro de la vía con diversas patologías, tales como, baches, ahuellamientos, grietas longitudinales piel de cocodrilo, entre otras, llegando a incidir en la carpeta estructural del pavimento y esta misma inundándose de agua en días de lluvia, acelerando el proceso de deterioro.

Asimismo, podemos indicar también que el estado de la infraestructura vial tiene un impacto en el entorno social, económico y político de un país. La evaluación del estado de la superficie del pavimento es fundamental para planificar una intervención rápida y eficaz. Las acciones oportunas evitan costos operativos excesivos, previenen el deterioro descontrolado y reducen los inconvenientes operativos y de seguridad. Este tema ha despertado interés en la investigación de opciones de evaluación del estado de los pavimentos, entre las cuales se han realizado un gran número de investigaciones para la detección de defectos superficiales y estructurales en pavimentos por parte de la ingeniería. Con base en la evaluación, se concluye que el desempeño de este tipo de sistema está determinado por dos factores: la recolección de datos y el procesamiento de datos. (Ríos, Bacca, Caicedo, & Oribio, 2020).



De manera análoga, la infraestructura vial es un factor fundamental que afecta el desarrollo de un área, el mal estado de las carreteras reducirá la calidad del servicio, afectará la seguridad vial y aumentará los costos de transporte. El punto de partida para determinar la necesidad de intervención del pavimento es una evaluación de su estado. Esta evaluación se puede hacer manualmente, requiere personal técnico calificado, es lenta y puede ser subjetiva. (Ríos, Bacca, Caicedo, & Oribio, 2020)

En contraste con lo anterior mencionado, el sistema de pavimento flexible asume continuamente la carga del vehículo, lo que en última instancia reduce sus características operativas y vida útil que conducen a mayores costos de mantenimiento. Las cargas repetitivas debidas a diferentes tipos de vehículos, incluida una multitud de configuraciones de ejes, así como a las condiciones ambientales locales, causan diversas molestias en los pavimentos de asfalto, tales como deformación permanente (ahuellamiento), agrietamiento por fatiga, agrietamiento térmico a baja temperatura, baches y muchos otros. Los profesionales de todo el mundo han desarrollado y aplicado una variedad de procedimientos de prueba de laboratorio y de campo, así como métodos y enfoques basados en modelos para estudiar varios incidentes con el fin de establecer criterios de desempeño que ayuden a indicar si el sistema de pavimento ha fallado. (Mahajan, Radhika, & Prapoorna, 2022). Ahora se dedican considerables recursos a mantener la infraestructura existente, mientras que la construcción de nuevas carreteras se ha ralentizado. Por lo tanto, la gestión del mantenimiento de pavimentos es una actividad importante que cobra cada vez más importancia con el aumento de las demandas de volumen de tráfico y carga de vehículos, la principal causa del deterioro del pavimento con el paso del tiempo. Por lo tanto, es importante evaluar continuamente la condición estructural del pavimento para una óptima planificación y mantenimiento. (Marecos, Fontul, Antunes, & Solla, 2017)



En general, el criterio de desempeño de los pavimentos se define como la relación entre los parámetros de diseño y la respuesta del pavimento (estructural y funcional) que tiene un papel importante en el diseño y operación de los pavimentos asfálticos durante la vida útil del diseño. Un parámetro de rendimiento estructural de interés que sigue cambiando con el tiempo es la deformación permanente o ahuellamiento. El criterio de rendimiento depende principalmente de las propiedades de los materiales del pavimento, la rigidez y la resistencia de las capas múltiples, las cargas de tráfico, las condiciones ambientales (aquí, baja temperatura), las condiciones del sitio de colocación de la mezcla, el control de calidad y las operaciones de mantenimiento durante toda la vida útil del diseño. Asimismo, el desarrollo del criterio de desempeño funcional (ejemplo: índice de rugosidad) depende de la capa de rodadura de la superficie, las propiedades de los materiales, el tráfico y las condiciones ambientales durante la vida útil de diseño. Esencialmente, los criterios de desempeño se establecen para diferentes problemas a través del proceso colectivo de utilizar estructuras y técnicas de prueba de evaluación funcional y modelado constitutivo. (Mahajan, Radhika, & Prapoorna, 2022)

De la misma forma Macea, Morales, & Márquez, (2015) apoyando la idea anterior mencionan que mantener la infraestructura vial en buenas condiciones es importante para evitar costos operativos excesivos en el transporte de personas y bienes. Un país que ha degradado la infraestructura vial tendrá costos de operación vehicular superiores al 1-3% de su producto bruto interno. Además, la operatividad que debe proporcionar la red vial de un país es fundamental para la comodidad y seguridad de sus clientes. Por eso la significancia de la gestión de los pavimentos. El objetivo fundamental de la gestión de pavimentos es utilizar información coherente y fiable para desarrollar criterios de decisión, garantizar opciones de inversión realistas y facilitar la toma de decisiones eficaces.



## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál será el resultado de la evaluación estructural del pavimento flexible y la determinación del espesor de las capas por el método AASHTO 93 de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021?

### **1.2.2 Problemas específicos**

- ¿Cuál es el perfil estratigráfico del pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021?
- ¿Cuáles son las propiedades físico mecánicas de las capas del pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021?
- ¿Cuáles son los espesores de las capas del pavimento flexible determinada por el método AASHTO 93 de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021?

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En la actualidad una ciudad que se encuentre en pleno auge económico a través del comercio, demanda un adecuado transporte. Es decir, contar con pistas en buen estado que permitan el tránsito óptimo de tal forma que se aumente el flujo comercial y se reduzcan los tiempos de traslado. Sin embargo, muchas veces los pavimentos se deterioran antes de cumplir su periodo de diseño, el problema es el desgaste y falla en pavimentos, observándose el deterioro por el paso del tiempo, por el incremento representativo de los vehículos, además no se realiza la respectiva inversión en mantenimiento y repavimentación de sus vías. Es práctica común que en Latinoamérica



los pavimentos de concreto o de cualquier tipo, una vez construidos son olvidados y abandonados.

Las vías de comunicación más utilizadas en el territorio peruano son las vías de comunicación terrestres, entre ellas: trochas, caminos, vías pavimentadas, carreteras, entre otros; pero algunas veces se visualiza la presencia de fallas sin haber cumplido el tiempo de diseño, esto es una preocupación para todos los peruanos, puesto que supone un gasto adicional al tesoro público. Basta con recorrer algunas ciudades de nuestro país para darnos cuenta que dichas estructuras se encuentran deterioradas, sin que las autoridades competentes hagan algo al respecto; o en caso contrario, se ejecuta un mantenimiento sin ningún tipo de criterio técnico, o aún peor, dejan los trabajos inconclusos, lo cual da paso a un deterioro más acelerado por el paso de los vehículos y por la presencia de lluvias. Además, no existe un plan de mantenimiento para los proyectos de infraestructura vial, esto se hizo evidente cuando recorrimos la ciudad y observamos deterioros que no son intervenidos para su rehabilitación, por el contrario, se deja que el pavimento siga deteriorándose.

A lo largo de los años, el crecimiento poblacional de Juliaca se ha acelerado, no solo por la alta natalidad, sino también por la recepción (inmigración) de residentes locales y regionales debido a su importante ubicación geográfica, que a su vez la convierte en uno de los ejes comerciales más importantes del sur del país. A medida que crece la población surgen diversas necesidades, una de las más importantes son las carreteras que permitan la libre circulación de vehículos pesados.

En consecuencia, del crecimiento acelerado muchas calles de la ciudad no se encuentran asfaltadas por la desorganización territorial, muchos de estos jirones o avenidas se vienen asfaltando en tramos, dando lugar a un desarrollo vial urbano muy



lento. Este es el caso de la Av. Andrés Avelino Cáceres que se viene asfaltando en tramos, hasta el momento con un aproximado de 1.3 km, cabe resaltar que los tramos asfaltados fueron inaugurados por la municipalidad en los años 2012 y 2018. Con el pasar de los años esta avenida fue tomando relevancia para la población juliaqueña, ubicándose la feria de carros y siendo candidata a convertirse en el lugar de los próximos pasacalles en carnavales, así mismo, esta avenida conecta la salida Arequipa con la salida Lampa, conduciendo también a Essalud por lo que es usual ver ambulancias haciendo uso de esta vía para aminorar tiempos. Por otro lado, la avenida en mención tiene tendencia a ser una avenida comercial por la longitud y ancho que cuenta. Sin embargo, a pesar de su temprana edad del pavimento este presenta fallas considerables en sus cuatro carriles (40 metros de ancho) que representan un peligro para los vehículos que circulan a altas velocidades. De igual forma, el sistema de drenaje no se mantiene adecuadamente, lo que conduce a bloqueos del sistema de agua y desagüe producto de las lluvias. Al colapsar el agua tiende a infiltrarse en las diferentes capas del pavimento provocando el desperfecto de éstas.

La situación problemática descrita permite plantear algunas exigencias inmediatas, como la evaluación estructural del pavimento para saber los parámetros bajo los cuales fue construido y diseñado. Así mismo, un diseño aplicando la normativa AASHTO 93 para realizar una comparación con los datos que se obtendrán.

Para nuestro ámbito desde el punto de vista económico, el presupuesto que podría estar destinado en la rehabilitación o construcción nueva podría ser destinado para la ejecución de otros proyectos que contribuyan en el desarrollo de nuestra región. Desde el punto de vista social un pavimento en óptimas condiciones contribuirá en la generación de seguridad y confiabilidad, además tendrá efecto positivo para que la generación de



seguridad y confiabilidad, además tendrá efecto positivo para acrecentar la cantidad de usuarios emprendedores.

Por lo expuesto, es factible desarrollar una investigación que permita proveer la información de la estructura del pavimento de la Av. Andrés Avelino Cáceres; para que posteriormente puedan ser considerados por las instituciones correspondientes y así evitar las fallas tempranas que se vienen presentando.

## **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo general**

Evaluar la estructura del pavimento flexible y determinar los espesores óptimos de las capas por el método AASHTO 93 de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Determinar el perfil estratigráfico del pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021.
- Determinar las propiedades físico mecánicas de las capas del pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021.
- Determinar los espesores de las capas del pavimento flexible por el método AASHTO 93 de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021.

## **1.5 HIPÓTESIS**

La presente investigación no cuenta con hipótesis porque no relaciona dos variables de causa – efecto.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

(Montes) 2020, El objetivo de su estudio fue evaluar el diseño de pavimento mejorado de la Vía Villeta - La Magdalena, parte de la ruta 50NC10 Villeta - Útica - La Palma, con una longitud de 1,2 km y una distancia inicial de 7 km. el empalme de la vía Villeta - Útica - La Palma y la autopista Medellín. Para la evaluación del diseño, se efectuará un análisis de los valores adoptados para las variables, en la evaluación del diseño se utilizará el método de diseño AASHTO-93 para analizar los valores de las variables presentes en el diseño del constructor, tales como idoneidad, fiabilidad, coeficientes de aporte y drenaje, módulos, etc.. De forma paralela a la evaluación del diseño, el autor plantea una alternativa de diseño de pavimento, generando de esta manera un comparativo constante entre los diseños y finalmente establecer un diseño para el mejoramiento de la vía.

(Morales & Tapia, 2021), en su investigación titulada Evaluación funcional y estructural del pavimento de la avenida Paseo de los Cañaris, Cuenca Ecuador, cuya finalidad de conocer su estado actual y su posible rehabilitación, para mantener su correcta operatividad haciendo uso de las metodologías: Pavement Condition Index (PCI) Y AASHTO 93, se obtuvo su condición actual y se realizó el diseño estructural de su alternativa de refuerzo. Llegando a la siguiente conclusión, la Av. Paseo de los Cañaris se encuentra en una condición buena y es necesario colocar un refuerzo asfáltico con espesores de 1.5 y 2 pulgadas para el primer y segundo tramo de pavimento asfáltico y de 3 pulgadas para el tramo de pavimento de hormigón hidráulico, con la finalidad de soportar las cargas vehiculares futuras y alargar su vida útil.





(Salamanca & Zuluaga) 2014, en su investigación plantea la elaboración del diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos INVIAS para medios y altos volúmenes de tránsito, AASHTO 93 E INSTITUTO DEL ASFALTO para la vía la YE - SANTA LUCIA BARRANCA LEBRIJA entre las abscisas K19+250 A K25+750 ubicadas en el Departamento del Cesar. Para la recolección de datos recopilaron, clasificación de la capacidad portante de la subrasante. El autor concluye en que la estructura recomendada para la construcción en los 6.5 km de vía evaluados es la obtenida mediante el Método del Instituto del Asfalto debido que se optimizaron los espesores definidos por el Método AASHTO 93 y asimismo validó el cumplimiento de los parámetros de fatiga de la subrasante y de la capa asfáltica.

(Chimaico, 2021), la finalidad es determinar mediante la evaluación estructural las patologías en el pavimento flexible de la muestra, en la que se evidencia una serie de fallas asfálticas perjudicando la economía, bienestar y progreso del distrito de Chupaca. Teniendo como metodología un diseño no experimental de tipo descriptivo, en dónde la variable independiente es la evaluación estructural, cuyas dimensiones fueron las capas de la carpeta estructural (Capa de rodadura, Base, sub base y sub rasante); y la variable dependiente son las patologías en el pavimento flexible. “Finalmente se llegó a la siguiente conclusión: La superficie de la capa asfáltica es irregular, mayoritariamente en el carril izquierdo, con evidentes deformaciones permanentes como huellas de áridos, baches y pulidos. El contenido medio de asfalto es del 6,17%; para la Base o estrato 1 los resultados fueron: Humedad 5,8 %, Proctor promedio 2.26 gr/cm<sup>3</sup>, CBR entre 0.1” pen > 100%, Índice de plasticidad nulo, espesor de estrato varía entre 0.20 m y 0.25 m; Para la sub base o estrato 2 fueron: Humedad 6,1 %, Proctor promedio 2.28 gr/cm<sup>3</sup>, CBR entre 0.1” pen > 80%, e Índice de plasticidad nulo, espesor de estrato varía entre 0.20 m y 0.25 m; Para la sub rasante o estrato 3 fueron: Humedad 7,2 %, Proctor promedio 2.19 gr/cm<sup>3</sup>,



CBR entre 0.1” pen > 55%, e Índice de plasticidad 9,4 %, espesor de estrato varía entre 0.20 m y 0.30 m; para el 4to estrato o terreno natural los resultados fueron: Humedad 9,1 %, Proctor promedio 2.10 gr/cm<sup>3</sup>, CBR entre 0.1” pen > 40.8 %, Índice de plasticidad 8,8 %, grosor de estrato 0.80 m.

(Sullca) 2016, su investigación tiene por finalidad determinar en qué medida la capacidad estructural y funcional del pavimento flexible a nivel de carpeta asfáltica de la carretera reúne condiciones de calidad, de acuerdo al Manual de Carreteras” “Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción (EG-2013). Dónde la metodología que fue empleada es descriptiva y de diseño transversal, teniendo como conclusión Los ensayos de las propiedades estructurales y funcionales del pavimento flexible a nivel de la capa bituminosa, utilizando equipos viga Benkelman y Merlin, demostraron que el estado constructivo del pavimento flexible se encuentra en buenas condiciones y en un estado óptimo, el cual cumple con las EG-2013, por lo que concluyó que la hipótesis fue confirmada.

(Guibovich) 2020, presenta su investigación tiene como objetivo general evaluar el pavimento flexible en la Avenida “A”, Nuevo Chimbote 2020. Tesis que tiene un diseño de corte transversal descriptivo no experimental, debido a que estos fenómenos se estudian tal como ocurren en ambientes naturales, se describen sin manipular variables para nuestra conveniencia. Se concluyó que la falla del pavimento flexible se debió a la mala construcción existente y el material base (CBR) no cumplió con la normatividad vigente.

(Aliaga) 2021, en su investigación plantea como objetivo evaluar la estructura del pavimento del Óvalo intersección autopista Mártires 4 de noviembre, entrada a la ciudad universitaria. Por lo tanto, se realizaron ensayos de análisis granulométrico,



reflectometría del pavimento, límites de consistencia, Proctor modificado y CBR. En cuanto a las propiedades de la sub base, la granulometría se sale mínimamente de los estándares de la ASTM D422 para sub base, un índice plástico promedio de 3.31%, la máxima densidad seca de 2.05 gr/cm<sup>3</sup> y un CBR al 100% promedio de 65.3%. Y, en cuanto a las propiedades de la base, la granulometría se sale mínimamente de los estándares de la ASTM D422 para base, un índice plástico promedio de 1.92%, la máxima densidad seca de 2.089 gr/cm<sup>3</sup> y un CBR al 100% promedio de 91.9%.

(Canahui) 2021, tiene como objetivo comparar tanto técnica y económicamente el pavimento flexible (concreto asfáltico), y pavimento rígido (concreto hidráulico simple), así como las opciones de pavimentación en Jr. Abraham Valdelomar, urbanización Tambopata, distrito de Juliaca, provincia de San Román. Además, relaciona las diferencias entre pavimentos rígidos y flexibles aplicando un balance económico entre costo – efectividad, donde como conclusión asegura que la mejor alternativa es pavimento flexible con un costo C/E S/. 831,885.74, tanto en la rentabilidad como en el costo efectivo al menor VAC. Esto indica la alternativa más rentable que se ajusta al proyecto.

## **2.2 MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1 Pavimento**

En la ciudad de Juliaca, es usual ver el pavimento flexible como solución en la mejora de las condiciones del transporte terrestre, sin embargo, esta decisión es tomada en gran parte por el bajo costo que supone a la hora de ejecutar tales estructuras. Por consiguiente, es vital realizar los diseños y construcción adecuados para que estos cumplan con la vida útil. En este ítem se conocerá las definiciones que ayuden a describir la problemática planteada.

Algunos autores definen el pavimento como un grupo de capas superpuestas, relativamente horizontales, técnicamente diseñados y construidos con materiales adecuados y lo suficientemente compactados. Estas estructuras estratificadas se encuentran sobre la subrasante de un camino obtenido durante la excavación en el proceso de exploración y deben resistir acertadamente la transmisión de cargas repetidas producto del tráfico para el período para el cual se diseña la estructura del pavimento (Montejo, 2002). Por otro lado “se denomina pavimento a la estructura que recibe a las solicitaciones de tránsito y clima y las traspasa a la sub-rasante, repartidas de manera que éste pueda soportar tales solicitaciones sin sufrir deformaciones, durante un período determinado de tiempo” (Pattilo, 1988). Así también, “la estructura que se apoya sobre el terreno de fundación o subrasante, y que está conformado por capas de materiales de diferentes calidades y espesores, que obedecen a un diseño estructural, se denomina pavimento” (Minaya & Ordóñez, 2006).

### Figura 1

*Estructura típica del pavimento flexible*



Fuente: Adquirida de (Ortiz, 2017)

En la figura 1 se muestra las diferentes capas que componen el pavimento flexible, tales como la capa de rodadura, base, subbase y subrasante.



### **2.2.2 Función de un pavimento**

El pavimento de una estructura, colocado encima de una fundación adecuada, tiene el propósito de proveer una superficie de rodamiento que posibilite una circulación segura y conducción cómoda de vehículos, a la velocidad de operación deseada y bajo cualquier condición climática. Existen diferentes tipos de pavimento, según el tipo de vehículo que vaya a circular y el volumen de tráfico. En un camino sin pavimentar, las malas condiciones de operación crean limitaciones en la velocidad y la carga del vehículo, también aumentan costos de operación (mantenimiento y combustible). El uso de una carretera de tierra es dependiente de las condiciones climáticas y un buen drenaje (Facultad de ciencias y tecnología, 2004).

### **2.2.3 Factores que afectan el comportamiento de los pavimentos**

El diseño y esquema del pavimento debe optimizarse desde el punto de vista estructural, resistente y funcional, con costos mínimos, que deben incluir los costos de construcción, mantenimiento y operación, con un plazo general de 15 a 40 años. Diversos métodos han sido desarrollados por diferentes entidades o instituciones para determinar las dimensiones de las distintas capas que componen el pavimento, cuya aplicación se basa principalmente en los siguientes factores se muestra a continuación:

- Efectos del medio ambiente, que todavía no es lo suficientemente acogido en el diseño. El agua afecta a los materiales que componen el pavimento de diferentes formas, cambiando algunas de sus propiedades: cohesión, resistencia al corte, corrosión, erosión, grado de compactación, expansión-contracción, envejecimiento del asfalto, adherencia entre el asfalto y agregado.



- Características de los materiales, generalmente, el parámetro de resistencia utilizado para caracterizar la resistencia de un material es el valor relativo del soporte, aunque algunos métodos actuales utilizan el módulo de resiliencia (MR) y suelen tratar la correlación entre estos dos parámetros.
- Efectos del tránsito, en este sentido, debe interesarnos la mayor carga por eje, que suele ser la más necesaria, ya que determinará la estructura del pavimento según el diseño adoptado y durante el periodo del proyecto.
- Factores económicos, “es claro que ninguna entidad es partidaria de gastar su presupuesto en número mayores que lo necesario en cada caso, pero el gasto necesario difícilmente coincide con la mínima inversión inicial y en ocasiones suele ser mayor, por tener que tomar en cuenta otros factores” (Tapia, 2010)

#### **2.2.4 Características que debe reunir un pavimento**

Según (Montejo, 2002) el pavimento para cumplir adecuadamente sus funciones debe reunir los siguientes requisitos:

- Resistencia ante los agentes de intemperismo.
- Resistencia a la acción de las cargas impuestas por el tránsito.
- Presentar una textura superficial ajustada a las velocidades previstas de tránsito de los vehículos, por cuanto ella tiene una decisiva influencia en la seguridad vial. Además, debe ser capaz de soportar el desgaste causado por la acción abrasiva de los neumáticos del vehículo.



- Debe tener una regularidad superficial tanto transversal como longitudinal que proporcione el confort suficiente al usuario en función de las longitudes de onda de las deformaciones y de la velocidad del tránsito.
- Presentar condiciones respecto al drenaje.
- Debe ser económico.
- Debe ser del color correcto para evitar reflejos y deslumbramientos y garantizar una correcta seguridad vial.
- Debe ser durable.
- El ruido producto de la fricción de los neumáticos con la carpeta de rodadura, tanto en el interior de los vehículos, así como en el exterior, deber ser adecuadamente moderados, porque estos afectan al usuario influyendo en el entorno.

### **2.2.5 Tipos de pavimento**

Actualmente se cuenta con una gran variedad de pavimentos que, atendiendo los criterios tradicionales, básicamente puede clasificarse en: rígidos y flexibles, mixtos o compuestos. (Tapia, 2010)

Por otro (MTC, 2014) lado según los tipos de pavimento incluidos en el manual son: pavimentos flexibles, pavimentos semirrígidos y pavimentos rígidos.

#### **2.2.5.1 Pavimento flexible.**

El pavimento flexible “es una estructura compuesta por capas granulares (subbase, base) y como capa de rodadura una carpeta constituida con materiales

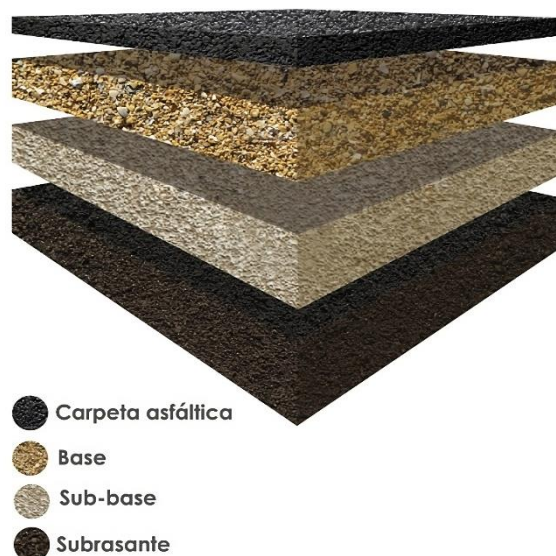
bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos. Principalmente se considera como capa de rodadura asfáltica sobre capas granulares: mortero asfáltico, tratamiento superficial bicapa, micro pavimentos, macadam asfáltico, mezclas asfálticas en frío y mezclas asfálticas en caliente” (MTC, 2014).

Estos pavimentos “cuentan con una capa de rodamiento constituida por mezcla asfáltica, por lo que también se les reconocen como pavimentos asfálticos. Resultan más económicos en su constitución inicial, pero tienen la desventaja de requerir mantenimiento constante para cumplir con su vida útil”. (Tapia, 2010)

Así también (Montejo, 2002) indica que este tipo de pavimentos están formados por una carpeta bituminosa apoyada generalmente sobre dos capas no rígidas, la base y subbase. Sin embargo, dependiendo de las necesidades específicas de cada trabajo, estas capas pueden eliminarse.

## Figura 2

### *Estructura de un pavimento flexible*



Fuente: (Loría, 2019)





En la figura 2 se muestra la estructura de un pavimento flexible compuesto por las diferentes capas; cada una cumpliendo con diferentes características.

Cada capa de la estructura de un pavimento flexible cumple una función, la cual se detalla a continuación:

a. Capa de rodadura

Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible), cuya función es sostener directamente el tránsito. (MTC, 2014). Igualmente, (Ortiz, 2017) menciona que está compuesta por mezclas asfálticas y materiales pétreos. Esta capa recibe directamente los vehículos y las influencias ambientales como la radiación solar y la lluvia. Proporciona una superficie cómoda y segura para los usuarios de la carretera y también actúa como una capa impermeable que protege a otras capas. Asimismo, La capa superficial también debe garantizar una superficie plana y estable para el tráfico y resistir los efectos abrasivos del tráfico. Ser impermeable para evitar el ingreso del agua al interior del pavimento, además, su resistencia a la tensión complementa las capacidades estructurales del pavimento.

### Figura 3

#### *Capa de rodadura*



Fuente: (Altilio Vial, 2020)

En la figura mostrada se observa la capa de rodadura y un compactador vibratorio de combinación de asfalto.

#### b. Base

Es la capa inferior a la capa de rodadura, que “tiene como principal función de sostener, distribuir y transmitir las cargas ocasionadas por el tránsito. Esta capa será de material granular drenante ( $\text{CBR} \geq 80\%$ ) o será tratada con asfalto, cal o cemento” (MTC, 2014).

Apoyando la idea anterior (Ortiz, 2017) también, hace referencia que “la base es una capa granular ubicada bajo la carpeta asfáltica, su función es distribuir los esfuerzos generados por el tránsito hacia las capas inferiores”.

(Montejo, 2002) Por su parte, de forma similar indica que La tarea principal de la base granular del pavimento es crear un elemento duradero que transmita las tensiones derivadas del tráfico con la intensidad adecuada a la



subbase y a la subrasante. Al mismo tiempo, la base tiene que tener una función económica semejante a la que tiene la subbase en relación a la base.

c. Subbase

Es una capa de un material específico, cuyo espesor está destinado a soportar y a la carpeta. Además, se utiliza como capa de drenaje y regulador capilar del agua. Dependiendo del tipo, diseño y tamaño del pavimento, se puede omitir. Esta capa puede ser de material granular ( $CBR \geq 40\%$ ) o tratada con asfalto, cal o cemento (MTC, 2014).

(Ortiz, 2017) Hace referencia que la capa granular está construida con materiales más económicos que las capas anteriores, esta capa facilita el drenaje del agua que puede filtrarse a través del suelo o ascender por capilaridad.

d. Subrasante

Es la superficie que “soporta la estructura de pavimento, está compuesta por terreno natural, aunque en ocasiones es necesario mejorar las características del terreno para lo cual se requiere un proceso de mejoramiento como la compactación para mejorar sus características, pues de estas dependerá en gran medida, el espesor total del pavimento” (Garzon & Hernández, 2018).

Al respecto, (Ortiz, 2017) indica: “la superficie que soporta la estructura de pavimento, está compuesta por terreno natural, aunque en ocasiones es necesario mejorar las características del terreno para lo cual se requiere un proceso de mejoramiento”.



### 2.2.5.2 Pavimento rígido

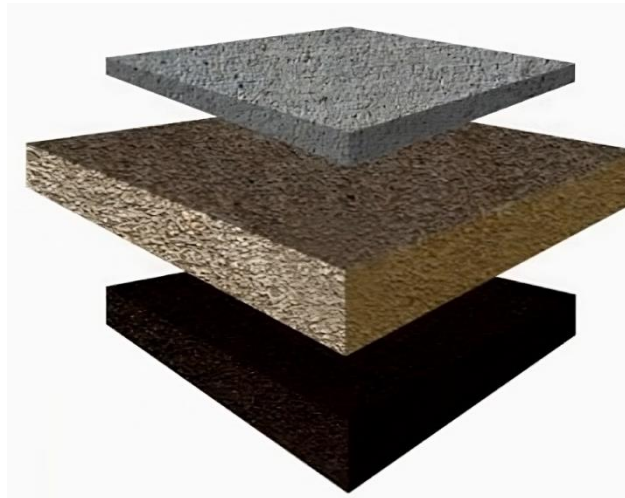
El pavimento rígido “es una estructura de pavimento compuesta específicamente por una capa de subbase granular, no obstante, esta capa puede ser de base granular, o puede ser estabilizada con cemento, asfalto o cal, y una capa de rodadura de losa de concreto de cemento hidráulico como aglomerante, agregados y de ser el caso, aditivos” (MTC, 2014).

Por otro lado, la (Facultad de ciencias y tecnología, 2004) indica: “son aquellos en los que la losa de concreto de cemento Portland (C.C.P.) es el principal componente estructural, que alivia las tensiones en las capas subyacentes por medio de su elevada resistencia a la flexión, cuando se generan tensiones y deformaciones de tracción de bajo la losa producen su fisuración por fatiga, después de un cierto número de repeticiones de carga. La capa inmediatamente inferior a las losas de C.C.P. denominada sub-base, por esta razón, puede ser constituida por materiales cuya capacidad de soporte sea inferior a la requerida por los materiales de la capa base de los pavimentos flexibles”.

Apoyando la idea, (Tapia, 2010) “En los pavimentos rígidos, la superficie de rodamiento es proporcionada por losas de concreto hidráulico que en algunas ocasiones presentan un armado de acero. Por su mayor rigidez distribuyen las cargas de los vehículos hacia las capas inferiores por medio de toda la superficie de la losa y de las losas adyacentes que trabajan en conjunto con la que recibe directamente la carga”.

## Figura 4

### *Pavimento rígido*



Fuente: (Loría, 2019)

La figura 4 muestra la estructura de un pavimento rígido compuesto por una losa de concreto base y subrasante.

### **2.2.5.3 Pavimento semirrígido**

“El pavimento semirrígido es una estructura de pavimento compuesta básicamente por capas asfálticas con un espesor total bituminoso (carpeta asfáltica en caliente sobre base tratada con asfalto); también se considera como pavimento semirrígido la estructura compuesta por carpeta asfáltica sobre base tratada con cemento o sobre base tratada con cal. Dentro del tipo de pavimento semirrígido se ha incluido los pavimentos adoquinados” (MTC, 2014).

A la vez, (Tapia, 2010) “están conformados por una capa de concreto hidráulico, cubierta por una carpeta asfáltica, se emplean en calles y su justificación se basa, en la presencia de redes y servicios bajo la vialidad, que deben protegerse de la acción del tránsito. Su posición impide efectuar excavaciones a mayor profundidad



para alojar una estructura del pavimento flexible convencional. Así mismo, pueden tener una mayor capacidad estructural y por consiguiente un mejor desempeño”.

De la misma manera la (Facultad de ciencias y tecnología, 2004) dice: “en términos amplios, un pavimento semirígido ó compuesto es aquel en el que se combinan tipos de pavimentos diferentes, es decir, pavimentos “flexibles” y pavimentos “rígidos”, normalmente la capa flexible por encima y la capa rígida está por debajo. Es usual que un pavimento compuesto consista en una capa de base de concreto o tratada con cemento Portland junto con una capa de rodadura de concreto asfáltico.

### **2.2.6 Ciclo de vida del pavimento**

El ciclo de vida del pavimento, “sin considerar un mantenimiento y rehabilitación, se puede representar mediante una curva de comportamiento, la cual es una representación histórica de la calidad del pavimento. Dicha curva evidencia cuatro etapas” (Choque, 2019)

**Construcción:** El estado del pavimento es excelente y cumple con los requisitos de calidad necesarios para garantizar la satisfacción del usuario. Gastos incurridos hasta esta etapa es un paquete completo de construcción estructural.

**Deterioro imperceptible:** La superficie de la carretera se ha desgastado gradualmente en el proceso. Con el tiempo, el deterioro en esta etapa ha existido, pero es menos obvio y menos significativo por los usuarios. Por lo general, el considerable daño ocurre en la carpeta de rodadura debido a tráfico y clima. Para reducir los daños o el desgaste, es necesario aplicar una serie de medidas de conservación y mantenimiento, si no se toman, la vida útil del pavimento disminuye significativamente. El camino todavía



está en buen estado y en servicio adecuado para los usuarios, el costo de mantenimiento anual es de aproximadamente 0.4 a 0.6% del costo de construcción. El estado de la vía varía desde excelente a regular.

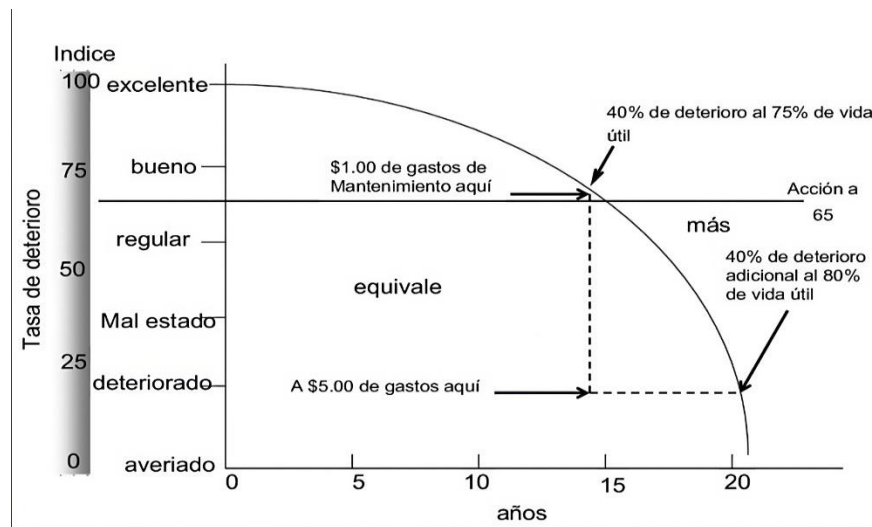
**Deterioro acelerado:** Luego de algunos años, los elementos de la superficie de la carretera se degradan cada vez más, la resistencia al tráfico disminuye. La estructura básica del pavimento de encuentra dañada, lo que puede verificarse por defectos visibles del pavimento. Este paso es corto, porque la destrucción es bastante rápida. El estado de la vía varía de aceptable a muy mala.

**Deterioro total:** En esta etapa es posible que el proceso pueda durar varios años y provoca un desgaste total del pavimento. La transitabilidad es disminuida considerablemente y el vehículo empieza a sufrir daños en neumáticos, ejes, etc. Los costos de operatividad del vehículo suben y la carretera se vuelve intransitable para los vehículos.

Como se describió anteriormente, la superficie de la carretera se degrada continuamente por influencias externas como el tráfico, la lluvia, etc. Sus efectos indican a la intransitabilidad de la vía. El deterioro del pavimento ocurre desde una etapa temprana, siendo el grado de daño casi imperceptible hasta su falla total. Es importante destacar que un pavimento de una condición regular hacia arriba, brinda un camino adecuado para los usuarios. En la siguiente figura muestra como la condición estructural y funcional de los pavimentos a lo largo del tiempo es disminuida.

## Figura 5

*Ciclo de vida de los pavimentos.*



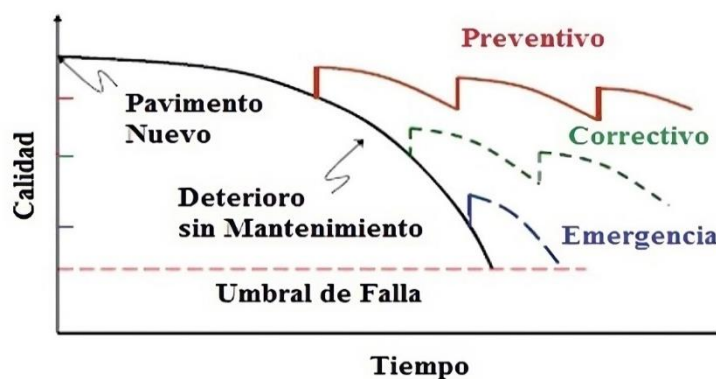
Fuente: (Medina & De la cruz, 2015)

La figura 5 muestra el ciclo de vida de un pavimento en donde a los 20 años transcurridos se observa un pavimento deteriorado, por el contrario, a los 5 años aún conserva condiciones cercanas a excelente.

El ciclo de vida de los pavimentos puede alargarse si se realiza trabajos de mantenimiento y rehabilitación de manera oportuna, así como se muestra a continuación en la siguiente figura:

## Figura 6

*Ciclo de vida de los pavimentos con mantenimiento y rehabilitación*



Fuente: (Medina & De la cruz, 2015)





Se puede ver la curva gris mostrando el estado del pavimento sin intervención y la curva roja con mantenimiento y restauración. Se identifican tres puntos en la curva roja, que se muestran a continuación: En el punto 1, la carretera se degrada menos rápidamente debido a los trabajos de mantenimiento. En el punto 2 se aplica el primer trabajo de recuperación para restaurar el estado del pavimento. Por último, en el punto 3 se ejecuta una segunda intervención de restauración para devolver la mayor parte del pavimento a su estado original, logrando de esta manera un mayor tránsito a largo del tiempo.

### **2.2.7 Evaluación estructural de pavimentos flexibles**

La evaluación estructural del pavimento radica esencialmente en determinar la capacidad del sistema en la estructura existente, en cualquier instancia de su vida útil, para instaurar y cuantificar la necesidad de mejora, cuando el pavimento cambiará su función de demanda de tráfico o cuando se acerca al final de su vida útil.

En general, la evaluación estructural incluye la auscultación estructural y los cálculos inversos, incluida la auscultación estructural como técnica de adquisición de información del pavimento (deflexiones) y, en segundo lugar, la aplicación de la metodología utilizada para determinar el resultado final de la evaluación estructural.

La auscultación de la estructura del pavimento ha evolucionado con el tiempo con los avances tecnológicos, exigiendo cada vez más un mejor desempeño del trabajo, una recopilación sistemática de los parámetros del pavimento y menos daños físicos y operativos al movimiento del pavimento bajo investigación. En las mediciones realizadas durante la auscultación estructural, se deben tener en cuenta los siguientes aspectos, ya que pueden incitar a errores en la interpretación de los resultados:



- Temperatura: Será necesario ajustar las deflexiones en función de la temperatura a la que se realicen los ensayos y de las propiedades térmicas del pavimento.
- Tiempo de carga: Esta condición respecto a los valores de deflexión obtenidos tienen gran relevancia.
- Humedad: Esta afecta a las bases, subbases y subrasantes, ya que varios de los materiales que los componen son muy sensibles a mencionada humedad.

Junto con el análisis estructural hay estudios de capacidad estructural, vida remanente y rehabilitación. Para llevar a cabo todos estos estudios se utilizan diferentes métodos, los cuales han estado orientados a predecir y solucionar las fallas estructurales que se presentan en el pavimento. (Fernandez, 2020)

Por otro lado, el (MTC, 2014) indica que, “la insuficiencia estructural del pavimento es definida en base a una evaluación superficial y estructural del pavimento. En esta situación, es imprescindible un refuerzo por haberse cumplido o estar cerca a cumplir la vida útil del pavimento”.

Asimismo, una de las variables en el diseño de pavimentos es un incremento de tráfico mayor al esperado, y un incremento mayor al esperado requiere fortalecer el análisis de acuerdo al refuerzo.

De otra manera, el costo de conservación excesivo, se refiere al planteamiento de la estrategia de conservación de pavimentos, donde se instaura la política o actuación de conservación y se definen las medidas y costes de la conservación rutinaria y periódica del pavimento durante su vida. La aplicación de medidas de protección en cantidades mayores a las previstas genera mayores costos de protección y es un indicio de que el



comportamiento del pavimento no está de acuerdo al previsto. El MTC también menciona que:

Entre las posibles causas de fallas o defectos en el pavimento se tiene distinto origen y naturaleza, como, por ejemplo:

- Aumento excesivo de las cargas cíclicas: ya sea en peso o frecuencia en comparación con el diseño original y da como resultado un infradiseño.
- Deficiencias en el proceso constructivo: espesores menores a los esperados, preparación insuficiente de mezclas y estabilizantes, deficiencias en el proceso de transmisión, compactación o acabado, factores todos que conducen a una disminución en la calidad de los materiales y daño estructural del pavimento.
- Deficiencia en el proyecto: que provoca espesores menores a los que realmente requiera la estructura del pavimento.
- Factores climáticos regionales: muy desfavorables o no predecibles durante el diseño y/o construcción, por ejemplo, aumento de aguas subterráneas, inundaciones, lluvias prolongadas, falta de drenaje superficial o subterráneo previsto, fluctuaciones de temperatura exterior, fenómenos de congelación, presencia de sales nocivas, etc.
- Deficiente conservación vial: por falta de personal capacitado, de fondos o de fondos; por el uso de materiales y/o técnicas inapropiadas o, por falta total de conservación.

Determinar la causa más probable de una falla en particular es esencial para su evaluación, aunque a menudo es difícil de estimar. La aprobación final se dará una vez que se completen los estudios de evaluación estructural.

Entender las causas de las fallas detectadas debería conducir a la separación de dos casos globales, en los que se debe detectar la falla analizada:

- Fallas superficiales: incluye los defectos del pavimento que son causados por daños a la capa superficial del asfalto en sí y no están relacionados con la construcción del pavimento.
- Fallas estructurales: esto incluye defectos de la superficie de rodadura, en consecuencia de una o varias fallas en la estructura del pavimento, afectando a una o más capas de la estructura misma.

## 2.2.8 Ensayos de la evaluación estructural

### 2.2.8.1 Exploración de suelos

(Montejo, 2002), nos muestra una tabla donde nos da un criterio de ubicación, profundidad y número de calicatas, lo podemos ver en la siguiente tabla.

**Tabla 1**

*Ubicación, profundidad y número de agujeros*

TIPO DE ZONA	ESPACIAMIENTO	PROFUNDIDAD
Carretera	250 – 500	1.50
Otras áreas pavimentadas	Una perforación cada 1 000 m <sup>2</sup>	Cortes: -3m debajo de la rasante
Pistas de aterrizaje	A lo largo de la línea central, 60 – 70	Cortes: -3m debajo de la rasante Rellenos: -3m debajo de la superficie existente del suelo

Fuente: Extraído de Montejo 2008

Por otro lado, el número de puntos a intervenir tiene un criterio de según el tipo de vía, de acuerdo a la siguiente tabla.



**Tabla 2**

*Criterios para determinar los puntos de investigación*

TIPO DE VÍA	NÚMERO DE PUNTOS DE INVESTIGACIÓN	ÁREA (m <sup>2</sup> )
Locales	1	3600
Arteriales	1	2400
Colectoras	1	3000
Expresas	1	2000

Fuente: Extraído de la norma técnica C.E.10 capítulo 3

Así también se menciona en las técnicas de investigación de campo que la profundidad mínima de la exploración de suelos será de 1,50 m iniciando por debajo de la cota rasante.

#### **2.2.8.2 Muestra representativa**

- Referencias normativas
  - MTC E 105-2016
  - ASTM C 702-93
- Generalidades

Para la realización de los distintos tipos de ensayos en el laboratorio de suelos, es necesario contar con materiales de suelo representativos en cantidades suficientes para que puedan cumplir los requisitos de cada tipo de ensayo, de esta forma se seguirá un procedimiento manual o mecánico, el cual consiste en disminuir las muestras de suelo a cantidades más pequeñas, procurando que sean lo más homogéneas y representativas posible, para que al final del proceso, tenga un patrón que refleje con precisión las características del suelo o canteras. El modo



de muestreo controlado no proporciona resultados numéricos, pero es un método ampliamente utilizado para obtener muestras representativas para las pruebas de laboratorio requeridas posteriormente.

### 2.2.8.3 Contenido de humedad

- Referencias normativas
  - ASTM D2216-92
  - NTP 339.127 41
  - MTC E 108 – 2016
- Generalidades

El contenido de humedad es la porción de agua presente en el material (madera, suelo, piedra, etc.), se obtiene de forma sencilla, además esta propiedad física del suelo es útil en la ingeniería civil, contando a partir de la resistencia y comportamiento de los suelos en construcción se rige por la cantidad de agua contenida en los mismos; este suelo se compone de tres fases:

- Fase líquida: la cual es conformada por agua que llena los vacíos parcialmente o en su totalidad.
- Fase sólida: constituida por partículas orgánicas o de origen mineral.
- Fase gaseosa: constituida por aire

Las masas de muestra húmeda y seca de estas fases del suelo se pueden determinar fácilmente en el laboratorio, parámetros que nos permiten establecer una relación física para luego calcular el contenido de humedad de la muestra. El contenido de humedad, también conocido como contenido de



humedad de la muestra de suelo, es la relación porcentual entre la masa de agua contenida en la muestra y la masa de la muestra después del secado.

#### **2.2.8.4 Análisis granulométrico por tamizado**

- Referencias normativas
  - ASTM D422
  - MTC E 107- 2016
  - AASHTO T88
- Generalidades

Se nombra clasificación granulométrica a la medición y clasificación de las partículas de sedimentación, del material sedimentario realizándolo con fines analíticos, tanto de su origen como de sus propiedades mecánicas, también es el cálculo de la cantidad de esos tamaños correspondientes a cada tamaño predicho por la escala granulométrica. El análisis de tamiz es un método popular para representar gráficamente las propiedades texturales de los materiales del suelo con una curva de distribución de partículas. Hay dos métodos para determinar el tamaño y la distribución de las partículas del suelo:

- Método Mecánico para gravas y arenas
- Método Húmedo utilizado para materiales finos, como limos y arcillas.

Para nuestra investigación se hizo uso del método mecánico, cuyo procedimiento consiste en desagregar las partículas del suelo por medio de tamices con diferentes dimensiones de paso.



### 2.2.8.5 Límites de Atterberg

Los Límites de Atterberg instauran la sensibilidad del comportamiento de un suelo con respecto a su contenido de humedad, definiéndose los límites correspondientes a los tres estados de consistencia según su contenido de humedad y de acuerdo a ello puede presentarse un suelo: sólido, líquido y plástico. Estos límites de Atterberg que calcula la cohesión del suelo son: el límite de contracción (LC, según ensayo MTC E 112), el límite plástico (LP, según ensayo MTC E 111) y el límite líquido (LL, según ensayo MTC E 110). Límite Líquido (LL), se refiere cuando el suelo pasa del estado semilíquido a un estado plástico y este puede moldearse. Límite Plástico (LP), cuando el suelo pasa de un estado plástico a un estado semisólido y este se rompe. Además del LL y del LP, es posible obtener el Índice de plasticidad IP (ensayo MTC E 111) que se halla con la diferencia del LL y LP según (Dirección general de caminos y ferrocarriles, 2014)

#### Límite líquido

- Referencias normativas
  - ASTM D423.
  - MTC E 110 – 2016.
  - AASHTO T 89.
- Generalidades

Para el (MTC, 2016) “es el contenido de humedad, expresado en porcentaje, para el cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico. Arbitrariamente se designa como el contenido de humedad al cual el surco separador de dos mitades de una pasta de suelo se cierra a lo largo de su





fondo en una distancia de 13 mm (1/2 pulg) cuando se deja caer la copa 25 veces desde una altura de 1 cm a razón de dos caídas por segundo”.

### **Límite plástico**

- Referencias normativas
  - MTC E 111 – 2016.
  - AASHTO T 90.
  - ASTM D424.
- Generalidades

Para (MTC, 2016) “Se denomina límite plástico a la humedad más baja con la que pueden formarse barritas de suelo de unos 3,2 mm de diámetro, rodando dicho suelo entre la palma de la mano y una superficie lisa” tratando de que dichas barritas no se desmoronen.

#### **2.2.8.6 Índice de plasticidad**

El índice de plasticidad de un suelo se define como la diferencia entre su límite líquido y el límite plástico.

$$I.P. = L.L. - L.P.$$

Donde:

L.P. = Límite Plástico

L.L. = Límite Líquido

- Si no se puede determinar el límite líquido o el límite de plasticidad, el índice de plasticidad se indica con la abreviatura NP (no plástico).
- De manera similar, si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, el índice de plasticidad se reporta como NP.



### 2.2.8.7 Clasificación de suelos

- Generalidades

Un sistema de clasificación de suelos es una agrupación de suelos con características similares. El objetivo es evaluar fácilmente las propiedades del suelo en comparación con otros suelos del mismo tipo para los que se conocen sus características. Son tantas las propiedades y combinaciones en los suelos y múltiples los intereses ingenieriles, que las clasificaciones están orientadas al campo de ingeniería para la cual se desarrollaron (MTC, 2016). A su vez, también se menciona que:

Actualmente, los ingenieros civiles y geotécnicos suelen utilizar dos sistemas de clasificación que utilizan el tamaño de grano del suelo y la plasticidad. Estos son el Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.) y el Sistema de Clasificación AASHTO.

- Sistema AASHTO, la evaluación en cada grupo se hace mediante un índice de grupo, el sistema describe un método para clasificar los suelos en grupos basados en determinaciones de laboratorio de granularidad, índice de plasticidad y límite líquido.

**Tabla 3**

*Sistema de clasificación AASHTO*

Clasificación general	Suelos granulares ( $\leq 35\%$ pasa 0.08 mm)						Suelos finos ( $>35\%$ bajo 0.08mm)				
	A1		A3	A2		A4	A5	A6	A7		
Sub grupo	A- 1a	A- 1b	A- 2-4	A- 2-5	A- 2-6	A- 2-7				A- 7-5 A- 7-6	
2 mm	$\leq 50$										
0.5 mm	$\leq 30$	$\leq 50$	$\geq 51$								
0.8 mm	$\leq 15$	$\leq 25$	$\leq 10$	$\leq 35$		36					
$W_L$			$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	$\leq 40$	$\geq 41$	
IP	$\leq 6$		NP	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$	$\leq 10$	$\leq 10$	$\geq 11$	$\geq 11$
Descripción	Gravas y arenas		Arena fina	Gravas y arenas limosas arcillosas			Suelos limosos		Suelos Arcillosos		
	A-7-5: $IP \leq (W_L - 30)$						A-7-6: $IP > (W_L - 30)$				
	Si el suelo es NP entonces $IG = 0$ ; Si $IG < 0$ entonces $IG = 0$										

Fuente: Método AASHTO 93

Sistema SUCS, “está basado en la identificación de los suelos según sus cualidades estructurales y de plasticidad, y su agrupación con relación a su comportamiento como materiales de construcción en ingeniería.” (Manual de Ensayo de Materiales) Pág. 1160. El sistema desarrollado por el Dr. Arturo Casagrande da términos descriptivos utilizando la textura tales como: “GC”, grava arcillosa; “GW”, grava bien graduada; “GP”, Grava mal graduada, etc.

#### 2.2.8.8 Proctor modificado

- Referencias normativas
  - ASSHTO T 180.



- MTC E115 – 2016.
- ASTM D1557 - 91.
- Generalidades

Este ensayo abarca los procedimientos de compactación usados en Laboratorio, “para determinar la relación entre el Contenido de Agua y Peso Unitario Seco de los suelos (curva de compactación) compactados en un molde de 101,6 ó 152,4 mm (4 ó 6 pulg) de diámetro con un pisón de 44,5 N (10 lbf) que cae de una altura de 457 mm (18 pulg), produciendo una Energía de Compactación de (2700 kN-m/m<sup>3</sup> (56000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))”. (MTC, 2016).

Se proporciona 3 métodos alternativos. “El método usado debe ser indicado en las especificaciones del material a ser ensayado. Si el método no está especificado, la elección se basará en la gradación del material”. (MTC, 2016).

$$DS = Dh / (1 + w/100)$$

Donde:

Ds: Densidad seca.

Dh: Densidad húmeda de la muestra, se calcula con la ecuación anterior.

W: Contenido de humedad de la muestra.

#### **2.2.8.9 Valor Relativo de Soporte (CBR)**

- Normatividad
  - AASHTO T193 – 63
  - ASTM D1883
  - MTC E132 – 2016
- Generalidades

Para (MTC, 2016) “este método de ensayo se usa para evaluar la resistencia potencial de subrasante, subbase y material de base, incluyendo materiales reciclados para usar en pavimentos de vías y de campos de aterrizaje. El valor de CBR obtenido en esta prueba forma una parte integral de varios métodos de diseño de pavimento flexible”.

Además, “el valor de la relación de soporte (índice resistente CBR). Se llama valor de la relación de soporte (índice CBR), al tanto por ciento de la presión ejercida por el pistón sobre el suelo, para una penetración determinada, en relación con la presión correspondiente a la misma penetración en una muestra patrón”. (MTC, 2016) Las características son las siguientes:

**Tabla 4**

*Valores de penetración y presión en (CBR)*

Penetración		Presión		
Mm	Pulgadas	MN/m <sup>2</sup>	kgf/cm <sup>2</sup>	lb/plg <sup>2</sup>
2.54	0.1	6.90	70.31	1.000
5.08	0.2		105.46	1.500

Fuente: Extraído de (MTC, 2016)

### 2.2.9 Diseño estructural del pavimento

El espesor requerido para cada capa de pavimento flexible es muy variable depende de los materiales utilizados, la magnitud y el número de repeticiones de carga del tráfico, las condiciones ambientales y la vía útil deseada del pavimento. Estos factores se tienen en cuenta en el diseño, de modo que el pavimento dure su vida útil sin sufrir daños excesivos. En la mayoría de los casos, la capa superior del suelo es de 1 a 10 pulgadas, que puede incluir varias capas de recapeo. La capa de la subbase varía desde 6 a 20 pulgadas y la capa base varía desde 4 a 12 pulgadas.



La vida útil de un pavimento flexible varía de un caso a otro, con términos medios de entre 10 y 20 años, sin embargo, esta vida útil puede ser significativamente más corta debido a parámetros de diseño muy diferentes que escapan al control del constructor. Esta vida puede aminorarse drásticamente sino se considera la atención oportuna de un mantenimiento.

- Trafico en ejes equivalentes. MTC (2014) “Este parámetro es, quizás, el más incidente en el diseño del pavimento un valor subestimado conducirá a una falla prematura del pavimento, mientras que un sobre dimensionamiento resultara en altos costos iniciales”.
- Periodo de diseño. El periodo de diseño está relacionado con los requerimientos de cada entidad o las condiciones contractuales; sin embargo, de acuerdo a la importancia de la vía, este puede estar comprendido entre los 5 hasta los 20 años, en el caso de vías de mayor importancia el Manual de Diseño MTC (2014) indica que el periodo de diseño hacer empleado para pavimentos flexibles puede darse en dos etapas de 10 años cada una y un periodo de diseño en una etapa de 20 años.
- Confiabilidad (R). MTC (2014) “El nivel de confiabilidad (R) es seleccionado en función de la clasificación funcional de la carretera y el tipo de zona (urbana o rural). La confiabilidad es la probabilidad de que el pavimento tendrá una duración para el periodo de diseño sin fallar. Un mayor valor de la confiabilidad asegurar un mejor comportamiento, pero se requerirá mayores espesores de cada capa. El siguiente cuadro presenta los valores recomendados por AASHTO para las diferentes clasificaciones funcionales de carreteras”.

**Tabla 5**

*Valores de confiabilidad recomendada por AASHTO-93*

Clasificación funcional	Nivel recomendado de confiabilidad	
	Urbano	Rural
Interestatales y otras vías Expresas	85-99.9	80-99.9
Arterias principales	80-99	75-95
Vías colectoras	80-95	75-95
Locales	50-80	50-80

Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

- Desviación estándar normal. “El coeficiente estadístico de desviación estándar normal ( $Z_r$ ) representa el valor de la confiabilidad seleccionada para un conjunto de datos en una distribución normal” (MTC, 2014).
- Desviación estándar. “La desviación estándar combinada  $S_o$  es un valor que toma en cuenta la variabilidad esperada de la predicción del tránsito y de los otros factores que afecta el comportamiento del pavimento; como por ejemplo, construcción, medio ambiente, incertidumbres del modelo”. La guía Guía AASHTO recomienda adoptar, para los pavimentos flexibles, valores de  $S_o$  comprendidos entre 0.40 y 0.50. En el manual del MTC se adopta el valor de 0.45 para los diseños recomendados. (MTC, 2014).
- Módulo resiliente efectivo. “El módulo elástico que es calculado basado en la deformación recuperable bajo carga repetitiva es denominado módulo resiliente ( $M_r$ )” (MTC, 2014) y está definido como:

$$M_R = \frac{\sigma_d}{\epsilon_r}$$

Donde:

- $M_R$  = Módulo resiliente

- $\sigma_d$  = Esfuerzo desviador
- $\varepsilon_r$  = Deformación radial

El ensayo de módulo resiliente es una prueba no destructiva y la misma muestra se puede utilizar para varias pruebas bajo diferentes cargas y condiciones ambientales.

Correlaciones, cuando se dispone únicamente de resultados del ensayo de CBR.

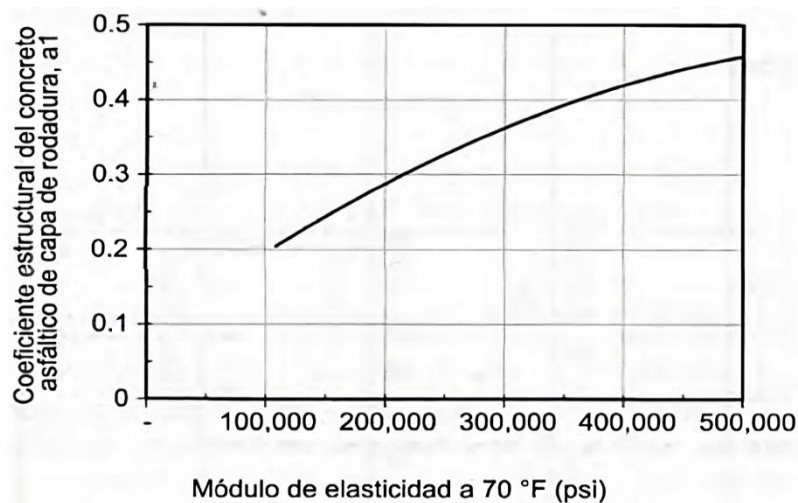
$$M_R = 17.6 * CBR^{0.64} \text{ Mpa}$$

$$M_R = 2555 * CBR^{0.64} \text{ Psi}$$

- Coeficientes estructurales de capa. (AASHTO, 1993) “El coeficiente estructural de capa es una medida de la capacidad relativa de una unidad de espesor de un determinado material para funcionar como un componente estructural del pavimento. 3 coeficientes de capa estructural (a1, a2 y a3) son necesarios para la superficie, base y sub base, respectivamente. Estos coeficientes fueron determinados en la pista de pruebas de AASHTO y se pueden estimar a partir de correlaciones con las propiedades del material”.

**Figura 7**

*Coficiente estructural de la capa de la carpeta asfáltica*

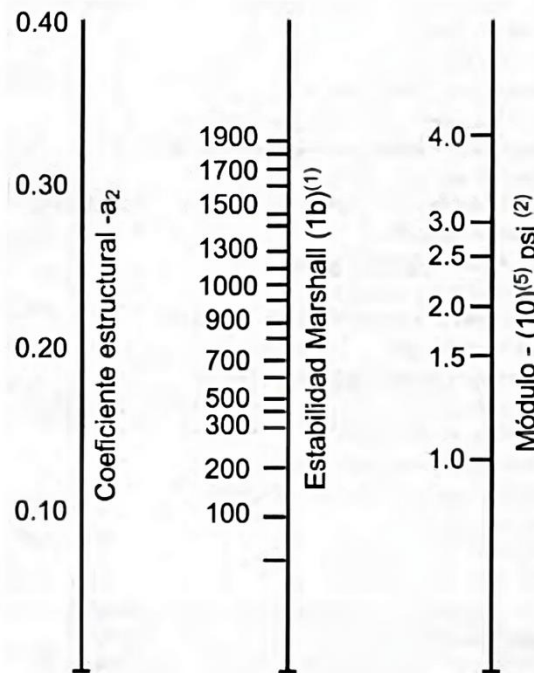


Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993



### Figura 8

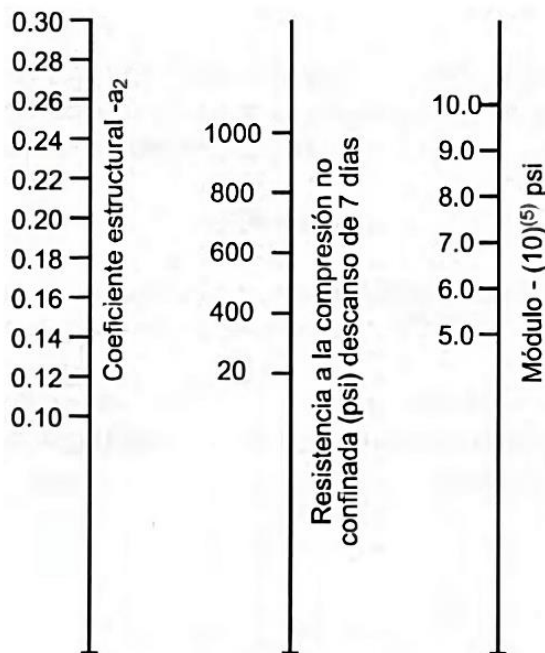
*Coefficiente estructural de capa de base granular sin tratar*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

### Figura 9

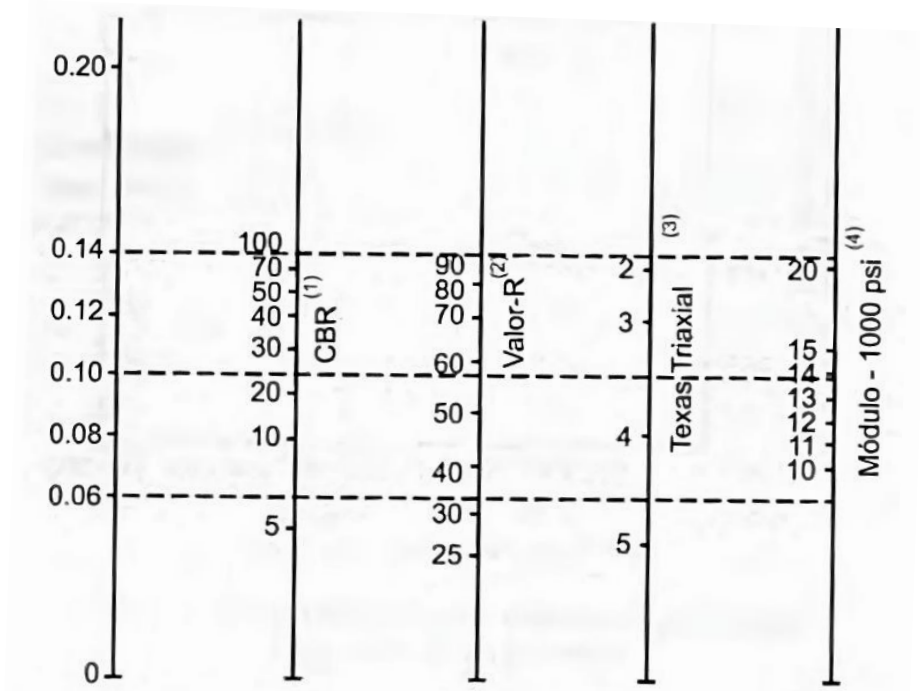
*Estabilizada con asfalto*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

**Figura 10**

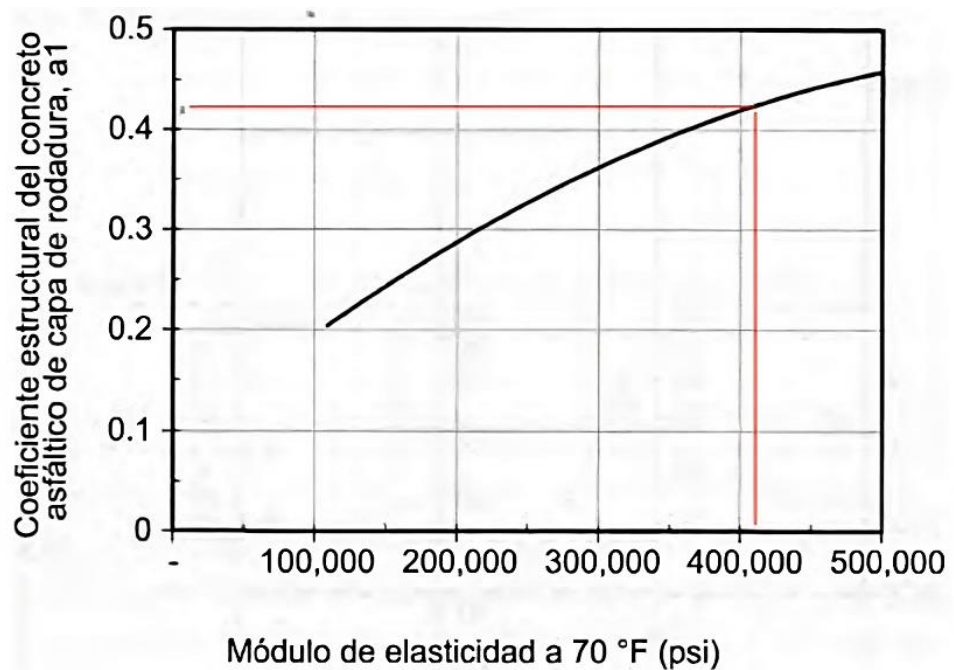
*Estabilizada con cemento*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

**Figura 11**

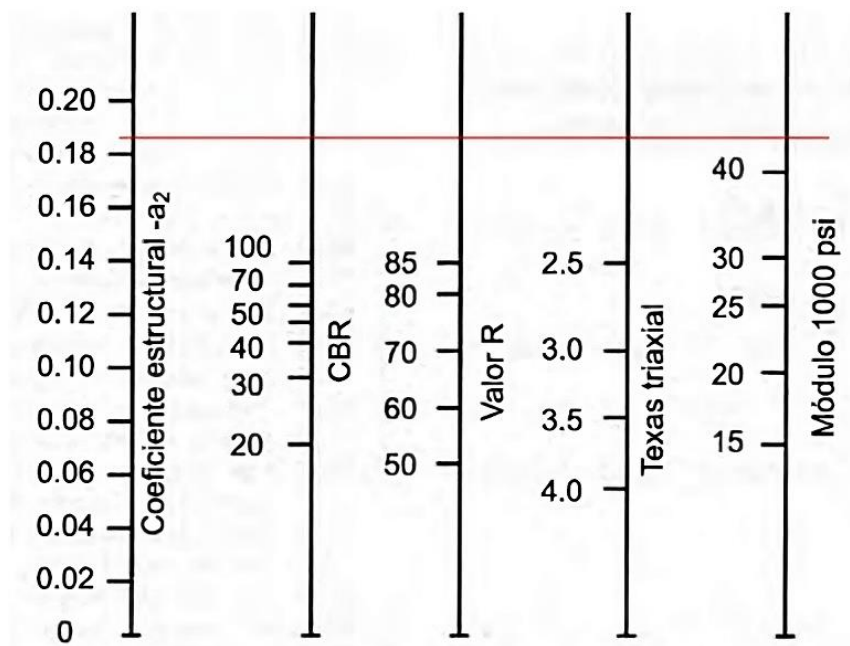
*Coficiente estructural de la capa subbase granular*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

**Figura 12**

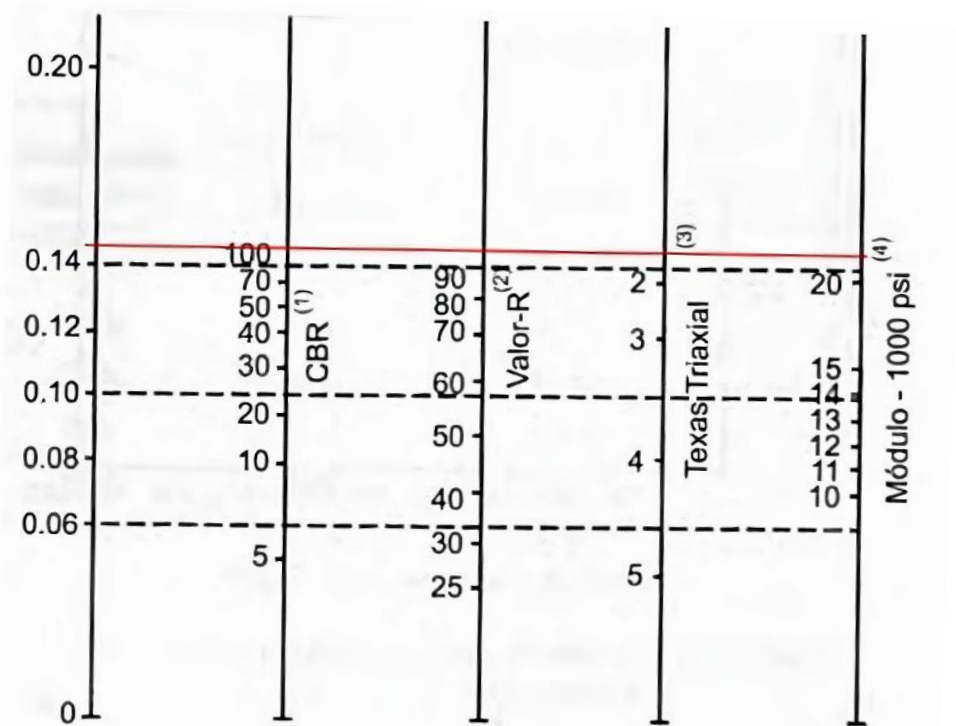
*Coefficiente de capa estructural de la base (a2)*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993

**Figura 13**

*Coefficiente de capa estructural de la subbase (a3)*



Fuente: Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, 1993



- **Serviciabilidad.** La serviciabilidad se refiere el confort o comodidad de circulación que ofrece la carretera al usuario. Su valor está comprendido entre 0 (condición de completo deterioro) y 5 (condición máxima ideal).
- **Coefficiente de drenaje.** El coeficiente de drenaje es la relación que existe entre el módulo resiliente en condiciones óptimas de humedad en relación al módulo para una cierta condición de humedad. El valor 1.00 indica que las condiciones de drenaje son similares a las de la pista de pruebas de AASHO, mientras que el valor por encima de 1.00 se trata de condiciones mejores que las obtenidas durante la pista de pruebas.
- **Variables de diseño.** “Para satisfacer adecuadamente las condiciones tanto del suelo, como de carga y tráfico a los que van a estar sometidos los pavimentos, para este proyecto en particular” (Método AASTHO – 93), se utiliza el método de la American Association of State Highways and Transportation Officials, la cual se presenta como:

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_0 + 9.36 \log \log (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \log \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32$$
$$\log \log (M_r) - 8.07$$



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1 Tipo de investigación

Han surgido diversas corrientes de pensamiento y diferentes marcos explicativos, abriendo diferentes caminos en la búsqueda del conocimiento. Por las diferentes premisas que las sustentan, estas corrientes se han polarizado desde el siglo pasado en dos enfoques principales de estudio: un enfoque cuantitativo y un enfoque cualitativo. Ambos enfoques utilizan procesos cuidadosos, metódicos y empíricos en un esfuerzo por generar conocimiento, por lo que la definición anterior de investigación se aplica a ambos métodos por igual. (Hernández, 2014)

Para la presente investigación según los datos analizados es una investigación cuantitativa, además, según el objetivo que se pretende obtener la investigación es aplicada porque está relacionada a dar una solución a un problema.

##### 3.1.2 Alcance de la investigación

“El diseño, los procedimientos y otros componentes del proceso serán distintos en estudios con alcance exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. Pero en la práctica, cualquier investigación puede incluir elementos de más de uno de estos cuatro alcances.” (Hernández, 2014)

De acuerdo a lo mencionado por Hernández la investigación tiene un alcance descriptivo, esto debido a que se busca establecer una descripción completa de una situación, sin buscar causas, ni consecuencias. También, según el diseño corresponde a

un estudio no experimental transversal porque no se realiza cambios y la recolección de datos se realiza en un solo momento, durante 4 meses.

### 3.1.3 **Ámbito de estudio**

El ámbito de la investigación está comprendido por la Av. Andrés Avelino Cáceres del área urbana de la ciudad de Juliaca, empezando en la Av. Circunvalación y culminando en la Av. Aviación.

- Departamento : Puno
- Provincia : San Román
- Distrito : Juliaca

#### **Figura 14**

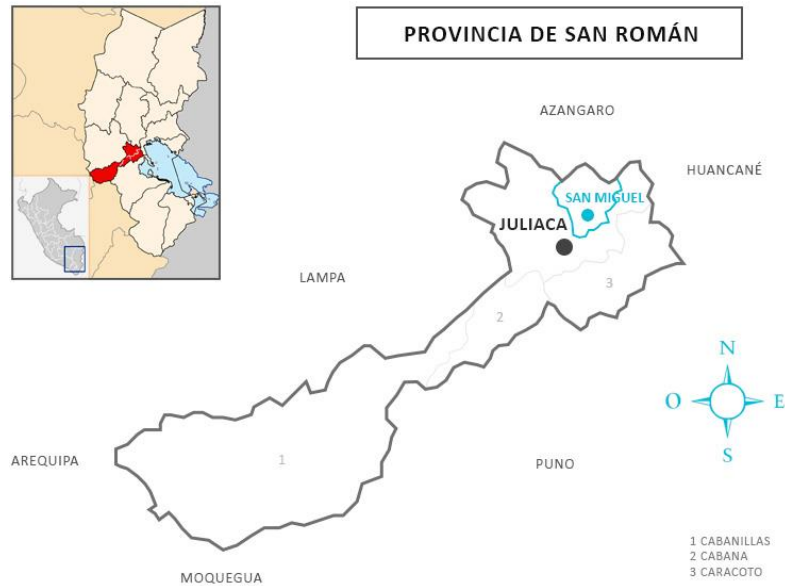
*Ubicación de la región Puno en el mapa del Perú*



Fuente: (Radio pública, 2022)

### Figura 15

*Ubicación de la provincia de San Román en el mapa de la región Puno*



Fuente: (Castillo, 2020)

### Figura 16

*Ubicación de Juliaca en el mapa de la provincia de San Román*



Fuente: (FamilySearch, 2021)

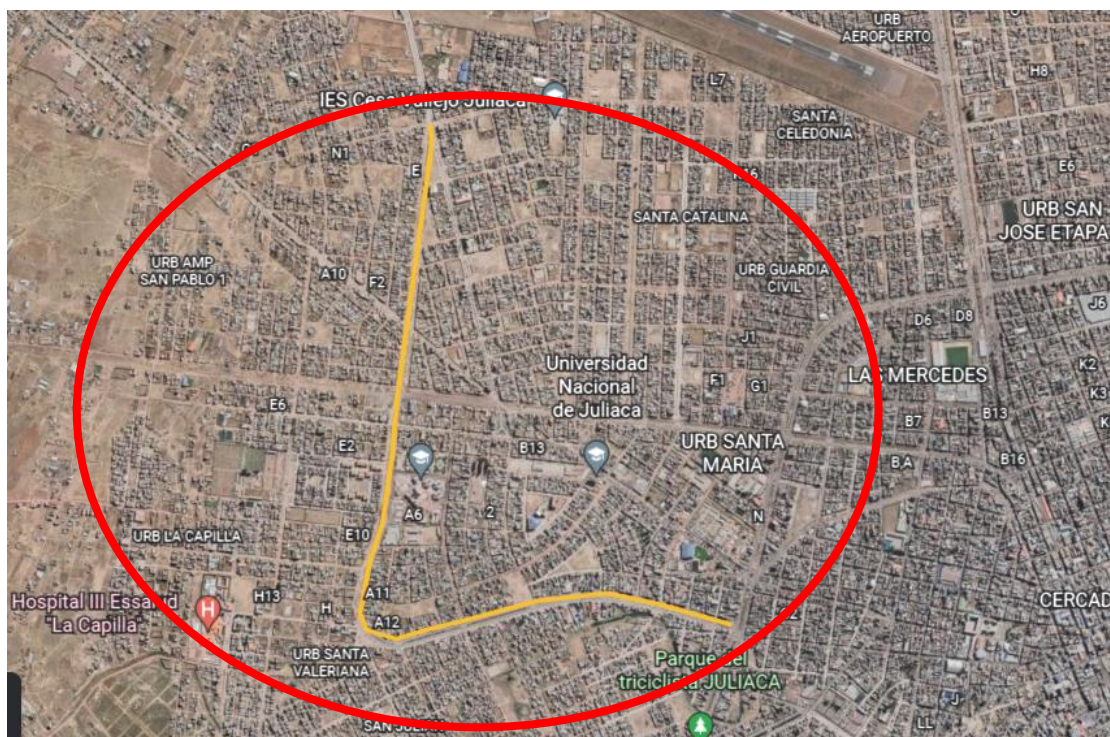
### 3.1.4 Población

“Una vez que se ha definido cuál será la unidad de muestreo/análisis, se procede a delimitar la población que va a ser estudiada y sobre la cual se pretende generalizar los resultados. Así, una población es el conjunto de todos los casos que concuerdan con una serie de especificaciones.” (Hernández, 2014).

En la presente investigación, la población está conformado por la longitud total de 3+140 km que conforma la Av. Andrés Avelino Cáceres en los cuales se tiene dos tramos, el primero que está asfaltado y el segundo que aún no se llegó a asfaltar. Para una mejor experiencia de ubicación poblacional se muestra el siguiente gráfico.

**Figura 17**

*Ubicación de la vía en estudio*



Fuente: Google Earth



### 3.1.5 Muestra

“La muestra es, en esencia, un subgrupo de la población. Digamos que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus características al que llamamos población”. (Hernández, 2014)

Para la investigación se realizó un muestreo por conveniencia (muestreo no probabilístico), esto debido a que la muestra de estudio es la única que está asfaltada hasta el momento, desde la cota 0+000 que inicia en la Av. Circunvalación hasta la cota 1+320 km. Se muestra a continuación el mapa geográfico del tramo en estudio.

### Figura 18

*Ubicación del tramo en estudio*



Fuente: Google Earth

## 3.2 DESCRIPCIÓN DEL TRAMO EN ESTUDIO

El tramo asfaltado de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, el cual sirvió como muestra para el siguiente trabajo tiene una longitud de 1320 metros, siendo una avenida con dos calzadas, cada una con una longitud de 9 metros; además presenta un separador central de 16.60 metros de largo; también una berma de 0.50 metros al lado izquierdo seguido de una cuneta de 0.50 metros y una berma de 1 metro al lado

derecho. Así mismo cuenta con veredas a ambos lados con una longitud de 4.20 metros cada una, teniendo finalmente una medida de 45 metros de largo de un extremo a otro.

### Figura 19

*Vista desde el Jr. Machupicchu de la vía en estudio*



La figura 19 nos muestra la longitud que muestra una fotografía tomada transversalmente en la que se aprecia carriles de 9 m de longitud en ambos sentidos.

Además, por las características funcionales, la avenida Andrés Avelino Cáceres se determina que es una avenida colectora cuya serviciabilidad es llevar el tránsito de las vías locales a las arteriales y en algunos casos a las vías expresas cuando no es posible hacerlo por intermedio de las vías arteriales. Además, Las vías colectoras es utilizada por todo tipo de tráfico vehicular, una gran proporción de camiones se encuentran en áreas comerciales e industriales. En general, se deben separar 800 metros unas a otras en la fase de planificación.

### 3.3 EXPLORACIÓN DE SUELO

- Finalidad

Extraer muestras suficientes para su posterior evaluación por los diferentes ensayos planteados en la investigación.

- Equipos y materiales

“El equipo requerido para una investigación por debajo de la superficie, depende de varios factores, tales como el tipo de material a investigar, profundidad de exploración, naturaleza del terreno”. (MTC, 2016)

Para el caso se utilizó, una retroexcavadora, palas, picos, barretas, cinta métrica y yeso.

- Procedimiento

- Para la exploración de suelos se realizó calicatas (excavación a cielo abierto), hasta una profundidad de 1.50 metros de acuerdo a la tabla , que indica que para carreteras es la mínima longitud de profundidad.
- Al ser una avenida colectora, se deberá considerar 4 calicatas a lo largo del tramo de muestra, esto según la tabla, considerando que cada 3000 m<sup>2</sup> tenemos un punto de intervención.

$$\frac{\text{longitud del tramo de muestra (m)} \times \text{ancho de calzada (m)}}{3000 \text{ m}^2}$$

$$\frac{1320 \times 9}{3000} = 3.96 \text{ calicatas} \approx 4 \text{ calicatas de estudio}$$

- Una vez marcados y asignados las áreas a los puntos de intervención, se procede con la excavación.
- Posterior a ello se miden las alturas correspondientes de cada estrato visible en cada una de las calicatas las cuales se aprecian en la tabla 6.

**Tabla 6**

*Alturas de estratos encontrados en cada una de las calicatas.*

	<b>Calicata 1</b>	<b>Calicata 2</b>	<b>Calicata 3</b>	<b>Calicata 4</b>
<b>Carpeta asfáltica</b>	0.1 m	0.09 m	0.11 m	0.1 m
<b>Base</b>	0.22 m	0.29 m	0.30 m	0.90 m
<b>Suba base</b>	0.60 m	0.70 m	0.65 m	-

- Se toma muestras representativas por cada estrato visible en cada uno de las 4 calicatas para su posterior traslado al laboratorio.

**Figura 20**

*Exploración de suelo de la calicata 03*



La figura 20 muestra una calicata que fue realizada a un costado de la vía, en esta se aprecia el sardinel y la longitud de profundidad de excavación.



### 3.4 CÁLCULO DEL CONTENIDO DE HUMEDAD

- Finalidad

Determinar el contenido de humedad, expresada como porcentaje, del peso del agua en una determinada porción de suelo, con respecto a las partículas sólidas.

- Equipos y materiales

- Horno de secado, capaz de mantener una temperatura de  $110 \pm 5$  °C.
- Balanzas
- Recipientes
- Utensilios para la manipulación de los recipientes
- Otros utensilios

- Procedimiento

- En laboratorio se pesó tres recipientes (taras) para cada una las muestras de estratos de las diferentes calicatas.
- Se pesó los recipientes más las muestras húmedas haciendo uso de una balanza.
- Se procedió a llevar al horno de secado a una temperatura de  $110 \pm 5$  °C durante 24 horas, teniendo en cuenta el uso de utensilios para la manipulación del horno.
- Transcurrido el tiempo necesario, se volvió a pesar y tomar los datos del recipiente con las muestras secas.

## Figura 21

### Ensayo de contenido de humedad



En la figura 21 se aprecia el ensayo de contenido de humedad en el laboratorio de mecánica de suelos.

- Cálculos
  - Se calcula el contenido de humedad de la muestra, haciendo uso de la siguiente fórmula.

$$w = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso del suelo secado al horno}} \times 100$$

$$W = \frac{W_{T+MH} - W_{T+MS}}{W_{T+MS} - W_T} \times 100$$

Donde:

$W$  = es el contenido de humedad, (%).

$W_{T+MH}$  = es el peso de la tara más el suelo húmedo, en gramos.

$W_{T+MS}$  = es el peso de la tara más el suelo secado en horno.

$W_T$  = es el peso de la tara, en gramos.

**Tabla 7**

*Resultado del contenido de humedad*

	CAPA	Tara	Wtara	WT + MH	WT + MS	Contenido de humedad (%)	Contenido de humedad final (%)
<b>Calicata 1 (C1)</b>	Base (B)	A08	18.10	107.20	101.30	7.09	<b>6.84</b>
		E20	22.20	114.40	108.70	6.59	
		A37	21.00	148.90	139.50	7.93	
	Sub Base (SB)	T20	21.30	97.60	80.60	28.67	<b>29.13</b>
		T21	21.20	93.30	77.00	29.21	
		T08	21.20	91.40	75.40	29.52	
	Sub Rasante (SR)	A22	24.90	103.10	86.50	26.95	<b>26.25</b>
		A16	17.50	99.60	82.80	25.73	
		A05	17.90	78.80	66.20	26.09	
<b>Calicata 2 (C2)</b>	Base (B)	A08	18.10	107.20	101.30	7.09	<b>7.20</b>
		E20	22.20	114.40	108.70	6.59	
		A37	21.00	148.90	139.50	7.93	
	Sub Base (SB)	A59	20.50	108.00	103.10	5.93	<b>6.08</b>
		E06	18.90	83.90	79.10	7.97	
		T14	21.90	105.50	100.60	6.23	
	Sub Rasante (SR)	A07	17.50	99.10	83.20	24.20	<b>25.81</b>
		E16	21.50	118.40	98.60	25.68	
		A24	23.70	111.60	93.50	25.93	
<b>Calicata 3 (C3)</b>	Base (B)	T07	21.00	113.20	105.60	8.98	<b>8.06</b>
		A42	21.40	120.10	114.60	5.90	
		A15	18.30	115.90	109.40	7.14	
	Sub Base (SB)	A31	24.50	139.40	133.30	5.61	<b>4.60</b>
		A63	22.30	153.70	147.90	4.62	
		T01	23.40	139.80	134.70	4.58	
	Sub Rasante (SR)	E28	24.80	96.50	86.20	16.78	<b>16.92</b>
		A10	18.10	105.10	90.90	19.51	
		E30	21.50	109.30	96.50	17.07	
<b>Calicata 4 (C4)</b>	Base (B)	E22	20.90	136.20	131.40	4.34	<b>4.51</b>
		E04	24.80	137.00	132.10	4.57	
		A51	20.70	127.40	122.70	4.61	
	Sub Rasante (SR)	T05	21.40	95.10	80.50	24.70	<b>24.67</b>
		E12	20.90	102.60	87.50	22.67	
		T16	21.20	96.60	81.70	24.63	

### 3.5 CÁLCULO DEL ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO POR TAMIZADO

- Finalidad

Determinar los porcentajes de suelo que pasan por los distintos tamices empleados en el ensayo, hasta el (N° 200) de 74 mm.

- Equipos y materiales

- Balanzas para pesa material que pase el tamiz (N°4) de 4,760 mm.
- Horno capaz de mantener una temperatura de 110 +- 5°C.
- Tamices de acuerdo al siguiente cuadro.

**Tabla 8**

*Número de tamices en el ensayo de granulometría*

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 ½"	38,100
1"	25,400
¾"	19,000
⅜"	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

Fuente: (MTC, 2016)

- Envases que sirven para el manejo y secado de las muestras.
  - Cepillo para limpiar los orificios de las mallas.
- Procedimiento
  - Se toma una muestra representativa la cual es lavada en el tamiz N°200 separando de esta forma los materiales finos.
  - Una vez lavada la muestra se lleva al horno a una temperatura de 110 +- 5°C. y se la deja por un lapso de 24 horas.



- Ya seca la muestra se procede a pesar y se pasa por los diferentes tamices.
- En el tamizado manual se mueve los tamices de un lado al otro tratando de hacer un recorrido con forma de circunferencia, de tal manera que la muestra se mantenga en movimiento en la malla.
- Posterior a ello se procede a pesar la cantidad de muestra retenida en cada tamiz.

## Figura 22

### Ensayo de granulometría



En la figura 22 se muestra el juego de tamices que se utilizó para la caracterización de suelo.

- Cálculo

**Tabla 9***Clasificación SUCS y AASHTO*

	<b>Capa</b>	<b>% de grava</b>	<b>% de arena</b>	<b>% que pasa N°200</b>	<b>Clasificación SUCS</b>	<b>Clasificación AASHTO</b>
CALICATA 01	Base	50.30	33.48	16.22	GC	A-2-6 ( 0 )
	Sub Base	53.78	31.55	14.67	GC	A-2-6 ( 0 )
	Sub Rasant e	7.57	27.54	64.89	CL	A-6 ( 11 )
CALICATA 02	Base	50.30	33.48	16.22	GC	A-2-6 ( 0 )
	Sub Base	57.60	33.42	8.98	GP-GC	A-2-6 ( 0 )
	Sub Rasant e	0.06	21.63	78.32	CL	A-6 ( 13 )
CALICATA 03	Base	58.59	33.27	8.14	GP-GC	A-2-6 ( 0 )
	Sub Base	2.96	9.97	87.08	GC	A-2-6 ( 0 )
	Sub Rasant e	0.20	11.00	88.80	CL	A-6 ( 13 )
CALICATA 04	Base	88.89	6.78	3.34	GW	A-2-6 ( 0 )
	Sub Rasant e	2.24	29.53	68.22	CL	A-6 ( 12 )

**3.6 CÁLCULO DE LOS LÍMITES DE ATTERBERG****3.6.1 Límite Líquido**

- Finalidad

Será utilizado como parte integral para la clasificación de suelos, caracterizando de esta forma el comportamiento de los suelos finos.

- Equipos y materiales

- Balanza



- Contenedor de porcelana y espátula
- Cuchara de Casagrande y acanalador
- Tamiz número 40
- Pipeta
- Recipientes (tara)
- Procedimiento
  - Se escoge una proporción de la muestra para ser tamizada por la malla N°40, hasta obtener 150 gramos aproximadamente, descartando todo el material retenido.
  - Verter el material en el contenedor de porcelana, añadiendo agua hasta alcanzar una consistencia pastosa.
  - Colocar la muestra pastosa en la cuchara de Casagrande
  - Usar una espátula para extender y emparejar el material hasta casi un tercio de la cuchara.
  - Con el acanalador se realiza una ranura central en la cuchara cuidando no agrietar las partes divididas.
  - Girar la manivela de la cuchara de Casagrande a una razón de 2 vueltas por segundo y anotar los golpes necesarios para que ambas partes divididas tengan un contacto en el fondo de media pulgada.

## Figura 23

### Límites de consistencia (LL)



La figura 23 muestra el ensayo de límite líquido el cual se realiza con la cuchara de casa grande.

- Cálculos
  - Para poder realizar el cálculo haremos uso de la siguiente fórmula:

$$LL = W^n \left( \frac{N}{25} \right)^{0.121}$$

Donde:

N : Números de golpes requeridos para cerrar la ranura.

$W^n$  : Contenido de humedad del suelo.

**Tabla 10**

*Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 01*

		#Tara	E25	A68	A41	T05		
		Wtara	21.52	21.67	21.79	21.39		
	Base	WT+MH	36.27	40.2	37.14	35.37	24.52	
		WT+MS	33.11	36.56	34.19	32.75		
		% de humedad	27.26	24.45	23.79	23.06		
		Nro de golpes	13	24	29	35		
		#Tara	T12	T15	A37	T17		
		Wtara	20.46	21.22	21.13	21.77		
1.	C	Sub Base	WT+MH	39.69	41.96	41.14	44.55	28.35
			WT+MS	35.42	37.45	36.89	39.72	
			% de humedad	28.54	27.79	26.97	26.91	
			Nro de golpes	19	25	29	34	
		#Tara	A32	E14	A36	A20		
		Wtara	21.91	23.96	24.6	22.94		
	Sub	WT+MH	33.36	39.36	34.89	31.99	38.47	
	Rasante	WT+MS	30.12	35.08	32.05	29.7		
		% de humedad	39.46	38.49	38.12	33.88		
		Nro de golpes	16	21	26	35		



**Tabla 11**

*Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 02*

	#Tara	E25	A68	A41	T05	
	Wtara	21.52	21.67	21.79	21.39	
Base	WT+MH	36.27	40.2	37.14	35.37	25.51
	WT+MS	33.11	36.56	34.19	32.75	
	% de humedad	27.26	24.45	23.79	23.06	
	Nro de golpes	13	24	29	35	
	#Tara	T09	A35	A48	E10	
	Wtara	21.36	23.89	23.67	24.04	
Sub Base	WT+MH	37.21	37.26	41.78	41.2	30.98
	WT+MS	33.4	34.15	37.73	37.36	
	% de humedad	31.64	30.31	28.81	28.83	
	Nro de golpes	18	23	29	32	
	#Tara	T11	T04	T08	T01	
	Wtara	21.34	20.73	21.23	23.38	
Sub	WT+MH	31.86	34.05	35.71	36.72	39.62
Rasante	WT+MS	28.8	30.28	30.89	33.01	
	% de humedad	41.02	39.48	49.90	38.53	
	Nro de golpes	20	24	28	34	



**Tabla 12**

*Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 03*

	#Tara	A28	A04	A30	A22		
	Wtara	21.73	18.13	22.87	24.84		
Base	WT+MH	46.65	44.37	51.1	45.96	24.8	
	WT+MS	41.74	39.11	45.74	42.07		
	% de humedad	24.54	25.07	23.44	22.58		
	Nro de golpes	19	22	26	35		
	#Tara	A24	A13	E18	A34		
	Wtara	23.77	18.16	21.72	22.09		
Calicata 3	Sub Base	WT+MH	44	35.76	45.31	42.79	36.42
		WT+MS	38.48	31.11	39.17	37.51	
	% de humedad	37.53	35.91	35.19	34.24		
	Nro de golpes	17	21	28	32		
	#Tara	A39	A58	E30	T21		
	Wtara	22.7	21.5	21.48	21.13		
Sub Rasante	WT+MH	38.62	41.47	36.61	41.82	36.73	
	WT+MS	34.19	36.33	32.41	36.15		
	% de humedad	38.56	34.66	38.43	37.75		
	Nro de golpes	16	23	28	34		

**Tabla 13**

*Valores correspondientes al límite líquido en la calicata 04*

		NP					
		#Tara	WT+MH	WT+MS	% de humedad		
Calicata	Base						
	Nro de golpes						
4	#Tara	A33	T18	A17	A60		
	Wtara	22.03	22.88	17.47	20.6		
	Sub	WT+MH	33.37	36.95	33.37	36.07	36.82
	Rasante	WT+MS	29.94	33.88	29.94	32.85	
		% de humedad	43.36	27.91	27.51	26.29	
		Nro de golpes	19	24	25	34	

### 3.6.2 Límite plástico

- Finalidad

Este método de ensayo es utilizado como una parte integral de varios sistemas de clasificación en ingeniería para caracterizar las fracciones de grano fino de suelos.

- Equipos y materiales

- Balanza
- Horno de  $110 \pm 5^{\circ}C$
- Placa de vidrio esmerilado
- Recipientes (Tara)

- Procedimiento



- La cantidad de material a utilizar será el mismo del límite líquido, teniendo en cuenta que la consistencia pueda ser rolando entre la palma de la mano y el vidrio esmerilado.
- Se forman bastones cilíndricos que pierden humedad al ser rodados en el vidrio esmerilado.
- A razón de 80 a 90 ciclos por minuto se inicia con el rolando, sabiendo que un ciclo es el movimiento hacia adelante y atrás de la posición de inicio.
- Se forman bastones de 3.2 mm de diámetro, y en el instante que se empieza a resquebrajar son colocados en las taras, pesadas y llevados al horno para determinar su humedad.

## Figura 24

### Límites de consistencia (LP)



La figura 24 muestra el límite plástico, para la sub rasante de la calicata 4.

- Cálculos
  - El límite plástico es el promedio de las humedades. Se expresa como porcentaje (%) de humedad, con aproximación a un entero y se calcula así:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo seco}} \times 100$$

**Tabla 14**

*Cálculo del límite plástico en la calicata 01*

	#Tara	A18	A31	A52	
	Wtara	17.8	24.54	21.35	
Base	WT+MH	22.87	31.92	29.66	7.28
	WT+MS	22.56	31.37	28.64	
	% de humedad	6.51	8.05	13.99	
	#Tara	A29	A57	A21	
Calicata 1 Sub Base	Wtara	21.6	21.89	21.29	
	WT+MH	26.61	28.02	28.31	13.24
	WT+MS	26.11	27.27	27.41	
	% de humedad	11.09	13.94	14.71	
Sub Rasante	#Tara	A47	A53	E13	
	Wtara	21.67	21.32	21.17	
	WT+MH	27.5	26.34	26.84	15.25
	WT+MS	26.76	25.64	26.1	
	% de humedad	14.54	16.20	15.01	

**Tabla 15**

*Cálculo del límite plástico en la calicata 02*

	#Tara	A18	A31	A52	
	Wtara	17.8	24.54	21.35	
Base	WT+MH	22.87	31.92	29.66	7.28
	WT+MS	22.56	31.37	28.64	
	% de humedad	6.51	8.05	13.99	
	#Tara	E30	T21	A37	
Calicata 2 Sub Base	Wtara	21.49	21.15	21.01	
	WT+MH	25.07	25.5	25.74	9.56
	WT+MS	24.75	25.13	25.22	
	% de humedad	9.82	9.30	12.35	
Sub Rasante	#Tara	A21	A22	A57	
	Wtara	21.31	24.87	21.88	
	WT+MH	25.41	28.39	25.52	12.96
	WT+MS	24.92	27.93	25.12	
	% de humedad	13.57	15.03	12.35	

**Tabla 16**

*Cálculo del límite plástico en la calicata 03*

	#Tara	T11	A66	T04		
	Wtara	21.33	21.06	20.75		
Base	WT+MH	26.7	25.66	26.25	15.23	
	WT+MS	25.99	25.08	25.49		
	% de humedad	15.24	14.43	16.03		
	#Tara	A04	A28	A30		
Calicata 3	Wtara	18.15	21.76	22.88		
	Sub Base	WT+MH	22.71	25.53	26.93	22.54
	WT+MS	21.85	24.84	26.2		
	% de humedad	23.24	22.40	21.99		
	#Tara	T12	T15	T17		
Sub Rasante	Wtara	21.24	21.23	21.77		
	WT+MH	24.57	24.87	24.34	20.74	
	WT+MS	23.99	24.21	23.93		
	% de humedad	21.09	22.15	18.98		

**Tabla 17**

*Cálculo del límite plástico en la calicata 04*

	#Tara					
	Wtara					
Base	WT+MH		NP			
	WT+MS					
	% de humedad					
	#Tara	C200	C30	C14		
Calicata 4	Wtara	25.54	25.07	26.39		
	Sub Rasante	WT+MH	34.36	31.36	32.25	14.23
	WT+MS	33.26	30.61	31.49		
	% de humedad	14.25	13.54	14.90		



### 3.7 CÁLCULO DEL PROCTOR MODIFICADO

- Finalidad

“Compactación del suelo en laboratorio utilizando una energía modificada (2 700 kN-m/m<sup>3</sup> (56 000 pie-lbf/pie<sup>3</sup>))”.

- Equipos y materiales

- Tamices de 2”, 3/4”, 3/8” y N° 4.
- Brocha y badilejo.
- Pisón de 10 lb de peso.
- Balanza de tres escalas.
- Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>.
- Martillo de goma.
- Molde cilíndrico de próctor estándar ó modificado.
- Horno Eléctrico de 110 ± 5 °C.
- Balanza de 20 kls de capacidad.

- Procedimiento

- Se requiere de 40 Kg. en promedio de material de ensayo, “el cual debe ser secado preferiblemente al aire para un mejor manejo, y luego disgregar los cúmulos de material con el martillo de goma, para no alterar sus propiedades mecánicas”.
- “Tamizar el material por los tamices 2”, 3/4”, 3/8” y N° 4, descartando el material retenido en la malla de 2”.
- “De acuerdo al ensayo previo de granulometría, seleccionar el método de ensayo a practicar y preparar cuatro puntos de ensayo en peso del material a utilizar. Si es el método A o B se tomará 2.50Kg, y si es el método C será 6.00Kg”.



- “Colocar el material de un punto en la bandeja y adicionar el 2% ó 4% de agua según se estime por conveniente y revolverlo manualmente con el material hasta lograr una mezcla uniforme”.
- “Dividir la mezcla en cinco partes proporcionalmente iguales y depositar con la cuchara metálica una de ellas en el molde (con extensión) de ensayo correspondiente, para luego proceder a compactarlo con el pisón en caída libre y en el número de golpes que especifica el método determinado y repartidos uniformemente en toda la superficie del material. Repetir nuevamente la misma operación con las otras cuatro partes de la muestra del material”.
- “Compactadas las 5 partes de la muestra, retirar la extensión desmontable y proceder a enrasarla con la regla metálica a nivel del borde del molde.
- “Pesar la muestra húmeda en el molde sin extensión y registrar el peso obtenido. Luego desechar el material del molde para su limpieza, y de la parte central separar en una tara metálica una porción de muestra para su secado en el horno eléctrico para posteriormente determinar su contenido de humedad”.

## Figura 25

### *Ensayo de proctor modificado*



La figura 25 muestra el ensayo de Proctor modificado en el laboratorio de suelos, los resultados serán necesarios para realizar el ensayo de CBR.



- Cálculos

**Tabla 18**

*Cálculo de la máxima densidad seca y humedad óptima*

	CAPA	MAXIMA DENSIDAD SECA	HUMEDAD ÓPTIMA %
CALICATA 01	Base	2.070	8.5
	Sub	2.080	9.8
	Base		
	Sub	1.880	9.1
Rasante			
CALICATA 02	Base	2.060	8.3
	Sub	2.060	9.0
	Base		
	Sub	1.720	13.4
Rasante			
CALICATA 03	Base	2.140	7.1
	Sub	1.980	9.2
	Base		
	Sub	1.620	13.5
Rasante			
CALICATA 04	Base	1.630	13.9
	Sub	1.870	13.1
	Rasante		

Fuente: Elaboración propia

### 3.8 CÁLCULO DEL CBR

- Finalidad

Utilizamos este método para evaluar la resistencia de las diferentes capas que componen el pavimento flexible en estudio de este pavimento.

- Equipos y materiales

- Tamices de 2", 3/4", 3/8" y N° 4.



- Disco espaciador para el molde.
  - Horno Eléctrico de  $110 \pm 5$  °C.
  - Balanza de 20 kg.
  - Bandeja metálica grande y cucharón metálico.
  - Máquina de Prueba con tornillo de carga.
  - Trípode y micrómetro para medir la expansión del suelo.
  - Moldes cilíndricos de CBR.
  - Pistón de 10 Lb de peso.
  - Balanza de tres escalas.
  - Probeta graduada de 500 cm<sup>3</sup>.
  - Cápsulas metálicas (Taras).
  - Vástago ajustable y juego de placas (10 Lb).
- Procedimiento
    - Se continuó con el mismo material seleccionado para el ensayo Proctor, separando tres muestras secas en peso de dicho material aproximadamente cada uno 5 kg.
    - Se preparó en una probeta una cantidad de agua similar en porcentaje al contenido óptimo de humedad determinado para la máxima densidad seca en el ensayo de Proctor.
    - En una bandeja mezclar la muestra con el agua hasta lograr una mezcla uniforme y dividirla en cinco partes de igual proporción.
    - Se colocó dentro del molde el disco espaciador y un papel filtro sobre este mismo, para seguidamente adicionar muestra, y se sometió a una compactación de 56 golpes con el pistón.

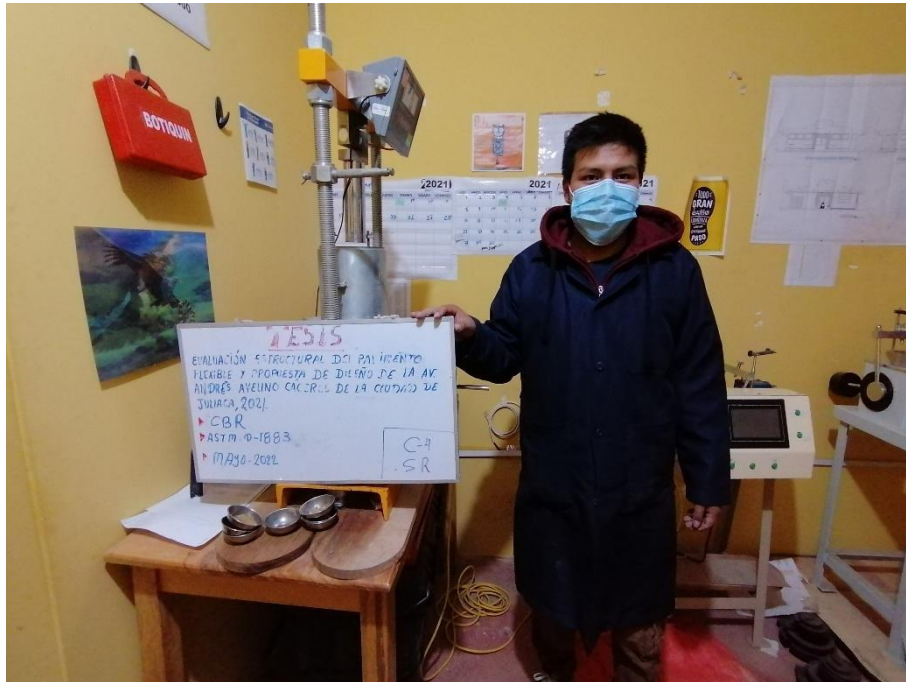




- Se invirtió el molde, colocándole previamente un papel filtro y retirando el disco espaciador, para luego proceder a registrar el peso de la muestra húmeda.
- Se repitió todo el procedimiento descrito hasta ahora, para las otras dos muestras de suelo, con la única diferencia que, en el proceso de compactación con el pistón, para la segunda muestra será de 25 golpes y para la tercera muestra únicamente 12 golpes.
- Se leyó el extensómetro cada 24 horas luego de sumergirlas las muestras, se anotó en los formatos correspondientes. Al cabo de 96 horas se registró la lectura final, para calcular la expansión del material.
- Al cabo de cuatro días, se extrajo los tres moldes sumergidos y se dejó drenar el agua libre que queda por un espacio de 15 minutos de tiempo.
- Se colocó el espécimen en la prensa con su respectiva sobrecarga, verificando el cero el extensómetro que mide la penetración para la aplicación de la carga.
- Se procedió a penetrar la muestra a velocidad constante a razón de 0.05” por minuto, y se anotó las lecturas del dial de carga para penetración de 0.25, 0.05, 0.075, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40 y 0.50 pulgadas.

## Figura 26

### *Ensayo de CBR*



La figura 26 muestra el ensayo CBR, donde las muestras que anteriormente fueron sumergidas en agua, ahora se le aplica una carga.



- Cálculos

**Tabla 19**

*Cálculo del CBR al 95 y 100%*

	<b>CAPA</b>	<b>C.B.R. AL 95%</b>	<b>C.B.R. AL 100%</b>
CALICATA 01	Base	66.31	69.8
	Sub	41.90	44.1
	Base		
	Sub	7.31	7.7
	Rasante		
CALICATA 02	Base	59.95	63.1
	Sub	75.52	79.5
	Base		
	Sub	7.03	7.4
	Rasante		
CALICATA 03	Base	69.64	73.3
	Sub	54.91	57.8
	Base		
	Sub	8.27	8.7
	Rasante		
CALICATA 04	Base	84.65	89.1
	Sub	10.55	11.1
	Rasante		





<b>SALIDA</b>	294	98	80	6	266	24	2	5	7	4	0	4	6	0	0	0	0	0	0	801	
<b>Ambos</b>	<b>669</b>	<b>208</b>	<b>148</b>	<b>15</b>	<b>553</b>	<b>45</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>18</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,718</b>	
<b>DOMINGO</b>																					
<b>20/08/2022</b>																					
<b>ENTRADA</b>	319	110	68	6	244	21	5	5	8	4	0	4	7	0	0	0	0	0	0	805	
<b>SALIDA</b>	280	103	86	9	261	21	2	3	9	6	0	4	6	0	0	0	0	0	0	795	
<b>Ambos</b>	<b>599</b>	<b>213</b>	<b>154</b>	<b>15</b>	<b>505</b>	<b>42</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>13</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,600</b>	
<b>LUNES</b>																					
<b>21/08/2022</b>																					
<b>ENTRADA</b>	600	184	288	23	304	45	8	0	21	10	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1,489	
<b>SALIDA</b>	538	157	228	21	307	39	6	0	14	7	0	1	2	0	0	0	0	0	0	1,323	
<b>Ambos</b>	<b>1138</b>	<b>341</b>	<b>516</b>	<b>44</b>	<b>611</b>	<b>84</b>	<b>14</b>	<b>0</b>	<b>35</b>	<b>17</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2,812</b>	
<b>MARTES</b>																					
<b>22/08/2022</b>																					
<b>ENTRADA</b>	224	77	68	8	224	20	3	6	7	3	0	4	5	0	0	0	0	0	0	652	
<b>SALIDA</b>	227	86	75	9	245	20	2	4	5	3	0	3	4	0	0	0	0	0	0	685	
<b>Ambos</b>	<b>451</b>	<b>163</b>	<b>143</b>	<b>17</b>	<b>469</b>	<b>40</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>9</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,337</b>	
<b>MIERCOLES</b>																					
<b>23/08/2022</b>																					
<b>ENTRADA</b>	247	78	61	10	241	20	4	6	7	4	0	4	3	0	0	0	0	0	0	685	
<b>SALIDA</b>	211	75	73	8	224	20	3	0	4	3	0	4	4	0	0	0	0	0	0	631	
<b>Ambos</b>	<b>458</b>	<b>153</b>	<b>134</b>	<b>18</b>	<b>465</b>	<b>40</b>	<b>7</b>	<b>6</b>	<b>11</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1,316</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>4,452</b>	<b>1,508</b>	<b>1,351</b>	<b>135</b>	<b>3,583</b>	<b>336</b>	<b>56</b>	<b>70</b>	<b>138</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>73</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11,886</b>	

### 3.9.2 Índice medio diario anual

Tabla 21

*Volumen de tráfico diario*

DIA	AUTO	STATION WAGON	CAMIONETAS			BUS						SEMITRAYLER						TRAYLERS					TOTAL	PORC. %											
			PICK UP	PANEL	COMBI RURAL	MICRO	2E	>=3E	2E	3E	4E	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3																
JUEVES	554	213	117	13	487	39	5	16	22	11	0	7	12	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1508	12.69						
VIERNES	583	217	139	13	493	46	11	17	23	14	0	11	15	0	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1595	13.42						
SABADO	669	208	148	15	553	45	7	13	18	10	0	7	13	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1718	14.45						
DOMINGO	599	213	154	15	505	42	7	8	17	10	0	8	13	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1600	13.46						
LUNES	1138	341	516	44	611	84	14	0	35	17	0	2	4	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2812	23.66						
MARTES	451	163	143	17	469	40	5	10	12	6	0	7	9	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1337	11.25						
MIÉRCOLES	458	153	134	18	465	40	7	6	11	7	0	8	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1316	11.07						
<b>TOTAL</b>	<b>4452</b>	<b>1508</b>	<b>1351</b>	<b>135</b>	<b>3583</b>	<b>336</b>	<b>56</b>	<b>70</b>	<b>138</b>	<b>75</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>73</b>	<b>0</b>	<b>59</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11886</b>	<b>100.00</b>							
<b>IMD</b>	<b>636</b>	<b>215</b>	<b>193</b>	<b>19</b>	<b>512</b>	<b>48</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	<b>20</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>10</b>	<b>0</b>	<b>8</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1697</b>								
%	37.48	12.67	11.37	1.12	30.17	2.83	0.47	0.59	1.1	0.6	0.0	0.41	0.5	0.00	0.47	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	0						
<b>VEHICULOS LIGEROS</b>																		<b>VEHICULOS PESADOS</b>																	

**Tabla 22***Tráfico vehicular sin corrección*

<b>Tipo de Vehículos</b>	<b>IMDS</b>	<b>Distrib. %</b>
Autos	636	37.5%
Satation Wagon	215	12.7%
Camioneta Pick Up	193	11.4%
Camioneta Panel	19	1.1%
COMBI RURAL	512	30.2%
Micro	48	2.8%
Omnibus 2E y 3E	18	1.1%
Camión 2E	20	1.2%
Camión 3E	11	0.6%
Camión 4E	0	0.0%
Semi trayler	25	1.5%
Trayler	0	0.0%
<b>TOTAL IMD</b>	<b>1697</b>	<b>100.0%</b>

**Tabla 23***Cálculo del IMDa*

<b>CALCULO DEL IMD</b>	
$\text{IMDs} = \frac{\text{VS}}{7}$	
VS = Volumen Promedio Semanal	
Fc Veh. Ligeros =	<b>0.867709</b>
Fc Veh. Pesados =	<b>0.904130</b>
<b>IMD =</b>	<b>1475</b> Vehículos por día

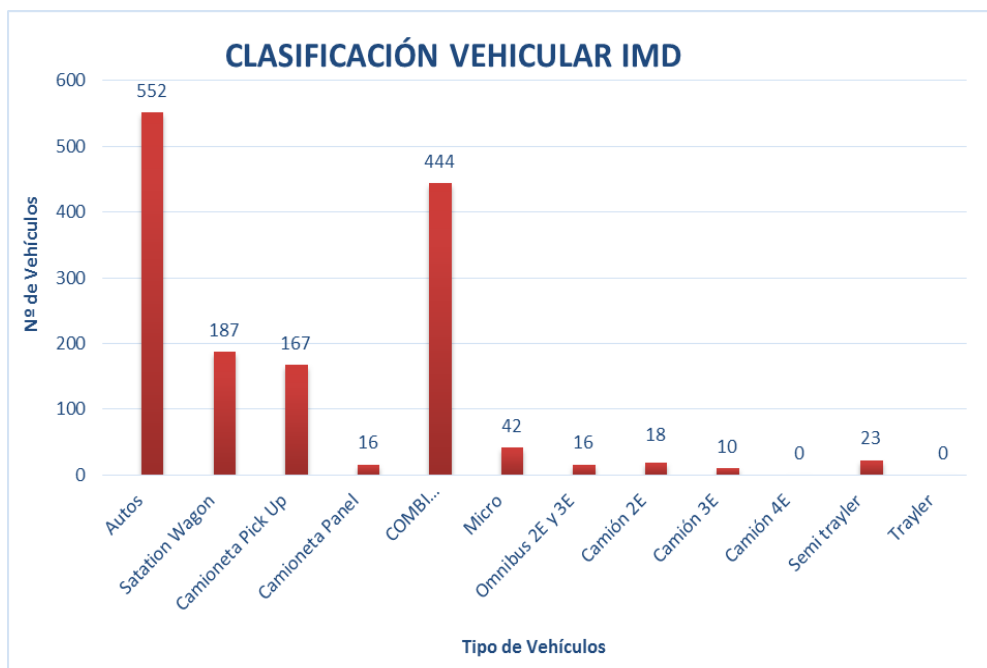
**Tabla 24**

*Tráfico vehicular IMD anual corregido*

Tipo de Vehículos	IMD	Distribución %
Autos	552	37.4%
Satation Wagon	187	12.7%
Camioneta Pick Up	167	11.3%
Camioneta Panel	16	1.1%
COMBI RURAL	444	30.1%
Micro	42	2.8%
Omnibus 2E y 3E	16	1.1%
Camión 2E	18	1.2%
Camión 3E	10	0.7%
Camión 4E	0	0.0%
Semi trayler	23	1.5%
Trayler	0	0.0%
<b>TOTAL IMD</b>	<b>1475</b>	<b>100.0%</b>

**Figura 27**

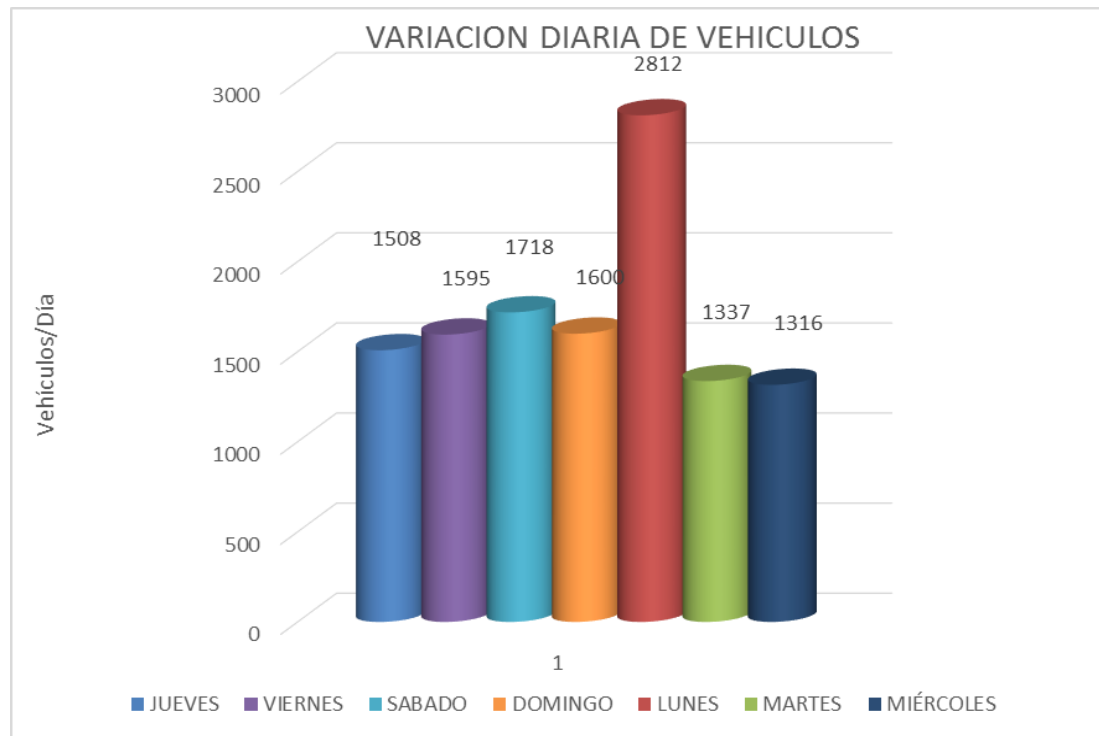
*Clasificación vehicular*





**Figura 28**

*Variación diaria de vehículos*



### 3.9.3 Ejes equivalentes

Periodo de diseño = 20 años

Tasa de crecimiento anual de la población = 0.92

Tasa de crecimiento Anual del PBI regional = 3.21

Fuerza de presión = 1

Factor direccional = 0.5

Factor carril = 0.8

Para el periodo de diseño, este dato estará en función al tiempo de durabilidad que se requiera según las necesidades; en cuanto a la tasa de crecimiento anual, podremos encontrar los datos en la oficina de programación multianual de inversiones del MTC; para la fuerza de presión consideramos 1 ya que es el factor de inflado de las llantas que se considera de acuerdo al espesor de capa de rodadura y la presión de contacto del neumático; el factor direccional y el factor carril



estarán dados en base al número de calzadas y número de sentidos y número de carriles por sentido.

**Tabla 25**

*Tráfico actual por tipo de vehículo*

Tipo de Vehículo	IMD	Distribución
		(%)
Automovil	739	50.10
Camioneta	183	12.41
C.R.	444	30.10
Micro	42	2.85
Bus Grande	16	1.08
Camión 2E	18	1.22
Camión 3E	10	0.68
Camión 4E	0	0.00
Semi Trayler 2S1 /2S2	7	0.47
Semi Trayler 2S3	9	0.61
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Trayler $\geq 3S3$	7	0.47
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler $\geq 3T3$	0	0.00
IMD	1475	100.00



La tabla 24 muestra el tráfico actual por tipo de vehículo, para el caso de automóviles junta los autos con los station wagon y agrupa los tipos de camioneta en un solo bloque.

**Tabla 26**

*Factores de equivalencia*

	EJE DELANTERO	CONJUNTO DE EJES POSTERIORES			Fvp.
		1	2	3	
Bus Grande	1.27	1.37			<b>2.63</b>
2E	1.27	3.24			<b>4.50</b>
3E	1.27	2.02			<b>3.28</b>
4E	1.27	1.51			<b>2.77</b>
2S1 /2S2	1.27	3.24	2.02		<b>6.52</b>
2S3	1.27	3.24	1.71		<b>6.21</b>
3S1 /3S2	1.27	2.02	2.02		<b>5.30</b>
≥3S3	1.27	2.02	1.71		<b>4.99</b>
2T2	1.27	3.24	3.24	3.24	<b>10.98</b>
2T3	1.27	3.24	3.24	2.02	<b>9.76</b>
3T2	1.27	2.02	3.24	3.24	<b>9.76</b>
≥3T3	1.27	2.02	3.24	2.02	<b>8.54</b>

En la tabla 26 se muestra los factores de equivalencia, vienen siendo producto de convertir previamente el número de vehículos a un eje estándar, en cuanto al peso se puede encontrar en la tabla de pesos y medidas permitidas que ofrece el manual de carreteras. Una vez teniendo el peso por eje se aplica la ecuación del cuadro 6.3 de la guía AASHTO relación de cargas por eje para determinar ejes equivalentes.  $EE_{S1}=(P/6.6)^{4.0}$  reemplazando un eje simple de carga 7 nos da como resultado 1.27 que se muestra en la ya mencionada tabla.

- DEMANDA PROYECTADA

Para la proyección de la demanda se utilizó la siguiente fórmula:

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

Donde:

$T_n$  = Tránsito proyectado al año en vehículos por día

$T_0$  = Tránsito actual (año base) en vehículos por día

$n$  = año futuro de proyección

$r$  = tasa anual de crecimiento de tránsito

**Tabla 27**

*Demanda proyectada*

Tipo de Vehículo	IMDpi	Distribución (%)
Automovil	879	49.20
Camioneta	218	12.18
C.R.	528	29.56
Micro	50	2.80
Bus Grande	19	1.07
Camión 2E	33	1.84
Camión 3E	18	1.02
Semi Trayler 2S1 /2S2	13	0.71
Semi Trayler 2S3	16	0.92
Semi Trayler $\geq$ 3S3	13	0.71
<b>IMD</b>	<b>1788</b>	<b>100.00</b>



- FACTOR DE CRECIMIENTO ACUMULADO:

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

Reemplazando los valores de r: tasa de crecimiento anual PBI y “n” el número de años de diseño tenemos:

$$Fca. \text{vehículos ligeros} = 21.85$$

$$Fca. \text{vehículos pesados} = 27.45$$

- EJES EQUIVALENTES POR CADA TIPO DE VEHÍCULO

$$EE_{\text{día-carril}} = IMD_{PI} * F_D * F_C * F_{VPI} * F_{PI}$$

Con los datos obtenido previamente y utilizando la fórmula se obtiene los datos de la tabla 27.

**Tabla 28***Ejes equivalentes por cada tipo de vehículo*

<b>Tipo de Vehículo</b>	<b>EE<sub>día-carril</sub></b>	<b>Distribución (%)</b>
Bus Grande	20	9.89
Camión 2E	59	29.17
Camión 3E	24	11.82
Camión 4E	0	0.00
Semi Trayler 2S1 /2S2	33	16.43
Semi Trayler 2S3	41	20.11
Semi Trayler 3S1 /3S2	0	0.00
Semi Trayler $\geq$ 3S3	25	12.57
Trayler 2T2	0	0.00
Trayler 2T3	0	0.00
Trayler 3T2	0	0.00
Trayler $\geq$ 3T3	0	0.00
<b>IMD</b>	<b>203</b>	<b>100.00</b>

Fuente: Elaboración propia

- NÚMERO DE REPETICIONES DE EJES EQUIVALENTES

$$Nrep\ de\ EE_{8,2tn} = \sum [(EE_{día-carril} * Fca * 365)]$$

Donde:  $F_{ca}$  es el factor de crecimiento acumulado previamente hallado.

$$Nrep\ de\ EE_{8,2tn} = 2030002\ EE$$



### 3.9.4 Diseño del pavimento flexible

- Ejes equivalentes (ESAL)

$$\text{ESAL's(W18)} = 2,030,002.00$$

$$\text{ESAL's(W18)} = 2.03\text{E}+06$$

- Confiabilidad (R%)

De acuerdo al cuadro 12.6 del manual de suelos y pavimentos que indica los valores recomendados de nivel de confiabilidad para una sola etapa de diseño según rango de tráfico.

$$\text{Tráfico} = T_{P7}$$

$$\text{Ejes equivalentes acumulados} = 3000000 - 5000000$$

$$\text{Nivel de confiabilidad R (\%)} = 85\%$$

- Desviación Estándar (Zr)

De acuerdo al cuadro 12.8 del manual de suelos pavimentos que indica el coeficiente estadístico de la desviación estándar normal (Zr) para una sola etapa de diseño, según el nivel de confiabilidad seleccionado y el rango de tráfico.

$$\text{Tráfico} = T_{P7}$$

$$\text{Ejes equivalentes acumulados} = 3000000 - 5000000$$

$$\text{Desviación Estándar Normal (Zr)} = -1.036$$

- Error estándar combinado (So)



AASHTO propuso valores para seleccionar la variabilidad o error estándar combinado  $S_o$ .

Para pavimentos flexibles = 0.40 – 0.50

Valor tomado = 0.45

- Serviciabilidad ( $\Delta PSI$ )

El índice de serviciabilidad presente, es la comodidad de circulación ofrecida al usuario cuyo valor varía entre 0 y 5. En caso del proyecto se tiene un índice de serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) del manual de carreteras según rango de tráfico.

Tráfico =  $T_{P7}$

Ejes equivalentes acumulados = 3000001 – 5000000

Índice de serviciabilidad inicial ( $P_i$ ) = 4.00

Para el proyecto se considera un índice de serviciabilidad final según cuadro 12.11 del manual de carreteras según rango de tráfico.

Tráfico =  $T_{P7}$

Ejes equivalentes acumulados = 3000001 – 5000000

Índice de serviciabilidad final ( $P_f$ ) = 2.50

Por lo tanto, la variación de serviciabilidad presente será la diferencia entre el índice de serviciabilidad presente final menos la inicial.

$\Delta PSI = 4.0 - 2.5$





$$\Delta PSI = 1.5$$

- Módulo resiliente ( $M_r$ )

Para el módulo resiliente que mide la rigidez del suelo de sub rasante se utilizó para su cálculo el cuadro 12.5 del manual de carreteras, el cual correlaciona el módulo resiliente con el CBR.

$$CBR = 7.4 \%$$

$$M_r = 9198.12 \text{ PSI}$$

- Número estructural requerido (SN)

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_r S_0 + 9.36 \log \log (SN + 1) - 0.20 + \frac{\log \log \left( \frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right)}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32$$

$$\log \log (M_r) - 8.07$$

Reemplazando los valores obtenidos anteriormente en la ecuación tenemos que:

$$SN \text{ requerido} = 3.55$$

- Número estructural (SN)

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

Dónde:

SN = Número estructural

$a_1, 2, 3$  = Coeficientes estructurales de las capas: superficial, base y subbase.

$d_1, 2, 3$  = Espesores (en cm) de las capas: superficial, base y subbase.



$m_2, 3$  = Coeficientes de drenaje para las capas: superficial, base y subbase.

Según el cuadro 12.13 del manual de carreteras se tiene los coeficientes estructurales de las capas del pavimento  $a_1, a_2$  y  $a_3$ .

Coeficiente  $a_1 = 0.17$

Coeficiente  $a_2 = 0.052$

Coeficiente  $a_3 = 0.047$

Según el cuadro 12.15 del manual de carreteras los valores recomendados del coeficiente de drenaje  $m_i$  para bases y subbases.

**Tabla 29**

*Valores brindados para el coeficiente de drenaje*

Calidad de Drenaje	% de tiempo del año en que el pavimento está expuesto a niveles de saturación			
	Menor que 1%	1% - 5%	5% - 25%	Mayor que 25%
Excelente	1.40 – 1.35	1.35 – 1.30	1.30 – 1.20	1.20
Bueno	1.35 – 1.25	1.25 – 1.15	1.15 – 1.00	1.00
Regular	1.25 – 1.15	1.15 – 1.05	1.00 – 0.80	0.80
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

Por lo tanto, los coeficientes serán:

$m_2 = 1.15$

$m_3 = 1$



Para hallar los espesores de cada capa del diseño del pavimento flexible se necesita que el número estructural calculado sea mayor al número estructural requerido. En este sentido reemplazando valores en la ecuación antes vista se obtiene los siguientes espesores:

$$D1 = 6 \text{ cm}$$

$$D2 = 20 \text{ cm}$$

$$D3 = 30 \text{ cm}$$

### 3.10 LAVADO ASFÁLTICO

- Finalidad

(ASTM D 2172) Este método de prueba cubre la determinación cuantitativa del contenido de aglutinante de asfalto en mezclas de asfalto y muestras de pavimento. El agregado obtenido por este método puede usarse para el análisis granulométrico.

- Equipos y materiales

- Horno, capaz de mantener la temperatura a 110 °C
- Bandeja
- Balanza, legible a 0.1g, capaz de medir la masa simple y contenedor.
- Recipiente contenedor del disolvente (gasolina)
- Desecador

- Procedimiento

- Se dejó la muestra en el horno por 30 minutos a 110°C hasta que sea lo suficientemente blanda para separar la muestra con espátula, luego dividir y reducir el tamaño de muestra.



- Se determinó la masa de muestra, la cantidad de muestra para el ensayo se determina según el tamaño máximo nominal del agregado, para el caso de estudio fue de 1.5 kg.
  - Por el método de extracción centrífuga se colocó la muestra dentro del aparato, luego se echó el disolvente hasta cubrir por completo la muestra.
  - Se encendió el equipo y de manera progresiva se aumentó el número de revoluciones.
  - Se repitió el procedimiento 8 veces, hasta obtener una muestra de un color rojizo claro.
  - Se dejó secar la muestra obtenida en el horno.
  - Posteriormente se realizó un análisis granulométrico.
- Cálculos
    - Selección de la cantidad de muestra para el ensayo de lavado asfáltico.

**Tabla 30**

*Valores para selección de la cantidad de masa en el lavado asfáltico*

<b>Tamaño máximo nominal del agregado (pul)</b>	<b>Masa mínima de la muestra</b>
N° 4	0.5
3/8''	1.0
1/2''	1.5
3/4''	2.0
1''	3.0
1 1/2''	4.0

Fuente: ASTM D 2172

Para el cuadro mostrado anterior se obtiene una muestra de 1.5 kg por tener un tamaño máximo nominal de ½”.

- Luego de obtener la muestra y haber secado en el horno se procede a realizar el análisis granulométrico.

**Tabla 31**

*Granulometría de los resultados del lavado asfáltico*

Tamiz		Material retenido			Material Pasante
		Peso	Retenido	Acumulado	
Pulgada	mm	(g)	(%)	(%)	(%)
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				100.0
3/4"	19.050				100.0
1/2"	12.700	96.00	6.4	6.4	93.6
3/8"	9.525	167.00	11.1	17.5	82.5
¼"	6.350			17.5	82.5
Nº 4	4.750	265.00	17.7	35.2	64.8
Nº8	2.360			35.2	64.8
Nº10	2.000	274.00	18.3	53.5	46.5
Nº16	1.190			53.5	46.5
Nº 20	0.850			53.5	46.5
Nº 30	0.600				
				53.5	46.5
Nº 40	0.420	371.00	24.7	78.2	21.8
Nº 50	0.300			78.2	21.8
Nº 60	0.250			78.2	21.8
Nº 80	0.180	134.00	8.9	87.1	12.9
Nº 100	0.150			87.1	12.9
Nº 200	0.074	52.00	3.5	90.6	9.4
Bandeja		141.00	9.4	100.0	



### 3.11 ENSAYO MARSHALL

- Finalidad

(MTC E 504) Para propósitos de diseño de mezcla los resultados de los ensayos de estabilidad y flujo deberán consistir del promedio de un mínimo de 03 especímenes por cada incremento de contenido de ligante, donde el contenido de ligante varía en incrementos de 0,5% sobre un rango de contenido de ligante. El rango de contenido de ligante generalmente es seleccionado en base a la experiencia y datos históricos de los materiales componentes, pero puede incluir también juicio y error para incluir el rango deseable de las propiedades de la mezcla.

- Equipos y materiales

- Molde ensamblado para Especímenes, moldes cilíndricos, placas de base y collarines.
- Extractor de Especímenes, Tendrá un disco de acero que encajará en el molde sin doblarse y no será menor de 100 mm de diámetro y 12,5 mm de espesor.
- Martillos de Compactación con manubrio
- Pedestal de Compactación, Consistirá de un poste de madera de 203,2 por 203,2 mm, aproximadamente de 457 mm de largo cubierto con una placa de acero aproximadamente de 304,8 mm por 304,8 mm y 25,4 mm de grosor.
- Sostén de Molde para Espécimen, En compactadores de martillo simple, el sostén estará montado sobre el pedestal de compactación de tal manera que el molde de compactación quede centrado con el pedestal de compactación.



- Hornos, cacerolas para calentado ó placas calentadoras.
  - Contenedores para Calentamiento de Agregados, Bandejas de metal de fondo plano.
  - Contenedores cubiertos para calentar material bituminoso.
  - Herramientas de mezclado, consistirán de cucharones de acero.
  - Termómetros calibrados, Para determinar temperaturas de agregados, bitumen y mezclas bituminosas.
  - Balanza, con aproximación al menos de 0,1 g para las bachadas de mezcla.
  - Guantes, para maniobrar el equipo caliente.
  - Máquina de carga a Compresión
  - Baño de Agua
- Procedimiento
    - Se realizaron ensayos a los agregados para determinar su calidad, estos cumplieron los rangos establecidos en la norma.
    - Se determinó la proporción a utilizar de cada agregado.
    - Una vez determinada las proporciones se mezclaron en un recipiente para posteriormente ser llevados al horno a una temperatura de 110°, a su vez se introdujeron también los moldes por un lapso de 30 minutos.
    - Se procedió a calentar la muestra de asfalto, hasta que esta tenga una viscosidad líquida.
    - Una vez calentado el asfalto se procedió a mezclar con las proporciones de los agregados, empezando con 4.5% y repitiendo el proceso hasta un 6.5% de asfalto.
    - Seguidamente se procedió a vaciar el recipiente con la mezcla en el molde que previamente fue calentado.



- Luego, se compactó por cada lado un total de 75 golpes
  - Seguidamente, se retira la muestra y esta se dejó enfriando.
  - Después de que la muestra esté fría se procedió a retirar el espécimen del molde.
  - Una vez retirada, se empezó a tomar datos para hallar los pesos específicos.
  - Luego de hallar el peso específico se sumergió en baño maría durante 30 a 40 minutos.
  - Finalmente, se determinó la resistencia a la deformación plástica de cada briqueta elaborada, utilizando el equipo de carga a compresión.
- Cálculos
    - Para realizar el diseño por el método Marshall primeramente los agregados deben de cumplir los requerimientos mínimos que se especifican en las tablas 423-01 y 423-02 de la EG 2013.
    - La gradación para la mezcla asfáltica en caliente se encuentra en la siguiente tabla:





**Tabla 32**

*Gradación para MAC 1*

<b>Tamiz</b>	<b>Porcentaje que pasa MAC – 1</b>
25,0 mm (1")	100
19,0 mm (3/4")	80-100
12,5 mm (1/2")	67-85
9,5 mm (3/8")	60-77
4,75 mm (N.º 4)	43-54
2,00 mm (N.º 10)	29-45
425 µm (N.º 40)	14-25
180 µm (N.º 80)	8-17
75 µm (N.º 200)	4-8

Fuente: EG sección 423 Pavimento de concreto asfáltico en caliente

- La granulometría de la combinación de los diferentes agregados se muestra a continuación:

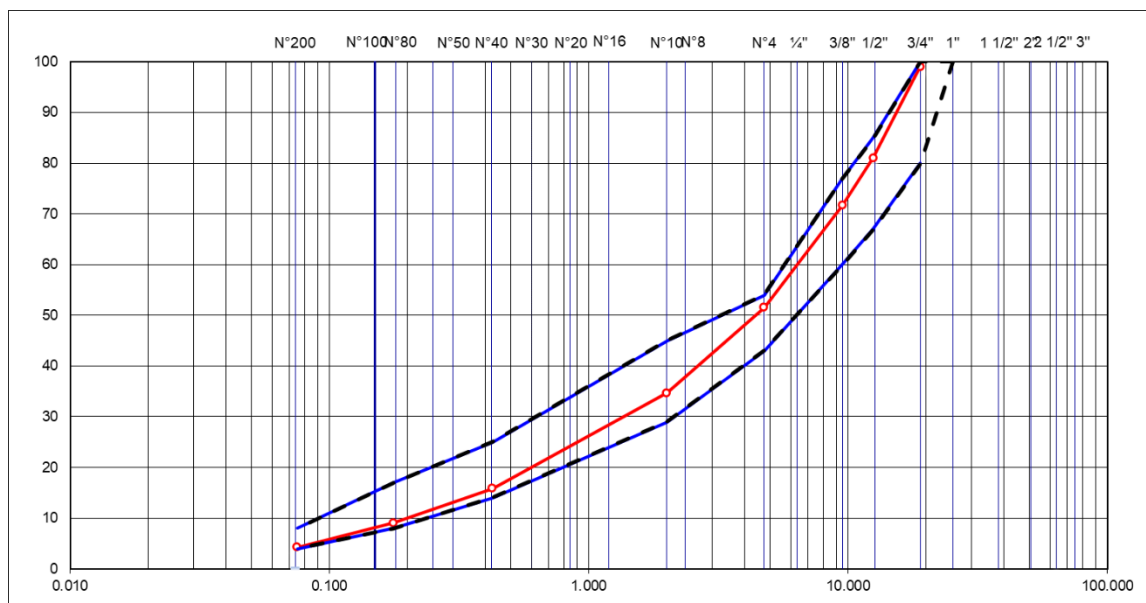
**Tabla 33**

*Resultados de la granulometría de agregados para Marshall*

TAMICES	ABERTURAS (mm)	GRAVA < 3/4"	GRAVA < 1/2"	ARENA CHANCA DA	ARENA ZARANDEADA	CAL HIDRATADA	ESPECIFICACION	MEZCLA
		21.00 %	15.00 %	31.00%	31.50 %	1.50 %		
11/2"	38.100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0		
1"	25.400	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	<b>100</b>	<b>100</b>
3/4"	19.050	95.5	100.0	100.0	100.0	100.0	<b>80</b>	<b>100</b> 99.1
1/2"	12.700	9.5	100.0	100.0	100.0	100.0	<b>67</b>	<b>85</b> 81.0
3/8"	9.525	0.2	88.0	100.0	82.3	100.0	<b>60</b>	<b>77</b> 71.7
N° 4	4.750		7.0	80.7	76.0	100.0	<b>43</b>	<b>54</b> 51.5
N° 10	2.000			46.5	59.5	100.0	<b>29</b>	<b>45</b> 34.7
N° 40	0.420			19.9	26.1	99.3	<b>14</b>	<b>25</b> 15.9
N° 80	0.180			10.5	13.7	98.5	<b>8</b>	<b>17</b> 9.0
N° 200	0.075			3.5	5.5	95.8	<b>4</b>	<b>8</b> 4.3

Fuente: Elaboración propia

**Figura 29** *Curva granulométrica de los agregados para el ensayo Marshall*





- De acuerdo a la curva granulométrica se halló la dosificación adecuada para el asfalto en caliente.

**Tabla 34**

*Dosificación de agregados para ensayo Marshall*

AGREGADOS	DOSIFICACION	
Grava < 3/4"	21.00	%
Grava < 1/2"	15.00	%
Arena Triturada	31.00	%
Arena Zarandeada	31.50	%
cal hidratada	1.50	%
<b>TOTAL</b>	<b>100.0</b>	<b>%</b>

- Se selecciona el tipo de asfalto de acuerdo a la siguiente tabla:

**Tabla 35**

*Tipos de cemento asfáltico según la temperatura media anual*

24°C o más	24° - 15°	15° - 5°	Menos de 5°
40 – 50		85 – 100	Asfalto
60 – 70	60 - 70	120 - 150	modificado
modificado			

Fuente: Manual de carreteras

En la ciudad de Juliaca se tiene una temperatura media de 9.8° C por lo tanto se utilizará un asfalto 120 – 150.

- Para hallar el número de golpes de compactación por cada lado se procede con la siguiente tabla que toma en cuenta el tráfico medio bajo o alto.

**Tabla 36***Número de golpes según la clase de mezcla*

Parámetro de diseño	Clase de mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
Compactación, número de golpes por lado	75	50	35

Fuente: Manual de carreteras

De acuerdo a nuestro índice de tráfico se obtiene que tenemos un tráfico alto, considerado como clase A, la cantidad de 75 golpes por lado.

- Seguidamente se toman los siguientes datos para hallar los pesos específicos, partiendo de 4.5% de la mezcla asfáltica.

**Tabla 37***Datos de las muestras para un 4.5% de asfalto*

Descripción	Unidad	Muestra		
Número de Probeta	Nº	1	2	3
Altura promedio de la probeta	cm	6.35	6.35	6.36
Peso de la probeta en el aire	g	1184.2	1185.0	1183.2
Peso de probeta saturado	g	1185.4	1186.6	1184.6
Peso de la probeta en el agua	g	663.0	677.0	681.0
Peso específico máximo	gg/cc	2.498	2.498	2.498
Factor de estabilidad	kg	2246.0	2514.0	2394.0
Lectura del flexímetro	Pulg.	20.00	22.00	18.00

**Tabla 38***Datos de las muestras para un 5% de asfalto*

Descripción	Unidad	Muestra		
		1	2	3
Número de Probeta	N°			
Altura promedio de la probeta	cm	6.28	6.29	6.18
Peso de la probeta en el aire	g	1182.6	1187.3	1183.4
Peso de probeta saturado	g	1183.8	1188.6	1184.7
Peso de la probeta en el agua	g	680.0	682.0	684.0
Peso específico máximo	gg/cc	2.489	2.489	2.489
Factor de estabilidad	kg	1914.7	1804.6	1816.3
Lectura del flexímetro	Pulg.	20.00	17.50	16.00

**Tabla 39***Datos de las muestras para un 5.5% de asfalto*

Descripción	Unidad	Muestra		
		1	2	3
Número de Probeta	N°			
Altura promedio de la probeta	cm	6.25	6.25	6.30
Peso de la probeta en el aire	g	1192.0	1182.0	1190.9
Peso de probeta saturado	g	1192.7	1182.7	1191.9
Peso de la probeta en el agua	g	690.0	683.0	686.0
Peso específico máximo	gg/cc	2.475	2.475	2.475
Factor de estabilidad	kg	1200.2	1093.1	1061.6
Lectura del flexímetro	Pulg.	12.50	15.00	12.50

**Tabla 40***Datos de las muestras para un 6 % de asfalto*

Descripción	Unidad	Muestra		
		1	2	3
Número de Probeta	N°			
Altura promedio de la probeta	cm	6.27	6.21	6.26
Peso de la probeta en el aire	g	1193.7	1184.5	1188.6
Peso de probeta saturado	g	1194.4	1185.1	1189.0
Peso de la probeta en el agua	g	687.0	685.0	688.0
Peso específico máximo	gg/cc	2.456	2.456	2.456
Factor de estabilidad	kg	853.7	1329.5	701.6
Lectura del flexímetro	Pulg.	12.50	17.50	11.00

**Tabla 41***Datos de la muestra para un 6.5% de asfalto*

Descripción	Unidad	Muestra		
		1	2	3
Número de Probeta	N°			
Altura promedio de la probeta	cm	162.69	6.21	6.24
Peso de la probeta en el aire	g	1188.6	1180.4	1184.8
Peso de probeta saturado	g	1188.8	1181.0	1185.2
Peso de la probeta en el agua	g	684.0	679.0	679.0
Peso específico máximo	gg/cc	2.425	2.425	2.425
Factor de estabilidad	kg	616.4	675.1	834.2
Lectura del flexímetro	Pulg.	11.00	27.00	22.50



- Con los datos hallados en laboratorio procedemos a hallar la densidad, % vacíos de mezcla, V.M.A. %de vacíos llenos de asfalto, estabilidad, flujo e índice de rigidez, los cuales se muestran en el siguiente cuadro resumen:

**Tabla 42**

*Cuadro resumen del ensayo Marshall*

ITEM	*A.C.	Densidad	% Vacío de mezcla	V.M.A	% Vacíos llenos de asfalto	Estabilidad	Flujo	Índice de rigidez
	%	gr/cc	%	%	%	Kg.	mm	Kg/cm
1	4.5	2.314	7.37	17.4	58.1	2384.7	5.08	4718.8
2	5.0	2.352	5.54	15.7	64.8	1845.2	4.53	4099.4
3	5.5	2.364	4.51	15.7	71.3	1118.3	3.39	3330.9
4	6.0	2.365	3.71	16.1	77.0	961.6	3.47	2730.3
5	6.5	2.349	3.1	17.1	81.8	708.6	5.12	1550.1
Valores requeridos		-	3 – 5	14 min.	-	815 min.	2 - 3.56	1700 - 4000

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 PERFIL ESTRATIGRÁFICO DEL PAVIMENTO FLEXIBLE

Una vez realizada las calicatas a cielo abierto y tomando las medidas de las diferentes alturas que posee los estratos existentes, además de realizado los ensayos de granulometría y límites de consistencia, sirvieron estas para describir el tipo de material que se utilizó en la composición de la vía y la clasificación del tipo de suelo.

**Tabla 43**

*Perfil estratigráfico de la calicata 01*

TIPO DE EXPLORACIÓN	MUESTRA	PROFUNDIDAD	ALTURA DE ESTRATO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS
<b>CALICATA 01</b>	Carpeta asfáltica	0.07 m	0.07		Deteriorada	-
	B	0.29 m	0.22		Constituido por 50.30 % de grava, 33.48 % de arena y 16.22 % de finos plásticos.	GC (grava arcillosa)
	SB	0.65 m	0.36		Constituido por 53.78 % de gravas, 31.55 % de arena y 14.67 % de finos plásticos.	GC (grava arcillosa)
	SR	1.5 m	0.85		Constituido por 7.57 % de grava, 27.54 % de arena y 64.89 % de finos plásticos	CL (arcilla inorgánica)





En el cuadro anterior se muestra la estratigrafía de la calicata 01 la cual muestra 7 cm de espesor de carpeta asfáltica, esta última de acuerdo a una inspección visual muestra algunas fallas a lo largo del tramo en estudio. Además, se observó en la capa base un suelo GC (grava arcillosa) de acuerdo a la organización SUCS con una altura 22 cm, constituida por 50.30 % de grava, 33.48 % de arena y 16.22 % de finos plásticos. Respecto a la sub base es un suelo GC (grava arcillosa) con una altura de 36 cm constituido por 53.78 % de gravas, 31.55 % de arena y 14.67 % de finos plásticos. Finalmente, el terreno natural es CL (arcilla inorgánica) que empieza a 0.65 m por debajo de la carpeta asfáltica hasta la altura de 1.5 m en la que termina la profundidad de exploración se suelo, constituida por 7.57 % de grava, 27.54 % de arena y 64.89 % de finos plásticos.

**Tabla 44**

*Perfil estratigráfico de la calicata 02*

TIPO DE EXPLORACIÓN	MUESTRA	PROFUNDIDAD	ALTURA DE ESTRATO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS
<b>CALICATA 02</b>	Carpeta asfáltica	0.06 m	0.06		Deteriorada	-
	B	0.27	0.21		Constituido por 50.30 % de grava, 33.48 % de arena y 16.22 % de finos plásticos.	GC (grava arcillosa)
	SB	0.68	0.41		Constituido por 57.60 %, 33.42 % y 14.678.98 % de finos plásticos.	GP-GC
	SR	1.5 m	0.82		Constituido por 7.57 % de grava, 27.54 % de arena y 64.89 % de finos plásticos	CL (arcilla inorgánica)

En el cuadro anterior se muestra la estratigrafía de la calicata 02 la cual muestra 6 cm de espesor de carpeta asfáltica, esta última de acuerdo a una inspección visual muestra algunas fallas a lo largo del tramo en estudio. Además, se observó en la capa base un suelo GC (grava arcillosa) de acuerdo a la organización SUCS con una altura 21 cm, constituida por 50.30 % de grava, 33.48 % de arena y 16.22 % de finos plásticos. Respecto a la sub base es un suelo GP-GC (grava pobremente graduada - grava arcillosa) con una altura de 41 cm constituido por 57.60 % de gravas, 33.42 % de arena y 14.68 % de finos plásticos. Finalmente, el terreno natural es CL (arcilla inorgánica) que empieza a 0.68 m por debajo de la

carpeta asfáltica hasta la altura de 1.5 m en la que termina la profundidad de exploración se suelo, constituida por 7.57 % de grava, 27.54 % de arena y 64.89 % de finos plásticos.

**Tabla 45**

*Perfil estratigráfico de la calicata 03*

TIPO DE EXPLORACIÓN	MUESTRA	PROFUNDIDAD	ALTURA DE ESTRATO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS
<b>CALICATA 03</b>	Carpeta asfáltica	0.06 m	0.06		Deteriorada	-
	B	0.31 m	0.25		Constituido por 58.59 % de grava, 33.27 % de arena y 8.14 % de finos plásticos.	GC (grava arcillosa)
	SB	0.61 m	0.30		Constituido por 2.96 %, 9.97 % de arena y 87.08 % de finos plásticos.	GC (grava arcillosa)
	SR	1.5 m	0.89		Constituido por 0.20 % de grava, 11.00 % de arena y 88.80 % de finos plásticos	CL (arcilla inorgánica)

En el cuadro anterior se muestra la estratigrafía de la calicata 03 la cual muestra 6 cm de espesor de carpeta asfáltica, esta última de acuerdo a una inspección visual muestra algunas fallas a lo largo del tramo en estudio. Además, se observó en la capa base un suelo GC (grava arcillosa) de acuerdo a la organización SUCS con una altura 25 cm, constituida por 58.59 % de grava, 33.27 % de arena y 8.14 % de finos plásticos. Respecto

a la sub base es un suelo GC (grava arcillosa) con una altura de 30 cm constituido por 2.96 % de grava, 9.97 % de arena y 87.08 % de finos plásticos. Finalmente, el terreno natural es CL (arcilla inorgánica) que empieza a 0.61 m por debajo de la carpeta asfáltica hasta la altura de 1.5 m en la que termina la profundidad de exploración se suelo, constituida por 0.20 % de grava, 11.00 % de arena y 88.80 % de finos plásticos.

**Tabla 46**

*Perfil estratigráfico de la calicata 04*

TIPO DE EXPLORACIÓN	MUESTRA	PROFUNDIDAD	ALTURA DE ESTRATO	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL	CLASIFICACIÓN SUCS
CALICATA 04	Carpeta asfáltica	0.07	0.07		Deteriorada	-
	B	0.64	0.57		Constituido por 89.88 % de grava, 6.78 % de arena y 3.34 % de finos no plásticos.	GW (grava bien graduada)
	SR	1.5 m	0.86		Constituido por 2.24 % de grava, 29.53 % de arena y 68.22 % de finos plásticos	CL (arcilla inorgánica)

En el cuadro anterior se muestra la estratigrafía de la calicata 04 la cual muestra 7 cm de espesor de carpeta asfáltica, esta última de acuerdo a una inspección visual muestra algunas fallas a lo largo del tramo en estudio. Además, se observó en la capa base un suelo GW (grava bien graduada) de acuerdo a la organización SUCS con una altura 57



cm, constituida por 89.88 % de grava, 6.78 % de arena y 3.34 % de finos no plásticos. Finalmente, el terreno natural es CL (arcilla inorgánica) que empieza a 0.64 m por debajo de la carpeta asfáltica hasta la altura de 1.5 m en la que termina la profundidad de exploración se suelo, constituida por 2.24 % de grava, 29.53 % de arena y 68.22 % de finos plásticos.

#### **4.2 PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE**

Para dar cumplimiento al segundo objetivo específico se realizó diferentes ensayos, tales como: contenido de humedad (ASTM D-2216), análisis granulométrico (ASTM D 422), Proctor modificado (ASTM D-1597), relación de soporte de california (ASTM D 1883), determinándose de esta forma las propiedades físico mecánicas del pavimento flexible existente en la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, los resultados del proyecto de tesis se detallan en las siguientes tablas que se muestran a continuación:

**Tabla 47**

*Contenido de humedad y clasificación de suelos*

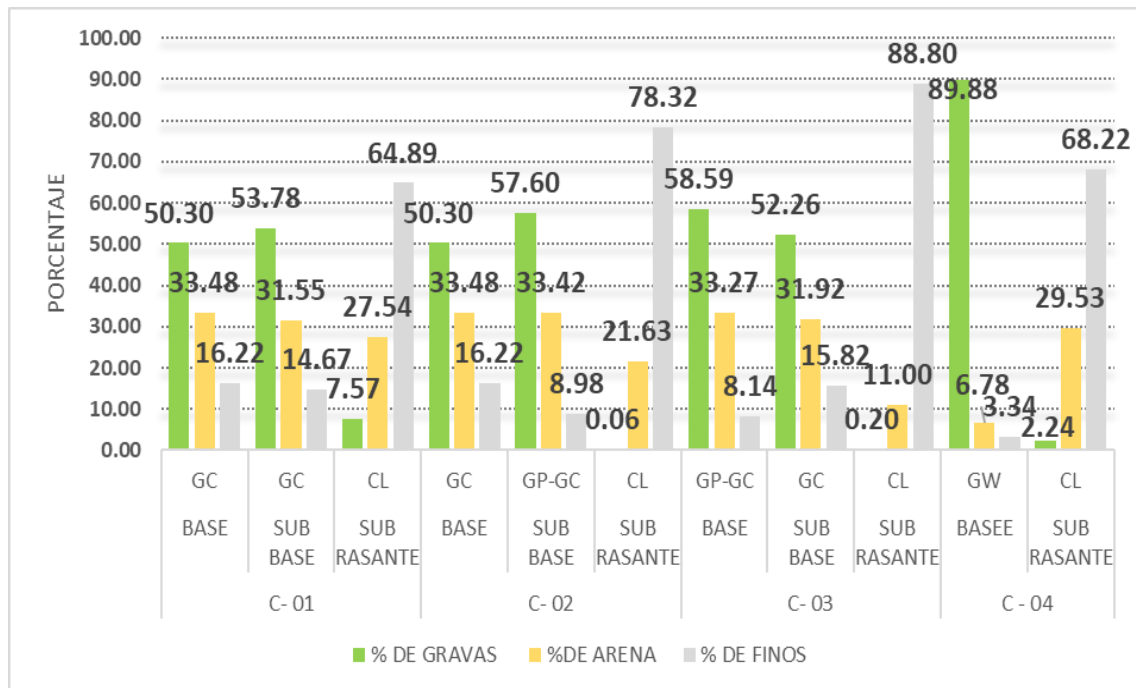
ESTRATO	C- 01			C- 02			C- 03			C - 04	
	B	SB	SR	B	SB	SR	B	SB	SR	B	SR
CONTENIDO DE HUMEDAD	6.84	29.13	26.25	7.20	6.08	25.81	8.06	4.60	16.92	4.51	24.67
LÍMITE LÍQUIDO	24.52	28.35	38.47	25.51	30.98	39.62	24.80	36.42	36.73	-	36.82
LÍMITE PLÁSTICO	7.28	13.24	15.25	7.28	9.56	12.96	15.23	22.54	20.74	-	14.23
ÍNDICE DE PLASTICIDAD	17.24	15.11	23.22	18.23	21.42	26.66	9.57	13.88	15.99	-	22.59
CLASIFICACIÓ N AASHTO	A-2- 6 (0)	A-2- 6 (0)	A-6 (11)	A-2- 6 (0)	A-2- 6	A-6 (15)	A-2- 4 (0)	A-2- 6	A-6 (10)	A-1 (0)	A-6 (12)
CLASIFICACIÓ N SUCS	GC	GC	CL	GC	GP- GC	CL	GP- GC	GC	CL	GW	CL
% DE GRAVAS	50.30	53.78	7.57	50.30	57.60	0.06	58.59	2.96	0.20	89.88	2.24
% DE ARENA	33.48	31.55	27.54	33.48	33.42	21.63	33.27	9.97	11.00	6.78	29.53
% DE FINOS	16.22	14.67	64.89	16.22	8.98	78.32	8.14	87.08	88.80	3.34	68.22

Se afirma que se tiene un bajo contenido de humedad en todas las muestras de la capa base de cada una de las calicatas, en cuanto a la sub base de la calicata 01 posee un alto valor en comparación al resto de capas sub base. Por otro lado, se observa que en las capas base y sub base de las calicatas 1, 2 y 3 predominan los suelos GC (grava arcillosa); sin embargo, en la calicata 4 se tiene un GW (grava bien graduada). Al respecto de la sub

rasante según la clasificación SUCS se tiene uniformidad por ser un tipo de suelo CL (arcilla inorgánica). Así mismo, en la capa base de la calicata 04 se tiene un suelo no plástico.

**Figura 30**

*Porcentaje de la composición de materiales por capa*



En el gráfico anterior se muestra el porcentaje de los diferentes materiales en la composición de los suelos de las capas del pavimento flexible en estudio. Nótese que en todas las capas base predomina el porcentaje de grava, seguido de arena y posteriormente finos. Por otro parte, la sub rasante representado por los suelos CL contienen una gran cantidad de finos, conteniendo en todos los casos más del 50% de la composición propia de las sub rasantes.

**Tabla 48***CBR al 100% de cada una de las calicatas*

	<b>ESTRATO</b>	<b>DENSIDAD MÁXIMA (gr/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>HUMEDAD ÓPTIMA (%)</b>	<b>CBR – 100% M.D.S %</b>
<b>CALICATA- 01</b>	BASE	2.07	8.50	69.80
	SUB BASE	2.08	9.80	44.10
	SUB RASANTE	1.88	9.10	7.70
<b>CALICATA- 02</b>	BASE	2.06	8.30	63.10
	SUB BASE	2.06	9.00	79.50
	SUB RASANTE	1.72	13.40	7.40
<b>CALICATA- 03</b>	BASE	1.88	9.10	73.30
	SUB BASE	1.98	9.20	57.80
	SUB RASANTE	1.62	13.50	8.70
<b>CALICATA - 04</b>	BASE	2.14	7.10	89.10
	SUB RASANTE	1.62	13.50	11.10

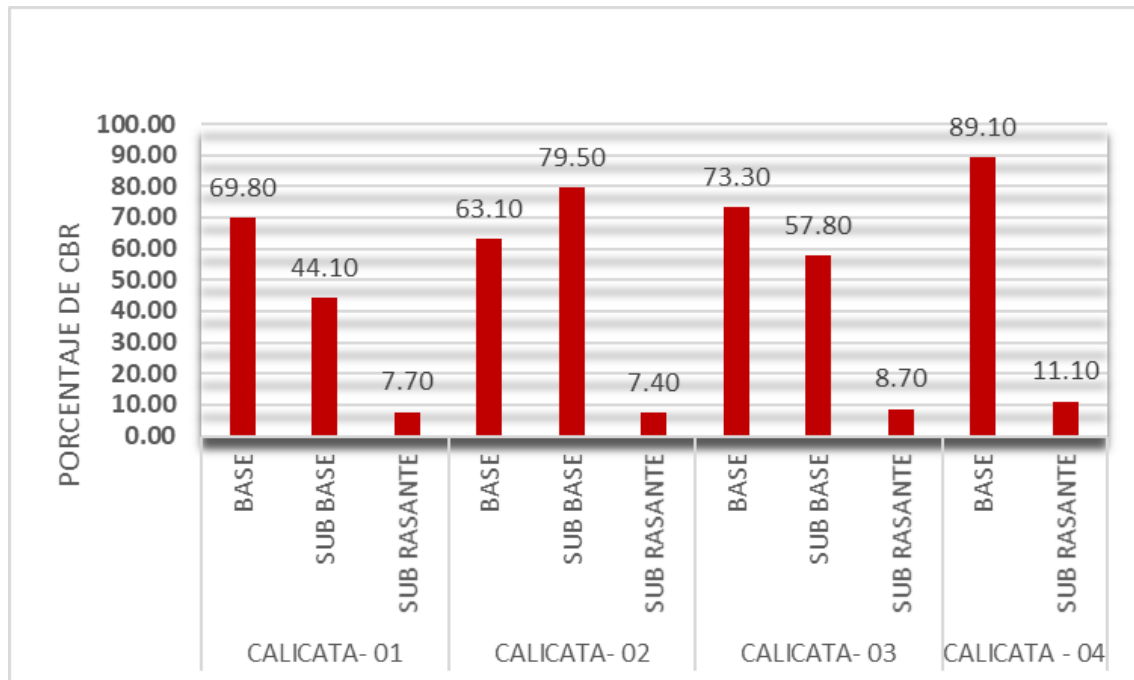
Se aprecia que el CBR alcanzado al 100% en las capas de base de las calicatas 1, 2 y 3 no cumplen con los valores brindados por la norma C.E. 0.10 de pavimentos urbanos, el cual establece un rango CBR mayor o igual al 80% por ser una vía colectora, siendo los valores calculados menores a este valor, definiendo que representa un CBR malo. Sin embargo, en la calicata 04 se cuenta con un CBR de 89.10 superando el límite inferior. Por otro lado, la norma en mención indica que para la sub base en pavimentos flexibles el CBR será mayor o igual al 40%, considerando este dato se observa que si se cumple en todas las capas de sub base presentes. En cambio, para la sub rasante el manual nos indica que un CBR pobre tiene un CBR menor o igual a 3%; CBR regular, mayor que



3% y menor que 8%; CBR bueno, mayor que 8% y menor que 17%; de acuerdo a la tabla anterior se afirma que la calicata 1 y 2 presentan suelos de sub rasantes regulares, mientras que la calicata 3 y 4 cuentan con suelos de sub rasantes buenos.

**Figura 31**

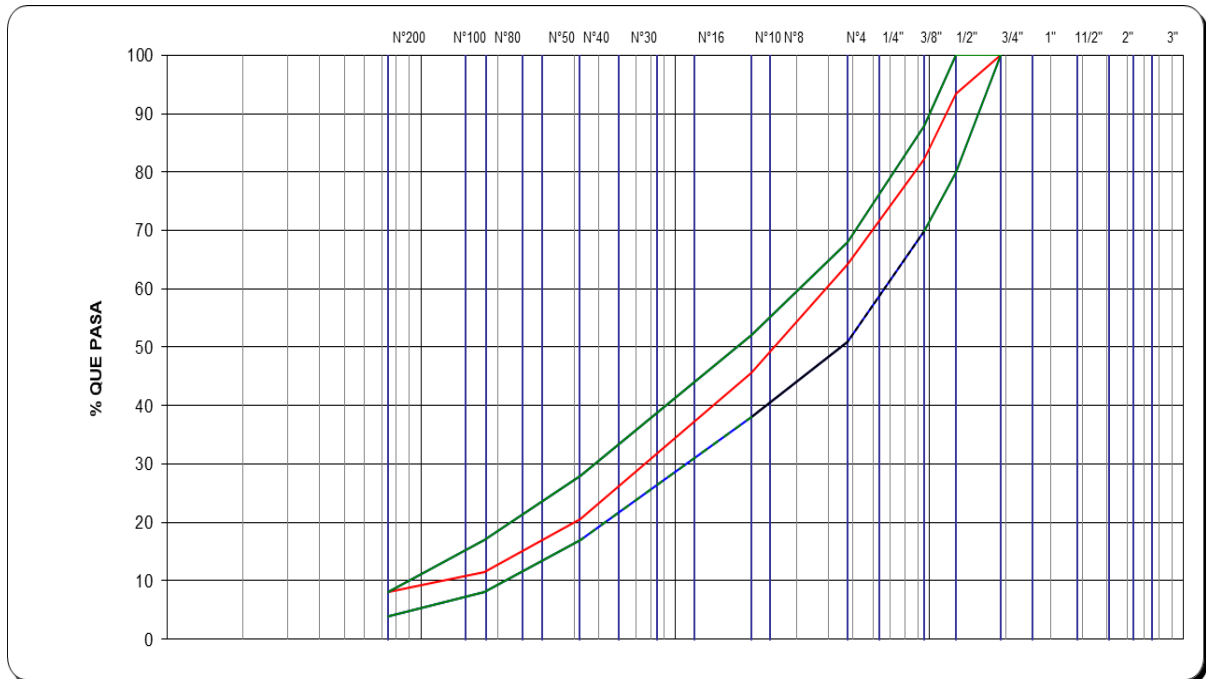
*Porcentaje CBR por capa*



De acuerdo al gráfico anterior se observa que la calicata 4 solo cuenta con dos estratos, uno de ellos cumpliendo la función de base y la otra de sub rasante. Además, posee los más altos valores de CBR por capa entre el resto de suelos, de acuerdo a los valores calculados, se afirma que se cumple con los rangos brindados de la norma de pavimentos urbanos.

**Figura 32**

*Curva granulométrica de los agregados obtenidos en el lavado asfáltico*



En la imagen anterior se aprecia la curva granulométrica, la cual es resultado de los datos obtenidos del ensayo de lavado asfáltico. Para este caso se utilizó la gradación de un MAC 2 ya que el tamaño máximo nominal de agregado es de  $\frac{1}{2}$  pulgada. Se aprecia que la curva granulométrica se encuentra dentro de los porcentajes pasantes máximos y mínimos, cumpliendo con las proporciones óptimas de agregado fino y grueso.

#### **4.3 ESPEORES DE LAS CAPAS DEL PAVIMENTO FLEXIBLE POR EL MÉTODO AASHTO 93**

De acuerdo al estudio de tráfico y los resultados obtenidos de los ensayos de laboratorio se procedió a calcular los espesores de diseño.

Según la norma CE.0.10 de Pavimentos Urbanos, la estructura del pavimento ha sido diseñada para una vía colectora. La vía tiene un tráfico TP7 con unos ejes equivalentes 2,030,002.00 EE.

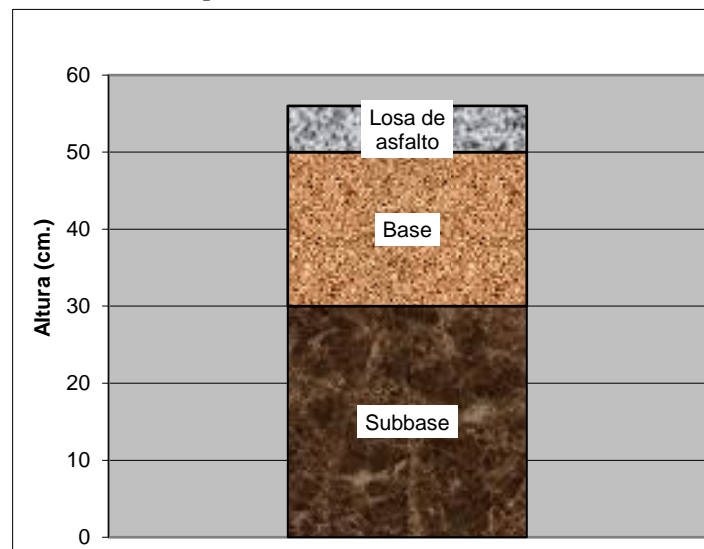
Para ejecutar el diseño, se utilizó el método AASHTO-1993 el cual consta fundamentalmente en determinar el número estructural requerido (SNR), de esta manera se establece el conjunto de los espesores de cada capa que poseerá la estructura del pavimento.

Estructura propuesta:

- Carpeta asfáltica: tendrá 6 cm de espesor, la cual consta de la colocación de una capa de mezcla asfáltica.
- Base: tendrá de 20 cm de espesor, la cual consta de la colocación y compactación de material granular.
- Sub base: tendrá 30 cm de espesor, la cual consta de la colocación y compactación de material granular.

**Figura 33**

*Distribución de altura de las capas*



### 4.3.1 Diseño de concreto asfáltico (Marshall)

Luego de hallar los espesores de las diferentes capas, se propone un nuevo diseño de concreto asfáltico en base al nuevo tráfico obtenido.

Del gráfico curva granulométrica para una gradación de MAC 1 se obtienes el siguiente cuadro de dosificación:

**Tabla 49**

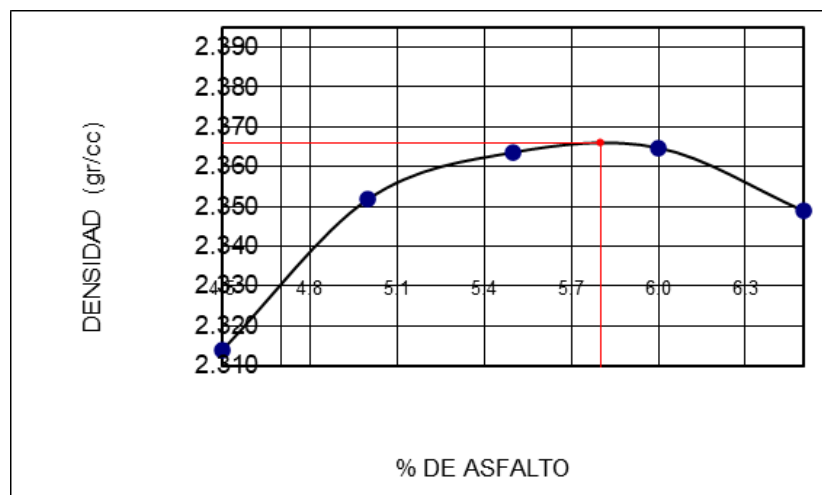
*Dosificación de los agregados para el ensayo Marshall*

DOSIFICACION	
Grava < 3/4"	21.00%
Grava < 1/2"	15.00%
Arena Triturada	31.00%
Arena Zarandeada	31.50%
cal hidratada	1.50%

De la tabla de resumen del ensayo Marshall se obtiene los siguientes gráficos de curvas de diseño.

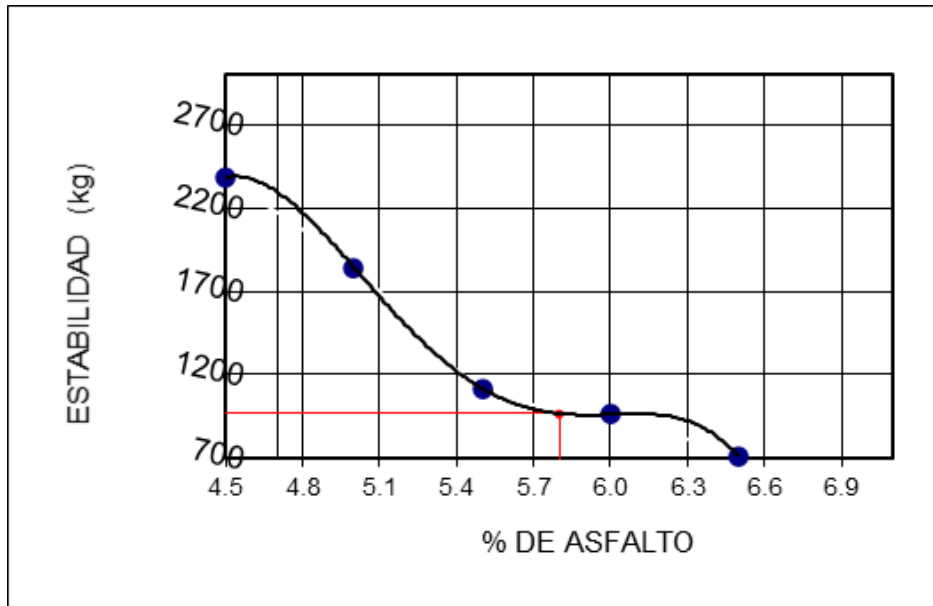
**Figura 34**

*Curva densidad vs % de asfalto*



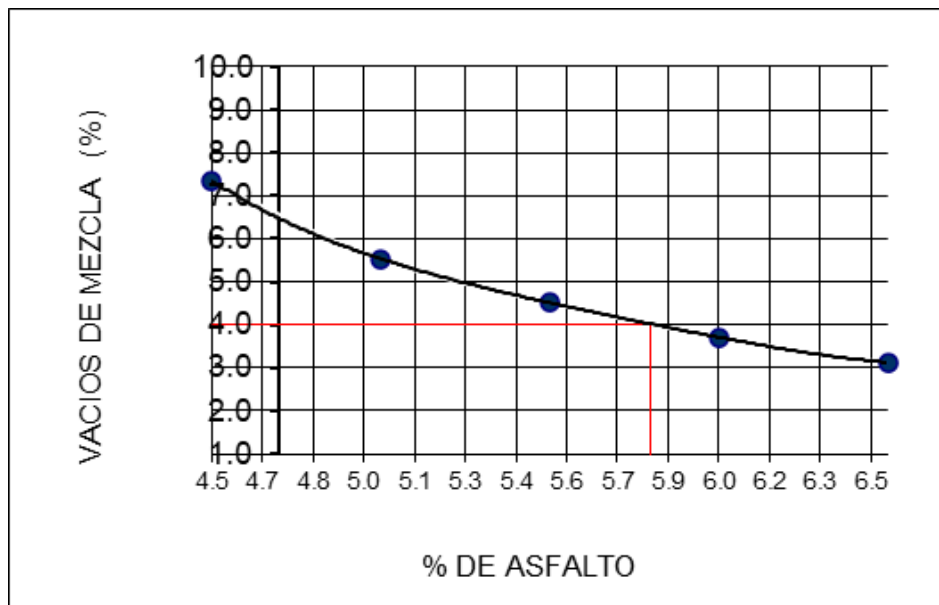
**Figura 35**

*Curva Estabilidad vs % de asfalto*



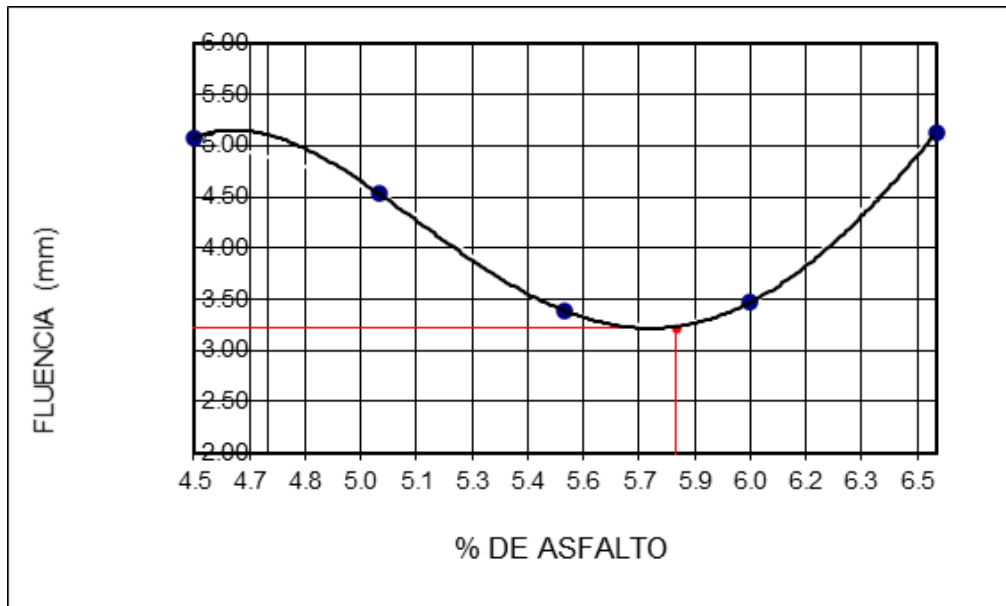
**Figura 36**

*Curva vacíos de mezcla vs % de asfalto*



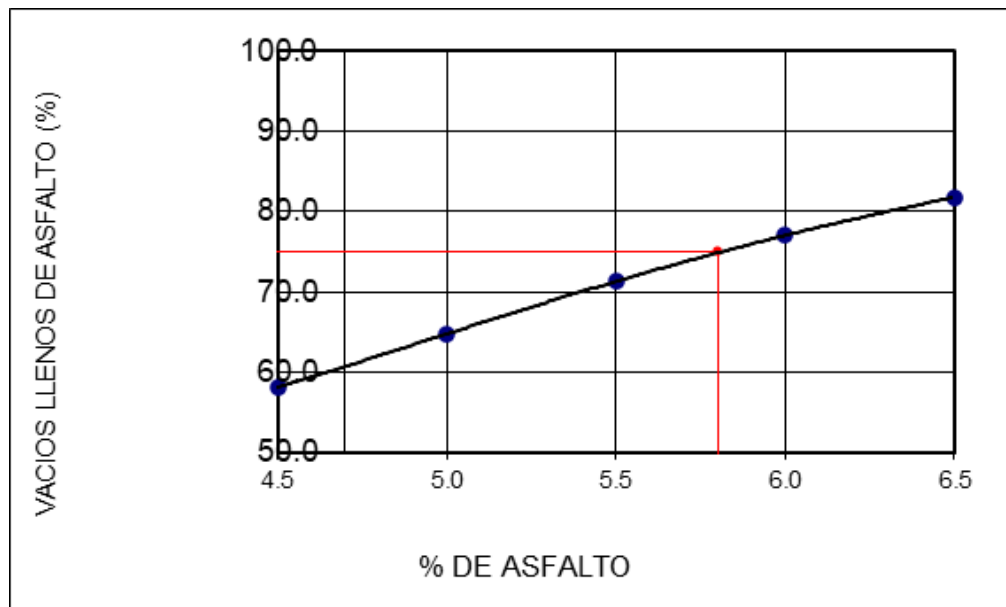
**Figura 37**

*Curva Fluencia vs % de asfalto*



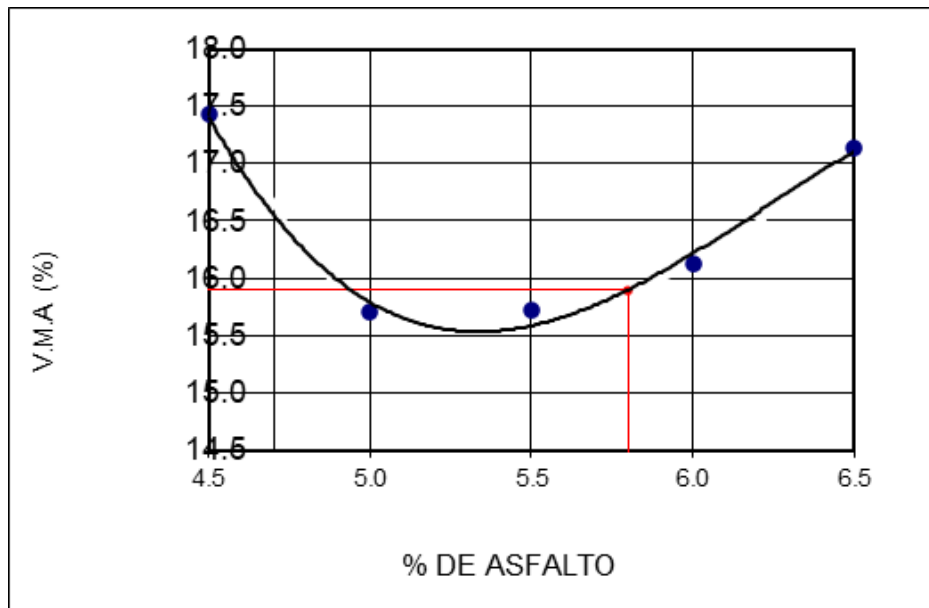
**Figura 38**

*Curva vacíos llenos de asfalto vs % de asfalto*



**Figura 39**

*Curva V.M.A. vs % de asfalto*



**Tabla 50**

*Características para un 5.8% de asfalto*

Características	Obtenido	Parámetros	Observaciones
Golpes	75	75	
Cemento Asfáltico	5.80%		
Peso Unitario	2.366		
Vacios	4.00	3 - 5	Cumple
V.M.A	15.90	14 Min.	Cumple
V. llenos con C.A.	75.00	70 - 82	Cumple
Flujo	3.22	2.032 - 3.556	Cumple
Estabilidad	970	> 815	Cumple
Estab/Flujo	3012	2000 - 4000	Cumple



Del cuadro resumen anterior observamos que para un 5.8% de asfalto se cumple de manera óptima con los parámetros establecidos en el ensayo Marshall.

#### 4.4 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En la presente investigación, como se detalló precedentemente, la capa base no cumple con las especificaciones dadas en la normativa, lo cual prueba que es una de las razones del deterioro prematuro del pavimento flexible, razón por lo cual se recomienda en la presente tesis que en la ejecución del tramo posterior, el personal interviniente deberá tener un seguimiento eficaz para el control de compactación en las diferentes capas que posee el pavimento además, cabe resaltar que la composición de los agregados en el diseño del concreto asfáltico cumple con los parámetros establecidos en la norma.

Por otro lado, Chimaico (2021) “determina mediante la evaluación estructural las patologías en el pavimento flexible. Llegando a los siguientes resultados, para la base o estrato 1 los resultados fueron: Humedad 5,8 %, Proctor promedio 2.26 gr/cm<sup>3</sup>”, CBR entre 0.1” pen > 100%, Índice de plasticidad nulo, espesor de estrato varía entre 0.20 m y 0.25 m; Para la sub base o estrato 2 fueron: Humedad 6,1 %, Proctor promedio 2.28 gr/cm<sup>3</sup>, CBR entre 0.1” pen > 80%, e Índice de plasticidad nulo, espesor de estrato varía entre 0.20 m y 0.25 m; Para la sub rasante o estrato 3 fueron: Humedad 7,2 %, Proctor promedio 2.19 gr/cm<sup>3</sup>, CBR entre 0.1” pen > 55%, e Índice de plasticidad 9,4 %, espesor de estrato varía entre 0.20 m y 0.30 m. Centrándonos en la presente tesis, podemos alegar que en la capa base no se cumple con la normativa, al contrario de lo que sucede con Chimaico.

En la misma línea Guibovich (2020) en su investigación concluye que el pavimento flexible falla debido a un mal diseño existente, asimismo, debido a que los materiales en base (CBR) no cumplen con la normativa vigente. Al igual que en la





presente tesis se llega a la conclusión que los materiales de la capa base no cumplen la normativa.

Al respecto Aliaga (2021), tiene como resultados las propiedades de la sub base, la granulometría se sale mínimamente de los estándares de la ASTM D422 para sub base, la máxima densidad seca de 2.05 gr/cm<sup>3</sup>, un índice plástico promedio de 3.31% y un CBR al 100% promedio de 65.3%. Y, en cuanto a las propiedades de la base, la granulometría se sale mínimamente de los estándares de la ASTM D422 para base, la máxima densidad seca de 2.089 gr/cm<sup>3</sup>, un índice plástico promedio de 1.92% y un CBR al 100% promedio de 91.9%.

En ese sentido las conclusiones de los dos últimos trabajos de investigación evidencian errores en la etapa de ejecución tales son como el no cumplimiento con el material adecuado en la capa base y la granulometría se sale de la normativa; dándonos habida cuenta que estos resultados guardan relación con lo establecido en nuestro proyecto de investigación, al concluir que se tiene desperfectos en la etapa de ejecución.



## V. CONCLUSIONES

A partir de la evaluación de la estructura del pavimento flexible, luego de realizar los diferentes ensayos a cada uno de los estratos de las diferentes capas existentes se concluye que el material de la capa base no es el adecuado porque no llega al CBR mínimo requerido de la vía en estudio. Asimismo, se concluye que los espesores hallados de un nuevo diseño toman en cuenta el tráfico actualizado al 2023, pudiendo ser considerado en el asfaltado del tramo restante.

De acuerdo al primer objetivo específico se determinó el perfil estratigráfico del pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino Cáceres de la ciudad de Juliaca, presentando carpeta asfáltica, base y sub base a excepción de la última calicata, donde presenta únicamente carpeta asfáltica y base. Cabe resaltar que el espesor promedio de la carpeta asfáltica es de 6.5 cm, además en la base y sub base presenta un suelo GC (grava arcillosa) y en la sub rasante un suelo CL (arcilla inorgánica).

En cuanto al segundo objetivo específico, se determinó las características físico mecánicas del pavimento flexible. Conociendo que el CBR de la base no cumple el mínimo requerido que exige la norma CE.10 pavimentos urbanos. En consecuencia, se observa el deterioro del pavimento flexible existente a lo largo del tramo en estudio. Con respecto a la carpeta de asfáltica, luego de realizar el ensayo de lavado asfáltico y realizar la granulometría de la misma muestra, se obtiene que se utilizó un MAC 2 para su diseño, estando la curva granulométrica dentro de lo gradación adecuada.

Los nuevos espesores de las capas de diseño del pavimento flexible de la Av. Andrés Avelino de la ciudad de Juliaca optimizan la cantidad de material a utilizar para su ejecución, con una carpeta asfáltica de 6 cm, 20 cm de base granular y 30 cm de sub



base granular. Cumpliendo con los espesores mínimos requeridos según la normativa CE.10 pavimentos urbanos. Además, para las condiciones actuales de la vía en estudio se realizó el ensayo Marshall a fin de obtener la dosificación de un concreto asfáltico que cumpla las condiciones de diseño establecida en la norma, esta dosificación está compuesta por 21% de grava  $<3/4''$ , 15% de grava  $<1/2''$ , 31% de arena triturada, 31.5% de arena zarandeada y 1.5% de cal hidratada.



## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda seguir realizando evaluaciones estructurales en las áreas de falla para poder diseñar en el tramo restante un pavimento que brinde mejor comodidad y seguridad vial.

Se recomienda implementar los mecanismos de evaluación estructural y superficial en los gobiernos locales y regionales, como una política de gestión de la infraestructura vial, en contribución con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

Se sugiere el estudio de otras formas de evaluación para tener un panorama más amplio de las posibles fallas que vienen suscitando a lo largo del tramo es estudio.

Al personal interviniente en la ejecución, tener un seguimiento eficaz para el control de compactación en las diferentes capas que posee el pavimento y cumplir con los parámetros establecidos en la norma CE. 10 pavimentos Urbanos.

A la municipalidad, que se realice los mantenimientos programados y las reparaciones de ser necesarias. Además de inspeccionar con mayor precisión los proyectos a desarrollarse, garantizando la ejecución acorde a los parámetros de la normativa.

La presente investigación sirva de apoyo para la futura ejecución del siguiente tramo.

Se recomienda realizar mayores evaluaciones estructurales en las vías de la ciudad de Juliaca, puesto que es usual ver tempranas fallas en pavimentos flexibles con menos de la mitad de años para los cuales fue diseñado.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Altilio Vial. (2020). *Ruta 205*. Obtenido de <https://altiliovialsa.com.ar/tag/carpeta-asfaltica/>
- Choque, J. (2019). Estudio comparativo del método PCI y el manual de conservación vial MTC en la evaluación superficial de pavimento flexible, tramo EMP.PE-3S-Atuncolla, 2017. *Repositorio institucional UNA-PUNO*.
- Castillo, J. (2020). Juliaca Red. Obtenido de <https://juliaca.red.web.app/sanmiguel/index.html>
- Chimaico, J. (2021). Evaluación estructural para determinar las patologías en el pavimento flexible del tramo Ronchas – Chupaca – Provincia de Chupaca - 2020. Huancayo: UCV.
- Dirección general de caminos y ferrocarriles. (2014). *Manual de carreteras suelos geología, geotecnia y pavimentos*. Lima : Biblioteca nacional del Perú.
- Facultad de ciencias y tecnología. (2004). Pavimentos. *Universidad Mayor de San Simón*, 2-21.
- FamilySearch. (2021). Obtenido de [https://www.familysearch.org/es/wiki/San\\_Rom%C3%A1n,\\_Puno,\\_Per%C3%BA\\_-\\_Genealog%C3%ADa](https://www.familysearch.org/es/wiki/San_Rom%C3%A1n,_Puno,_Per%C3%BA_-_Genealog%C3%ADa)
- Fernandez, M. (2020). Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible de la carretera Cajamarca-Celendín- Balsas, tramo Chaquilpampa-Santa Rosa de Chaquil, mediante el análisis deflectómetro. *UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA*.



- Garzon, A., & Hernández, L. (2018). Estructura de un pavimento flexible. *Cartilla-gruía ilustrativa del proceso constructivo de un pavimento flexible para bajos volúmenes de tránsito*, 7-10.
- Hernández. (2014). Definición del alcance de la investigación que se realizará: exploratorio, descriptivo, correlacional o explicativo. En *Metodología de la investigación* (pág. 90). México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández. (2014). Selección de la muestra. En *Metodología de la investigación* (págs. 170-194). México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Hernández, R. (2014). Los enfoques cuantitativo y cualitativo de la investigación científica. En *Metodología de la investigación* (pág. 4). México: MCGRAW-HILL / INTERAMERICANA EDITORES, S.A. DE C.V.
- Loría, L. (2019). Tweet. Obtenido de Igloría27:  
<https://twitter.com/Igloria27/status/1081985022947667968>
- Macea, L., Morales, L., & Márquez, L. (2015). Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo. *Ingeniería Investigación y Tecnología*, 224.
- Mahajan, G., Radhika, B., & Prapoorna, K. (2022). Diseño de Pavimentos y Materiales Viales. *Una revisión crítica del mecanismo de interacción vehículo-pavimento en la evaluación de las características de desempeño del pavimento flexible*, 1-2.



- Marecos, V., Fontul, S., Antunes, M., & Solla, M. (2017). Evaluación del pavimento de una carretera mediante ensayos no destructivos: Deflectómetro de caída de peso y Radar de penetración en el suelo. *Construcción y Materiales de Construcción*, 1-2.
- Medina, A., & De la cruz, M. (2015). *Repositorio academico UPC*. Obtenido de Evaluación superficial del pavimento flexible del Jr. José Gálvez del distrito de Lince aplicando el método del PCI: <http://hdl.handle.net/10757/581505>
- Minaya, S., & Ordóñez, A. (2006). Introducción. En *DISEÑO MODERNO DE PAVIMENTOS ASFÁLTICOS* (págs. 1-10). Lima: Instituto de la Construcción y Gerencia.
- Montejo, A. (2002). Pavimentos, constitución y conceptos generales. En *Ingeniería de pavimentos* (págs. 1-16). Colombia: Agora Editores.
- Morales, A., & Tapia, V. (2021). Evaluación funcional y estructural del pavimento de la Avenida Paseo de los Cañaris, Cuenca Ecuador. Ecuador: UNIVERSIDAD DEL UZUAY.
- MTC . (2016). Determinación del límite líquido de los suelos. En *Manual de ensayo de materiales* (págs. 67-71). Lima: Biblioteca nacional del Perú.
- MTC. (2014). Componentes de la infraestructura del camino. En *Manul de carreteras suelos, geología, geotecnia y pavimentos* (págs. 23-26). Lima : Servicios Gráficos Squadrito.
- MTC. (2016). CBR de suelos. En *Manual de ensayo de materiales* (págs. 428-256). Lima: Biblioteca Nacional del Perú.



- MTC. (2016). Compactación de suelos en laboratorio utilizando una energía modificada. En *Manual de ensayo de materiales* (págs. 105-113). Lima : Biblioteca nacional del Perú.
- MTC. (2016). Determinación del límite plástico de los suelos e índice de plasticidad. En *Manual de ensayo de materiales* (págs. 72-74). Lima: Biblioteca nacional del Perú.
- MTC. (2016). Muestreo de suelos y rocas. En *Manual de ensayo de materiales* (pág. 14). Lima: Biblioteca nacional del Perú.
- MTC. (2016). Sistema de clasificación de suelos . En *Manual de ensayos de materiales* (págs. 1159-1161). Lima: Biblioteca nacional del Perú.
- Ortiz, A. (2017). Instructivo del proceso constructivo de una vía en pavimento flexible. *Universidad distrital Francisco José de Caldas*, 7.
- Pattilo, J. (1988). Consideraciones generales sobre diseño de pavimentos asfálticos. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 94-110.
- Radio pública. (2022). Obtenido de <http://www.radiopublica.pe/20170211/comite-regional-de-desarrollo-e-integracion-fronteriza-se-instalara-este-13-de-febrero-en-puno.html>
- Ríos, N., Bacca, B., Caicedo, E., & Oribio, A. (2020). Revisión de métodos para la clasificación de fallas superficiales en pavimentos flexibles. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 2.
- Tapia, M. (2010). Generalidades y aspectos conceptuales. En *Pavimentos* (págs. 8-23). México: Universidad Autónoma de México.





## ANEXOS

Anexo A: Operacionalización de Variables

Anexo B Matriz de consistencia

Anexo C: Estudio de tráfico

Anexo D: Mecánica de suelos

Anexo E: Ensayo Marshall y lavado asfáltico

Anexo F: Planos

Anexo G: Panel fotográfico



## DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Keyvi Cristian Huanca Gutierrez  
identificado con DNI 72230461 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingemiería Civil  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado  
 Título Profesional denominado:

“Evaluación estructural del pavimento flexible y propuesta de  
diseño de la Av. Andrés Baelimo Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021

” Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 20 de julio del 20 23

FIRMA (obligatoria)



Huella



## AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Kemyi Cristian Huanca Gutierrez  
identificado con DNI 72230461 en mi condición de egresado de: 8

Escuela Profesional,  Programa de Segunda Especialidad,  Programa de Maestría o Doctorado

Ingeniería Civil  
informo que he elaborado el/la  Tesis o  Trabajo de Investigación para la obtención de  Grado

Título Profesional denominado:

"Evaluación estructural del pavimento flexible y propuesta de diseño de la Av. Andrés Bello Cáceres de la ciudad de Juliaca, 2021"

"Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 20 de julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella