



Universidad Nacional
Federico Villarreal

Vicerrectorado de
INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**“APLICACIÓN DE METODOLOGÍA AASHTO 93 EN DISEÑO DE PAVIMENTO
FLEXIBLE PARA OPTIMIZAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN
LA CARRETERA TALAVERA – ANDAHUAYLAS, REGIÓN APURÍMAC.”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

MACHA ZULUETA RICARDO RAFAEL

ASESOR:

Ms. AYBAR ARRIOLA GUSTAVO ADOLFO

JURADO:

Dr. MALPARTIDA CANTA ROMMEL

Dr. BEDIA GUILLEN CIRO SERGIO

Ms. GARCIA URRITIA OLAVARIA ROQUE JESUS LEONARDO

LIMA - PERÚ

2019

DEDICATORIA

A mis padres, familiares y amigos, gracias por estar a mi lado siempre.

AGRADECIMIENTO

A la maravillosa Universidad Nacional Federico Villarreal, prestigioso templo del saber, mis gracias eternas por todos conocimientos que aprendí durante mi formación profesional.

RESUMEN

La presente tesis titulada “APLICACIÓN DE METODOLOGÍA AASHTO 93 EN DISEÑO DE PAVIMENTO FLEXIBLE PARA OPTIMIZAR LA TRANSITABILIDAD VEHICULAR EN LA CARRETERA TALAVERA – ANDAHUAYLAS, REGIÓN APURÍMAC” tiene por finalidad realizar el diseño de pavimento flexible en la carretera en mención, analizando los parámetros más importantes considerados por la metodología AASHTO 93, definiendo los espesores de la estructura del pavimento y enfatizando las características de la capa de rodadura.

El tema elegido para presente tesis es sumamente importante debido a que, en la actualidad, los distritos de Talavera y Andahuaylas, en la provincia de Andahuaylas – Apurímac, requieren de la pavimentación de la carretera Talavera – Andahuaylas para mejorar el transporte de sus productos agropecuarios, ya que esta vía se encuentra actualmente a un nivel de afirmado. Por ello la presente tesis propondrá el diseño de pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 93 a construirse en dicha carretera, con fines de optimizar la transitabilidad vehicular, promoviendo el comercio y elevando la calidad de vida de los pobladores de los distritos de Talavera y Andahuaylas.

Palabras clave: Diseño de pavimento flexible, Método AASHTO 93.

ABSTRACT

This thesis entitled "APPLICATION OF AASHTO 93 METHODOLOGY IN FLEXIBLE PAVEMENT DESIGN TO OPTIMIZE VEHICULAR TRANSITABILITY ON THE TALAVERA - ANDAHUAYLAS ROAD, APURIMAC REGION" aims to perform the design of flexible pavement on the road in question, analyzing the most important parameters considered by the AASHTO 93 methodology, defining the thickness of the pavement structure and emphasizing the characteristics of the tread layer.

The theme chosen for this thesis is extremely important because, at present, the districts of Talavera and Andahuaylas, in the province of Andahuaylas - Apurímac, require the paving of the Talavera - Andahuaylas highway to improve the transport of their agricultural products. , since this route is currently at an affirmed level. Therefore, this thesis will propose the design of flexible pavement using the AAHSTO 93 methodology to be built on said highway, with the purpose of optimizing vehicular traffic, promoting trade and raising the quality of life of the inhabitants of the districts of Talavera and Andahuaylas.

Keywords: Flexible pavement design, AASHTO 93 Method.

ÍNDICE GENERAL

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Resumen	4
Abstract	5
Capítulo I: Introducción	14
1.1 Descripción y formulación del problema	15
1.2 Antecedentes	16
1.3 Objetivos	20
1.4 Justificación e importancia.....	21
1.5 Hipótesis.....	21
Capítulo II: Marco Teórico.....	22
2.1 Definición de pavimentos.....	22
2.2 Pavimento flexible.....	22
2.3 Método AASHTO 93	23
Capítulo III: Método.....	24
3.1 Tipo de investigación	24

3.2	Ámbito temporal y espacial.....	24
3.3	Variables.....	24
3.4	Población y muestra	25
3.5	Instrumentos	25
3.6	Procedimientos	26
3.7	Análisis de datos.....	26
3.7.1	Descripción de la zona en estudio	26
3.7.2	Estado actual de la vía.....	28
3.7.3	Velocidad Directriz	30
3.7.4	Sección de vía del proyecto.....	31
3.7.5	Descripción del trazo y desarrollo geométrico.....	32
3.7.6	Estudio de tráfico y análisis de capacidad de la vía.	33
3.7.7	Estudio de suelos, geotecnia, canteras y fuentes de agua.....	35
Capítulo IV: Resultados		42
4.1	Cálculo del EAL (Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 toneladas)	42
4.2	Análisis Estadístico de Valores de CBR con fines de Diseño del Pavimento.....	44
4.3	Datos de Diseño del Pavimento	45

4.4 Diseño de Pavimentos Flexibles por el Método AASHTO – 1993.....	46
4.5 Análisis de la influencia de temperaturas.....	61
4.6 Bermas.....	64
4.7 Diseño de la mezcla asfáltica en caliente de 3” (7.5 cm.) de espesor	64
4.8 Elección de la estructura del pavimento.....	70
Capítulo V: Discusión de resultados	72
Conclusiones	74
Recomendaciones.....	75
Bibliografía.....	76
Anexo 01:Panel fotográfico	79
Anexo 02: Planos.....	120

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Ubicación de la zona en estudio.	27
Figura 2: Gráfico AASHTO 93 para cálculo de espesor de carpeta asfáltica.	56
Figura 3: Estructura final del pavimento.	71
Figura 4: Foto 1.	80
Figura 5: Foto 2.	81
Figura 6: Foto 3.	82
Figura 7: Foto 4.	83
Figura 8: Foto 5.	84
Figura 9: Foto 6.	85
Figura 10: Foto 7.	86
Figura 11: Foto 8.	87
Figura 12: Foto 9.	88
Figura 13: Foto 10.	89
Figura 14: Foto 11.	90
Figura 15: Foto 12.	91

Figura 16: Foto 13.....	92
Figura 17: Foto 14.....	93
Figura 18: Foto 15.....	94
Figura 19: Foto 16.....	95
Figura 20: Foto 17.....	96
Figura 21: Foto 18.....	97
Figura 22: Foto 19.....	98
Figura 23: Foto 20.....	99
Figura 24: Foto 21.....	100
Figura 25: Foto 22.....	101
Figura 26: Foto 23.....	102
Figura 27: Foto 24.....	103
Figura 28: Foto 25.....	104
Figura 29: Foto 26.....	105
Figura 30: Foto 27.....	106
Figura 31: Foto 28.....	107
Figura 32: Foto 29.....	108

Figura 33: Foto 30.....	109
Figura 34: Foto 31.....	110
Figura 35: Foto 32.....	111
Figura 36: Foto 33.....	112
Figura 37: Foto 34.....	113
Figura 38: Foto 35.....	114
Figura 39: Foto 36.....	115
Figura 40: Foto 37.....	116
Figura 41: Foto 38.....	117
Figura 42: Foto 39.....	118
Figura 43: Foto 40.....	119
Figura 44: Plano clave de calicatas.....	121
Figura 45: Plano clave de obras de arte.....	121
Figura 46: Plano clave de señalización.....	121
Figura 47: Plano clave general.....	121

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Velocidades directrices adoptadas.	31
Tabla 2: Calicata Pz-01: (Km: 00+200 Lado Izq.).....	38
Tabla 3: Calicata PZ-02 (Km: 00+840 Lado Der.)	38
Tabla 4: Calicata Pz - 03 (Km: 01+80 Lado Der.).....	39
Tabla 5: Calicata Pz- 04 (Km: 02+67 Lado Der.).....	39
Tabla 6: Calicata Pz-05 (Km: 03+200 Lado Izq.).....	40
Tabla 7: Calicata Pz-06 (Km 03+820 Lado Der.)	40
Tabla 8: Resumen de resultados de ensayos de suelos.....	41
Tabla 9: Tipo de vehículos – ejes equivalentes.....	43
Tabla 10: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 10 años – Método AASHTO 93 – hoja 1.	57
Tabla 11: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 10 años – Método AASHTO 93 – hoja 2.	58
Tabla 12: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 20 años – Método AASHTO 93 – hoja 1.	59
Tabla 13: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 20 años – Método AASHTO 93 – hoja 2.	60

Tabla 14: Recomendaciones del Instituto del Asfalto.....62

Tabla 15: Tratamiento indicado para el pavimento.....73

CAPÍTULO I

Introducción

La presente tesis se basa en el proyecto de Mejoramiento Vial Talavera Andahuaylas, conformante de la red de carreteras interdistrital (Av. Confraternidad), que une los distritos de Talavera con Andahuaylas en el departamento del Apurímac; y surge de la necesidad de mejorar el transporte de sus productos agropecuarios, ya que esta vía se encuentra actualmente a un nivel de afirmado.

La estructura final del pavimento diseñada en la presente tesis está conformada por: Subrasante, suelo natural perfilado y compactado, luego del corte de los 37.50 cm., compactado al 95% de la densidad máxima Próctor Modificado. Base: 30 cm de espesor de material de préstamo de la cantera de Chuspi Material Granular seleccionado y compactado al 95% de la densidad máxima Próctor Modificado. Y la Carpeta: 3" (75mm) de concreto asfáltico en caliente.

Dentro de los logros más importantes alcanzados en la presente tesis se puede mencionar que aplicando la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible se podrá optimizar la transitabilidad vehicular en el Carretera Talavera – Andahuaylas de la Región de Apurímac.

1.1 Descripción y formulación del problema

En la actualidad, los distritos de Talavera y Andahuaylas, en la provincia de Andahuaylas – Apurímac, requieren de la pavimentación de la carretera Talavera – Andahuaylas para mejorar el transporte de sus productos agropecuarios, ya que esta vía se encuentra actualmente a un nivel de afirmado. Por ello la presente tesis propone el diseño de pavimento flexible mediante la metodología AAHSTO 93 a construirse en dicha carretera, con fines de optimizar la transitabilidad vehicular, promoviendo el comercio y elevando la calidad de vida de los pobladores de los distritos de Talavera y Andahuaylas.

Así, la presente tesis busca responder las siguientes preguntas:

¿De qué manera se puede optimizar la transitabilidad vehicular en la carretera Talavera – Andahuaylas de la Región de Apurímac?

¿Cuáles son los parámetros de diseño de pavimentos flexibles más importantes a considerarse en la Metodología AASHTO 93?

¿Aplicando la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible se podrá optimizar la transitabilidad vehicular en el Carretera Talavera – Andahuaylas de la Región de Apurímac?

1.2 Antecedentes

a) En el ámbito internacional

Salamanca & Zuluaga (2014) señalan en la tesis titulada “Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos Invias, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía La Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el Departamento del César”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Católica de Colombia – Colombia, tiene por objetivo principal, diseñar las estructuras 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 los abscisas K19+250 A K25+750 ubicada en el Departamento del César.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- Los suelos encontrados en los 6.5 Km de la vía La Ye Santa Lucia Barranca Lebrija corresponden a limos-arcillosos y arenas limosas en su mayoría. La capacidad portante de la subrasante donde estará apoyada la estructura de pavimento presenta dos condiciones, unos suelos con CBR en condición sumergida menores a 3% con potencial de hinchamiento alto y marginal que se encuentran en los Tramos homogéneos 1,3 y 5 y otra con CBRMetodo 1 al 95% de la densidad máxima mayor a 6% que corresponden a los sectores 2 y 4.

- La estructura de pavimento definido por cada uno de los métodos evaluados se basó en un periodo de diseño de diez años para pavimentos flexibles o su equivalencia en tiempo hasta acumular el número de ejes equivalentes de 8.2 ton adoptado en el diseño.

Cedeño (2014) señala en la tesis titulada “Propuesta de metodología complementaria a los diseños de pavimentos según AASHTO 93”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil – Ecuador, tiene por objetivo principal, elaborar una aplicación que permita un rápido diseño y análisis aproximado de una estructura de pavimento flexible tomando en consideración todas las variables y ecuaciones propuestas por la metodología de diseño AASHTO 93.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- Como se pudo observar en las tablas la estructura de pavimento que están sujetos a la más altas temperaturas en el Ecuador son principalmente los pavimentos de la costa, en la sierra los pavimentos muestran un mejor comportamiento ante la fatiga de capa asfáltica debido a sus bajas temperaturas (alrededor de 15°) sin embargo a bajas temperaturas se debe tomar en cuenta el aumento de rigidez de la capa asfáltica que de no tener suficiente resistencia puede fatigarse con más facilidad que una capa asfáltica más flexible, la región amazónica tiene temperaturas que están entre los 2 toques que son la sierra y la costa mostrando un comportamiento favorable durante una temporada del año.

- Tener este tipo de información disponible permite al diseñador considerar distintas opciones al conocer los comportamientos variables que se presentan en las distintas regiones del país.

b) En el ámbito nacional

Torres & Pérez (2017) señalan en la tesis titulada “Diseño de pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en el AA. HH. Ampliación Túpac Amaru, distrito de Chiclayo, provincia Chiclayo, región Lambayeque 2017”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad César Vallejo – Perú, tiene como objetivo principal, elaborar el diseño del pavimento flexible, para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal del AA.HH. Ampliación Túpac Amaru.

Teniendo como resultado las siguientes conclusiones:

- El C.B.R. de diseño se ha definido empleando los métodos estadísticos (porcentuales), en función de representatividad de los suelos y así se ha obtenido un valor CBR. De diseño al 95% de la Densidad Máxima Seca de Proctor Modificado, realizado en el laboratorio. El nivel freático no se ha ubicado hasta la profundidad alcanzada en las exploraciones (1.50m).

- Los materiales existentes en el área de estudio, presentan un valor CBR promedio de 10.00% al 95% del Proctor Modificado respectivamente y según la Clasificación General indica como una subrasante regular

Escobar & Huincho (2017) señalan en la tesis titulada “Diseño de pavimento flexible, bajo influencia de parámetros de diseño debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa – Sachapite, Huancavelica – 2017”, tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil por la Universidad Nacional de Huancavelica – Perú, tiene como objetivo principal, determinar la influencia de parámetros de diseño para diseñar el pavimento flexible debido al deterioro del pavimento en Santa Rosa - Sachapite Huancavelica – 2017.

Teniendo como resultados las siguientes conclusiones:

- Se encontró con IMD 467 veh/día por tanto influye directamente ya que el diseño de la vía en estudio era en el año 2006 con un IMD de 275 veh/día por tanto cambia mucho en cuestiones de diseño al tomar coeficientes y valores de diseño de la carpeta asfáltica y los estudios específicos para el Manual de carreteras de suelos, geología, geotecnia y pavimentos como también al usar las metodologías del AASTHO 93.

- Según los estudios encontrados en la zona hallamos un ESAL de 2, 289,418 de ejes equivalentes para el 2006 y se encontró el espesor la carpeta asfáltica con 4 pulgadas. Y actualmente para el 2017 la carpeta asfáltica debe ser de 7 pulgadas con un ESAL de 7, 867,970 de ejes equivalentes (EE).
- El CBR influye directamente porque al diseñar en el pavimento flexible se encontró un CBR de diseño 7.2 % para ambos diseños hecho del 2006 y del 2017, ya que por ser el mismo suelo es recomendar a trabajar con el mismo CBR de la subrasante si fuera menor se optaría por estabilizaciones u otros métodos.

1.3 Objetivos

a) Objetivo general

Aplicar la metodología AASHTO 93 en el diseño de pavimento flexible para optimizar la transitabilidad vehicular en la carretera Talavera – Andahuaylas de la Región Apurímac.

b) Objetivos específicos

- Estudiar los parámetros de diseño de pavimentos flexibles más importantes a considerarse por la metodología AASHTO 93.

- Definir los espesores de la estructura del pavimento, enfatizando las características de la capa de rodadura.

1.4 Justificación e importancia

El tema elegido para la presente tesis es sumamente importante debido a que, en la actualidad, los distritos de Talavera y Andahuaylas, en la provincia de Andahuaylas – Apurímac, requieren de la pavimentación de la carretera Talavera – Andahuaylas para mejorar el transporte de sus productos agropecuarios, ya que esta vía se encuentra actualmente a un nivel de afirmado. Por ello la presente tesis propone el diseño de pavimento flexible mediante la metodología AASHTO 93 a construirse en dicha carretera, con fines de optimizar la transitabilidad vehicular, promoviendo el comercio y elevando la calidad de vida de los pobladores de los distritos de Talavera y Andahuaylas.

1.5 Hipótesis

Aplicando la metodología AASHTO 93 para el diseño de pavimento flexible se podrá optimizar la transitabilidad vehicular en el Carretera Talavera – Andahuaylas de la Región de Apurímac.

CAPÍTULO II

Marco Teórico

2.1 Definición de pavimentos

Torre (2019) señala que:

Los pavimentos son estructuras que consisten en capas superpuestas de materiales procesados por encima del terreno natural con la finalidad de distribuir las cargas aplicadas por un vehículo a la subrasante. La estructura del pavimento debería ser capaz de proveer: una calidad de manejo aceptable, una adecuada resistencia al ahuellamiento, deslizamiento y agrietamiento, apropiados niveles de reflejo de luz, y un nivel bajo de ruido.

2.2 Pavimento flexible

Torres & Pérez (2017) señalan que:

Un pavimento flexible típico consiste en concreto asfáltico en la superficie, capa de base y sub base construida sobre la sub-rasante compactada. La capa superficial está hecha de Mezcla bituminosa en Caliente (HMA), también llamado concreto asfáltico. La base puede ser granular o estabilizada con asfalto, cemento portland, u otro agente estabilizador y la sub base es granular. (p. 33)

2.3 Método AASHTO 93

Torres & Pérez (2017) señalan que:

El procedimiento recomendado por la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) (AASHTO 1993) está basado en los resultados de los extensivos ensayos de carretera AASHO llevados a cabo en Ottawa, Illinois, a finales de los 50's y a comienzos de los 60's. El comité de Diseño de la AASHO publicó primero una guía de diseño provisional en 1961. Fue revisado en 1972 y 1981. En 1984 a 1985, el subcomité de diseño de pavimento y el equipo de consultores revisaron y expandieron la guía bajo el proyecto NCHRP 20- 7/24 y publicaron la guía actual en 1986. Las ecuaciones de desempeño empírico obtenidas del ensayo de carreteras AASHO son todavía usadas como modelos básicos en la actual guía, pero fueron modificadas y extendidas para hacerlas aplicables a otras regiones. Se debe tener en cuenta que las ecuaciones originales fueron desarrolladas bajo determinados escenarios climáticos y con un conjunto específico de materiales de pavimentos y suelos de sub-rasante. El clima en el lugar de ensayo es templado con un promedio anual de precipitación de 864 mm. La profundidad promedio de congelamiento es aproximadamente 711 mm. Los suelos de sub-rasante consisten en A-6 y A-7-6 que son suelos mal drenados, con valores de CBR en un rango de 2 a 4. (p. 35)

CAPÍTULO III

Método

3.1 Tipo de investigación

Aplicada.

3.2 Ámbito temporal y espacial

La presente tesis se basa en el proyecto de Mejoramiento vial de la carretera Talavera - Andahuaylas, ubicada en los distritos de Talavera y Andahuaylas, en la provincia de Andahuaylas – Apurímac. El proyecto se encuentra en ejecución.

3.3 Variables

- **Variable independiente**

Diseño de pavimento flexible.

- **Variable dependiente**

Optimización de la transitabilidad vehicular.

3.4 Población y muestra

- **Población**

La población es un conjunto reducido o ilimitado con características similares para los cuales las conclusiones de la investigación serán extensas. Esta queda limitada por los objetivos y el problema de la investigación. Para la presente investigación, el universo poblacional estará conformado por los pavimentos existentes en la Región Apurímac.

- **Muestra**

Un subconjunto específico y limitado que se separa de la población es definido como una muestra. En la presente tesis se ha tomado como muestra el pavimento de la carretera Talavera - Andahuaylas, ubicada en los distritos de Talavera y Andahuaylas, en la provincia de Andahuaylas – Apurímac.

3.5 Instrumentos

- Revisión de documentos: a través de esta técnica se han revisado normas, manuales, libros, tesis, etc., respecto al tema de diseño de pavimento flexible por el método AASHTO 93.

- Observación: Esta técnica ha permitido recolectar información vista en campo.
- Ensayos de laboratorio de suelos: Análisis granulométrico por tamizado; límites de Atterberg, contenido de humedad.

3.6 Procedimientos

- Se hizo el reconocimiento de campo.
- Se realizó el estudio de mecánica de suelos.
- Se definieron los materiales a usar en la construcción del pavimento.
- Se realizó el diseño de pavimento por el método AASHTO 93.
- Se definieron los espesores de la estructura del pavimento flexible a construirse, haciendo énfasis en las características de la superficie de rodadura.

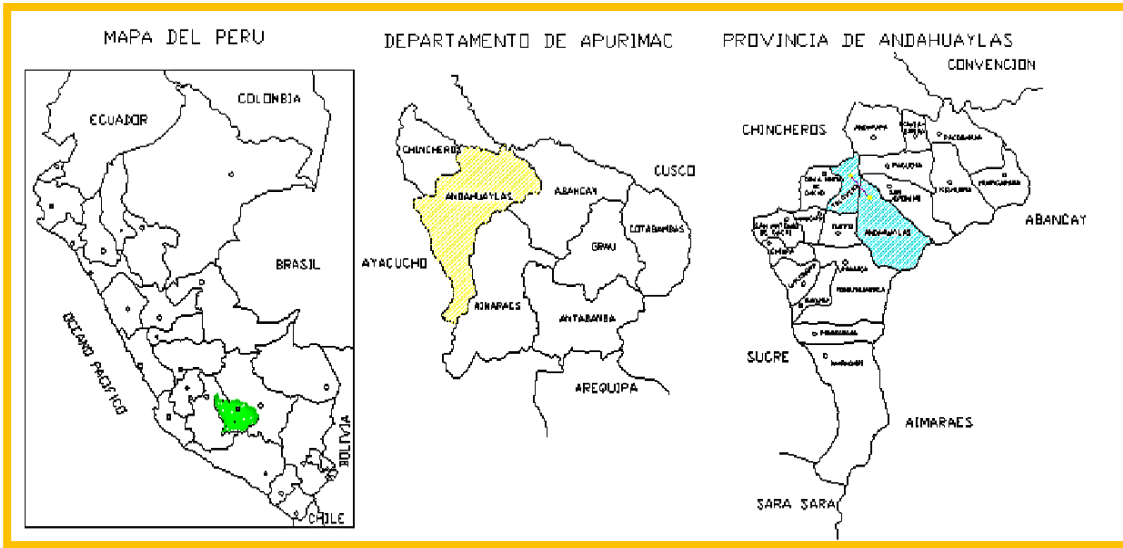
3.7 Análisis de datos

3.7.1 Descripción de la zona en estudio

El proyecto de Mejoramiento Vial Talavera Andahuaylas en el que se basa la presente tesis, es conformante de la red de carreteras interdistrital (Av. Confraternidad), que une los distritos de Talavera con Andahuaylas en el departamento del Apurímac.

El presente proyecto se desarrolla íntegramente en el departamento de Apurímac, provincia de Andahuaylas, distritos de Talavera y Andahuaylas.

Figura 1: Ubicación de la zona en estudio.



Fuente: IGN.

Acceso a la zona

Partiendo de la ciudad de Talavera, por la Avenida Confraternidad a la altura de la segunda cuadra en la intersección con la Av. Andahuaylas en el Distrito de Talavera se encuentra el punto de inicio del tramo (Km. 00), desarrollándose la vía netamente con el nombre de Avenida Confraternidad.

Desde la Ciudad de Andahuaylas en la intersección del final de la Avenida JyC Tresierra con la Av. Arguedas, se encuentra el final del tramo en estudio.

Desde la ciudad de Abancay, capital del Departamento de Apurímac por la Ruta 3S se llega a la ciudad de Andahuaylas por carretera afirmada de 138 Km. de longitud, para luego continuar a Talavera también por carretera afirmada de 4 Km. de longitud.

Otra ruta la constituye la vía que se desarrolla por la Ruta 3S, desde Ayacucho y que pasa por Ocos, Chincheros, Uripa para llegar a Talavera por carretera afirmada de 271 Km. de longitud.

3.7.2 Estado actual de la vía

La vía Talavera – Andahuaylas, tiene el punto de inicio en Talavera, desde la Plaza de Armas por la Avenida Confraternidad hasta la intersección con la Calle Los Manantiales, se encuentra pavimentado con losa rígida de concreto armado, el punto inicial del Tramo precisamente es al finalizar este pavimento (A la altura de la mecánica del señor Quispe), en el Distrito de Talavera.

Desde el inicio (Km. 00 marcado en la pared del lado derecho de la vía) en Talavera, la vía se desarrolla por zonas medianamente pobladas, atravesando pequeñas quebradas como el Ajjoscca Chico (Km 0+210), el Ajjoscca Grande (Km. 0+560); hasta la progresiva 0+760 que es el límite Distrital entre Talavera y Andahuaylas.

Prosiguiendo, la vía se desarrolla en la jurisdicción del Distrito de Andahuaylas desde el Km. 0+760 para pasar por la zona más poblada donde se ubica el Barrio Magisterial hasta llegar al Km. 3+903 final del tramo en la intersección de las Avenidas JyC Tresierra con la Av. Arguedas. El trazo de esta vía es de tangentes largas, con presencia de pocas curvas horizontales y verticales con pendientes casi llanas (1% a 3%), prácticamente a lo largo del tramo es zona urbana.

La carretera cuenta en la actualidad con la totalidad del tramo afirmado con material granular que se ha ido colocando a través del tiempo por ello se encuentra sumamente compactado, posee dos carriles de 3.50 m. cada uno y en la generalidad de los casos carece de bermas con tratamiento alguno, las obras de arte y drenaje existentes son básicamente los pontones de Ajjoscca Chico y Ajjoscca Grande, y una alcantarilla TMC de medio punto de 72" de diámetro a la altura del Km. 3+020. No cuenta con el drenaje longitudinal, actualmente lo constituyen cunetas de tierra que se han formado en forma natural porque el agua de riego discurre libremente, existen también un canal de riego de forma rectangular que cruza a la vía en forma aviajada desde el Km. 1+225 al 1+220, y discurre en forma paralela a la carretera hasta el Km. 1+100 para luego apartarse del lado izquierdo de la carretera, cabe destacar también que por ser una zona urbana a lo largo de la vía se cuentan con postes de concreto armado para el alumbrado eléctrico de la zona.

En gran parte del tramo la vía cuenta con la tubería matriz para desagüe (desde el Km. 00 hasta el Km. 2+570 y desde el Km. 3+680 al Km. 4, faltando desagüe entre el Km. 2+580 al Km. 3+680 es decir en una longitud de 1,100 metros lineales.

En cuanto al trazo geométrico la vía cuenta con un trazo definido y se desarrolla por una topografía llana, no presenta taludes en ambos lados por ser zona urbana, el ancho de la plataforma es variable desde 7.50 m. en los pontones, hasta 10 metros en las tangentes; se tiene una pendiente promedio del 2% a lo largo del tramo.

3.7.3 Velocidad Directriz

La velocidad directriz en el tramo está diferenciada en función a las facilidades topográficas y las restricciones urbanísticas que condicionan la vía, en general la velocidad directriz es de 40 Km/h exceptuándose la zona urbana más poblada y zona escolar, donde la velocidad máxima es de 25 Km/hora, no existen desarrollos ni curvas de volteo por lo que la velocidad directriz para el diseño será de 40 Km/hora.

En el siguiente cuadro se muestran los tramos con las diferentes velocidades directrices adoptadas.

Tabla 1: Velocidades directrices adoptadas.

TRAMO	VELOCIDAD DIRECTRIZ	OBSERVACIONES
Km 0+000 – Km 0+300	40 Km/h	Zona Urbana de Talavera
Km 0+300 – Km1+930	40 Km/h	Zona menos poblada
Km 1+930 – Km 2+570	25 Km/h	Zona urbana (Barrio Magisterial y zona escolar)
Km 2+580 – Km 3+020	40 Km/h	Zona menos poblada
Km 3+020 – Km 3+903	25 Km/h	Zona Urbana.

Fuente: Propia.

3.7.4 Sección de vía del proyecto

La sección de vía presenta un ancho de superficie de rodadura de 7.50 m. y bermas laterales de 0.75m. a cada lado de la vía. El bombeo de la vía es del 2%, y los sobreechamientos y peraltes se han determinado en conformidad a los radios y sobre todo a los anchos existentes de la vía, manteniendo de ésta manera las mismas características de la vía, en varios lugares no ha sido posible el colocar un sobreechamiento razonable pues las características actuales de obras adyacentes (casas, postes, cunetas, canal de irrigación, etc.) así lo condicionan.

Por ser una zona urbana se está manteniendo la misma sección descrita.

3.7.5 Descripción del trazo y desarrollo geométrico

El tramo de la vía Talavera – Andahuaylas, se da inicio en la intersección de la Avenida Confraternidad con la Calle Los Manantiales, y se desarrolla a lo largo de la denominada Avenida Confraternidad, más exactamente a la altura de la mecánica del señor Quispe, en la Av. Confraternidad, esquina con la Av. Andahuaylas. En dicho lugar se dejó marcado el Km. 00 en la pared de una vivienda ubicada en el lado derecho de la avenida.

El punto inicial del proyecto se encuentra identificado y referenciado convenientemente en los planos y en el campo. Asimismo, el eje se encuentra debidamente monumentado el Bench Mark de partida, denominado BM “00” (2,820 m.s.n.m.) identificado con pintura esmalte de color rojo, sobre fondo blanco.

A partir del punto de inicio el trazo de la vía se desarrolla en ascenso por una zona urbana de la ciudad de Talavera hacia la ciudad de Andahuaylas, en una longitud de 3+904 Km. La vía se desarrolla en una topografía llana y paralela a la margen derecha del Río Chumbao, en el tramo se suceden las viviendas en forma esporádica en un principio, y a la altura del Barrio Magisterial se cuenta con el mayor número de edificaciones, es decir en su generalidad el terreno es llano con pendientes muy bajas, esta condicionante determina que el drenaje natural sea muy lento.

Los trabajos de campo han comprendido primeramente una monumentación y nivelado de los BMs (PIs), ubicados cada 500 metros, cuyas cotas han sido referidas a la altitud de Talavera de 2,818 m.s.n.m., y en el punto de inicio se ha adoptado una altitud de control de 2,820 m.s.n.m. otro punto ha sido el denominado PC-01 ubicado en el estribo del pontón Ajjoscca Grande

En total el tramo trabajado cuenta con 20 PIs. debidamente monumentados y referenciados en campo y tres puntos oficiales de control o de apoyo. El tramo tiene una longitud efectiva de 3,904 metros, cuenta con un total de 20 curvas horizontales con radios variables que van desde los 70 metros hasta los 5,000 metros, se tienen planteados los sobreechamientos necesarios y las longitudes de transición respectivas.

3.7.6 Estudio de tráfico y análisis de capacidad de la vía.

Para el proyecto en el que se basa la presente tesis se han realizado tareas de conteo y clasificación de tráfico vehicular el mismo que ha comprendido conteos durante las veinticuatro horas por un período de siete días consecutivos, además de ellos se han ejecutado encuestas de origen y destino y pesos por eje de vehículos de carga que transitan por la vía.

Para las labores de conteo las estaciones se han situado en el Km 0+000 (Talavera) denominada como Estación 1, mientras que la Estación 2 estuvo ubicada en el Km 3+904 (Andahuaylas). Para las labores de Encuestas de Origen y Destino y pesos de ejes se ha ubicado la estación en el Km.2+000 (Barrio Magisterial).

En el estudio correspondiente se ha determinado un Índice Medio Diario Anual de: IMDa = 910 a Talavera); 1047 a Andahuaylas y 1,957 ambos sentidos. Se han determinado asimismo los EAL (ejes equivalentes: Equivalent Axle Load) para el año base (0) y sus proyecciones al año 1, 2, 3, 4 y 5 años, considerando cada sentido de tránsito en la vía.

El volumen horario de diseño es un volumen horario futuro que se utiliza en los proyectos. Como los volúmenes de tránsito son mucho más grande durante ciertas horas del día o del año, la carretera se diseña para estas horas de tránsito máximo u horas pico.

El volumen horario de diseño corresponde al 12% del IMDA estimado para el año horizonte del diseño, es decir:

$$\begin{aligned} \text{Volumen Horario} &= 0.12 \times 1957 \\ &= 235 \text{ Vehículos (Incluye Motocar)} \end{aligned}$$

3.7.7 Estudio de suelos, geotecnia, canteras y fuentes de agua

Para la determinación de propiedades del suelo de la vía fue necesario el efectuar perforaciones o calicatas en la vía.

La ubicación y número de calicatas fueron determinados de acuerdo a las necesidades de la evaluación y las actividades a llevarse a cabo. Cada perforación obedece a un planeamiento de exploración del pavimento, es así que para los trabajos definitivos de exploración de suelos se ha tenido en consideración la topografía, facilidades de acceso, rasante de diseño, plano de ejecución, equipos y recursos disponibles.

Se ha llevado un registro completo y sistemático de las características de los suelos encontrados en cada perforación, indicándose detalles como kilometraje, carril, ubicación, espesor de cobertura, posición y espesor de la estructura encontrada.

Se ha efectuado un total de 06 calicatas, las mismas que en promedio han alcanzado los 1.50 m. de profundidad y han sido alternados con relación a los carriles de la vía. Además, en laboratorio se han determinado los contenidos de humedad, límites de consistencia y ensayos de granulometría, mientras que densidades máximas y CBR, se ha determinado para un total de seis muestras.

Para la toma de muestras se ha considerado también la profundidad de 1.50 metros, pero al no existir una gran variedad en los suelos de la estructura de la vía y principalmente de la sub rasante, fue suficiente definir la resistencia existente en la estructura y sub rasante, con ensayos de laboratorio cada 650 metros como máximo. Los resultados obtenidos de las observaciones de campo, pruebas In Situ, así como los resultados de laboratorio han permitido definir el perfil estratigráfico a lo largo de la vía. De las exploraciones geotécnicas, se ha observado que las distintas capas componentes de la estructura del pavimento no son uniformes, en cuanto al espesor, pero sí en clasificación. Es importante hacer notar la existencia de un pavimento rígido compuesto por losas de concreto, en la ciudad de Talavera en Avenida Confraternidad y precisamente al finalizar este pavimento se inicia el tramo en estudio, abarcando todo el ancho de la plataforma con cunetas laterales a ambos lados.

Se han estudiado las canteras:

a) Para Base:

La Cantera de Chuspi a 9+100 Km. desde el inicio del Tramo y a 5+196 Km. del final del tramo.

La Cantera de Chacrapata a 10+550 Km. desde el punto inicial y a 6+646 Km. del punto final del tramo.

b) Material Pétreo para el Concreto asfáltico y las obras de arte y drenaje:

La Cantera Talavera ubicada a 1+100 Km. desde el inicio y a 5+004 Km. del final del Tramo

La Cantera de Chumbibamba ubicada a 3+820 Km. del inicio del Tramo y a 7+724 Km. del final del tramo.

Entre las fuentes de agua con buenas características para conseguir los resultados exigidos tenemos: Acequia que pasa por el Campamento y Almacén de la Dirección Subregional Chanca, ubicado al lado derecho de la carretera asfaltada que va de Andahuaylas a Talavera, cuya fuente de agua es la única que se constituye como una buena fuente de abastecimiento. Se ha descartado como fuente de agua el río Chumbao por la presencia de materiales orgánicos.

Estratigrafía geotécnica.

Los suelos del sector se encuentran conformados por una capa de lastre colocado sobre la vía existente aparentemente en sucesivos procesos de mantenimiento de la vía, esta capa es delgada algo heterogénea y tiene entre 18 a 25cm, está conformada por grava arenosa con limo. Por debajo de esta capa se encuentran predominantemente gravas limpias y gravas limosas de origen fluvio aluvial intercalados eventualmente con capas de arcilla y sectores de arena fina también fluvio aluvial (meandrica). Los materiales son, en general, firmes densos y duros.

Tabla 2: Calicata Pz-01: (Km: 00+200 Lado Izq.)

Profundidad		Material		Observaciones
De	A	SUCS	Descripción	
0.00	0	GM	Grava limosa	Lastre gravoso Subangular de roca granito con poco limo color gris blanquecino claro.
0.20	0.20			
	0.5	GW	Grava bien gradada	Grava con bolonería Subredondeada tamaño máximo 5" bien gradada con abundante arena color marrón rojizo claro a 0.74 cm se presenta una losa de cemento 2cm
1.00	1.0			
	1.30	GW-GM	Grava bien gradada con limo	Grava marrón rojiza clara Subangular tamaño máximo 7" tamaño predominante 3" con arena media y poco limo, material granular denso.
1.30	1.30			
	1.5			Tubería de 3 a 4" PVC a 1.30m

Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Tabla 3: Calicata PZ-02 (Km: 00+840 Lado Der.)

Profundidad		Material		Observaciones
de	A	SUCS	Descripción	
0.00	0	GM	Grava limosa	Lastre grava arenosa gris blanquecina delgada capa de material amarillento duro
0.15	0.15			
	0.5	CL	Arcilla de baja compresibilidad	Arcilla marrón rojiza con puntos amarillos, dura, poco húmeda, no es una capa continua es una bolsonada.
0.55	0.55			
	1.0	GW	Grava bien gradada	Grava mal gradada subangular y subredondeada, tamaño máximo 6" de roca granito color oscuro con arena cuarzosa media a gruesa color marrón amarillento, el conjunto es de textura veteada, material denso de origen fluvio aluvial de acarreo corto.
	1.30			
	1.5			

Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Tabla 4: Calicata Pz - 03 (Km: 01+80 Lado Der.)

Profundidad		Material		Observaciones
de	A	SUCS	Descripción	
0.00	0	GW	Grava bien gradada	Grava bien gradada de superficie rugosa con arena gruesa limpia, color gris blanquecino, marrón en húmedo, Subredondeada de granos duros de roca granito, presenta menos del 5% finos, material denso y duro
	0.5 0.70			
0.70	1.0	CL	Arcilla de baja compresibilidad	Arcilla marrón oscura negruzca con manchas amarillentas mediana plasticidad y blanda.
	1.30	SC	Arena Arcillosa	Comienza arcilla arenosa anaranjada, húmeda.
1.30	1.5			

Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Tabla 5: Calicata Pz- 04 (Km: 02+67 Lado Der.)

Profundidad		Material		Observaciones
de	A	SUCS	Descripción	
0.00	0	GM	Grava limosa	Lastre de grava arenosa angular color gris blanquecino, denso y duro.
	0.25			
0.25	0.5	CL	Arcilla de baja compresibilidad	Arcilla marrón rojiza media con puntos amarillentos, material duro y húmedo
	0.95			
0.95	1.0	GW/GM	Grava bien gradada con limo	Grava angulosa, marrón anaranjada clara, húmeda con limo y poca arena. Poca grava de 1/2" predominan 3" a 5".
	1.30			
1.30	1.5			Los fragmentos son de roca granito color negro grisáceo en húmedo, material duro estructura densa.

Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Tabla 6: Calicata Pz-05 (Km: 03+200 Lado Izq.)

Profundidad		Material		Observaciones
de	A	SUCS	Descripción	
0.00	0	GM	Grava limosa	Lastre arenoso grueso con grava, poca piedra, color gris blanquecino seco, denso y compacto .
0.18	0.18			
0.18	0.5	GW	Grava bien gradada	Grava fluvio aluvial Subredondeada a Redondeada, rugosa, tamaño máximo 3" máximo extraordinario 5" contiene arena gruesa con restos antrópicos modernos hasta 60cm.
	0.90			
0.90	1.0	SP	Arena mal gradada	Arena fina limosa meándrica, gris oscuro negruzco, fragmentos muy pequeños con brillo, denso compacto suave a la excavación.
1.20	1.20			
	1.5			

Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Tabla 7: Calicata Pz-06 (Km 03+820 Lado Der.)

Profundidad		Material		Observaciones
de	A	SUCS	Descripción	
0.00	0	GM	Grava limosa	Lastre gris blanquecino conformado por grava redondeada hasta 6" poco limo denso y comp.
0.25	0.25			
0.25	0.5	GW-GM	Grava bien gradada con arcilla	Grava arenosa con arcilla marrón oscura negruzco con puntos naranja, medianamente densa.
	0.80			
0.80	1.0	GW	Grava bien gradada	Grava bien gradada hasta 6" redondeada predomina 1.5" a 3/4" con arena gruesa cuarcítica, los fragmentos de grava son granito denso y duro, origen fluvio aluvial, color gris claro blanquecino.
1.40	1.40			
	1.5			

Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Resumen de resultados de ensayos de suelos

Tabla 8: Resumen de resultados de ensayos de suelos.

Pz	Km.	Prof.	Grava (%)	Arena (%)	Finos (%)	Límite Líquido (%)	Índice Plástico (%)	Clasificación SUCS	Nspt	Densidad Natural (Tn/m3)	Humedad Natural (%)	CBR in sito (%)
01	00+200	1.30	70	10	20	---	NP	GM	---	---	6.63	
02	00+840	1.30	55	41	04	---	NP	GW	30	1.94	2.16	7.80
03	01+800	---	---	---	---	30.72	8.61	CL	---	---	12.3	
04	02+670	1.30	39	34	27	26.93	5.74	GM	---	1.86	7.73	
05	03+200	1.30	12	26	62	---	NP	SM	40	---	35.64	15.25
06	03+820	1.45	44	31	25	---	NP	GM	---	1.77	9.04	

Fuente: Propia.

CAPÍTULO IV

Resultados

Las carretera Talavera – Andahuaylas, será dotada de un pavimento flexible de Mezcla Asfáltica en Caliente de 7.50 centímetros de espesor es decir 3 pulgadas, para un período de diseño de 20 años.

4.1 Cálculo del EAL (Repeticiones de Ejes Equivalentes de 8.2 toneladas)

Se han calculado el número de repeticiones de ejes equivalentes utilizando los factores de carga equivalente y las proyecciones del tráfico obtenidas en el estudio de tráfico para incluirlos en la siguiente expresión:

$$EAL = \frac{365}{2} \left[IMD_2 \times EE_2 + IMD_3 \times EE_3 + IMD_t \times EE_t \right] \sum_{I=P.A.}^{U.A.} (1+r_c)^i$$

Donde:

EAL : Número de repeticiones de ejes de 8.2 ton. para un período de n años

IMD₂ : Índice Medio Diario de camiones de dos ejes, correspondiente al año base.

- EE₂ : Ejes Equivalentes de 8.2 ton por camión de dos ejes
- IMD₃ : Índice Medio Diario de camiones de tres ejes, correspondiente al año base.
- EE₃ : Ejes Equivalentes de 8.2 ton por camión de tres ejes
- IMDt : Índice Medio Diario de camiones trailer y semitrailer, correspondiente al año base.
- EEt : Ejes Equivalentes de 8.2 ton por camión trailer y semitrailer
- P.A. : Primer año del periodo, a partir del año base
- U.A. : Último año del periodo, a partir del año base
- r_c : Tasa de crecimiento del tráfico de camiones

Tabla 9: Tipo de vehículos – ejes equivalentes.

Tipo de Vehículo	Ejes Equivalentes
Buses	2.35
Camiones 2 ejes livianos	0.44
Camiones 2 ejes medianos	4.67
Camiones 3 ejes pesados	6.03
Articulados	11.7

Fuente: MTC.

Considerando como año cero 2018 se tiene los siguientes resultados:

	Talavera – Andahuaylas	Andahuaylas – Talavera
IMD	910 Vehículos	1047 Vehículos
EAL	$4.6436 * 10^5$ Repet	$5.2364 * 10^5$ Repet
EAL asumido: $8.04 * 10^5$ Repeticiones		

4.2 Análisis Estadístico de Valores de CBR con fines de Diseño del Pavimento

Los resultados de Laboratorio de las pruebas del Valor Relativo de Soporte (CBR) y el perfil estratigráfico de los Suelos, permitieron agrupar a la carretera en un único tramo homogéneo representativo el mismo que ha sido analizado mediante métodos estadísticos, obteniéndose de esta forma el CBR de diseño.

A continuación, se presenta el resultado del análisis estadístico de Valores Relativos de Soporte (CBR) para el tramo homogéneo:

Tramo Homogéneo (Km. 0+000 – Km. 3+904)

Tipo de suelo predominante = Grava fluvio aluvial

Valor del CBR máximo = 15.25 %

Valor del CBR mínimo = 7.80 %

CBR de Diseño = 11.52 %

4.3 Datos de Diseño del Pavimento

Período de diseño de 10 años

Período de diseño de 20 años

Tasa de Crecimiento anual para vehículos ligeros 5.0%, ómnibuses 4.5% y camiones de 4.0 %.

Factores de carga.

Factores de Presión neumática.

Índice Medio Diario (IMD) según estaciones

Repeticiones de Ejes Equivalente según estaciones

Índice de Serviciabilidad terminal = 2.00

Valor Relativo de Soporte (CBR) : 11.52 %

4.4 Diseño de Pavimentos Flexibles por el Método AASHTO – 1993

En lo que respecta al método de diseño propuesto por la AASHTO, se ha tomado la información proveniente de la Guide for Design of Paviment Structures, edición 1993, que se basa en el valor de CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante, número de ejes estándar anticipado, para determinar el número estructural de diseño. Este método proporciona una expresión analítica que para efectos de cálculos computarizados la solución matemática es sumamente útil. La evolución del método, establece las complementaciones siguientes:

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

Se deja sin efecto el parámetro factor regional.

Se introduce el concepto de "pérdida de servicio".

El valor soporte de la subrasante "S", se reemplaza por el módulo resiliente Mr.

Se introduce el parámetro de confiabilidad partiendo de la consideración que el comportamiento vs tránsito sigue la distribución normal de Gauss.

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

$$\text{Log}_{10}(W_{18}) = Z_r * S_o + 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\text{Log}_{10}\left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5}\right]}{0.4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \text{Log}_{10}(MR) - 8.07$$

Donde:

W_{18} : Numero proyectado de carga equivalente de 18 kip (18000 lb) de aplicación de carga axial simples

Z_r : Desviación estándar normal

S_o : Error estándar combinado del tráfico proyectado y del comportamiento proyectado

ΔPSI : Diferencia entre índice de Serviciabilidad inicial (po), y el índice de Serviciabilidad terminal (pt).

MR : Modulo resilente (psi)

SN : Numero estructural indicativo del espesor total del pavimento requerido

La filosofía aplicada para encontrar el espesor de refuerzo de la estructura a rehabilitar, está referida a relacionar un pavimento nuevo al cual se le hará las correcciones pertinentes evaluando la estructura necesaria frente a lo ya existente.

Del procesamiento iterativo de la fórmula, se despeja el valor de diseño $SN_{\text{diseño}}$, que permite encontrar la situación de un pavimento nuevo. Conociendo los espesores del pavimento existente, se obtiene el correspondiente número estructural $SN_{\text{existente}}$. Por diferencia, de los números anteriores, se encuentra el número estructural requerido $SN_{\text{requerido}}$ y por consiguiente el refuerzo recomendado.

Los espesores finales del refuerzo o estructura recomendada (carpeta, base, sub base), se han determinado empleando la expresión propuesta por la AASHTO, la cual comprende los coeficientes de transformación para cada tipo de capa. Para la transformación del número estructural en capas granulares y carpeta de rodadura, se empleó la expresión siguiente:

$$SN = a_1 * D_1 + a_2 * D_2 * m_2 + a_3 * D_3 * m_3$$

Donde:

a_i = Coeficiente de la capa “i”

D_i = Espesor de la capa (pulgadas) “i”

m_i = Coeficiente de drenaje de la capa “i”

Con la finalidad de procesar iterativamente la fórmula indicada, se dividió el análisis por componentes. Estas componentes son de fácil proceso y permitieron establecer los valores en una hoja de cálculo y cuyas partes tienen la forma siguiente:

$$K_1 = \text{Log}_{10}(W_{18}) - Z_r * S_o + 0.20 + 8.07$$

$$K_2 = \text{Log}_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]$$

$$K_3 = 2.32 * \text{Log}_{10}(MR)$$

Donde:

AASHTO

$$MR(\text{psi}) = 1.500 * \text{CBR}$$

para base granular con CBR < 10%

Instituto De Aeronáutica De Brasil

$$\text{CBR}_{\text{sr}} = 0.0624 * (\text{MR}_{\text{sr}})^{1.176} \text{ (Mpa)}$$

para CBR de 4 a 48%

Sabiendo que:

$$1 \text{ psi} = 0.07 \text{ kgf/cm}^2 = 0.007 \text{ Mpa}$$

$$\text{kgf/cm}^2 = 0.1 \text{ Mpa} = 14.22 \text{ psi}$$

Finalmente se empleó la fórmula siguiente:

$$MR_{sr} = \frac{\left[\frac{CBR}{0.0624} \right]^{1.176}}{0.007} (psi)$$

Luego de reemplazar y despejar, la ecuación general de AASHTO, quedó de la manera siguiente:

$$K_1 - K_3 = 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1) + \frac{K_2}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Si, se hace:

$$J_1 = 9.36 * \text{Log}_{10}(SN + 1)$$

Y, además:

$$J_2 = \frac{K_2}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}}$$

Por igualdad se debe cumplir que:

$$K_1 - K_3 = J_1 + J_2; \text{ o también } (K_1 - K_3) - (J_1 + J_2) = 0$$

Esta última expresión, permitió efectuar las iteraciones hasta cumplir la igualdad y por lo tanto encontrar el SN de diseño.

El método AASHTO-1986-1993 incluye, a diferencia del año 1981, los siguientes parámetros:

Módulo de Resiliencia efectivo del material de fundación (MR)

Módulo de resiliencia de la Sub-rasante.

El módulo de resiliencia de la sub-rasante es el módulo elástico (módulo esfuerzo deformación) del suelo de fundación del proyecto que debe obtenerse en ensayos triaxiales cíclicos para materiales granulares (muestra de 4" de diámetro). Estos ensayos no están disponibles en el país y se recurre a las expresiones que propone el mismo manual del Instituto del Asfalto para casos en que no se disponga de resultados del ensayo triaxial cíclico.

Esta expresión es: $Mr = 10.3 \text{ CBR (MPa)}$

Considerando el criterio de percentiles para el rango de tráfico acumulado correspondiente al proyecto entre 10^4 y 10^6 el CBR de diseño debe corresponder al percentil 75%, esto quiere decir que el CBR de diseño debe ser igual o menor que el 75% de los resultados obtenidos.

En el caso del proyecto no se puede hacer este análisis puesto que se dispone solamente de dos resultados de ensayos CBR que fueron realizados en el terreno natural (in situ), en sitios que han sido juzgados como críticos para el proyecto. por lo que se toma simplemente el valor promedio de estos (7.8% y 15.25%)

$$\text{CBRd} = 11.52\%$$

$$\text{Mr} = 118.71\text{Mpa.}$$

Aplicaciones de Ejes simples de Carga Equivalente N8.2

Nivel de Confiabilidad ó Seguridad para Arterias y/o Carreteras Principales (R).

Factor que muestra el grado de confianza al proceso de diseño que garantice el rendimiento del Pavimento proyectado. Adoptándose para el presente proyecto una Confiabilidad (R) de 95 %, correspondiente a Arterias principales y colectoras.

Desviación Standard total, para Pavimentos flexibles (So)

Variación total del Índice de Serviciabilidad ($\Delta PSI = p_t - p^\circ$)

El Índice de serviciabilidad terminal se considera igual a 2.0, valor que indica la necesidad de Rehabilitar la Carretera, para lo cual será necesario efectuar evaluaciones periódicas, tanto Superficial como Estructural (Rugosidad, Deflectometría, respectivamente), a fin de obtener la base de datos con las cuales se establecerán las medidas correctivas para asegurar la Durabilidad de la misma.

Coeficientes de Drenaje: m_i

Los valores empleados en la determinación de los espesores de las capas del pavimento corresponden a la capacidad del material granular a drenar fácilmente, el cual depende básicamente de su composición granulométrica.

Periodo de Diseño: n

El período diseño empleado para la obtención de las estructuras del pavimento es de 10 años, el cual incluye labores de conservación y mantenimiento tanto rutinario como periódico.

Para obtener el número estructural se emplearon los siguientes datos:

MR = El Tramo es Homogéneo

N8.2 = Estación 1, 4.6436×10^5 Rep.

Estación 2, 5.2364×10^5 Rep.

R = 95% (nivel de seguridad para arterias principales)

ZR = 1.645

So = 0.45 (Desviación standard; para pavimentos flexibles)

Pt = 2.0 (Índice de Serviciabilidad terminal)

$\Delta\text{Psi} = 4.0 - 2.0 = 2.0$

Se empleó la siguiente ecuación:

$$\text{SN} = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$$

Donde SN es el número estructural, a_1 , a_2 y a_3 son los coeficientes estructurales de las capas de mezcla asfáltica en caliente, base granular y sub-base granular respectivamente; D_1 , D_2 y D_3 los espesores de las capas del pavimento y m_2 y m_3 los coeficientes de drenaje de base y sub-base granular respectivamente.

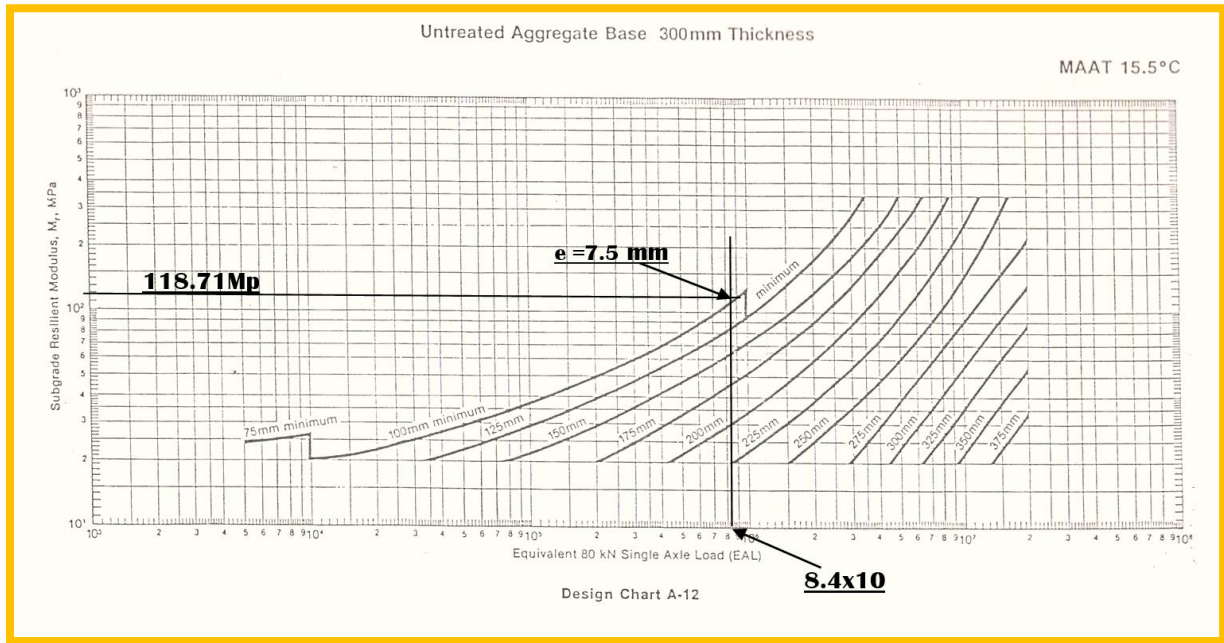
Los coeficientes de drenaje m_2 y m_3 , son ajustes a los coeficientes de capa, en función de las condiciones (natural y/o artificial). Así para las condiciones topográficas encontradas y para las precipitaciones pluviales anuales medias (menores de 1,000 mm) y para un suelo con una permeabilidad media, se estima que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles cercanos a la saturación del 1 al 5 %, es así que $m_2=1.00$ y $m_3=1.00$.

Empleando la ecuación de diseño de la Metodología AASHTO 93 obtenemos los Números Estructurales SN para cada uno de los tramos Homogéneos: Enseguida se identificó un grupo de espesores de capas de pavimento que combinados proporcionan la capacidad de carga requerida para los diferentes números estructurales. Con estos datos aplicados a la ecuación antes indicada se obtienen los siguientes espesores D1, D2 y D3:

Km. 0+000 – Km. 3+904

CBR de Diseño	=	11.52
Módulo de Resilencia	=	10,300
EAL	=	9.88×10^5
SN	=	3.592
D1 (Carpeta Asfáltica)	=	7.50 cm.
D2 (Base Granular)	=	30.00 cm

Figura 2: Gráfico AASHTO 93 para cálculo de espesor de carpeta asfáltica.



Fuente: AASHTO.

Tal como se aprecia en el gráfico, se obtiene que el espesor de carpeta asfáltica requerido para una base de 30cm es de:

Base = 30.00 cm

Carpeta = 7.50 cm (3")

En las páginas siguientes se adjuntan de modo referencial el cálculo de la estructura del pavimento por el método AASHTO 1993, este método da como resultado una estructura de base de 30cm y carpeta de 75mm.

Tabla 10: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 10 años – Método AASHTO 93 – hoja 1.

PROYECTO : MEJORAMIENTO VIAL TALAVERA - ANDAHUAYLAS								
DISEÑO DE PAVIMENTOS METODO AASHTO 1,993								
(PAVIMENTOS FLEXIBLES)								
TRANSITO	R	ZR	So	MR	Po	Pt	Δ PSI	SN
N _{8,2}	(%)							
8.4 * 10 ⁵	95	-1.645	0.450	16000	4.0	2.0	2.0	2.695
					LEYENDA :			
CAPA	ESPESOR	COEFICIENTE	COEFICIENTE	NUMERO	n	Período de diseño = 10 AÑOS		
	Di	ESTRUCTURAL	de DRENAJE	ESTRUCTURAL	R	Nivel de Seguridad para Arterias y/o Carreteras Principales		
	(pulg)	ai (/pulg)	mi		ZR	Desviación standard Normal		
MACS	3.0	0.440	-	1.320	So	Desviación standard para Pavimentos Flexibles		
BG	12.0	0.130	1.000	1.560	MR	Módulo de Resiliencia efectivo del Material de Fundación		
SBG	-	0.110	1.000	-	Po	Serviciabilidad inicial		
					Pt	Serviciabilidad final		
Total	15			2.880	Δ PSI	Variación Total del Indice de Serviciabilidad		
					SN	Número Estructural		
					N _{8,2}	Aplicaciones de Ejes Simples de Carga Equivalente		
Espesores Mínimos Recomendados								
N _{8,2}	Concreto Asfáltico		Base Granular		Base Granular			
	cm	pulg	cm	pulg		Se asume		
Menores de 5,0 * 10 ⁴	2,54	TSA	1,0	TSA	10.16	4.0		
5,0 * 10 ⁴ - 1,5 * 10 ⁵	5.08		2.0		10.16	4.0		
1,5 * 10 ⁵ - 5,0 * 10 ⁵	6.35		2.5		10.16	4.0		
5,0 * 10 ⁵ - 2,0 * 10 ⁶	7.62		3.0		15.24	6.0	12.0 Pulg.	
2,0 * 10 ⁶ - 7,0 * 10 ⁶	8.89		3.5		15.24	6.0		
Mayores de 7,0 * 10 ⁶	10.16		4.0		15.24	6.0		
La Confiabilidad (R) de 95% adoptada en el diseño corresponde al nivel más alto de la Tabla 2.2 (página II-9) de la Guía AASHTO de 1993, con el objeto de minimizar el riesgo de que se cumplan las expectativas respecto de los parámetros de diseño.								
La Desviación Estándar Normal (Z_R) , se obtiene de la Tabla 4.1 (página I-62) de la Guía y es igual a -1.645, para una Confiabilidad R de 95%.								

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 11: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 10 años – Método AASHTO 93 – hoja 2.

<p>La Desviación Estándar Total (S_o), para pavimentos flexibles, incluye los errores debidos a la determinación del tráfico y fueron establecidos en un valor de 0.45 para la Carretera Experimental AASHTO. A falta de mayores referencias, será el mismo valor que se usará en los cálculos.</p>		
<p>El Módulo Resiliente de diseño (M_R) se obtiene a partir del CBR de diseño..</p>		
<p>La Serviciabilidad Inicial (p_o) observada en la Carretera Experimental AASHO fue de 4.2 (página II-10 de la Guía) y es la que comunmente se adopta en nuestro país para los diseños,; sin embargo, debe tomarse en cuenta que a ese valor le corresponde un IRI comprendido entre 0.72 y 1.20 mm/m En consecuencia , en nuestra opinión, es más realista trabajar con un po de 4.0</p>		
<p>En lo que respecta a la Serviciabilidad final (p_f) y a falta de mayores referencias, se adopta un vlaor de 2.0, igual al adoptado por la carretera Experimental AASHTO (página II-10de la Guía) como resultado de una encuesta entre los usuarios.</p>		
<p>De lo anterior se desprende que la Pérdida de Serviciabilidad de Diseño (DPSI) será de 2.0</p>		
<p>Los coeficientes de Capa a_1, a_2 y a_3 adoptados, son los recomendados por la Guía (páginas I-6, II-19 y II-21) para Concreto Asfáltico Mezcla en Caliente, Base Granular con CBR de 80%, en este caso no ha sido necesario utilizar SubBase</p>		
$a_1 = 0.44/\text{pulg}$	$a_2 = 0.13/\text{pulg}$	$a_3 = 0.11/\text{pulg}$
<p>Los Coeficientes de Drenaje m_2 y m_3, son modificaciones a los coeficientes de capa, en función de las condiciones de drenaje (natural y/o artificial) y se obtienen de la Tabla 2.4 (página II-25) de la Guía. Así para las condiciones topográficas encontradas y para las precipitaciones pluviales anuales medias (menores de 1,000 mm) y para un suelo con una permeabilidad media se estima que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles cercanos a la saturación de 1 al 5%:</p>		
$m_2 = 1.00$	$m_3 = 1.00$	
<p>Con la recomendación de espesores mínimos en función del tráfico (página II-35 de la Guía), se obtiene:</p>		
$D_1 = 3 \text{ pulg}$	7.50 Cm.	Carpeta Asfáltica en Caliente
$D_2 = 12 \text{ pulg}$	30.00 Cm.	Base
<p>Se asume 12", solamente para la base, porque la plataforma de la carretera esta sumamente consolidada, por ello ya no requiere Sub Base</p>		

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 12: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 20 años – Método AASHTO 93 – hoja 1.

PROYECTO : MEJORAMIENTO VIAL TALAVERA - ANDAHUAYLAS								
DISEÑO DE PAVIMENTOS METODO AASHTO 1,993								
(PAVIMENTOS FLEXIBLES)								
TRANSITO	R	ZR	So	MR	Po	Pt	Δ PSI	SN
N _{8,2}	(%)							
8.4 * 10 ⁵	95	-1.645	0.450	10300	4.0	2.0	2.0	3.592
					LEYENDA :			
CAPA	ESPESOR	COEFICIENTE	COEFICIENTE	NUMERO				
	Di	ESTRUCTURAL	de DRENAJE	ESTRUCTURAL	n	Período de diseño = 20 AÑOS		
	(pulg)	ai (/pulg)	mi		R	Nivel de Seguridad para Arterias y/o Carreteras Principales		
					ZR	Desviación standard Normal		
MACS	3.0	0.440	-	1.320	So	Desviación standard para Pavimentos Flexibles		
BG	6.0	0.130	1.000	0.780	MR	Módulo de Resiliencia efectivo del Material de Fundación		
SBG	10.0	0.110	1.000	1.100	Po	Serviciabilidad inicial		
					Pt	Serviciabilidad final		
Total	19			3.200	Δ PSI	Variación Total del Índice de Serviciabilidad		
					SN	Número Estructural		
					N _{8,2}	Aplicaciones de Ejes Simples de Carga Equivalente		
Espesores Mínimos Recomendados								
N _{8,2}	Concreto Asfáltico		Base Granular		Sub Base Granular			
	cm	pulg	cm	pulg	cm	pulg		
Menores de 5.0 * 10 ⁴	2,54 ó TSA	1,0 ó TSA	10.16	4.0				
5.0 * 10 ⁴ - 1.5 * 10 ⁵	5.08	2.0	10.16	4.0				
1.5 * 10 ⁵ - 5.0 * 10 ⁵	6.35	2.5	10.16	4.0				
5.0 * 10 ⁵ - 2.0 * 10 ⁶	7.62	3.0	15.24	6.0	25.00	10.0		
2.0 * 10 ⁶ - 7.0 * 10 ⁶	8.89	3.5	15.24	6.0				
Mayores de 7.0 * 10 ⁶	10.16	4.0	15.24	6.0				
<p>La Confiabilidad (R) de 95% adoptada en el diseño corresponde al nivel más alto de la Tabla 2.2 (página II-9) de la Guía AASHTO de 1993, con el objeto de minimizar el riesgo de que se cumplan las expectativas respecto de los parámetros de diseño.</p> <p>La Desviación Estándar Normal (Z_R), se obtiene de la Tabla 4.1 (página I-62) de la Guía y es igual a -1.645, para una Confiabilidad R de 95%.</p>								

Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 13: Cálculo de diseño de pavimento flexible para 20 años – Método AASHTO 93 – hoja 2.

<p>La Desviación Estándar Total (S_0), para pavimentos flexibles, incluye los errores debidos a la determinación del tráfico y fueron establecidos en un valor de 0.45 para la Carretera Experimental AASHTO.</p>		
<p>A falta de mayores referencias, será el mismo valor que se usará en los cálculos.</p>		
<p>El Módulo Resiliente de diseño (M_R) se obtiene a partir del CBR de diseño..</p>		
<p>La Serviciabilidad Inicial (p_0) observada en la Carretera Experimental AASHO fue de 4.2 (página II-10 de la Guía) y es la que comunmente se adopta en nuestro país para los diseños.; sin embargo, debe tomarse en cuenta que a ese valor le corresponde un IRI comprendido entre 0.72 y 1.20 mm/m</p>		
<p>En consecuencia , en nuestra opinión, es más realista trabajar con un po de 4.0</p>		
<p>En lo que respecta a la Serviciabilidad final (p_f) y a falta de mayores referencias, se adopta un vlaor de 2.0, igual al adoptado por la carretera Experimental AASHTO (página II-10de la Guía) como resultado de una encuesta entre los usuarios.</p>		
<p>De lo anterior se desprende que la Pérdida de Serviciosabilidad de Diseño (DPSI) será de 2.0</p>		
<p>Los coeficientes de Capa a_1, a_2 y a_3 adoptados, son los recomendados por la Guía (páginas I-6, II-19 y II-21) para Concreto</p>		
<p>Asfáltico Mezcla en Caliente, Base Granular con CBR de 80%, Sub Base con CBR de 25%.</p>		
$a_1 = 0.44/\text{pulg}$	$a_2 = 0.13/\text{pulg}$	$a_3 = 0.11/\text{pulg}$
<p>Los Coeficientes de Drenaje m_2 y m_3, son modificaciones a los coeficientes de capa, en función de las condiciones de drenaje (natural y/o artificial) y se obtienen de la Tabla 2.4 (página II-25) de la Guía. Así para las condiciones topográficas encontradas y para las precipitaciones pluviales anuales medias (menores de 1,000 mm) y para un suelo con una permeabilida media se estima que la estructura del pavimento estará expuesta a niveles cercanos a la saturación de 1 al 5%:</p>		
$m_2 = 1.00$	$m_3 = 1.00$	
<p>Con la recomendación de espesores mínimos en función del tráfico (página II-35 de la Guía), se obtiene:</p>		
$D_1 = 7.5 \text{ cm}$	Carpeta Asfáltica	
$D_2 = 15 \text{ cm}$	Base	
$D_3 = 25 \text{ cm}$	Sub Base	

Fuente: Elaboración Propia.

4.5 Análisis de la influencia de temperaturas

Caracterización Meteorológica

Se han tomado registros termométricos a diferentes profundidades en calicatas ubicadas convenientemente, a fin de verificar hasta que profundidad se detecta la temperatura de congelamiento; sin embargo, dada la temporada estacional de la toma de datos no fue posible registrar temperaturas bajo cero. Por otro lado, se registró también la temperatura ambiente. Así tenemos que las temperaturas mínimas se registran, sobre todo entre las 00:00 horas y las 06:00 horas, situación que consideramos va a influir de manera importante en el comportamiento del pavimento diseñado, dado que la temperatura es un factor que, en el rango inferior, provoca la rigidización de la carpeta asfáltica. El asfalto a baja temperatura se torna quebradizo y se fisura fácilmente, ante el paso de las cargas pesadas de Tráfico.

Como resultado del análisis del posible efecto de las temperaturas frías en el comportamiento del pavimento, se estima que la influencia de las temperaturas extremas no supera los 60 cm. Los pavimentos a construirse en zonas ubicadas en alturas superiores a 3500 m.s.n.m. tienen un tratamiento especial desde el punto de vista constructivo y de permanencia del mismo ya que se encuentran sujetos a elevadas gradientes térmicas que originan el fenómeno de congelamiento y deshielo. Se producen variaciones volumétricas importantes por lo general a nivel de Subrasante, y en la superficie Asfáltica.

Sin embargo, este no es nuestro caso, pero los principales aspectos a tomarse en cuenta son los siguientes:

Selección de un tipo adecuado de Ligante Asfáltico, dependiente de la temperatura ambiente. Para el proyecto se considera ideal el empleo de Cemento Asfáltico de 120 – 150 (0.01mm) de penetración, de acuerdo a la recomendación del Instituto del Asfalto.

Tabla 14: Recomendaciones del Instituto del Asfalto.

Condición de Temperatura (Promedio ambiente anual)	Grado del Asfalto	Grado del Asfalto
Frío, $\leq 7^{\circ} \text{C}$	AC – 5 AR – 2000 PEN 120 – 150	AC – 10 AR – 4000 PEN 85 – 100
Cálido, de $7^{\circ} \text{C} - 24^{\circ} \text{C}$	AC – 10 AR – 4000 PEN 85 – 100	AC – 20 AR – 8000 PEN 60 – 70
Muy Cálido, $\geq 24^{\circ} \text{C}$	AC – 20 AR – 8000 PEN 60 – 70	AC – 40 AR – 16000 PEN 40 – 50

Fuente: MTC.

Para la selección del tipo de Ligante, es que un Ligante con una penetración y viscosidad alta, ofrece una adecuada flexibilidad en condiciones en que las temperaturas de ambiente se encuentren muy bajas, las cuales originan fisuraciones a temprana edad, teniendo en cuenta que, en la etapa del proceso constructivo, parte de los componentes del Ligante se volatilizan.

Por esta razón debe contemplarse que en la etapa de servicio del pavimento se realicen labores de mantenimiento periódico, consistentes en efectuar tratamientos de fisuras, y así evitar la propagación de las mismas a niveles de las capas subyacentes, con el consiguiente debilitamiento por infiltración de las aguas.

Toda remesa de Cemento Asfáltico a recepcionarse en Obra deberá contar con la Certificación Actualizada de Control de Calidad, la cual deberá ser verificada en laboratorio de Obra, principalmente en lo referente a la penetración del asfalto.

Los espesores de mezcla Asfáltica deberán ser por lo menos de 7.50 cm, Para evitar enfriamientos bruscos, los cuales pueden originar una compactación inadecuada y el consiguiente fisuramiento prematuro. Lo más indicado es no distribuir la mezcla asfáltica cuándo las temperaturas sean menores a 10° C, y cuando haya ráfagas de viento.

Evitar los sobrecalentamientos de la Mezcla asfáltica, ya que esto produce la pérdida de la característica principal de ser un Ligante termo-elástico, y la consiguiente oxidación del asfalto, para lo cual deberá contarse con la curva Viscosidad – Temperatura y obtener el rango de temperaturas de trabajo.

Por otro lado, deberá considerarse la reducción del contenido de vacíos en la mezcla compactada (2%), y por consiguiente el contenido de Ligante Asfáltico deberá tender al máximo posible, siempre que esté encuadrado dentro de los requerimientos exigidos para mezclas Asfálticas en caliente (Diseño Marshall).

4.6 Bermas

Las bermas quedarán a nivel de la carpeta asfáltica en caliente, es decir la colocación de la carpeta asfáltica será de borde a borde

4.7 Diseño de la mescla asfáltica en caliente de 3" (7.5 cm.) de espesor

Características de la mezcla:

Se tratará de dosificar una fórmula de trabajo con un porcentaje de vacíos cercano o menor al límite inferior (3%) a fin que con el nivel de compactación alcanzado en obra no se llegue a valores altos que influirán desfavorablemente en el comportamiento en servicio de la capa de rodamiento.

Si bien se intenta que la planta reproduzca una mezcla semejante a la producida en laboratorio las diferencias indicadas hacen suponer que la cantidad de variables que influyen en planta las características de la mezcla no serán las mismas.

Como se manifestará las causas frecuentemente están en la gradación del agregado el nivel de endurecimiento del ligante el incremento de la fracción fina.

Si se adicionan las distintas condiciones de compactación se concluye que las características físicas volumétricas y mecánicas de los testigos extraídos de obra estarán lejos de reproducir las propiedades de la mezcla

Se debe tener presente que la fórmula de obra obtenida en laboratorio mediante el método Marshall debe considerarse solo como un diseño de mezcla inicial y debe ser usada fundamentalmente para conocer el % de asfalto óptimo.

Las propiedades inherentes a la mezcla deben ser controladas y verificadas sobre mezclas producidas en planta y compactadas en laboratorio diariamente estos ensayos permitirán determinar las características de la mezcla que se está elaborando.

Los valores obtenidos deberán caer dentro del rango especificado en el proceso de diseño de mezcla si dichos resultados obtenidos en ensayos sobre mezclas de planta están de acuerdo con los requerimientos de la fórmula de obra la planta continuará operando si una o más de las propiedades a verificar se escapan del rango especificado se debe rápidamente investigar cual es la causa que genera el problema y solucionar la deficiencia.

Fórmulas de mezclado y tolerancias admitidas:

Después que se haya determinado de la fórmula de mezclado, toda la mezcla suministrada para la obra, deberá concordar con los límites de tolerancia a continuación establecida:

Material que pasa la malla de ¾"+-5%
Material que pasa la malla de ½"+-5%
Material que pasa la malla N°4+-4%
Material que pasa la malla N°200+-2%
Temp. de la muestra al salir de la mezcladora...	+20°F(6.6°C)
Temp. de la mezcla entregada al camino.....	+20°F (6.6°C)

Materiales:

Todos los materiales a usarse en la obra, deberán ser de naturaleza tal, que una mezcla de los mismos efectuada en las proporciones fijadas para la fórmula de obra, tengan una resistencia de no menos de 50% cuando se le ensaye mediante el Método AASHO T-165-55.

Agregados minerales gruesos:

La proporción de los agregados, retenidos en la malla N° 8 se designará agregado grueso y se compondrá de piedra o grava triturada. Solo se podrá emplear un tipo único de agregados grueso, excepto en el caso que el Ing. Supervisor autorice por escrito algún cambio.

La piedra y grava triturada, se compondrá de material limpio, compacto y durable, carente de suciedad u otros materiales inconvenientes y deberá tener un porcentaje de desgaste no mayor de 40% a 500 revoluciones, al ser ensayadas por el Método AASHO T-96.

La piedra y gravas trituradas, al ser sometidas a cinco ensayos alternativos de durabilidad, mediante sulfato de magnesio, empleando el Método AASHO T-104 no podrá tener una pérdida de peso mayor de un 18% método (cuantitativo).

Cuando se utilice grava triturada, no menos de un 50% en peso de las partículas de las mismas, retenidas en el tamiz N°4, deberá tener por lo menos una cara fracturada. No se aceptarán partículas chatas o alargadas dentro del rango establecido. El material deberá carecer de terrones de arcilla y partículas adheridas de arcilla u otras materias que podrían impedir una impregnación total con el producto bituminoso.

Al ser aprobado por el Método Tentativo de Ensayo para revestimiento y desprendimiento en mezcla de agregado- bitumen (ASTM D 1664-66 T) deberá tener un porcentaje retenido mayor a 95%. En caso contrario deberá usarse algún aditivo aprobado por el Ingeniero supervisor.

Agregados minerales finos:

La porción de agregados que pasen la malla N° 4 se designará agregado fino y se compondrá de arena natural o tamizado de piedra o de una combinación de los mismos. Solamente se podrá usar cerniduras de piedra calcárea cuando se emplee una cantidad igual de arena natural, a menos que el uso anterior de ese material haya permitido comprobar en el camino, que no desgaste bajo los efectos del tránsito. Los agregados finos se compondrán de granos limpios, compactos, de superficie rugosa y angulares, carentes de terrones de arcilla o de arcilla arenosa, u otras sustancias inconvenientes.

Los tamizados de piedra deberán producirse de material pétro que llenen las exigencias para agregados minerales gruesos. Al ser probado según AASHO T- 104 Durabilidad con Sulfato de Magnesio (cualitativo), la pérdida deberá ser menor de 12%.

Relleno mineral:

El material de relleno de origen mineral, que sea necesario emplear, se compondrá en polvo calcáreo, roca dolomítica, cemento Pórtland u otros elementos no plásticos, provenientes de fuentes de origen aprobados por el Ing. Supervisor. Estos materiales deberán carecer de materias extrañas y objetables, serán secos Humedad 0% y libres de terrones y cuando sean ensayadas, con los tamices de laboratorio, deberán llenar las siguientes exigencias granulométricas:

Tipo de Tamiz	Porcentaje en peso, que pasa
N° 30.....	100
N° 80.....	95 -100
N° 200.....	65 -100

4.8 Elección de la estructura del pavimento.

La práctica actual de pavimentación en el país no acostumbra colocar pavimentos de 4" de espesor de carpeta asfáltica en vías urbanas que no soportan intenso tráfico pesado. Técnicamente la aplicación de este espesor debería hacerse en 2 capas para asegurar un buen compactado con lo que agrega mayor dificultad a la construcción.

El tráfico ha sido calculado con las condiciones más críticas posibles siendo lo real que por su ubicación con respecto al esquema urbano de Talavera y Andahuaylas, esta vía no es la más adecuada para la circulación del tráfico pesado. Esto ha sido manifestado por las autoridades técnicas de Andahuaylas por lo que se restringirá el tráfico pesado por esta vía.

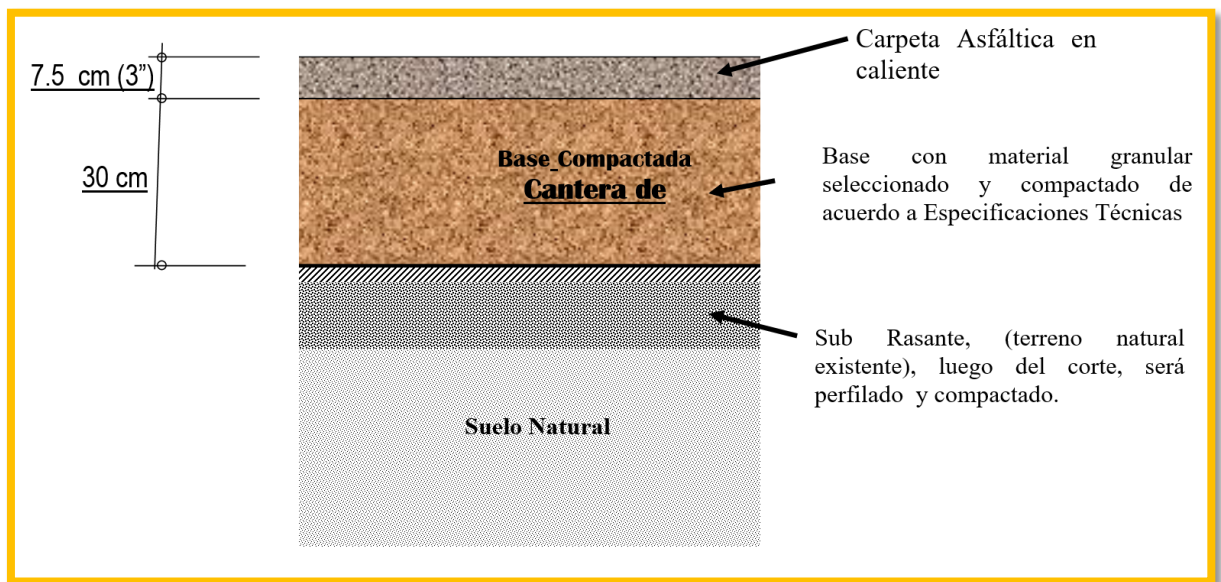
Con estas consideraciones se toma como diseño definitivo del pavimento los siguientes espesores:

Sub-rasante: Suelo natural perfilado y compactado, luego del corte de los 37.50 Cm., compactado al 95% de la densidad máxima Próctor Modificado.

Base: 30 cm de espesor de material de préstamo de la cantera de Chuspi Material Granular seleccionado y compactado al 95% de la densidad máxima Próctor Modificado.

Carpeta: 3" (75mm) de concreto asfáltico en caliente.

Figura 3: Estructura final del pavimento.



Fuente: Propia.

CAPÍTULO V

Discusión de resultados

El procesamiento de la información de campo y laboratorio, así como la inspección de posibles situaciones críticas en la vía, han permitido establecer y adoptar la alternativa de solución más recomendable para el diseño de la estructura del pavimento.

Se ha considerado el predominio de los materiales de la sub rasante a lo largo del tramo evaluado, de tal forma que se estableció la zona como sector de características homogéneas. La estructura del pavimento fue diseñada por el método AASHTO.

Del Km 0+000 al Km 3+904: se efectuará trabajos de construcción de base granular compactada y carpeta de rodadura a base de mezcla asfáltica en caliente.

La evaluación geotécnica realizada ha obligado a proyectar una reconfiguración de la base granular existente conformada por la capa granular de base, en un espesor de 0.30 m. debiendo ser escarificada, zarandeada con las granulometrías indicadas en el capítulo de suelos, efectuando el esparcido, conformación, riego y compactado en una sola operación.

El tratamiento indicado es el que se indica en el cuadro siguiente:

Tabla 15: Tratamiento indicado para el pavimento.

TRAMO	PROGRESIVA	BASE GRANULAR	SUPERFICIE RODADURA
Único	Km.0+000 – Km. 3+904	Material seleccionado	Mezcla asfáltica en caliente (Calzada y Bermas)

Fuente: Propia.

Con relación a las bermas, en todos los casos se ha de efectuar el mismo tratamiento que la calzada en un ancho mínimo de 0.75 m. Se ha de ejecutar un perfilado y compactado en la calzada y bermas antes de recibir la respectiva imprimación.

CAPITULO VI

Conclusiones

En el desarrollo de la presente tesis se ha aplicado la Metodología de AASHTO 93 para el diseño de la Carretera Talavera – Andahuaylas de la Región de Apurímac. El Método AASHTO se basa en el valor de CBR (California Bearing Ratio) de la subrasante, y el número de ejes estándar anticipado, para determinar el número estructural de diseño.

Los parámetros más importantes que se consideran en la metodología AASHTO 93 son: la Confiabilidad, la desviación estándar normal, la desviación estándar total, el módulo resiliente de diseño, la serviciabilidad inicial y la serviciabilidad final, el valor de CBR y el número de ejes estándar.

La estructura final del pavimento está conformada por: Sub-rasante, suelo natural perfilado y compactado, luego del corte de los 37.50 cm., compactado al 95% de la densidad máxima Próctor Modificado. Base: 30 cm de espesor de material de préstamo de la cantera de Chuspi Material Granular seleccionado y compactado al 95% de la densidad máxima Próctor Modificado. Y la Carpeta: 3" (75mm) de concreto asfáltico en caliente.

CAPITULO VII

Recomendaciones

Para el diseño de pavimentos flexibles, se recomienda usar la Metodología AASHTO 93 pues ha demostrado una gran efectividad para hallar los espesores correctos de las capas del pavimento, además de que es fácil de utilizar.

Dentro de los principales parámetros considerados en la Metodología AASHTO 93, se tiene el índice de serviciabilidad terminal que indica la necesidad de Rehabilitar la Carretera, para lo cual será necesario efectuar evaluaciones periódicas, tanto Superficial como Estructural (Rugosidad, Deflectometría, respectivamente), a fin de obtener la base de datos con las cuales se establecerán las medidas correctivas para asegurar la Durabilidad de la misma.

De acuerdo a la evaluación geotécnica realizada se ha proyectado una reconfiguración de la base granular existente conformada por la capa granular de base, en un espesor de 0.30 m. Se recomienda que esta debe ser escarificada, efectuando el esparcido, conformación, riego y compactado en una sola operación.

CAPITULO VIII

Bibliografía

Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación*. Caracas, Venezuela: Episteme – Sexta Edición.

Cedeño, J. (2014). *Propuesta de metodología complementaria a los diseños de pavimentos según AASHTO 93* (Tesis de Pregrado), Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, Guayaquil, Ecuador.

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

Salamanca, M. & Zuluaga, S. (2014). *Diseño de la estructura de pavimento flexible por medio de los métodos Invias, AASHTO 93 e Instituto del Asfalto para la vía La Ye - Santa Lucia Barranca Lebrija entre las abscisas k19+250 a k25+750 ubicada en el Departamento del César* (Tesis de Pregrado), Universidad Católica de Colombia, Bogotá, Colombia.

Torre (2019). *TIPOS DE PAVIMENTOS*. [online] Es.slideshare.net. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/kevinromerolatorre/tipos-de-pavimentos>

Torres, P. & Pérez, D. (2017). *Diseño de pavimento flexible para mejorar la transitabilidad vehicular y peatonal en el AA. HH. Ampliación Túpac Amaru, distrito de Chiclayo, provincia Chiclayo, región Lambayeque 2017* (Tesis de Pregrado), Universidad César Vallejo, Chiclayo, Perú.

ANEXOS

Anexo 01

Panel fotográfico

Figura 4: Foto 1.



Fuente: Propia.

Figura 5: Foto 2.



Fuente: Propia.

Figura 6: Foto 3.



Fuente: Propia.

Figura 7: Foto 4.



Fuente: Propia.

Figura 8: Foto 5.



Fuente: Propia.

Figura 9: Foto 6.



Fuente: Propia.

Figura 10: Foto 7.



Fuente: Propia.

Figura 11: Foto 8.



Fuente: Propia.

Figura 12: Foto 9.



Fuente: Propia.

Figura 13: Foto 10.



Fuente: Propia.

Figura 14: Foto 11.



Fuente: Propia.

Figura 15: Foto 12.



Fuente: Propia.

Figura 16: Foto 13.



Fuente: Propia.

Figura 17: Foto 14.



Fuente: Propia.

Figura 18: Foto 15.



Fuente: Propia.

Figura 19: Foto 16.



Fuente: Propia.

Figura 20: Foto 17.



Fuente: Propia.

Figura 21: Foto 18.



Fuente: Propia.

Figura 22: Foto 19.



Fuente: Propia.

Figura 23: Foto 20.



Fuente: Propia.

Figura 24: Foto 21.



Fuente: Propia.

Figura 25: Foto 22.



Fuente: Propia.

Figura 26: Foto 23.



Fuente: Propia.

Figura 27: Foto 24.



Fuente: Propia.

Figura 28: Foto 25.



Fuente: Propia.

Figura 29: Foto 26.



Fuente: Propia.

Figura 30: Foto 27.



Fuente: Propia.

Figura 31: Foto 28.



Fuente: Propia.

Figura 32: Foto 29.



Fuente: Propia.

Figura 33: Foto 30.



Fuente: Propia.

Figura 34: Foto 31.



Fuente: Propia.

Figura 35: Foto 32.



Fuente: Propia.

Figura 36: Foto 33.



Fuente: Propia.

Figura 37: Foto 34.



Fuente: Propia.

Figura 38: Foto 35.



Fuente: Propia.

Figura 39: Foto 36.



Fuente: Propia.

Figura 40: Foto 37.



Fuente: Propia.

Figura 41: Foto 38.



Fuente: Propia.

Figura 42: Foto 39.



Fuente: Propia.

Figura 43: Foto 40.

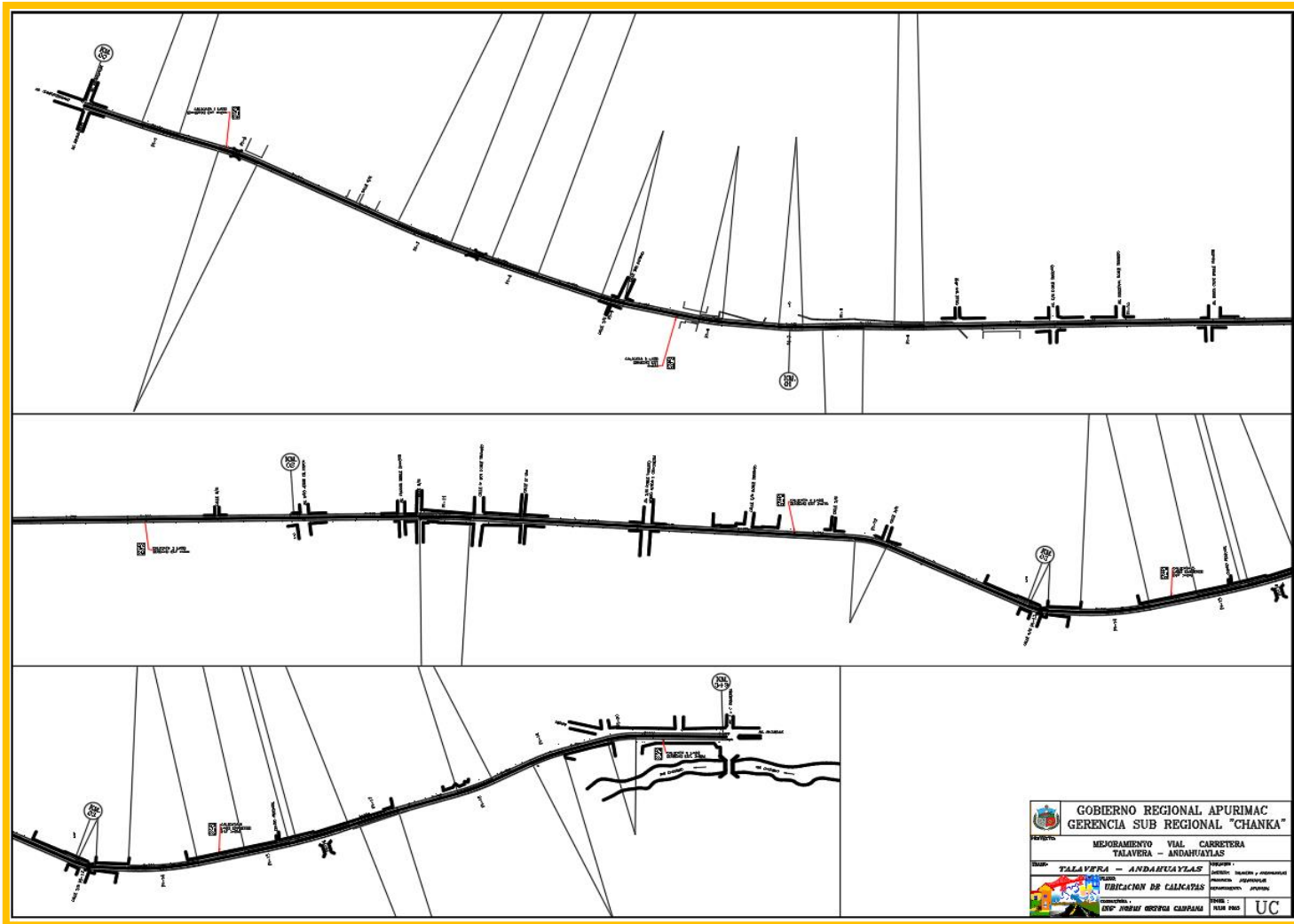


Fuente: Propia.

Anexo 02

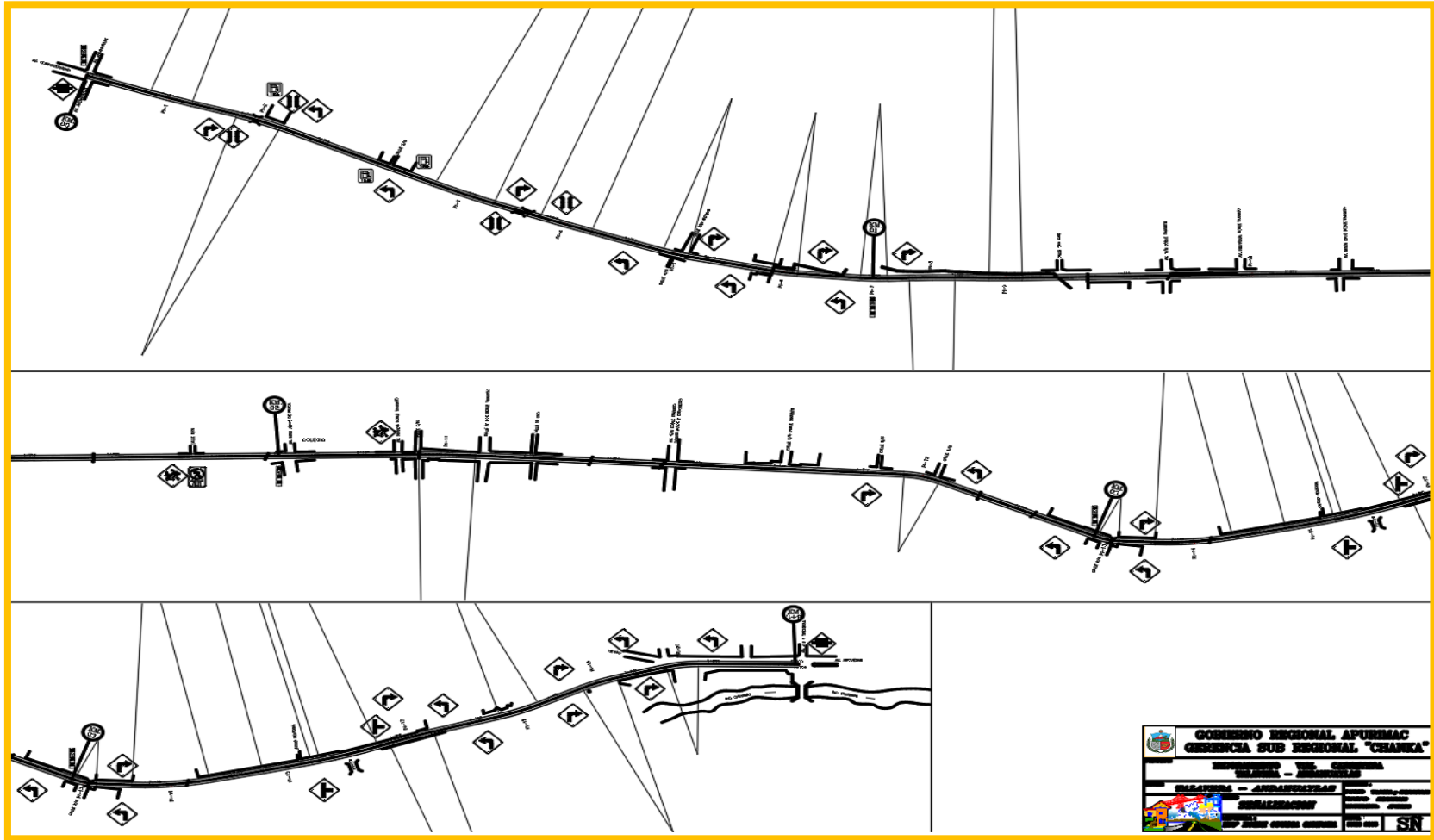
Planos.

Figura 44: Plano clave de calicatas.



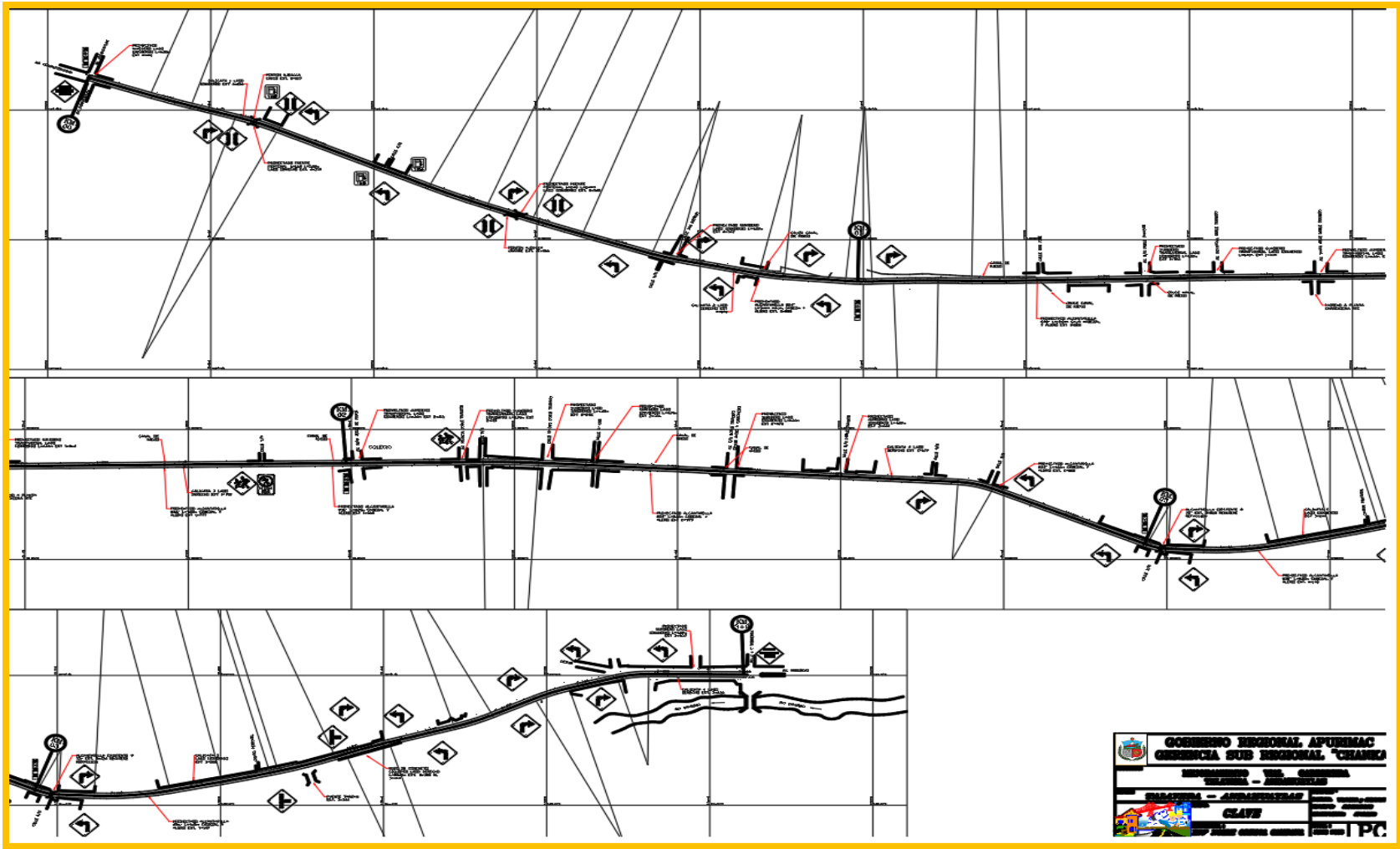
Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Figura 46: Plano clave de señalización.



Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.

Figura 47: Plano clave general.



Fuente: Municipalidad de Andahuaylas.