



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

DISEÑO DE CONCRETO ASFALTICO PARA MEJORAR SUPERFICIE DE RODADURA EN VIAS TERRESTRES UTILIZANDO POLIMEROS EN CARRETERA

TARMA JAUJA

**Línea de investigación:
Desarrollo urbano-rural, catastro, prevención de riesgos, hidráulica y
geotecnia**

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor

Retamozo Mallqui, Juan Robert

Asesor

Arévalo Vidal, Samir Augusto

ORCID: 0000-0002-6559-0334

Jurado

Pumaricra Padilla, Raúl Valentín

Romero Ríos, David

Yupari Silva, Emilio Gustavo

Lima - Perú

2026

DISEÑO DE CONCRETO ASFALTICO PARA MEJORAR SUPERFICIE DE RODADURA EN VIAS TERRESTRES UTILIZANDO POLIMEROS EN CARRETERA TARMA JAUJA

INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

13%

FUENTES DE INTERNET

4%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	3%
---	---	----

2	cybertesis.uni.edu.pe Fuente de Internet	1%
---	---	----

3	fddocuments.ec Fuente de Internet	1%
---	---	----

4	CONSULTORES Y CONTRATISTAS GENERALES SAC. "EIA del Proyecto Depósito de Relaves N° 6 de Mahr Tunel-IGA0003961", R.D. N° 331-2002-EM/DGAA, 2020 Publicación	1%
---	---	----

5	idoc.pub Fuente de Internet	<1%
---	---	-----

6	repositorio.unfv.edu.pe Fuente de Internet	<1%
---	---	-----

7	alicia.concytec.gob.pe Fuente de Internet	<1%
---	---	-----

8	pt.scribd.com Fuente de Internet	<1%
---	---	-----



FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

**DISEÑO DE CONCRETO ASFALTICO PARA MEJORAR SUPERFICIE DE
RODADURA EN VIAS TERRESTRES UTILIZANDO POLIMEROS EN
CARRETERA TARMA JAUJA**

Línea de Investigación:

Desarrollo Urbano-rural, Catastro, Prevención de riesgos, Hidráulica y Geotecnia

Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Autor:

Retamozo Mallqui, Juan Robert

Asesor:

Arévalo Vidal, Samir Augusto

ORCID: 0000-0002-6559-0334

Jurado:

Pumaricra Padilla, Raúl Valentín

Romero Ríos, David

Yupari Silva, Emilio Gustavo

Lima, Perú

2026

Dedicatoria

Dedico este trabajo con gran amor a toda mi familia por el apoyo incondicional, por ser mi impulso para seguir adelante y lograr mis metas.

Agradecimiento

Gracias infinitas a mis padres, por su amor incondicional y su apoyo moral, su amor y sacrificio han sido la luz que guio mi camino a través de este viaje académico.

Me gustaría agradecer también a la Universidad Federico Villarreal por abrirme las puertas y brindarme la oportunidad de avanzar en mi carrera profesional.

ÍNDICE

Resumen.....	ix
Abstract.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema	1
<i>1.1.1. Problema principal.....</i>	<i>2</i>
<i>1.1.2. Problemas específicos.....</i>	<i>2</i>
1.2. Antecedentes.....	2
<i>1.2.1. Antecedentes internacionales</i>	<i>2</i>
<i>1.2.2. Antecedentes nacionales</i>	<i>2</i>
1.3 Objetivos.....	4
<i>1.3.1. Objetivo general.</i>	<i>4</i>
<i>1.3.2. Objetivos específicos.....</i>	<i>4</i>
1.4 Justificación.....	4
1.5 Hipótesis.....	4
<i>1.5.1. Hipótesis general</i>	<i>4</i>
<i>1.5.2. Hipótesis específicas.....</i>	<i>4</i>
II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	6
2.2. Definición de términos	6
III. MÉTODO	8
3.1. Tipo de investigación	8
3.2. Ámbito temporal y espacial.....	8
3.3. Variables.....	8

3.4. Población y muestra	8
3.5. Instrumentos	9
3.6. Procedimientos	9
3.7. Análisis de datos.....	9
3.8. Consideraciones éticas.....	9
IV. RESULTADOS	10
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	79
VI. CONCLUSIONES	80
VII. RECOMENDACIONES	83
VIII. REFERENCIAS	84
IX. ANEXOS	85

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Alturas consideradas según las progresivas	11
Tabla 2	Velocidad de diseño.....	13
Tabla 3	Características técnicas	17
Tabla 4	Problemas en poblados y posibles soluciones.....	18
Tabla 5	Canteras explotables en el tramo experimental km 21+000	29
Tabla 6	Aceleraciones máximas para distintos periodos de retorno	31
Tabla 7	Resultados de análisis químicos de muestras de agua	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Diseño tentativo de pavimento (10 años). Km 0+000 – Km 47+500.....	49
Figura 2	Diseño tentativo de pavimento – Número estructural efectivo al año 10. Km 0+000 – Km 47+500	50
Figura 3	Diseño tentativo de pavimento – 10 – 20 años. Km 0+000 – Km 47+500	51
Figura 4	Diseño tentativo de pavimento – 20 años. Km 0+000 – Km 47+500	52
Figura 5	Diseño tentativo de pavimento – 10 años. Km 47+500 – Km 56+014	53
Figura 6	Diseño tentativo de pavimento (número estructural efectivo al año 10). Km 47+500 – Km 56+014	54
Figura 7	Diseño tentativo del pavimento (10 – 20 años). Km 47+500 – Km 56+014	55
Figura 8	Diseño tentativo del pavimento (20 años). Km 47+500 – Km 56+014	56
Figura 9	Diagrama de mezcla asfáltica	60
Figura 10	Diagrama de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3%.....	61
Figura 11	Diagrama de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 2%.....	62
Figura 12	Diagrama de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3.5 %.....	63
Figura 13	Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión	64
Figura 14	Pesos parciales.....	65
Figura 15	Ensayo de adherencia (arena).....	66
Figura 16	Carta de viscosidad – temperatura.....	67
Figura 17	Informe sobre muestra de cemento asfáltico modificado.....	68
Figura 18	Granulometría resultante de mezcla de agregados	69
Figura 19	Gráfico de agregados	70
Figura 20	Informe sobre muestra de mezcla asfáltica en caliente	71
Figura 21	Informe sobre muestra de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 2% en caliente.	71

Figura 22 Informe sobre muestra de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3% en caliente	72
Figura 23 Informe sobre muestra de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3.5% en caliente.	72
Figura 24 Método Marshall – cuadro 1.....	73
Figura 25 Representación gráfica con asfalto modificado con polímero SBR.....	74
Figura 26 Resumen del método Marshall	75
Figura 27 Equivalente de arena.....	76
Figura 28 Ensayo de peso específico y absorción de agregados	77
Figura 29 Diagrama de mezcla asfáltica modifica – Polímero SBR 2%	81
Figura 30 Diagrama de mezcla asfáltica modifica – Polímero SBR 3%	81
Figura 31 Diagrama de mezcla asfáltica modifica – Polímero SBR 3.5%.	82

RESUMEN

Objetivo: Plantear el mejoramiento de la serviciabilidad de la carretera Tarma–Jauja mediante el diseño de concreto asfáltico modificado con polímero SBR, evaluando su comportamiento frente a las condiciones térmicas y mecánicas propias de las zonas altoandinas. **Método:** La investigación fue aplicada, de enfoque cuantitativo y alcance descriptivo-explicativo. La muestra estuvo constituida por el pavimento de la carretera Tarma–Jauja. Se realizaron ensayos de laboratorio a una mezcla asfáltica convencional PEN 120/150 y a mezclas modificadas con 2 %, 3 % y 3.5 % de polímero SBR. El diseño se efectuó mediante el método Marshall y la estructura del pavimento se determinó con el método AASHTO 1993. **Resultados:** La mezcla convencional alcanzó una estabilidad de 2310.7, flujo de 13.5, vacíos de 2.5 %, VMA de 14.0 % y vacíos llenos de asfalto de 82.9 %. La incorporación de 2 % de SBR obtuvo la mayor estabilidad, con 2606.9, flujo de 12.3, vacíos de 4.9 %, VMA de 15.8 % y VFA de 69.1 %. Con 3 % se registró una estabilidad de 2399.0; mientras que con 3.5 % disminuyó a 2083.3. **Conclusiones:** La adición de 2 % de polímero SBR presentó el mejor desempeño mecánico y volumétrico, al incrementar la estabilidad y reducir el flujo respecto de la mezcla convencional. En consecuencia, esta dosificación constituyó la alternativa más adecuada para mejorar la superficie de rodadura de la carretera estudiada.

Palabras clave: concreto asfáltico, polímero SBR, método Marshall, serviciabilidad vial.

ABSTRACT

Objective: To propose improvements to the serviceability of the Tarma–Jauja highway through the design of asphalt concrete modified with SBR polymer, evaluating its performance under the thermal and mechanical conditions typical of high Andean regions. **Method:** This was an applied research study with a quantitative approach and a descriptive-explanatory scope. The sample consisted of the pavement of the Tarma–Jauja highway. Laboratory tests were performed on a conventional asphalt mix (PEN 120/150) and on mixes modified with 2%, 3%, and 3.5% SBR polymer. The design was carried out using the Marshall method, and the pavement structure was determined using the AASHTO 1993 method. **Results:** The conventional mix achieved a stability of 2310.7, a flow of 13.5, voids of 2.5%, a maximum allowable volume (MAV) of 14.0%, and asphalt-filled voids of 82.9%. The incorporation of 2% SBR resulted in the greatest stability, with a value of 2606.9, a flow of 12.3, voids of 4.9%, a maximum aggregate volume (MAV) of 15.8%, and a final aggregate volume (FAV) of 69.1%. A 3% SBR mix yielded a stability of 2399.0, while a 3.5% mix decreased to 2083.3. **Conclusions:** The addition of 2% SBR polymer presented the best mechanical and volumetric performance, increasing stability and reducing flow compared to the conventional mix. Consequently, this mix design was the most suitable alternative for improving the road surface of the studied highway.

Keywords: asphalt concrete, SBR polymer, Marshall method, road serviceability.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción y formulación del problema

Actualmente el Gobierno Regional de Junín, dentro de su programa anual de actividades destinadas al mejoramiento de la calidad de vida de la población contempla el mejoramiento de la Carretera Tarma – Jauja, ello debido a que dichas ciudades se caracterizan por poseer una infraestructura vial deficiente, lo cual afecta severamente la calidad de vida de los pobladores y dificulta el comercio. Por ello el Gobierno Regional de Junín ha contemplado la realización de la Carretera Tarma-Jauja con fines de mejorar las condiciones de transitabilidad vehicular en dichas ciudades. Se propone el diseño de mezcla asfáltica modificada puesto que ésta ha demostrado ser de gran utilidad en carreteras rurales. Para el desarrollo de la presente tesis se cuenta con los recursos económicos necesarios. Así mismo se dispondrá de información proveniente del Gobierno Regional de Junín. Para un fácil entendimiento la presente tesis se ha dividido en 6 capítulos, los cuales se describen a continuación: en el capítulo 1 se exponen la formulación del problema general y los problemas específicos, resaltando los objetivos que se buscan alcanzar con la presente tesis. En el capítulo 2 se describe el marco teórico resaltando los antecedentes, las bases teóricas y los términos a emplearse en el desarrollo de la investigación. En el capítulo 3 se exponen las hipótesis, general y específicas; y el capítulo 4 se abarca la metodología empleada en la presente tesis. En el capítulo 5 se exponen los resultados obtenidos, el diseño de la mezcla asfáltica, y en el capítulo 6 se discuten los resultados. Finalmente se exponen las conclusiones y recomendaciones.

En la actualidad las ciudades de Tarma y Jauja se caracterizan por poseer una infraestructura vial deficiente, lo cual afecta severamente la calidad de vida de los pobladores y dificulta el comercio. Por ello el Gobierno Regional de Junín ha contemplado la realización de la Carretera Tarma-Jauja con fines de mejorar las condiciones de transitabilidad vehicular en dichas ciudades.

1.1.1. Problema principal

¿Empleando un diseño de concreto asfáltico modificado con aplicación de polímeros se podrá construir un pavimento eficiente para mejorar la serviciabilidad de la carretera Tarma – Jauja?

1.1.2. Problemas específicos

¿Qué problemas afectan a las propiedades reológicas del asfalto y las propiedades físicas de las mezclas en zonas andinas?

¿Cómo debe estar conformada la estructura del pavimento de la carretera Tarma – Jauja?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Antecedentes internacionales

Maila (2013), llevó a cabo un estudio titulado "El desempeño de una combinación de asfalto mejorada con el polímero etileno vinil acetato (EVA)", como requisito para obtener su título de Ingeniera Civil en la Universidad Central del Ecuador. El propósito principal de esta investigación fue reducir el desgaste y los daños en las carreteras mediante la creación de una mezcla asfáltica innovadora que incorpora el polímero EVA.

Wulf (2018), llevó a cabo un estudio titulado "Exploración de pavimento asfáltico mejorado con polímeros", como requisito para obtener el grado de Ingeniero Constructor en la Universidad Austral de Chile. El propósito principal de esta tesis fue llevar a cabo una comparación entre el asfalto tradicional y el asfalto mejorado con polímeros, centrándose en el ensayo Marshall.

1.2.2. Antecedentes nacionales

Martínez (2003) llevó a cabo un estudio titulado “Utilización del polímero SBR en la elaboración de mezclas asfálticas destinadas a áreas elevadas”, como requisito para obtener el

grado de Ingeniero Civil en la Universidad Nacional de Ingeniería en Perú. Como resultado de la investigación, se llegaron a las siguientes conclusiones:

- La combinación de asfalto y polímeros SBR tipo Cationica muestra una mayor armonía y firmeza durante el almacenamiento en caliente en comparación con la mezcla que contiene el polímero SBR tipo Aniónico.
- Estás trabajando para darle más creatividad a textos en español. A medida que se incrementa la proporción de polímero en la mezcla, los valores del Índice de Penetración aumentan, lo que indica que el Asfalto Modificado con Polímero tiene una mayor resistencia a los cambios de temperatura en comparación con el Asfalto Convencional.
- Estás trabajando para darle más creatividad a textos en español. Al disminuir la Vulnerabilidad al Calor en los pavimentos asfálticos, se puede prever una disminución en la susceptibilidad a sufrir deformaciones permanentes, como los Ahuellamientos. Un aumento en la temperatura en la que el punto de ablandamiento se produce al utilizar las concentraciones especificadas (2% y 3% en peso del asfalto) del polímero en la mezcla, señala un incremento en la capacidad de resistencia al ahuellamiento de las mezclas asfálticas.

Chávez (2017) llevó a cabo un estudio titulado "Exploración de la capa de asfalto mejorada con polímero SBS en el gélido clima de la zona de Junín – Yauli. 2017", como requisito para graduarse como Ingeniero Civil en la Universidad César Vallejo en Perú. El propósito principal de esta investigación fue examinar cómo se comporta la capa de asfalto mejorada con polímero SBS en las bajas temperaturas de la zona de Junín - Yauli en el año 2017.

1.3 Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Plantear el mejoramiento de la serviciabilidad en la vía terrestre denominada carretera Tarma – Jauja utilizando concreto asfáltico modificado con polímeros.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar nuevas tecnologías empleando polímeros en el asfalto.
- Definir como debe estar conformada la estructura del pavimento de la carretera Tarma – Jauja.

1.4 Justificación

La elección del tema de esta tesis se fundamenta en que la construcción de la carretera propuesta tendrá un impacto significativo en la vida de las comunidades de Tarma y Jauja, al facilitar el tráfico de vehículos y potenciar el intercambio comercial, lo que resultará en una notable mejora en su calidad de vida. La tesis actual se utilizará para analizar las dificultades que impactan en los suelos de las regiones montañosas.

Se dispone de los recursos económicos requeridos para llevar a cabo la elaboración de este trabajo de investigación. También estará disponible información del Gobierno Regional de Junín.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Empleando un diseño de concreto asfáltico modificado con aplicación de polímeros se podrá construir un pavimento eficiente para mejorar la serviciabilidad de la carretera Tarma – Jauja.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Aplicando las nuevas tecnologías de polímeros en el asfalto se podrá optimizar la serviciabilidad del pavimento de la carretera Tarma –Jauja a construirse.

- Identificando los problemas que afectan a las propiedades reológicas del asfalto y a las propiedades físicas de las mezclas en zonas andinas, podremos optimizar el diseño del pavimento a construirse.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

2.1.1. *Asfalto modificado con polímero*

Martínez (2003) señala que:

El asfalto alterado se crea al mezclarlo a altas temperaturas y con esfuerzo cortante, añadiendo polímeros para crear una estructura tridimensional que captura las moléculas del asfalto en sus espacios. Esta red se encargará de absorber la mayor parte de la carga que normalmente soportaría el asfalto en una carretera. (p.64)

2.1.2. *Compatibilidad asfalto-polímero*

Según Martínez (2003), la armonía entre un polímero y un asfalto se logra cuando pueden fusionarse sin que se produzca una división clara entre ellos ni se rompa el equilibrio coloidal del asfalto. La compatibilidad está determinada por el tipo de polímero y la composición química del asfalto.

2.1.3. *Preparación de mezclas asfálticas con polímeros*

Según Martínez (2003), la adición del polímero puede realizarse de tres maneras distintas: elaborando el asfalto modificado en una instalación aparte y trasladando el producto final a una planta de asfalto, preparando el asfalto modificado con un mezclador adicional en una planta de asfalto, o integrando directamente el polímero en la mezcla asfáltica durante la combinación del asfalto con los agregados.

2.2. Definición de términos

Acera

Es la franja a lo largo de la carretera, ya sea elevada o no, designada para que caminen los peatones y donde está prohibido que circulen los vehículos (Diccionario de la Construcción, 2019).

Bacheo con mezclas asfálticas

Tenemos conocimiento de que se trata de la tarea de arreglar baches utilizando mezclas de asfalto. Estas se pueden disfrutar tanto frías como calientes. Es necesario contar con recursos compuestos por dispositivos móviles de poco peso (Diccionario de la Construcción, 2019).

Base

Tenemos conocimiento de que la capa de terreno que se encuentra debajo del pavimento, sobre la sub-base y la explanada, es la encargada de sostener el pavimento y su principal función es resistir, absorbiendo la mayoría de las cargas verticales (Diccionario de la Construcción, 2019).

Mezcla bituminosa en caliente

Tenemos conocimiento de que se trata de la unión de materiales pétreos con un aglutinante asfáltico que requiere ser calentado antes de mezclarlos (Diccionario de la Construcción, 2019).

Pavimento

Tenemos conocimiento de que es la capa superior del pavimento que se sitúa sobre la base y está expuesta directamente al tráfico. La parte superior de un pavimento que debe soportar las fuerzas generadas por el tráfico, ofreciendo una superficie de rodaje cómoda y segura (Diccionario de la Construcción, 2019).

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

En lo que respecta a la forma de estudio, esta tesis se caracteriza por ser cuantitativa descriptiva y explicativa.

- Exploración de datos previos: a través de este proceso se han analizado las reglas, guías, publicaciones, investigaciones, entre otros, acerca del uso de polímeros en la modificación del asfalto.
- Nota: Mediante esta técnica se ha logrado recopilar datos observados en terreno.
- Experimentos sobre la mecánica de terrenos.

3.2. Ámbito temporal y espacial

La tesis desarrollada se basa en el diseño del concreto asfáltico modificado con polímeros para mejorar la superficie de rodadura en vías terrestres utilizando polímeros se encuentra ubicado en la carretera Tarma a Jauja que está en el departamento de Junín,

3.3. Variables

3.2.1 Variable independiente

Empleo de concreto asfáltico modificado con polímeros.

3.2.2 Variable dependiente

Mejoramiento de la serviciabilidad de la carretera Tarma – Jauja.

3.4. Población y muestra

3.4.1 Población

En esta investigación, el conjunto de pavimentos que se encuentran en la Región Junín constituye el universo de estudio.

3.4.2 Muestra

En este estudio, se ha seleccionado el pavimento de la carretera Tarma - Jauja en la Región Junín como muestra representativa.

3.5. Instrumentos

Los elementos utilizados en este estudio fueron fundamentales, como los experimentos en el laboratorio, la creación de concreto asfáltico, la alteración del concreto con polímeros, la elaboración de planos en AUTOCAD y el manual del MTC. Según De la Lama et al. (2022) cada herramienta suele estar diseñada para una función específica, aunque suelen ser empleadas de diversas maneras.

3.6. Procedimientos

Es crucial localizar el punto de atención, que en este estudio es la ruta que va de Tarma a Jauja en la región de Junín. Luego, se llevarán a cabo pruebas de laboratorio que revelarán la composición del suelo de la carretera. Se utilizaron herramientas adecuadas para garantizar la precisión de los resultados. Posteriormente, se diseñará una mezcla de asfalto especial para optimizar la superficie de la carretera, incorporando polímeros.

3.7. Análisis de datos

De acuerdo con Slater y Hasson (2025), una vez que se ha recibido la información, es necesario llevar a cabo el procesamiento de los datos utilizando el método seleccionado. La metodología de análisis es de naturaleza metodológica, puesto que emplearemos información de la ficha de observación. Más adelante se llevarán a cabo pruebas de laboratorio con el fin de confirmar la hipótesis propuesta, la cual está vinculada con los objetivos establecidos.

3.8. Consideraciones éticas

El tema del empleo de concreto asfáltico modificado con polímeros para pavimentos en zonas andinas cumple con toda la normatividad exigida por: El Reglamento Nacional de Edificaciones, MTC y sus respectivos manuales, AASHTO y el Gobierno Regional de Junín.

IV. RESULTADOS

4.1. Topografía y trazo

El trazo se inicia en el término de la calle Junín en la ciudad de Jauja, desarrollándose con cierta sinuosidad y en ascenso hasta la altura del Km 0+900, para luego continuar con un alineamiento más adecuado hasta el km 1+800. lugar en donde se presenta una curva de vuelta, con radio menor al reglamentario. A partir de este punto se cuenta con una mejor geometría hasta el Km. 5+300, inicio de la variante del poblado de Acolla, cruzando a través de la Av. Huáscar, proyectándose una sección de doble vía, con un ancho de superficie de rodadura de 4.50 m. cada una y una berma central de 1.00 m., donde se ubican postes de alumbrado eléctrico, hasta la altura del Km 10+600, empalmando con la vía existente.

A partir de este punto se tiene tangentes prolongadas hasta aproximadamente el Km 13+800, prosiguiendo en forma sinuosa hasta el Km 18+400, en donde nuevamente se observa dos curvas de vuelta, para luego continuar con las mismas características indicadas en el sector precedente hasta el Km 20+500.

Continuando con un mejor alineamiento hasta el Km 32+560, lugar más alto de la vía, de donde se empieza a descender con un buen alineamiento hasta el Km 36+000, donde se inicia un desarrollo con cuatro curvas de vuelta, prosiguiendo con buen alineamiento hasta Km 47+100, inicio de la baja más pronunciada hacia la ciudad de Tarma, presentado una geometría sinuosa hasta el final de la carretera.

Con respecto a la planimetría del trazo geométrico, se indica que se ha utilizado la información proporcionada por el Instituto Geográfico Nacional (I.G.N) Hito geodésico internacional 10-h24m.

$$E = 445,625.532$$

$$N = 8'698,605.490$$

4.1.1. Nivelación

A lo largo de la vía se han determinado 114 BMs, ubicados cada 500m., los mismos que se encuentra debidamente monumentados. La verificación de la nivelación se ha realizado en base al BM TJ-43-IGMIGN, cuya cota es de 3,390.5626 m.s.n.m.

La nivelación de los BMs se cerró de acuerdo a los Términos de Referencia con nivelación de ida y vuelta cada 500 m, obteniéndose diferencias menores a la tolerancia especificada de 0.012 m/km en el documento citado, como se observa en la copia de la libreta de campo.

4.1.2. Perfil longitudinal

El perfil longitudinal ha sido definido en base a la topografía del terreno, teniendo especial cuidado en la determinación de las pendientes y que éstas se encuentren en lo posible dentro de los parámetros establecidos en la Normas Peruanas para el diseño de carretera, el tramo conserva en su mayoría su altimetría original a excepción de 2 tramos en que por requerimientos hidráulicos se levanta la rasante.

Tabla 1

Alturas consideradas según las progresivas

Progresivas de KM	A KM	Alturas Consideradas
11 + 500	14 + 220	0.80 m máximo
33 + 170	33 + 820	0.80 m máximo

Secciones transversales

Se realizaron mediciones transversales en cada uno de los puntos marcados a lo largo del trazado de la carretera, a una distancia de 20.00 m en tramos rectos y 10.00 m en curvas, con un ancho mínimo de 20.00 m a cada lado del eje.

Cálculo y control geodésico

El cálculo y control geodésico, se ha efectuado en base al hito ubicado en la cúpula de la iglesia de Jauja.

Monumentación

Para satisfacer los requisitos de los Términos de Referencia, se ha llevado a cabo la colocación de monumentos en los Puntos de Inspección y en los Bienes Muebles, utilizando datos de concreto debidamente identificados. Cada Punto de Inspección tiene asignadas dos distancias de referencia.

Diseño geométrico

La creación de patrones geométricos se ha inspirado en las directrices establecidas por las Normas Peruanas para el Diseño de Vías.

De acuerdo con las regulaciones viales de Perú, al seleccionar la velocidad principal se deben tener en cuenta aspectos técnicos y financieros. En el análisis se seleccionaron elementos técnicos para establecer la velocidad recomendada en la carretera, destacando especialmente los radios presentes en la vía, junto con su diseño, configuración y el flujo vehicular que transita por ella.

La evaluación de la Velocidad en relación con el radio mínimo está fundamentada en las directrices establecidas por las Normas Peruanas para el trazado de Carreteras, las cuales detallamos a continuación:

Tabla 2*Velocidad de diseño*

Número total de Curvas circulares	Velocidad de diseño					
	40km/h	50km/h	60km/h	70km/h	80km/h	90km/h
382	R min	R min	R min	R min	R min	R min
	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal	Normal
	≤60	90m	130m	190m	250m	330m
Curvas que cuenta con R>= al min. Normal para cada VD						
	301	247	195	134	101	72
% acum. Del total	78.8%	64.7%	51.0%	35.1%	26.4%	18.8%

El cuadro se ha elaborado a partir de una velocidad de 40 km/h, en donde 301 curvas circulares Horizontales cuentan con radios por encima del mínimo normal exigido por las Normas peruanas, el cual representa el 78.8% de las curvas del tramo y 345 curvas que representan el 90.3 5 pasan el radio mínimo excepcional de 45 m.

Por otro lado, el Estudio de Tráfico determinó un IMDA de 409 Veh/día, clasificando con este valor a la vía, como de Segunda Clase. Los índices horarios los obtenidos de los cuadros de los Conteos realizados en el estudio de tráfico, en ambos sentidos de la carretera. Se obtienen valores de 33 veh/hor y 42 veh/hor, que son los máximos alcanzados.

De las Normas Peruanas, observamos para valores de tráfico hasta 50 veh/hora y un ancho del pavimento de 6.00 mts, (que es el que actualmente cuenta la vía), obtenemos una Velocidad Directriz de 50 km/h. De los dos criterios para la determinación de la Velocidad directriz se concluye, que se tomará 40 km/h, debido a que es la más crítica.

4.2. Características geométricas

Hay un total de 382 curvas planas en ese tramo. Los anchos adicionales, ajustes en la inclinación de las curvas y la visibilidad se definen según la velocidad de referencia.

La carretera en actual servicio tiene una serie de curvas que no cumplen con las Normas Peruanas para Diseño de Carretera, por lo que ha sido necesario aumentar sus radios. El trazo pasa por varios poblados en los que las viviendas invaden la superficie de rodadura, como son Acolla, Tingo Paccha y Huaricolca, en el primero, es factible considerar una desviación por la Avenida Huáscar que resuelve el problema, por lo que así se está considerando, en las otras dos no es posible desviar el trazo por razones técnico-económico, por lo que se considera no elevar la rasante en estos pueblos, sino realizar una excavación en cajón dejándola sensiblemente en el nivel actual, aun así se requiere expropiar parcialmente algunas viviendas.

Al elegir una velocidad de diseño de 40 km/h para esta sección, se calcula que el radio mínimo estándar es de 60 m. Para una curva horizontal circular con un peralte del 6%. Con la finalidad de contar con el menor número de curvas horizontales críticas, tomamos el radio de las curvas circulares al mínimo excepcional, es decir, 45 m. Se obtiene que 37 curvas horizontales cuentan con menos de lo exigido. Las cuales no es técnica y económicamente posible corregir por estar encajonadas.

Aunque algunas partes de la carretera no tienen el ancho adecuado, corregirlas implicaría realizar trabajos de excavación y cortes en laderas ya estabilizadas, lo que aumentaría significativamente los gastos. Por esta razón, se optó por mantener el ancho actual en ciertas áreas y en otras se planeó erigir muros para alcanzar el ancho deseado en el proyecto, además de perfeccionar algunas curvas.

Además, teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, se ha ideado una medida para garantizar la seguridad de los usuarios, la cual consiste en la implementación de señalización y medidas de seguridad en las vías.

En relación a los anchos adicionales utilizados en las curvas horizontales, se han establecido conforme a las regulaciones peruanas.

Depende de la rapidez con la que se diseñe la curva horizontal, la variación se ajusta. Los intervalos de los valores adoptados cambian cada 30 centímetros. La lámina mencionada se fundamenta en la fórmula.

S = Es el sobreancho en metros.

n = Es el número de carriles, que en este caso es 2.

R = Es el radio de la curva en metros.

V = Es la velocidad en Km/hora.

L = Es la distancia entre ejes del vehículo, que en este caso es 6 metros.

Los valores del sobreancho, los obtenemos para cada curva horizontal, el valor mínimo a tomar del sobreancho es de 0.30 m.

Así mismo se determina el desarrollo del sobreancho a lo largo de la curva, este varia hasta llegar a cero. Esta variación está en función de las longitudes de transición para cada curva. El exceso de ancho conseguido se colocará completamente en el borde interno de la curva y mantendrá la misma pendiente que la curva. La modificación de los anchos adicionales y la inclinación en las curvas horizontales dependen de la extensión de la curva y de la longitud de transición. Para las curvas de nuestro tramo, en donde se cuenta con una velocidad directriz de 40 km/h, y en donde existen tramos relativamente cortos en tangentes comunes a curvas horizontales seguidas, usamos la tabla de las Normas Peruanas para los valores mínimos de la longitud de transición, para un ancho de pavimento de 6.00 m.

Se cuenta en este tramo con curvas de vuelta circulares horizontales, en donde la longitud de la tangente común para ambas curvas, es tal que no permite el desarrollo de la longitud de transición mínima, en este caso se tomará como longitudes mínimas las consideradas para un peralte del 2%, teniendo en cuenta que la extensión mínima de la tangente en común intermedia deberá permitir la transición del peralte. El cálculo de los sobreanchos y del peralte, así como la variación de este a lo largo del desarrollo de la curva.

Otro aspecto geométrico clave a considerar en la vía es la relacionada con la Visibilidad. Existen dos distancias de visibilidad que debemos tener en cuenta. La distancia requerida para frenar un automóvil y la distancia necesaria para que un vehículo supere a otro que se desplaza a menor velocidad en la misma dirección.

Las directrices peruanas nos proporcionan principios para ambas distancias, las cuales también dependen de la velocidad directriz. Proporciona las medidas de Parada y Sobrepaso.

Velocidad Directriz = 50 km/h.

Distancia de Parada 60 m.

Distancia de Sobrepaso 260 m.

Según las Normas Peruanas, es necesario garantizar la distancia de visibilidad para adelantamientos en al menos la mitad de un tramo de 10 km. Dadas las particularidades del terreno de la carretera, que cuenta con 382 curvas, se necesitan realizar cortes en los taludes de gran altura y estabilizados para mejorar la visibilidad. Estos cortes representarían un costo adicional considerable si se sigue la normativa vigente. Por tanto, resulta imposible desde el punto de vista técnico y económico corregir esta característica. Se está considerando una solución alternativa para proteger a los conductores en las curvas horizontales críticas con radios menores al mínimo establecido, mediante la instalación de señalización. Para el diseño geométrico se han considerado los accesos de las vías y calles confluyen a la carretera, tanto para poblaciones como para otros servicios, para las principales de longitud variable y para los secundarios de 8.00 m a partir del extremo de la carretera ambos con un ancho variable. Para el mejoramiento de la carretera sus características técnicas serán las que se indican a continuación:

Tabla 3*Características técnicas*

Características Técnicas	
Inicio	0 +000
Final	56 + 013,14
Longitud real	56,013,14
Velocidad directriz	40 km/hr
Ancho de rodadura	6,00 m
Bermas	0.75 m
Radio mínimo normal	60 m
Radio mínimo excepcional	45 m
Número de curvas horizontales	382
Accesos proyectados	66
Zonas de estacionamiento y plazoletas	62
Pendiente máxima	7 %
Cunetas tipo C1 (triangulares)	0.35 m x 0.80 m
Cunetas tipo C3 (triangulares)	0.20 m x 0.40 m

4.3. Problemas particulares**4.3.1 Ancho de la vía**

El problema que se presenta en este tramo con relación al ancho de la vía, es básicamente la carencia o sub-dimensionamiento de bermas en algunos sectores del km 42+000 al 56+000 en la bajada pronunciada a Tarma y debido a que se tienen taludes muy altos y ya estabilizados no es técnica ni económicamente factible su mejoramiento, por lo que en el proyecto se mantienen como están.

4.3.2 Cruces en zonas urbanas

En este tramo se presenta el cruce por 6 poblados en algunos se presentan problemas, como se indica en el siguiente cuadro.

Tabla 4*Problemas en poblados y posibles soluciones*

Poblado	Situación	Solución
Pachascucho	No hay problema con el paso	de la carretera
Acolla	La carretera se angosta a lo largo de 5 km	Se generó un desvío por la Av. Huáscar, la estructura de la carretera será hacia debajo del nivel actual del terreno, en cajón.
Yanamarca	No hay problema, existe suficiente ancho	
Tingo Paccha	La carretera se angosta afectando varias propiedades	Se está analizando la expropiación parcial de las propiedades, la estructura de la carretera será hacia debajo del nivel del terreno, en cajón.
Huaricolca	La carretera se angosta afectando varias propiedades	Se está analizando la explotación parcial de las propiedades, la estructura de la carretera será hacia debajo del nivel actual del terreno, en cajón.
Tarmatambo	La carretera pasa en el límite de ancho reglamentario	La estructura de la carretera será hacia debajo del nivel actual del terreno, en cajón.

4.3.3 Curvas con radio menor al reglamentario

En el tramo se presenta 37 curvas con radios menores a lo especificado en las Normas Peruanas para el Diseño de Carreteras, los cuales no se pueden mejorar por estar encajonados, sin embargo, se está protegiendo al usuario con seguridad vial.

4.4. Descripción geológica del tramo**4.4.1 Morfología**

La ruta de la carretera Jauja-Tarma se encuentra, en su primera parte, en la unidad geomorfológica denominada “Depresión de Jauja”, y la segunda parte en la ruta de la carretera

Jauja-Tarma se encuentra emplazada en una franja de colinas pertenecientes a la Cordillera Oriental.

4.4.2 Unidades geo-morfológicas

a) Depresión de Jauja

Esta depresión es de forma alargada, su altura varía entre 3,160 y 3,380 m.s.n.m. El fondo de la cuenca está relleno por potentes depósitos Cuaternarios. Dentro de esta unidad, merece destacarse la “Depresión de Acolla” que tiene por nivel de base la Laguna de Tragadero (3,480 m.s.n.m.)

b) Cordillera Oriental

Esta unidad en la zona de estudio, se caracteriza por una sucesión de cerros de topografía ondulada, alineados según rumbo NW-SE, cuyas cumbres alcanzan altitudes del orden de los 4,500 m.s.n.m. En esta zona la superficie ha sido destruida en gran parte por la erosión de los glaciares y torrentes, notándose valles en formas de “U”. Las microformas del relieve en las unidades litológicas calcáreas que afloran en esta parte, están representadas por depresiones calcáreas tipo dolina; ejemplos de estas microformas se observan en las progresivas Km. 32+680 y Km. 34+100.

4.4.3 Estratigrafía y rasgos estructurales

4.4.3.1 Estratigrafía. Dentro del ámbito del proyecto se han identificado diversas unidades litoestratigráficas cuyas edades van desde el Triásico-Jurásico, representado por las calizas del Grupo Pucará, hasta el Cuaternario representado por los depósitos glaciales, coluviales, aluviales, fluvio-glaciares y lagunares.

A continuación, se describe cada una de estas unidades:

a) Triásico - Grupo Pucará (Ji-p)

Se presenta como afloramientos alargados en rumbo NW-SE y es de extensión regional. Están constituidos principalmente por calizas con horizontes de areniscas calcáreas. Este grupo

se le ha subdividido en tres Formaciones (Chambará, Aramachay y Condorsinda). Las Formaciones que están en contacto con la carretera son las Formación Condorsinga y la Formación Chambará. Hacia el tope del Grupo Pucará yace concordante el Grupo Goyllarisquiga.

Educación recibida El Chambará está formado por una mezcla de areniscas, limolitas y lutitas, con capas intercaladas de calizas arenosas y Chert. Surge en el extremo septentrional del tramo cercano a la urbe de Tarma en el área de Huaricola, manifestándose con pliegues suaves que generan las elevaciones del terreno.

b) Formación Condorsinga.

Esta Formación consiste en calizas con intercalaciones de margas, aquí se han depositado los sedimentos pertenecientes a los depósitos glaciares del Holoceno (Q-g2), terrazas y depósitos fluvio-glaciares (Q-12).

c) Cretáceo

Grupo Goyllarisquiza que está constituida por una sucesión de areniscas con intercalaciones de lutitas. Tiene una presencia aislada y puntual sobre la margen izquierda de la carretera de Jauja a Tarma a la altura de la localidad de Illayrumi.

4.4.3.2. Depósitos cuaternarios:

a) Depósitos glaciares (Q-g)

Están representados por materiales morrénicos, constituidos por una mezcla de fragmentos angulosos a sub-angulosos de 1 a 5 pulgadas de diámetro, englobados en matriz areno-limosa que dan en conjunto una coloración marrón rojiza. En el extremo norte de la carretera, se extienden a lo largo de los pliegues, rellenando las zonas más bajas del terreno.

b) Depósitos fluvio-glaciares (Q-fg)

La carretera se encuentra construida sobre una porción de las terrazas de los depósitos fluvio-glaciares que albergan la laguna Tragadero, en las inmediaciones del pueblo de Acolla.

Estos sedimentos se encuentran al NW de Jauja y están representados por depósitos conglomeráticos constituidos por cantos y gravas heterométricas redondeados o sub-redondeados en matriz arenosa y arcillosa.

c) Depósitos Coluviales (Q-co)

Son acumulación de fragmentos rocosos englobados en matriz areno-limosa a limo-arcillosa, que se depositan en las laderas de los cerros; estos materiales provienen de la desintegración de las rocas por procesos de meteorización e intemperismo, y el agua. Estos depósitos se presentan cubriendo las laderas de los afloramientos rocosos.

d) Depósitos Lacustres

En la región de Jauja y en ciertas elevaciones, se encuentra esta sucesión de lagos compuesta por arcillas de tonos marrones a rojizos, seguidas de conglomerados con una base de arcilla de color rojo.

e) Rasgos estructurales

Los rasgos estructurales dentro del ámbito regional donde se desarrolla el proyecto, está representado por una serie de estructuras de plegamiento anticlinales y sinclinales de orientación general NW-SE, que afectan las unidades calcáreas Jurasicas del Grupo Pucará; los ejes de estas estructuras en algunos casos, están cortados por fallas transversales. No se han encontrado señales de actividad geotectónica que puedan afectar la estabilidad de la carretera.

En el entorno cercano, se pueden hallar los afloramientos de roca caliza del Grupo Pucará que están estrechamente ligados a la ubicación de la carretera. Por lo general, estos afloramientos se descubren a través de fracturas y, en ocasiones, muestran formaciones cárnicas como dolinas. En la zona de la carretera donde se encuentra el Grupo Goyllarisquiza como una isla, se observan fallas que se extienden en dirección regional y otras que cruzan la vía en diferentes direcciones. En términos generales, la carretera se ve impactada por defectos y pliegues.

4.4.3.3 Geodinámica externa:

a) Descripción de los fenómenos de geodinámica externa

Los fenómenos de Geodinámica Externa que ocurren en el Tramo están clasificados como: Erosión Fluvial, Inundación y Aniego,

b) Erosión fluvial

Los procesos geodinámicos erosivos que actúan sobre el talud de la carretera ocurren en los sinuosos meandros cercanos, provocando la excavación de la parte inferior. Las inundaciones ocurren debido a las crecientes del río que tienen lugar cada año, durante los periodos de lluvia que van de diciembre a marzo.

Estas inundaciones se producen generalmente cuando las terrazas no son lo suficientemente altas para proteger los desbordes.

Los elementos del clima juegan un papel crucial en el desgaste del terreno a lo largo de la carretera debido a la acción del río. Por ello, se considerarán los caudales máximos para un periodo específico y las lluvias más intensas en un día. Estos datos serán clave para determinar las medidas de protección necesarias contra la erosión del lecho del río y para calcular la profundidad requerida en la cimentación. La información detallada, el tratamiento hidrológico y los valores obtenidos se pueden consultar en el capítulo correspondiente.

Se han identificado, principalmente, cuatro sectores de este fenómeno.

- Km. 13+475 – 13+510 y Km. 13+860 – 13+910

Las dos secciones corresponden al lado cóncavo del cauce del río Huaripachacán. La geología está compuesta por el depósito fluvio-aluvional y lacustre, que es una característica semi-permeable, blanda y frágil. El desborde ocurre casi todos los años, durante Enero – Marzo, fluyendo hacia Acolla por la carretera y provocando inundaciones y aniegos a lo largo de esta.

- Km. 14+720 – 15+030

El desborde ocurre en la misma forma que en las progresivas anteriores por erosión de la ribera fluvial. Sin embargo, la vía está localizada más alta con respecto al pelo de agua del río.

- Km. 15+230 – 15+810

El río Huaripachacán fluye en el valle angosto, con su lecho de mayor gradiente, por lo que la corriente es más rápida y potente. La erosión fluvial se encuentra en la margen opuesta de la carretera. La carretera está ubicada aproximadamente 3 m arriba del pelo de agua.

- Km. 16+130 – 17+445, Km. 17+725 – 17+745, Km. 17+800 – 17+820, Km. 17+845 – 17+865.

La vía recorre por la margen derecha del río Huaripachacán y se localiza a veces próxima al cauce; según la encuesta realizada a los lugareños, la erosión fluvial se produce en forma parcial, pero su magnitud es de menor escala. Existen varios bloques de caliza en el cauce que hacen disminuir la velocidad de la corriente.

Las inundaciones ocurren por los desbordes del río Huaripachacán durante las crecientes. Las riberas son susceptibles a sufrir erosión severa.

c) Inundación y aniego

Los fenómenos de inundación ocurren por las fuertes precipitaciones pluviales que reciben las áreas de topografía plana, tapizando los suelos lacustres (arcillas, limos), como es el caso del sector comprendido entre Acolla y Yanamarca, donde las aguas de lluvia generan aniegos por el deficiente drenaje propio de la zona. Las inundaciones también se originan por los desbordes que ocasionan el río Huaripachacán durante las crecientes, en zonas de riberas susceptibles a sufrir erosión severa.

- Km. 5+600 – 14+510

Este fenómeno se encuentra principalmente en el valle de Acolla, donde se extiende la topografía plana constituida por material impermeable o semi-impermeable de origen lacustre y aluvial. Existe una red de drenaje deficiente en esta área, especialmente el sector de Yanamarca, lo que causa aniegos. El agua desborda del río Huaripachacán tiene una relación estrecha con este fenómeno.

- Km. 40+700 – 41+900

La vía se localiza por el cauce del riachuelo de la Quebrada Huaricolca. Sin embargo, existen los terrenos cultivados a lo largo de este cauce, lo que significa que el daño por inundación será mínimo.

4.4.3.4 Descripción de los fenómenos de inestabilidad de taludes. Los fenómenos principales que causan inestabilidad de taludes son: Erosión hídrica, Derrumbes y Dolinas

a) Erosión hídrica

El fenómeno corresponde a la erosión hídrica en ambos taludes bajos de la carretera, en una colina, produciendo un colapso en sentido vertical. Existen varios pilares erosionados y disectados. Las causas de este fenómeno son: acción pluvial, filtración de agua de las zanjas y de aguas subterráneas en los taludes compuestos por suelos arcillosos y limosos, de origen lacustre y aluvial, produciendo surcos profundos que están dando inestabilidad a los taludes. Existen principalmente tres quebradas reticulares en las progresivas Km. 18+730 – Km. 18+780, Km. 18+800 – 18+840 y Km. 18+850 – 18+880, entre 20 y 50 m de longitud y aproximadamente 25 m de profundidad.

Las cabeceras de la quebrada colindan con las bermas. Se trató de mantener la estabilidad de los taludes mediante la construcción de una obra artesanal de protección, como es el muro de rocas. La propiedad del material presenta fina y desmoronable.

Se encuentran ojos de agua en la pared. Existe infiltración de agua que mantiene alto nivel freático. La fuente de esto es de aguas subterráneas alimentadas por canal de irrigación.

La erosión y derrumbe avanzan progresivamente por lo que se requiere tomar las medidas correspondientes a la brevedad posible.

b) Derrumbes

Los derrumbes en este tramo se localizan en la progresiva Km. 16+550 – 16+660, por la margen derecha del río Huaripachacán, correspondiendo a derrumbe provocado por la explotación de material de préstamo para mantenimiento de la presente carretera.

El afloramiento está constituido por rocas calcáreas meteorizadas y fracturadas y de depósitos coluviales. Sus dimensiones son: 25 m de altura y 110 m de longitud. Existe un espacio plano de casi 12 m de ancho, frente a la carretera, por lo que los materiales caídos no alcanzan hasta la vía.

c) Dolinas

En el sector más de este tramo se localiza una morfología cárstica de la Formación Pucará. Existen dos dolinas por ambos márgenes de la carretera, en las progresivas Km. 33+680 y Km. 34+100, de forma redondeada en forma de embudo con 17 m y 4 m de profundidad, respectivamente. Este fenómeno de embudo con 17 m y 4 m de profundidad, respectivamente.

Este fenómeno se ha formado por disolución de las rocas calcáreas o por la caída de los techos de los conductos cársticos subterráneos. No se encuentran cauces que fluyan hacia estas depresiones; aparentemente los taludes de dolinas son estables y menos peligrosos. Existen sólo pequeños deslizamientos de capa superficial. No se han detectado grietas y cárcavas en la pared.

4.4.3.5. Niveles de riesgo de los fenómenos geodinámicos:

a) Geo-dinámica externa

En base a la encuesta realizada entre los lugareños, el registro de desastres ocurridos y la experiencia profesional obtenida, hemos clasificado los niveles de riesgo en “A” y “B”. “A”, Un inconveniente serio que provoca la paralización del flujo vehicular y el desgaste de la

carretera. La letra "B" representa un inconveniente de nivel medio que podría resultar en la limitación del tráfico.

Por la frecuencia con que ocurren estos fenómenos y los daños producidos, la erosión fluvial se puede clasificar como nivel de riesgo "A" en las progresivas Km. 13+475 – 13+510 y Km. 13+860 – 13+910, en la margen izquierda del río Huaripachacán, donde se desborda el cauce en el momento de avenida y Km. 17+725 – 17+745, Km 17+800 – 17+820 y Km. 17+845 – 17+865 en la margen derecha. Los demás sectores han sido clasificados como de nivel "B", debido a la menor frecuencia de ocurrencia y poca gravedad de los siniestros.

b) Taludes inestables

Los taludes naturales y de corte muestran sus inestabilidades mayores o menores durante el transcurso del tiempo. Existen principalmente dos causas que dan inestabilidad de los taludes: causas directas y causas indirectas.

Las causas directas están relacionadas con la condición original del terreno o sea factores Geológicos y de sus propiedades litológicas y de suelos, estructuras geológicas y comportamiento de aguas subterráneas.

Las propiedades litológicas y de suelos son; dureza del terreno, resistencia contra meteorización, densidad de fracturas y/o diaclasas, facilidad de erosión, etc. Las estructuras Geológicas son: formación de estratos geológicos, buzamiento de estratos y fracturas, característica de fallas, etc. Los comportamientos de agua subterráneas son: volumen de agua contenida, fluctuación del nivel freático, presencia de material y agua en fisuras, etc.

Los motivos secundarios incluyen la intervención humana, la lluvia y los terremotos. Los elementos humanos incluyen un diseño inapropiado, una ejecución inadecuada y una operación/mantenimiento deficiente. Las precipitaciones se refieren a intensas lluvias que persisten durante un largo periodo de tiempo y/o al deshielo. Los terremotos provocan un

incremento en los deslizamientos debido a la fuerza que se genera en el interior de la tierra. En el estudio se ha tratado principalmente las causas directas.

c) Metodología

Con el propósito de lograr esta meta, se han detectado en primer lugar los taludes que podrían estar en riesgo de colapsar, utilizando la información disponible, imágenes aéreas, entre otros recursos. Después, se ha realizado la observación en el terreno siguiendo las pautas establecidas por el grupo de expertos consultores. Se ha tomado en cuenta al mismo tiempo una puntuación para evaluar el Equilibrio actual, la Evolución, la Topografía, la Cantidad de material inestable y los Daños materiales.

La condición presente se considera un elemento de equilibrio de grandes cantidades de roca, categorizándose de manera cualitativa como estable, intermedio o crítico. Los taludes pueden experimentar un desarrollo continuo o permanecer estáticos. La información topográfica se determina a partir de la inclinación de los taludes, los cuales se dividen en suaves (menos de 10°), moderados ($10 - 30^\circ$) y pronunciados (más de 30°).

Se ha estimado la cantidad de material desplazado en metros cúbicos dividiéndola en intervalos más pequeños de 10, que van desde menos de 10 hasta más de 1000 m³. Los perjuicios físicos se clasifican en leve, moderado y devastador. Teniendo en cuenta la importancia de esta puntuación y los elementos del terreno y la geología, se ha llevado a cabo una evaluación completa clasificando el nivel de riesgo en Crítico, Intermedio y Leve. Cada grado de peligro puede ser entendido de la siguiente manera:

Crítico: Gran inconveniente que provoca la congestión del tráfico y el desgaste de la carretera. La apreciación de los puntos es de 12 o más.

Nivel intermedio: Dificultad moderada que provoca la limitación del paso de vehículos. La apreciación de las puntuaciones oscila entre 9 y 11.

Debido a un inconveniente leve, se ha reducido la facilidad de desplazamiento y se ha generado una ligera limitación en el tráfico. La evaluación de las calificaciones es de 8 o menos.

d) Niveles de riesgo

En el tramo se han identificado 6 sectores de taludes inestables, en los cuales, tres de los sectores con el puntaje alto de valoración mayor de 12, cuya ubicación está en las progresivas Km. 18+729 – 18+780, Km. 18+800 – 18+840 y Km. 18+850 – 18+880. Se trata de un solo fenómeno por su misma característica.

- Km. 18+729 – 18+780, Km. 18+800 – 18+840, Km. 18+850 – 18+880.

Fuera de la evaluación de riesgo como crítico, se nota el estado problemático ya que la erosión está avanzando notoriamente hacia la vía, por ambos lados. Se requieren medidas urgentes desde el punto de vista de transitabilidad de vía.

e) Evaluación geológica de canteras

Las obras de rehabilitación de carretera y prevención de la Geodinámica Externa necesitarán de materiales de construcción como piedra chancada, afirmado, arena y bloques de roca, por lo que su extracción en lugares cercanos a la obra es un factor económico importante para dichas obras. Se han localizado algunas canteras con el fin de obtener agregado y rocas para carpeta asfáltica y concreto, base y sub-base.

Es fundamental que las arenas empleadas en la elaboración de morteros y concretos no superen el 2% de contenido de arcilla y se encuentren en un estado de pureza, debiendo ser cuidadosamente elegidas y libres de toda forma de impureza orgánica. Estos granos puros, formados por la descomposición de las rocas que se infiltran, se pueden hallar en el lecho del río Mantaro en la zona de la colina. Se buscará aprovechar las antiguas canteras de afirmado que ya han sido explotadas con el fin de prevenir la inestabilidad de los nuevos taludes. La información sobre la cantera disponible en el Tramo está detallada en la tabla que sigue.

Tabla 5*Canteras explotables en el tramo experimental km 21+000*

Cantera	Progresiva	Acceso (m)	Potencia (m3)	Rendimiento	Usos	Tratamiento
Yacus	0+000	2,530	180.500	0%	Sub-base	
					Base	Zarandeo
					Concreto	Chancado
					Asfalto	
Puchacocha (1)	2+000	50	83,200	98%	Relleno	
Puchacocha (2)	2+300	50	284,500	98%	Sub-base	
					Relleno	
Km. 31+500	31+500	50	280,000	98%	Relleno	
Km. 32+200	32+200	2,000	338,300	98%	Sub-base	
					Base	Zarandeo
					Concreto	Chancado
					Asfalto	

La cantera Yacus está localizada en la amplia playa de inundación del río Yacus. Los depósitos son del origen fluvio – aluvial constituidos por gravas, cantos redondeados hasta 20 cm de diámetro con la matriz limo-arcillosa. Su litología principal está representada por Andesitas (40%), Calizas (30%) y otras (30%). Se encuentran gravas meteorizadas hasta el 10% del volumen total. Por no estar lavados por la corriente de agua continua, los materiales contienen gran cantidad de lodos y desperdicios. Por tanto, se requiere lavado antes del uso.

Cantera Puchacocha (1) y (2) comprenden depósitos de terrazas antiguas de origen fluvio-glacial, constituidos en general por gravas redondeadas de pequeño tamaño (hasta 5 cm de diámetro) con matriz limosa hasta arenosa. Actualmente se extraen este material para el relleno de la carretera. A pesar que contienen buena cantidad de material fino se puede afirmar que estas canteras son aceptables para su explotación.

Cantera de material de relleno está localizada en las faldas izquierdas de la carretera en la progresiva Km. 31+500. La proporción de gravas y matriz es 30% vs 70%, respectivamente. El tamaño de caliza es menor de 10 cm de largo. La matriz es limo arcilloso del color marrón de característica cohesiva.

Cantera Km. 32+200 está ubicada aproximadamente 2 Km. Al NE de la carretera presentándose cerros ondulados formados por la disolución de rocas calcáreas.

Los afloramientos de rocas calcáreas presentan una topografía conformada con los planos de estratificaciones. Se presenta claramente planos de estratificación con leve buzamiento plegado (N60°W/45°SW) y fracturas perpendiculares al plano. Esta litología presenta alternación con las capas algo blandas, la porosidad, los huecos de disolución y superficies ásperas y resistente al golpe del martillo.

Geodinámica interna

La región comprendida entre Jauja y Tarma está influenciada por dos fuentes principales de temblores: la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana y los movimientos sísmicos en la superficie andina.

De acuerdo a los archivos históricos, se han registrado un total de nueve sucesos de gran magnitud en la región bajo análisis. En el área hay ocho mapas de isosistas disponibles, destacando los eventos más intensos causados por los terremotos de 1947 y 1969. Se determina que la información histórica es escasa, ya que los registros abarcan únicamente las ciudades principales de los siglos XVI al XIX, dejando la posibilidad de que se hayan producido terremotos significativos en áreas alejadas que no fueron documentados. Los datos registrados por instrumentos sísmicos señalan que la placa de Nazca se está hundiendo, lo que provoca que los terremotos se produzcan a mayor profundidad en dirección al continente.

Se aprecia una alta concentración de sismos frente a la costa y sismos superficiales continentales. Se ha realizado un estudio probabilístico de peligro sísmico para el tramo, presentando los siguientes resultados:

- La sismicidad histórica indica que el Tramo entre Jauja y Tarma se han producido intensidades de hasta VI grado en la escala Mercalli Modificada.

- La distribución espacial de los sismos instrumentales indica mayor actividad sísmica en la zona de subducción de la costa. En el continente también existen sismos superficiales producto de la sismicidad andina.

- El estudio probabilístico de peligro sísmico concluye que las aceleraciones máximas esperadas en roca para distintos períodos de retorno son los siguientes:

Tabla 6

Aceleraciones máximas para distintos periodos de retorno

Período de Retorno (años)	30	50	100	200	400	475	1000
A máx (%g)	0.14	0.17	0.20	0.24	0.28	0.30	0.36

Para el método pseudo-estático de diseño de taludes y muros de contención se recomienda un valor de 0.15 para el Coeficiente Lateral Sísmico en el Tramo.

4.5. Estudio de suelos

4.5.1 Metodología

Las actividades incluidas en la metodología fueron las siguientes:

- Recopilación de datos de investigaciones sobre la mecánica de suelos llevadas a cabo en esta región.
- Creación de un plan para llevar a cabo una expedición de campo.

- Se realizará la excavación de hoyos, los cuales tendrán una profundidad mínima de 1.5 metros o se detendrán al encontrarse con obstáculos como la presencia de agua subterránea, suelos compactados o capas de roca.
- Se realiza el registro de la disposición de capas en cada excavación.
- Realización de pruebas para medir la densidad y humedad del suelo en la capa inferior.
- Se realizará un muestreo exhaustivo de las diversas capas que conforman la base actual, con el fin de llevar a cabo pruebas de clasificación.
- Experimentos en laboratorio y análisis en escritorio para descubrir las propiedades fundamentales de los suelos.

4.5.2 Trabajos de campo

se llevaron a cabo la excavación manual de 225 hoyos de 1.50 metros de profundidad. Al analizar el perfil estratigráfico, se pudo notar que algunas de las excavaciones no alcanzaron la profundidad requerida; Km. 7+250, 9+250, 14+000, 14+250, 15+500, 15+750, 16+000, 17+000, 17+250, 19+500, 20+000, 20+250, 21+000, 22+500, 22+750, 23+000, 23+250, 24+000, 24+250, 24+500, 25+000, 27+000, 27+250, 27+500, 28+500, 28+750, 29+000, 31+500, 31+750, 32+500, 34+000, 34+500, 34+750, 36+500, 36+750, 37+000, 37+250, 40+000, 40+250, 42+000, 44+500, 46+500, 46+750, 47+500, 48+000, 48+500, 48+750, 49+000, 49+500, 49+750, 52+500, 52+750, 53+000, 53+250, 54+500, 54+750, debido a la presencia de roca o bolonería y debido a la napa freática que no fue posible continuar con la excavación debido a la Napa Freática (Km. 7+000, 7+500, 8+250, 9+000, 12+000, 12+250 y 26+000) y el resto por la presencia de botonería o roca.

Las prospecciones de campo se realizaron de la siguiente manera:

- Ejecución de 225 calicatas cada 250 m en forma alterna en bermas, adyacentes a la rasante existente.

- En todas las excavaciones se reconocieron las distintas capas del suelo y se recolectaron muestras alteradas que fueran representativas para realizar pruebas en el laboratorio y así descubrir las propiedades físicas del terreno.
- Se recolectaron un total de 592 muestras representativas alteradas de las excavaciones para realizar pruebas de clasificación, y se tomaron muestras a nivel del suelo para llevar a cabo pruebas CBR.
- Estás trabajando para darle más creatividad a textos en español. Además, se llevaron a cabo pruebas de Densidad de Campo (como de arena) en la subrasante cada kilómetro, con el propósito de calcular el grado de compactación y el C.B.R. para las condiciones existentes y comprender completamente el comportamiento estructural de la subrasante, algo que no se podría lograr solo midiendo la densidad en las calicatas intermedias.
- El perfil definitivo fue realizado con la información obtenida de los ensayos de laboratorio para las calicatas ejecutadas.

4.5.3 Ensayos de laboratorio

Con las muestras de suelo que se obtuvieron de las excavaciones se realizaron ensayos de laboratorio de mecánica de suelos, estándar y de compactación. Los ensayos estándar realizados fueron:

- Análisis Granulométrico por Tamizado: ASTM D-421
- Límite Líquido y Límite Plástico: ASTM DD-4318
- Contenido de Humedad: ASTM D-2216

Estos ensayos fueron necesarios para clasificar los suelos según el sistema SUCS (ASTM D-2487) y el sistema AASHTO.

Los ensayos de compactación, consistieron en:

- Proctor Modificado: ASTM D-1557

- Relación de Soporte de California (C.B.R.): ASTM D-1883

Cabe señalar que la determinación de C.B.R. se realizó después de inmersión en el agua a 96 horas, específicamente para los materiales finos y se redujo la cantidad de horas de inmersión cuando se trataron de materiales regulares no expansivos tal como lo recomienda la norma ASTM D1883.

4.5.4 Perfil estratigráfico

Los resultados de los ensayos de laboratorio, como granulometrías y límites de consistencia necesarios para la clasificación de los materiales, muestran concordancia con la naturaleza y origen de los suelos encontrados in-situ. En la base de los estudios realizados, se identificaron 8 zonas, según la clasificación de los suelos y porcentajes de C.B.R.

Progresiva 0+000 a 3+500, en esta zona de la subrasante están compuestos por grava arcillosa de mezcla mal grada de baja plasticidad (GC) y arcilla gravosa de baja plasticidad con humedad media (CL), en esta zona se obtienen valores de C.B.R. entre 5.7% y 67.5% para el 95% MDS, así mismo se han obtenido CBR de acuerdo a la densidad natural que se encuentra entre 2.7% y 24%.

Progresiva 3+500 a 15+000, en esta zona de la subrasante están compuestos por suelos finos de arenas limo-arcillosas mal gradadas de baja plasticidad (SM-SC) y arcillas gravosas de baja plasticidad (CL). Se obtienen valores de C.B.R. entre 3.2% y 28.0% para el 95% MDS. Existe en la progresiva del Km 4+000 un estrato de bolonería, así mismo se han obtenido CBR de acuerdo a la densidad natural que se encuentra entre 1.7% y 9.6%, se ha detectado nivel freático en las progresivas siguientes 7+250, 9+250 y 14+000 y 14+250.

Progresiva 15+000 a 17+500, en esta zona de la subrasante están compuestos por grava arcillosa de mezcla mal graduada de baja plasticidad con humedad media (gc). Se obtienen valores de C.B.R. entre 13.3% y 13.9% para el 95% MDS, así mismo se han obtenido CBR de

acuerdo a la densidad natural que se encuentra entre 7.7% y 8.5%. Existe bolonería dentro de las progresivas 15+500, 15+750, 16+000, 17+000 y 17+250.

Progresiva 17+500 a 28+500, en esta zona de la subrasante están compuestos por grava arcillosa de mezcla mal graduada de baja plasticidad (GC), arenas arcillosas mal gradadas de baja plasticidad (SC) con humedad media y arcilla gravosa de alta plasticidad (CL) con humedad alta. Se ha obtenido un valor de C.B.R. entre 0.8 y 17.2% para 95% MDS, así mismo se han obtenido CBR de acuerdo a la densidad natural que se encuentra entre 0.5% y 16.2%. Existe bolonería dentro de las progresivas 19+500, 20+000, 20+250, 21+000, 22+500, 22+750, 23+000, 23+250, 24+250, 24+500, 25+000, 27+000, 27+250, 27+500 y 28+500. Se ha detectado nivel freático en la progresiva 7+000, 7+500, 8+250, 9+000, 12+000, 12+250 y 26+000.

Progresiva 28+500 – 33+500, en esta zona de la subrasante, están compuestos por grava arcillosa mal graduada de baja plasticidad (SC) y suelos limosos con arenas finas de baja plasticidad (ml) con humedad media. Se han obtenido valores de C.B.R. entre 7.2% y 32.4% para 95% md, así mismo se han obtenido CBR de acuerdo a la densidad natural que se encuentra entre 3.2% y 12.4% existe bolonería dentro de las progresivas 31+500, 31+750 y 32+500.

Progresiva 33+500 a 44+000, en esta zona de la subrasante, están compuestos con finos limos-arcillosos de baja plasticidad(ml) y de alta humedad. Se han obtenido valores de C.B.R. entre 3.3% y 9.6 para 95% mds., así mismo se han obtenido CBR de acuerdo a la densidad natural que se encuentra entre 2.1% y 4.6% existe bolonería dentro de las progresivas 34+000, 34+500, 34+750, 36+500, 36+750, 37+000, 37+250, 40+000, 40+250 y 42+000.

Progresiva 44+000 a 49+500, en esta zona de la subrasante, están conformadas por gravas limo-arcillosas mal graduadas de baja plasticidad (gm-gc) y arcilla gravosa de plasticidad media (cl) con humedad alta. Se han obtenido valores de C.B.R. entre 3.3% y 45.0%

para 95% MDS, así mismo se han obtenido CBR de acuerdo con la densidad natural que se encuentra entre 2.0% y 16.2% existe bolonería dentro de las progresivas 44+500, 46+500, 46+750, 47+500, 48+000, 48+500, 48+750, 49+000 y 49+500.

Progresiva 49+500 a 56+000, en esta zona de la subrasante, están compuestas por gravas limo-arcillosas mal graduada de baja plasticidad (GM-GC), SP, CL, de acuerdo con el material muestreado. Se han obtenido diferentes valores de C.B.R. entre 6.2% y 35.9% para el 95% MDS, así mismo se han obtenido CBR de acuerdo a la densidad natural, que se encuentra entre 3.1% y 12.8% existe bolonería dentro de las progresivas 52+500, 52+750, 53+000, 53+250, 54+500 y 54+750.

4.5.5 Mejoramiento de subrasante

Existen sectores que tienen materiales con baja capacidad portante debido a los altos contenidos de humedad que necesitan de mejoramiento de subrasante, cuya relación es la siguiente:

Km 5+000 – Km 10+000;

Km 12.5+000 – Km 13.5+000;

Km 17.5+000 – Km 18.5+000;

Km 21.5+000 – Km 22.5+000;

Km 34.5+000 – Km 35.5+000;

Km 37.5+000 – Km 38.5+000;

4.5.6 Estudio de canteras y fuentes de agua

Se llevó a cabo un análisis de canteras y manantiales con el fin de encontrar y describir las propiedades físicas y mecánicas, la calidad, los usos, el tratamiento y la cantidad de los materiales disponibles para las labores de restauración de la carretera Jauja - Tarma (Tramo experimental).

La investigación de las fuentes de agua tenía como objetivo encontrar y confirmar la buena calidad de las aguas destinadas a ser utilizadas en las distintas construcciones de construcción de la estructura del pavimento en la fase de compactación de las plataformas del pavimento.

4.5.7 Metodología del estudio de canteras y fuentes de agua

Para el estudio de canteras comprendió las siguientes actividades:

- Exploración en terreno en la zona de impacto del proyecto para localizar los sitios que podrían ser potenciales proveedores de materiales.
- Diseño de un plan para investigar en terreno. Realización de excavaciones en forma de hoyos para analizar las propiedades y resistencia del suelo. Se llevan a cabo excavaciones con una profundidad media de 3.0m, distribuidas estratégicamente por toda la extensión de la cantera.
- En cada zanja que se excava, se lleva a cabo la documentación del perfil estratigráfico (siguiendo la normativa ASTM D-2487), detallando las características del material hallado: su clasificación técnica, la textura de los gránulos, tonalidades, proporción aproximada de piedras y presencia de sustancias orgánicas, nivel de humedad, y grado de plasticidad/compresibilidad. De cada excavación se extraen muestras perturbadas que son representativas y se envían al laboratorio para su evaluación.
- Experimentos de laboratorio se llevan a cabo con el propósito de descubrir las propiedades y aplicaciones de los materiales extraídos de canteras, como relleno, sub-base, base, asfalto y concreto de cemento Portland.
- Realización de un estudio topográfico con el fin de calcular la capacidad de extracción de la cantera.

El estudio de las fuentes de agua, consistió en las siguientes actividades:

- Localización de arroyos o ríos que fluyen de manera ininterrumpida a lo largo de todo el año, recolección de muestras y realización de análisis químicos en un laboratorio con el fin de evaluar su pureza.
- Labores en el terreno. Se llevaron a cabo labores que implicaron cavar calicatas de forma manual hasta alcanzar una profundidad de 2.5m, las cuales se distribuyeron según el tamaño de la cantera. En el campo se llevó a cabo una evaluación de los materiales, identificando el material de 2 pulgadas o menos; además, se determinó la cantidad de material de más de 2 pulgadas, así como el rango de tamaño entre 2 y 6 pulgadas, y el tamaño máximo del material presente en la cantera. Se llevó a cabo la categorización de trozos grandes a través de una cuidadosa selección manual de los elementos como piedras grandes, bordes y materiales menores de 2 pulgadas, logrando así una distribución numérica.

Se estableció la categorización de los elementos de tamaño inferior a 2 pulgadas mediante la evaluación de la distribución de tamaños en muestras representativas extraídas de cada excavación.

Ensayos de laboratorio

Con el objetivo de definir las particularidades, atributos y excelencia del material, junto con la función de cada cantera, se llevaron a cabo pruebas de categorización y excelencia en un laboratorio, siguiendo las directrices técnicas detalladas en el cuadro. Con ese propósito, se remitieron las muestras representativas al laboratorio con el fin de llevar a cabo los análisis necesarios.

Descripción de las canteras:

Cantera yacus

Ubicación

Se ubica en el Km 00+000, lado derecho del eje de la carretera, y corresponde a depósitos de materiales de arrastre del río Yacus, cercano al poblado de Jauja.

Accesibilidad

El acceso para la explotación es a través de una trocha carrozable de un acceso de 2.5 Km, lado derecho.

Evaluación de campo

Fue evaluada, de acuerdo a las calicatas efectuadas:

En el lado derecho, se llevó a cabo la evaluación de peso utilizando una muestra completa en cada excavación de 2.5 metros de profundidad, arrojando el siguiente resultado:

Diámetro máximo	4”.
Material para chancar 2” a 6”	4.1%
Agregado grueso de 2” a 3/8”	69.6%
Agregado de 3/8 a tamiz N° 200	26.0%

Ensayos de Laboratorio

Tras analizar en el laboratorio, se ha descubierto que el material común está compuesto por grava bien clasificada, de forma subredondeada a redondeada, de tonalidad gris beige. Además, contiene un 4.1% de piedras redondeadas de más de 2 pulgadas y con un tamaño máximo de 6 pulgadas, junto con un 31.5% de arena y un 1.8% de partículas finas no plásticas. No contiene ninguna impureza de origen orgánico.

El material menor de 2 pulgadas tiene la siguiente distribución granulométrica:

Grava	66.7%
Arena	31.5%

Pasante malla N° 200 1.8%

El material se clasifica como, una grava bien graduada (GW)

Potencia:

De acuerdo al estudio topográfico, la extensión de terreno disponible para la explotación es de 9.0 hectáreas.

En promedio, la capa aprovechable se sitúa a una profundidad de 2.0 metros. Así, la cantidad de material en la cantera sin procesar es la siguiente:

Volumen: $90,000 \text{ m}^2 \times 2.0 \text{ m} = 180,000 \text{ m}^3$.

Existiendo un total de $180,000 \text{ m}^3$.

Usos y Tratamientos

A partir de los experimentos realizados en el laboratorio, se ha determinado que la cantera Yacus es apta para ser empleada en variadas construcciones de pavimentación y concreto, por lo tanto, se sugiere aplicar el tratamiento siguiente.

Suba a bordo: agitación y fusión.

Mezcla de asfalto caliente: Desmenuzado, cribado y combinación

En concreto: Reducción, cribado y combinación.

Cantera Pochococha

Ubicación

Se encuentra en el punto kilométrico 2+120 del lado derecho y en el punto kilométrico 2+300 del lado izquierdo de la carretera, y se trata de acumulaciones de gravas con arcilla.

Accesibilidad

El acceso para la explotación es de un acceso de 50 m, para ambos lados derecho e izquierdo del eje de la vía.

Evaluación de campo

Se sometió a evaluación basada en las excavaciones realizadas.

Se llevó a cabo la evaluación de peso en el lado derecho y izquierdo, tomando en cuenta una muestra completa en cada excavación de 2.5 metros de profundidad, con el siguiente resultado obtenido:

Diámetro máximo: 4".

Material para chancar 2" a 6": 10%

Agregado grueso de 2" a 3/8": 51%

Agregado de 3/8 a tamiz N° 200: 38%

Ensayos de Laboratorio

Tras analizar en el laboratorio, se ha descubierto que el material común está compuesto por grava bien distribuida, de forma ligeramente redondeada a redondeada, de tonalidad grisácea, con un 10% de piedras redondeadas de más de 2 pulgadas y un tamaño máximo de 6 pulgadas, junto con un 28.7% de arena y un 4.6% de partículas finas no plásticas. No contiene elementos no deseados de origen orgánico.

El material menor de 2 pulgadas tiene la siguiente distribución granulométrica:

Grava: 66.7%

Arena: 28.7%

Pasante malla N° 200: 4.6%

El material se clasifica como, una grava bien graduada arcillosa (GW-GC)

Potencia:

El área de explotación según el levantamiento topográfico corresponde a 1.6 hectáreas. Lado derecho y 8.0 hectáreas a lado izquierdo. La profundidad del manto explotable se encuentra a 2.7 m en promedio. Por lo que el volumen de la cantera en banco es de:

Volumen L. Derecho: $32,000 \text{ m}^2 \times 2.5 \text{ m} = 80,000 \text{ m}^3$.

Volumen L. Izquierdo: $100,000 \text{ m}^2 \times 2.8 \text{ m} = 280,000 \text{ m}^3$.

Existiendo un total de 360,000 m³.

Usos y Tratamientos

De los ensayos de laboratorio se establece que la cantera Puchococha puede utilizarse para relleno y subbase.

Relleno: zarandeo

Subbase: lavado, zarandeo y mezclado.

Cantera Elsa

Ubicación

Se ubica en el Km 31+500, lado izquierdo del eje de la carretera.

Accesibilidad

El acceso para la explotación es a través de una trocha carrozable de un acceso de 500 m, lado izquierdo del eje de la vía.

Evaluación de campo

Se sometió a evaluación, según los estudios realizados en las excavaciones. La evaluación de peso se llevó a cabo tomando en cuenta una muestra completa en cada excavación de 2.5 metros, y se obtuvo el siguiente resultado:

Diámetro máximo 30cm.

Material para chancar 2" a 6": 16.7%

Agregado grueso de 2" a 3/8": 43.8%

Agregado de 3/8 a tamiz N° 200: 39.0%

Ensayos de Laboratorio

A través de los análisis de laboratorio, se ha logrado identificar que el material común está compuesto por grava bien clasificada, de forma subredondeada a redondeada, de tonalidad gris beige. Se observa que contiene un 16.7% de piedras redondeadas de más de 2 pulgadas y

con un tamaño máximo de 6 pulgadas, junto con un 43.8% de arena y un 25.9% de partículas finas no plásticas. No contiene ninguna impureza de origen orgánico.

El material menor de 2 pulgadas tiene la siguiente distribución granulométrica:

Grava 21.2%

Arena 52.9%

Pasante malla N° 200 25.9%

El material se clasifica como, una grava bien graduada (GW)

Potencia:

El área de explotación según el levantamiento topográfico corresponde:

Volumen : $80,000 \text{ m}^2 \times 3.0 \text{ m} = 240,000 \text{ m}^3$.

Existiendo un total de $240,000 \text{ m}^3$.

Usos y Tratamientos

De los ensayos de laboratorio se establece que la cantera Elsa puede utilizarse para relleno.

Relleno: zarandeo

Cantera Rocas

Ubicación

Se encuentra ubicada en zona rocosa compuesta por roca caliza, progresiva 32+200 lado derecho carretera Jauja - Tarma.

Accesibilidad

El acceso se realiza a través de una trocha carrozable a 2.0 Km. De longitud.

Evaluación

Fue evaluada extrayendo muestras de la parte superficial para ser triturado. No se realizó excavaciones por ser zona rocosa.

Ensayos de Laboratorio

De acuerdo a los ensayos de laboratorio, la cantera corresponde a una roca caliza dura de alta resistencia; superficialmente se encuentra intemperizada, lo cual significa que para la explotación se explotará la parte fresca y sana.

Explotación

Se efectuará en cualquier época del año, con explosivos, con la adecuada cantidad de explosivos que se permita obtener los fragmentos de rocas del tamaño deseado para el respectivo chancado.

Usos y Tratamientos

De los ensayos de laboratorio se establece que la cantera Rocas puede ser explotada para utilizar el agregado grueso en las siguientes obras de pavimentación y concreto, para lo cual se recomienda el respectivo tratamiento: Base granular, mezcla asfáltica en caliente y concreto: Trituración, zarandeado y mezclado con otra cantera que aporte el agregado fino.

Balance de materiales

De acuerdo al balance de materiales se establece que a los volúmenes existentes resultan ser mayores a los requeridos.

Disponibilidad de uso de las canteras

Canteras Yacus

Esta cantera se ubica en la jurisdicción de la Municipalidad de Jauja. Los representantes de este Consejo no encuentran inconvenientes para su explotación debido a que no se le da ningún uso y porque la obra resulta ser bien común para beneficio de todos; a cambio, proponen trabajo no calificado para sus pobladores.

Cantera Puchococha

Esta cantera se ubica en la jurisdicción de la Comunidad de Puchococha se denunciada y viene siendo explotada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC). Los

propietarios de esta área de terreno no encuentran inconvenientes para su explotación siempre y cuando se cobre una tarifa.

Cantera Rocas

La cantera Rocas se encuentra sin denunciación, no tiene propietario.

Lugares donde se puede obtener agua.

La principal meta al seleccionar las fuentes de agua ha sido analizar las propiedades químicas de las muestras recolectadas en los lugares señalados, con el propósito de emplearlas en las distintas construcciones de pavimento y hormigón.

Muestras analizadas

Se han examinado las siguientes muestras de agua. A continuación, se presentan los pormenores de los análisis químicos realizados en las muestras de agua.

Tabla 7

Resultados de análisis químicos de muestras de agua

Ubicación Km	PH	CL Ppm	SO4 Ppm	SSTp pm	Materia Orgánica %	Sólidos Suspensión Gr/lit
13+850	7.6	28.37	9.62	260	0.00005	0.010
17+500	7.5	21.28	9.60	265	0.00005	0.010
20+220	7.6	21.28	7.20	240	0.0002	0.020
51+100	7.6	28.37	95.0	400	0.0002	0.010
51+520	7.7	21.28	94.0	420	0.0001	0.020

Parámetros evaluados y valores límite

De acuerdo al objetivo del uso del agua, se han evaluado los siguientes parámetros:

<u>Parámetros</u>	<u>Valor Límite</u>
Cloruros	300 ppm (mg/L)
Sulfatos	300 ppm (mg/L)
Sales de Magnesio	150 ppm (mg/L)
Sales Solubles Totales	1500 ppm (mg/L)
PH	≥ 7
Sólidos en suspensión	1500 ppm (mg/L)
Materia Orgánica	10 ppm (mg/L)

4.5.8 Diseño de pavimento

Método AASHTO

Según las directrices de la American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) de 1993, se establece que un pavimento debe cumplir con un Número Estructural específico. Este número se determina considerando el flujo vehicular a lo largo de un periodo determinado (llamado período de diseño), la capacidad de carga del suelo que sustentará el pavimento y los estándares de calidad deseados para la vía, tanto al principio como al final de su ciclo de vida.

Además, es importante tener en cuenta ciertos valores estadísticos que actúan como elementos de protección para asegurar que la solución alcanzada cumple con un nivel específico de certeza.

Determinación del total de unidades necesarias para la estructura.

Al calcular el Número Estructural Total (SN) requerido para la estructura del pavimento, el método establece la siguiente fórmula:

$$\text{Log}(N_s) = Z_R \cdot S_o + 9.36 \log (SN+1) - 0.20 + \frac{G_t}{0.40 + \frac{1094}{(SN+1)^{5.19}}} + 2.32 \log M_R - 8.07 \quad (1)$$

donde, $G_t = \log (p_i - p_t)$
 $4.2 - 1.5$

Además:

N_{18} : Número Total de Ejes Equivalentes, para el período de diseño.

p_i : Serviciabilidad inicial.

p_t : Serviciabilidad final.

M_R : Módulo de Resiliencia de la subrasante.

F_R : Factor de Confiabilidad, donde $F_R = 10^{-Z_R \times S_o}$

S_o : Desviación Standard Total

Estructuración del pavimento

Para la estructuración de un pavimento, el método proporciona la siguiente expresión:

$$SN_T = a_1 D_1 + a_2 m_2 D_2 + a_3 m_3 D_3$$

Donde:

SN_T : Número Estructural Total requerido.

a_1, a_2, a_3 : Coeficientes estructurales de los materiales.

m_2, m_3 : Coeficiente de drenaje de materiales granulares.

D_1, D_2, D_3 : Espesores asumidos de las capas.

Una vez se haya alcanzado el Número Estructural Total (SNT) necesario para garantizar la integridad del pavimento, el proceso de dimensionamiento se simplifica a un ejercicio matemático. Los valores de a_1, a_2, a_3, m_2, m_3 son preestablecidos, mientras que D_1, D_2, D_3 son supuestos, de modo que al realizar las operaciones descritas en la fórmula (2), se debe mantener la igualdad.

Con el propósito de organizar el pavimento, se ha utilizado una planilla electrónica en Excel.

Tráfico de diseño

Según el análisis de circulación efectuado en el trayecto entre Jauja y Tarma, se determinó que el total de ejes equivalentes a 18 kips, tomando en cuenta el carril más concurrido de la vía y el tráfico sin regulación de cargas, es:

Del 2018 al 2027 (10 años): 1.63 millones de ejes

Del 2028 al 2037 (10-20 años): 2.40 millones de ejes

Del 2018 al 2037 (20 años): 4.03 millones de ejes

Soporte del suelo para diseño

Siguiendo las pautas de AASHTO, se utiliza el Módulo Elástico o Módulo Resiliente (MR) para evaluar la capacidad de carga del suelo.

Las ecuaciones de correlación utilizadas para determinar los valores de resistencia a la deformación del diseño se basan en los resultados de CBR obtenidos en pruebas de laboratorio.

Para suelos finos:

$$Mr = 1500 \times CBR \quad \text{para } CBR < 7.2\%$$

$$Mr = 3000 \times CBR^{0.65} \quad \text{para } CBR \text{ de } 7.2 \text{ a } 20\%$$

La guía AASTHO propone la primera ecuación, en contraste, la segunda ecuación fue creada en Sudáfrica. Se plantea la siguiente fórmula para terrenos compuestos por gránulos.

$$Mr = 4326 \times \ln CBR + 241$$

Figura 1

Diseño tentativo de pavimento (10 años). Km 0+000 – Km 47+500

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993 SECTOR 1 – Mr (CBR de laboratorio al 95% de la MDS) 10 AÑOS			
PROYECTO: Jauja – Tarma		SECTOR: Zona 2 – Tramo 3	
SECCIÓN : Km. 0+000 – Km. 47+500			
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)			
1. PROPIEDADES DE MATERIALES			
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)		30.00	
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE		15.00	
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL W 18		1.63E+06	
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		85%	
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)		- .037	
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)		0.45	
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (usando CBR)		12.90	
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.0	
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)		2.0	
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)		10	
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico (a1)		0.44	
Base granular (a2)		0.14	
Subbase (a3)		0.11	
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)		1.10	
Subbase (m3)		1.10	
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA):			
	SN REQUERIDO 2.87 2.10 0.62 0.15		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{TOTAL})			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN ₁)			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN ₂)			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S. BASE (SN ₃)			
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO CONVENCIONAL)			
	H(pulg)	H(cm)	ASUMIR
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	4.8	12.1	15
CAPA BASE (D ₂)	4.0	10.2	15
SUB-BASE (D ₃)	1.2	3.1	0
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)			
	H (cm)	SN	SN REQUERIDO
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	7.5	1.30	
CAPA BASE (D ₂)	15	0.91	
SUB-BASE (D ₃)	20	0.95	
	Total	3.16	2.87

Figura 2

Diseño tentativo de pavimento – Número estructural efectivo al año 10. Km 0+000 – Km 47+500

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993 SECTOR 1 – Mr (CBR de laboratorio al 95% de la MDS) NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO AL AÑO 10										
PROYECTO : Jauja – Tarma		SECTOR : Zona 2 – Tramo 3								
SECCION : km 0+000 – Km 47+500										
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)										
1. PROPIEDADES DE MATERIALES										
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)		30.00								
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE		15.00								
2. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO										
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA										
Concreto Asfáltico (a1)		0.44								
Base granular (a2)		0.14								
Súbase (a3)		0.11								
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA										
Base granular (m2)		1.10								
Súbase (m3)		1.10								
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)										
D. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE										
	<table style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="text-align: left;">H(cm)</th> <th style="text-align: left;">SN o</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.5</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.91</td> </tr> <tr> <td>20</td> <td>0.95</td> </tr> </tbody> </table>	H(cm)	SN o	7.5	1.30	15	0.91	20	0.95	
H(cm)	SN o									
7.5	1.30									
15	0.91									
20	0.95									
Carpeta de Rodadura										
Base										
Subbase										
3. VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO EXISTENTE										
A. NUMERO ESTRUCTURAL PAVIMENTO EXISTENTE (SN o)		3.16								
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		85%								
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)		-1.037								
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)		0.45								
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (USANDO CBR)		12.90								
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)		4.0								
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)		1.5								
F. EJES EQUIVALENTES AL TERMINO DE LA VIDA UTIL		3.66E+06								
G. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL DESDE LA CONSTRUCCIÓN (N p)		1.63E+06								
H. VIDA REMANENTE EN PORCENTAJE (Rt)		55.4								
I. FACTOR DE CONDICION cf		0.90								
NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (CF * SN o)		2.85								

Figura 3

Diseño tentativo de pavimento – 10 – 20 años. Km 0+000 – Km 47+500

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO MÉTODO AASTHO 1993 SECTOR 1 – Mr (CBR de laboratorio al 95% de la MDS) 10 – 20 AÑOS		
PROYECTO : Jauja – Tarma		SECTOR : Zona 2 – Tramo 3
SECCION : Km 0+000 – Km 47+500		
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)		
1. PROPIEDADES DE MATERIALES		
A. MÓDULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)		30.00
B. MÓDULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE		15.00
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE		
A. NÚMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL W 18		2.40E+06
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)		85%
STANDARD NORMAL DEVIATE (Z _r)		-1.037
OVERALL STANDARD DEVIATION (S _o)		0.45
C. MÓDULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (usando CBR)		12.90
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (p _i)		4.0
E. SERVICIABILIDAD FINAL (p _f)		2.0
F. PERÍODO DE DISEÑO (Años)		10 - 20
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO		
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA		
Concreto Asfáltico (a ₁)		0.44
Base granular (a ₂)		0.14
Subbase (a ₃)		0.11
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA		
Base granular (m ₂)		1.10
Subbase (m ₃)		1.10
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA):		
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{TOTAL})		3.06
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN ₁)		2.24
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN ₂)		0.65
NÚMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S. BASE (SN ₃)		0.17
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)		
	H (cm)	SN
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	7.5	1.30
CAPA BASE (D ₂)	15	0.91
SUB-BASE (D ₃)	20	0.95
NÚMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO	Total	3.16
	SN *	0.9
	H refuerzo (cm)	0.21
	ASUMIR (cm)	1.24
		5.00

Figura 4

Diseño tentativo de pavimento – 20 años. Km 0+000 – Km 47+500

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993 SECTOR 1 – Mr (CBR de laboratorio al 95% de la MDS) 20 AÑOS			
PROYECTO : Jauja – Tarma	SECTOR : Zona 2 – Tramo 3		
SECCION : Km 0+000 – Km 47+500			
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)			
1. PROPIEDADES DE MATERIALES			
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)	30.00		
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE	15.00		
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL W 18	4.03E+06		
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	85%		
STANDARD NORMAL DEVIATE (Z _r)	-1.037		
OVERALL STANDARD DEVIATION (S _o)	0.45		
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (usando CBR)	12.90		
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (p _i)	4.0		
E. SERVICIABILIDAD FINAL (p _f)	2.0		
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10		
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico(a ₁)	0.44		
Base granular(a ₂)	0.14		
Subbase (a ₃)	0.11		
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)	1.10		
Subbase (m ₃)	1.10		
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA):			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{TOTAL})	3.32		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN ₁)	2.44		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN ₂)	0.70		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S. BASE (SN ₃)	0.18		
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO CONVENCIONAL)			
	H(pulg)	H(cm)	ASUMIR
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	5.5	14.1	17.5
CAPA BASE (D ₂)	4.5	11.5	15
SUB-BASE (D ₃)	1.5	3.8	0
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)			
	H (cm)	SN	SN REQUERIDO
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	7.5	1.30	
CAPA BASE (D ₂)	20	1.21	
SUB-BASE (D ₃)	20	0.95	
Total		3.46	3.32

Figura 5

Diseño tentativo de pavimento – 10 años. Km 47+500 – Km 56+014

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993			
SECTOR 1 – Mr (CBR de laboratorio) 10 AÑOS			
PROYECTO : Jauja – Tarma	SECTOR : Zona 2 – Tramo 3		
SECCION : Km 47+500 – Km 56+014			
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)			
1. PROPIEDADES DE MATERIALES			
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)	30.00		
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE	15.00		
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE	1.63E+06		
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL W 18			
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	85%		
STANDARD NORMAL DEVIATE (Z _r)	- 1.037		
OVERALL STANDARD DEVIATION (S _o)	0.45		
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (usando CBR)	17.40		
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (p _i)	4.0		
E. SERVICIABILIDAD FINAL (p _f)	2.0		
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10		
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico (a ₁)	0.44		
Base granular (a ₂)	0.14		
Súbase (a ₃)	0.11		
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m ₂)	1.10		
Súbase (m ₃)	1.10		
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA):			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{TOTAL})	SN _{REQUERIDO} 2.57		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN ₁)	2.04		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN ₂)	0.61		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S. BASE (SN ₃)	-0.08		
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO CONVENCIONAL)			
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	H(pulg) 4.6	H(cm) 11.8	ASUMIR 15
CAPA BASE (D ₂)	4.0	10.1	15
SUB-BASE (D ₃)	-0.7	-1.7	0
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)			
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	H (cm) 7.5	SN 1.30	SN _{REQUERIDO}
CAPA BASE (D ₂)	15	0.91	
SUB-BASE (D ₃)	15	0.71	
Total		2.92	2.57

Figura 6

Diseño tentativo de pavimento (número estructural efectivo al año 10). Km 47+500 – Km 56+014

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993 SECTOR 2 – Mr (CBR de laboratorio) NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO AL AÑO 10									
PROYECTO : Jauja – Tarma	SECTOR : Zona 2 – Tramo 3								
SECCION : Km 47+500 – Km 56+014									
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)									
1. PROPIEDADES DE MATERIALES									
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)	30.00								
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE	15.00								
2. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO									
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA									
Concreto Asfáltico (a1)	0.44								
Base granular (a2)	0.14								
Súbase (a3)	0.11								
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA									
Base granular (m2)	1.10								
Súbase (m3)	1.10								
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi)									
D. ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO EXISTENTE									
	<table border="1"> <thead> <tr> <th>H(cm)</th> <th>SN o</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>7.5</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.91</td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>0.71</td> </tr> </tbody> </table>	H(cm)	SN o	7.5	1.30	15	0.91	15	0.71
H(cm)	SN o								
7.5	1.30								
15	0.91								
15	0.71								
Carpeta de Rodadura									
Base									
Subbase									
3. VIDA REMANENTE DEL PAVIMENTO EXISTENTE									
A. NUMERO ESTRUCTURAL PAVIMENTO EXISTENTE (SN o)	2.92								
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	85%								
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	-1.037								
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45								
C. MODULO DE RESILIENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (USANDO CBR)	17.40								
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.0								
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pt)	1.5								
F. EJES EQUIVALENTES AL TERMINO DE LA VIDA UTIL	4.26E+06								
G. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL DESDE LA CONSTRUCCIÓN (Np)	1.63E+06								
H. VIDA REMANENTE EN PORCENTAJE (Rt)	61.7								
I. FACTOR DE CONDICION cf	0.91								
NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO (CF * SN o)	2.66								

Figura 7

Diseño tentativo del pavimento (10 – 20 años). Km 47+500 – Km 56+014

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993 SECTOR 2 – Mr (CBR de laboratorio) 10 – 20 AÑOS			
PROYECTO : Jauja – Tarma	SECTOR : Zona 2 – Tramo 3		
SECCION : Km 47+500 – Km 56+014			
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)			
1. PROPIEDADES DE MATERIALES			
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)	30.00		
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE	15.00		
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL W 18	2.40E+06		
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	85%		
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	- 1.037		
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45		
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (usando CBR)	17.40		
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.0		
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)	2.0		
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10 - 20		
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico (a1)	0.44		
Base granular (a2)	0.14		
Súbase (a3)	0.11		
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)	1.10		
Súbase (m3)	1.10		
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA):			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{TOTAL})	2.74		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN ₁)	2.24		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN ₂)	0.65		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S. BASE (SN ₃)	-0.15		
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)			
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	H (cm)	SN	SN REQUERIDO
CAPA BASE (D ₂)	7.5	1.30	
SUB-BASE (D ₃)	15	0.91	
	15	0.71	
	Total	2.92	2.74
NUMERO ESTRUCTURAL EFECTIVO	SN *	0.91	2.66
	SN refuerzo		0.08
	H refuerzo (cm)		0.46
	ASUMIR (cm)		5.00

Figura 8

Diseño tentativo del pavimento (20 años). Km 47+500 – Km 56+014

DISEÑO TENTATIVO DEL PAVIMENTO METODO AASTHO 1993 SECTOR 2 – Mr (CBR de laboratorio) 20 AÑOS			
PROYECTO : Jauja – Tarma	SECTOR : Zona 2 – Tramo 3		
SECCION : Km 47+500 – Km 56+014			
DATOS DE ENTRADA (INPUT DATA)			
1. PROPIEDADES DE MATERIALES			
A. MODULO DE RESILENCIA DE LA BASE GRANULAR (KIP/IN ²)	30.00		
B. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUB-BASE	15.00		
2. DATOS DE TRAFICO Y PROPIEDADES DE LA SUBRASANTE			
A. NUMERO DE EJES EQUIVALENTES TOTAL W 18	4.03E+06		
B. FACTOR DE CONFIABILIDAD (R)	85%		
STANDARD NORMAL DEVIATE (Zr)	- 1.037		
OVERALL STANDARD DEVIATION (So)	0.45		
C. MODULO DE RESILENCIA DE LA SUBRASANTE (Mr, ksi) (usando CBR)	17.40		
D. SERVICIABILIDAD INICIAL (pi)	4.0		
E. SERVICIABILIDAD FINAL (pf)	2.0		
F. PERIODO DE DISEÑO (Años)	10		
3. ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO			
A. COEFICIENTES ESTRUCTURALES DE CAPA			
Concreto Asfáltico (a1)	0.44		
Base granular (a2)	0.14		
Súbase (a3)	0.11		
B. COEFICIENTES DE DRENAJE DE CAPA			
Base granular (m2)	1.10		
Súbase (m3)	1.10		
DATOS DE SALIDA (OUTPUT DATA):			
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO TOTAL (SN _{TOTAL})	SN REQUERIDO 2.98		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO C.A. (SN ₁)	2.44		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO BASE (SN ₂)	0.70		
NUMERO ESTRUCTURAL REQUERIDO S. BASE (SN ₃)	-0.16		
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO CONVENCIONAL)			
	H(pulg)	H(cm)	ASUMIR
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	5.5	14.1	17.5
CAPA BASE (D ₂)	4.5	11.5	15
SUB-BASE (D ₃)	-1.3	-3.4	0
ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO (AASHTO SIMPLIFICADO)			
	H (cm)	SN	SN REQUERIDO
CARPETA DE RODADURA (D ₁)	7.5	1.30	
CAPA BASE (D ₂)	15	0.91	
SUB-BASE (D ₃)	20	0.95	
	Total	3.16	2.98

4.6. Diseño de mezcla asfáltica modificada aplicando polímeros SBR

4.6.1 Diseño de la mezcla asfáltica modificada

El enfoque de creación de mezclas que se detalla a continuación es conocido como el método de diseño Marshall. Este método de prueba ha sido estandarizado por la ASTM bajo la designación D-1559. El procedimiento descrito sigue los principios fundamentales establecidos por la metodología elaborada por la ASTM.

El propósito de este enfoque de diseño es encontrar la cantidad ideal de asfalto, utilizando una mezcla de Agregados que satisfagan los estándares de tamaño y calidad especificados, a través de pruebas de estabilidad y resistencia al flujo plástico realizadas en briquetas moldeadas previamente, de acuerdo con un procedimiento normalizado.

Ya obtenido el óptimo contenido de asfalto se procederá a aplicar proporciones de Polímero SBR con respecto al peso de asfalto convencional para así modificarlo y mezclarlo para moldearlo en briquetas y aplicar las cargas según el Método Marshall y así conocer las mejoras en los resultados de estabilidad y resistencia de flujo de la mezcla.

4.6.2 Calidad de los materiales

a) Calidad del agregado

Los materiales adicionales empleados en esta investigación provienen de la cantera Yacus-Jauja, de la cual se extrajeron para la elaboración de la mezcla asfáltica. Estos materiales fueron sometidos a pruebas de calidad en el laboratorio de Apoyo Tecnológico del MTC.

Los Agregados cumplieron con las especificaciones actuales y con los requerimientos necesarios que solicitan una mezcla asfáltica para una Zona Andina.

b) Calidad del cemento asfáltico

El asfalto será de calidad PEN 120/150, proveniente de la Refinería La Pampilla, que forma parte del conglomerado Repsol.

La calidad del material asfáltico se verifica mediante técnicas de evaluación estándar que han sido estandarizadas, lo que permite asegurar la excelencia del aglutinante utilizado.

Por esta razón, el laboratorio de Apoyo Tecnológico del MTC cuenta con Materiales y Equipos de Ensayos que cumplen con las normativas vigentes, así como con las especificaciones peruanas actuales, para analizar la calidad de los Cementos Asfálticos Convencionales.

- Penetración ASTM D-5
- Ductibilidad ASTM D-113
- Viscosidad Cinemática ASTM D-2170
- Prueba de la Mancha ASTM T-102
- Punto de Inflamación ASTM D-92
- Punto de Ablandamiento o Anillo y Bola ASTM D-36
- Oxidación en Película ASTM D-1754
- Índice de Penetración RLB1-1964
- Adhesividad de los Ligantes Bituminosos a los áridos Finos, (Riedel Weber) Norma Francesa D.E.E. MA8-1938, Norma MTC 220-1999.

Los resultados del minucioso control de Calidad que se realizaron, se dan a continuación, ver los cuadros de resultados de laboratorio adjunto:

c) Calidad del cemento asfáltico modificado con polímero

El asfalto modificado será de grado de penetración PEN 120/150 y estará compuesto por polímero SBR tipo látex (Butonal NX 1129). La evaluación de la calidad del Asfalto Modificado se lleva a cabo utilizando técnicas de prueba convencionales y particulares que han sido estandarizadas, lo que permite asegurar la excelencia del componente modificador del material. Por esta razón, el laboratorio de Apoyo Tecnológico del MTC cuenta con Materiales y Equipos de Ensayos que cumplen con las normativas vigentes, así como con las especificaciones peruanas actuales, para analizar la calidad de los Cementos Asfálticos

Modificados. Además de las pruebas que se realizarán para evaluar los Cementos Asfálticos Convencionales, los Cementos Asfálticos Modificados con Polímeros se someterán a los siguientes análisis:

- Estabilidad al Almacenamiento: ASTM D-5892, MTC E319-1999
- Recuperación Elástica: ASTM D-6084

Los resultados del minucioso control de Calidad que se realizaron, se dan a continuación.

ENSAYO MARSHALL Aplicado al Asfalto Natural PEN 120-150 y Asfalto Modificado con Polímero SBR.

Cálculo de la Densidad Absoluta. Se utiliza para llevar a cabo un detallado análisis de las normas de densidad de vacíos. En AASHTO T166 se busca calcular el nivel de huecos presentes en la mezcla una vez compactada. Prueba de Firmeza y Movimiento.

El propósito del Ensayo de Estabilidad es evaluar la capacidad de la mezcla para resistir deformaciones. La fluencia evalúa la alteración que experimenta la mezcla cuando se somete a carga.

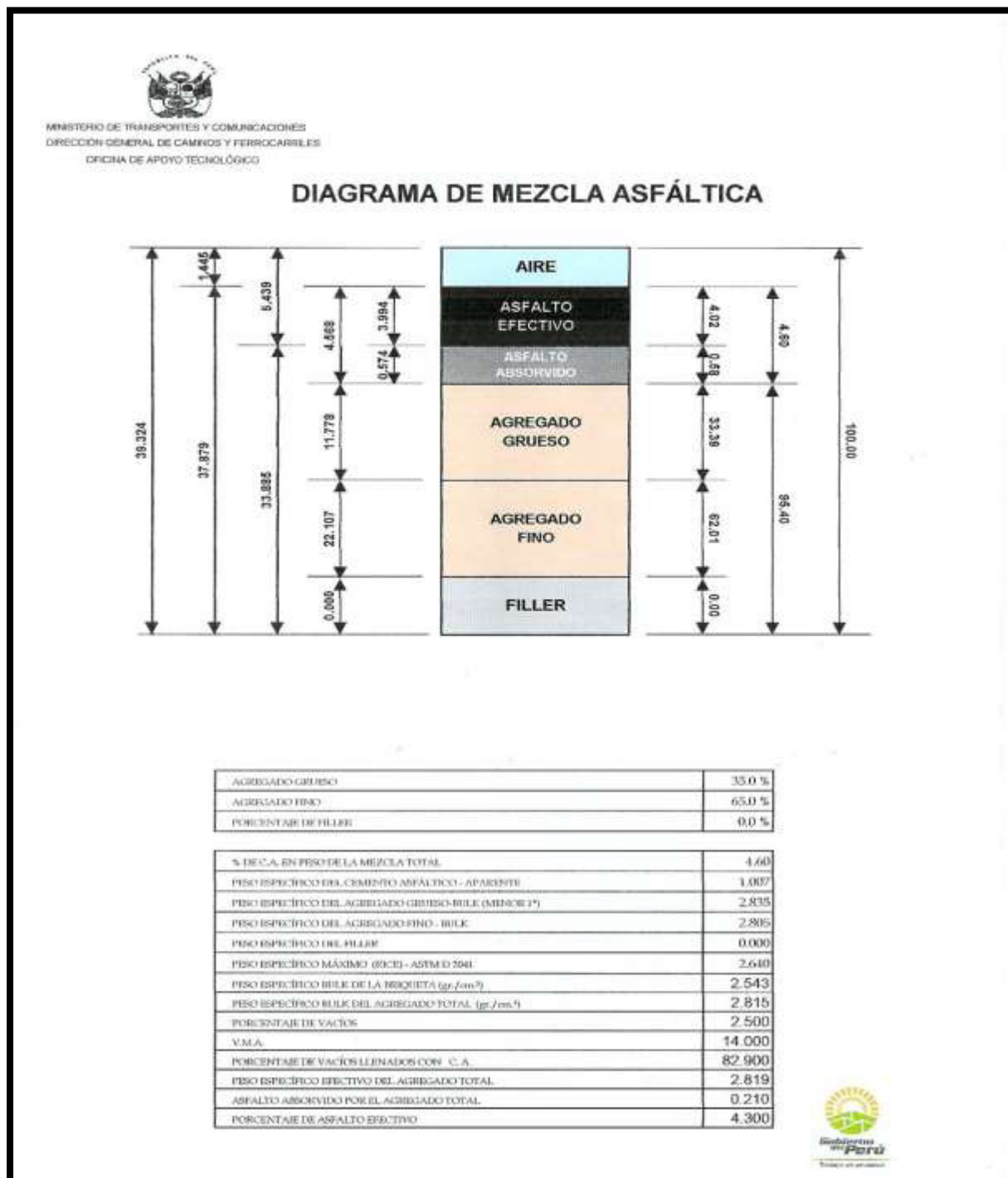
- Determinación de la Densidad Relativa del Arroz. Dentro de las mezclas asfálticas calientes según la norma AASHTO T209, su medida se utiliza para determinar los espacios vacíos.

Gráfico Marshall: Contenido de Asfalto

- Densidad (por unidad de peso)
- Estabilidad Marshall
- Flujo
- Porcentaje de Vacíos, VTM
- Porcentaje de Vacíos del Agregado mineral, VMA
- Porcentaje de Vacíos llenos de Asfalto, VFA

Figura 9

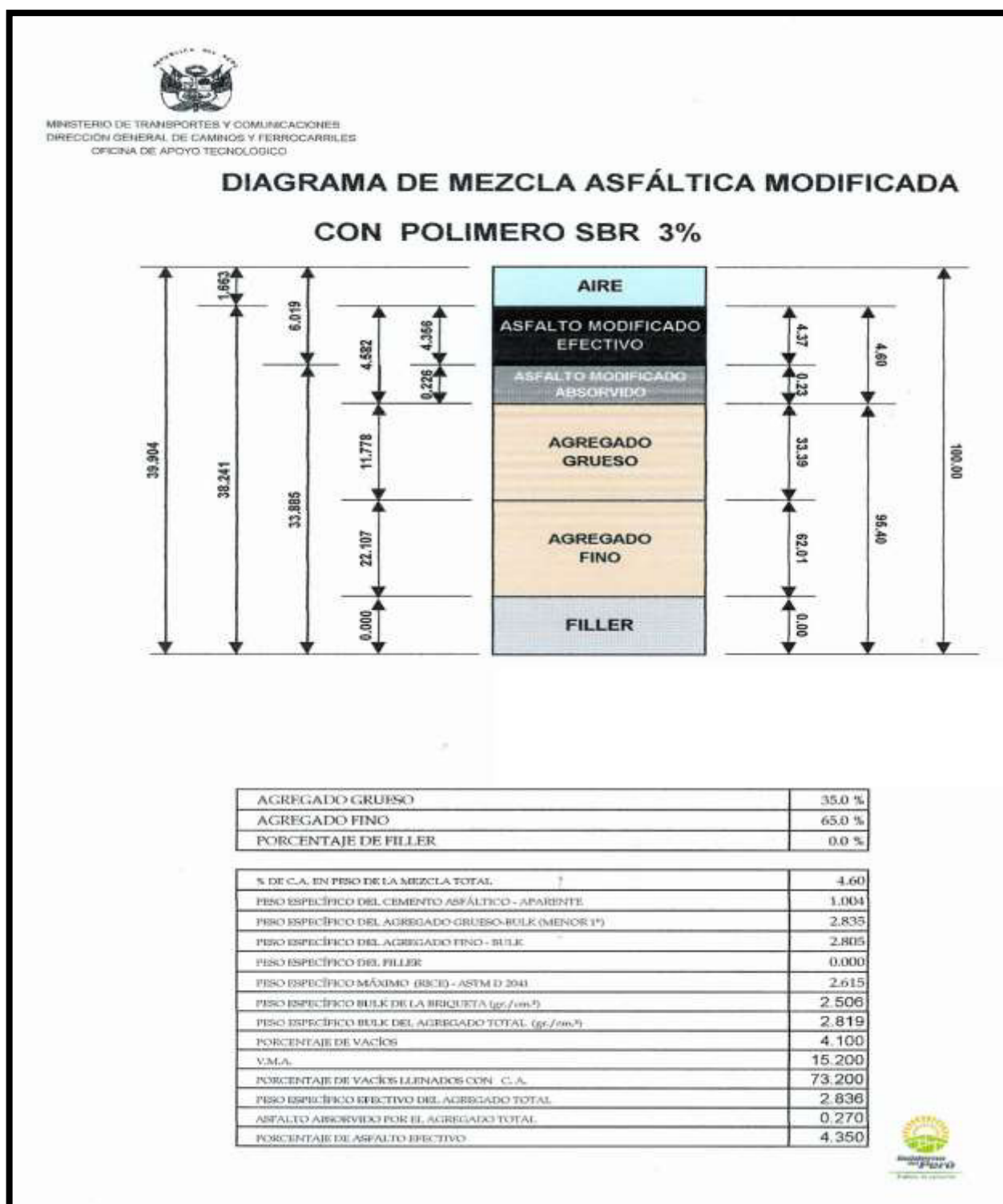
Diagrama de mezcla asfáltica



Fuente: MTC.

Figura 10

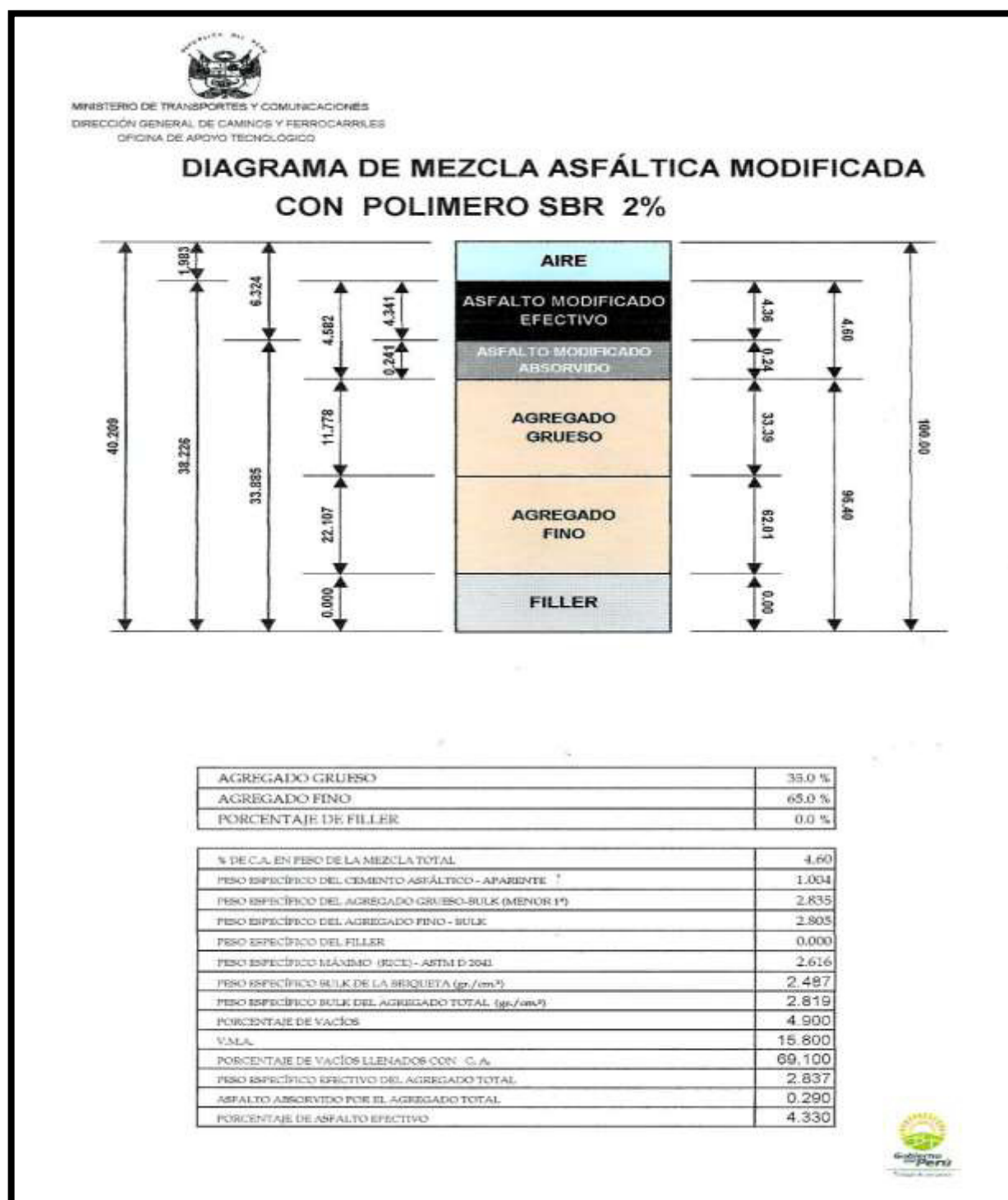
Diagrama de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3%



Fuente: MTC.

Figura 11

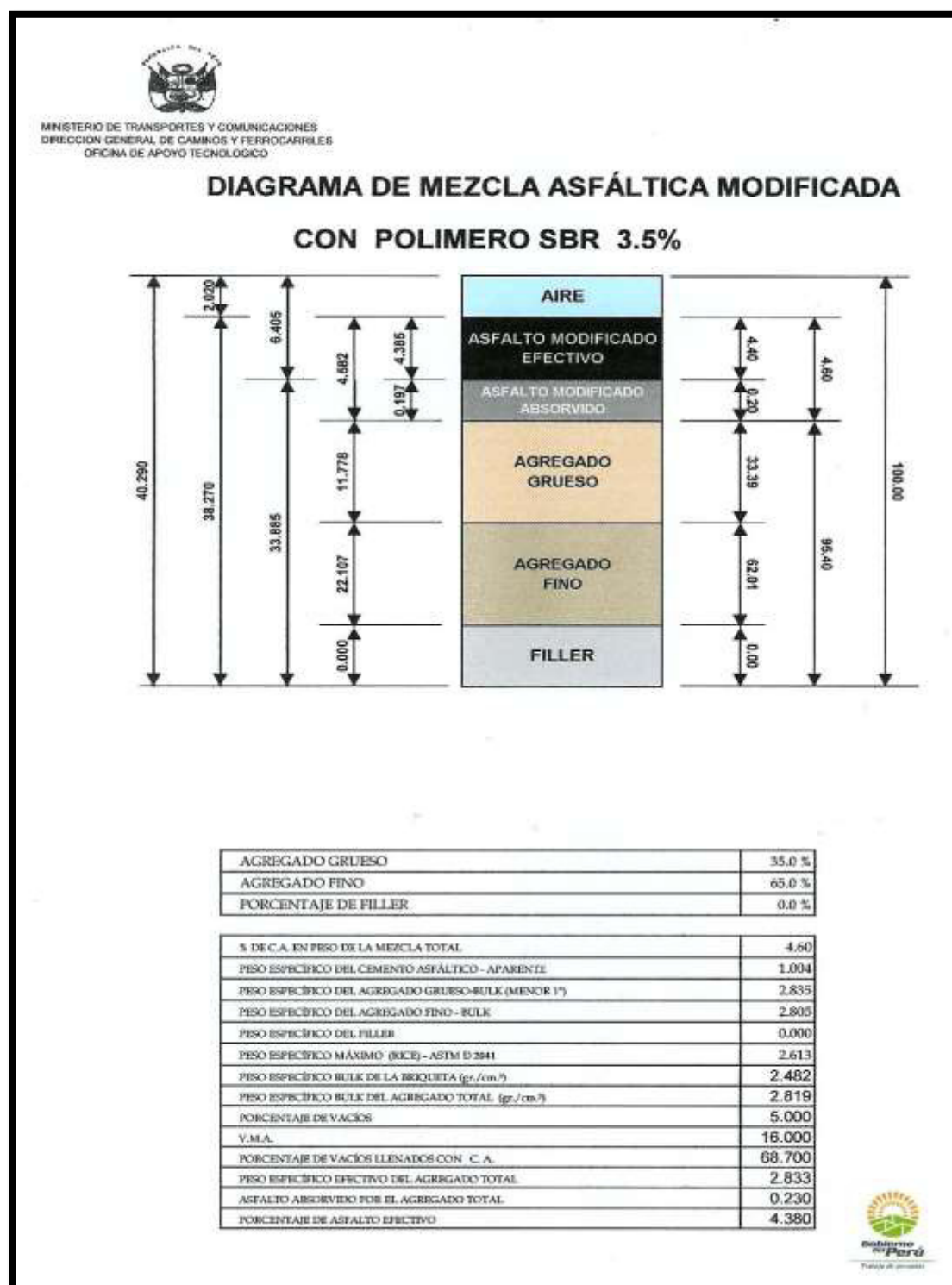
Diagrama de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 2%



Fuente: MTC.

Figura 12

Diagrama de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3.5 %



Fuente: MTC.

Figura 13

Resistencia al desgaste del agregado grueso por abrasión

TAMA MALLA	PESO DE LOS TAMAÑOS INDICADOS EN GRAMOS						
PASA RET	GRADO A-(12)	GRADO B-(11)	GRADO C-(8)	GRADO D-(6)	GRADO 1-(12)	GRADO 2-(12)	GRADO 3-(12)
3" - 2 ½"					2500 gr		
2 ½" 2"					2500 gr		
2" 1 ½"					2500 gr	5000 gr	
1 ½" 1"	1250 gr					5000 gr	5000 gr
1" ¾"	1250 gr						5000 gr
¾" ½"	1250 gr	2500 gr					
½" 3/8"	1250 gr	2500 gr					
3/8" N°3			2500 gr				
N°3 N°4			2500 gr				
N°4 N°8				5000 gr			

NOTA: LOS NUMEROS ENTRE PARENTESIS INDICAN LA CANTIDAD DE ESFERA

INDENTIFICACION :	YACUS				
POZO N°	02				
PROFUNDIDAD cm	70				
GRADUACION	"B" II				
PESO MAT/RET. EN LA N° 12 gr.	4205				
PESO MAT PASA MALLA N° 12 gr	795				
PORCENTAJE DESGASTE (%)	16				

NOTA : La interpretación de los resultados de ensayo son de exclusiva responsabilidad del usuario; salvo recomendaciones expresas adjuntas

CARACTERISTICA FISICAS DE AGREGADO GRUESO

Figura 14

Pesos parciales

PESOS PARCIALES						
N° DE MALLA	PIEDRA CHANCADA	ARENA NATURAL			MEZCLA RESULTANTE	1160.0 gr
RET. 3/4"	14.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	14.1 %	163.6 gr
	163.6 gr	0.0 gr	0.0 gr	0.0 gr		
RET. 1/2"	13.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	13.7 %	158.9 gr
	158.9 gr	0.0 gr	0.0 gr	0.0 gr		
RET. 3/8"	5.7 %	0.6 %	0.0 %	0.0 %	6.3 %	73.1 gr
	66.1 gr	7.0 gr	0.0 gr	0.0 gr		
RET. 1/4"	1.5 %	5.9 %	0.0 %	0.0 %	7.4 %	85.8 gr
	17.4 gr	68.4 gr	0.0 gr	0.0 gr		
RET. N°4	0.0 %	5.2 %	0.0 %	0.0 %	5.2 %	60.3 gr
	0.0 gr	60.3 gr	0.0 gr	0.0 gr		
PASA N°4	0.0 %	53.3 %	0.0 %	0.0 %	53.3 %	618.3 gr
	0.0 gr	618.3 gr	0.0 gr	0.0 gr		

PESOS ACUMULADOS						
N° DE MALLA	PIEDRA CHANCADA	ARENA NATURAL			MEZCLA RESULTANTE	1160.0 gr
RET. 3/4"	14.1 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	14.1 %	163.6 gr
	163.6 gr	163.6 gr	163.6 gr	163.6 gr		
RET. 1/2"	13.7 %	0.0 %	0.0 %	0.0 %	13.7 %	158.9 gr
	322.5 gr	322.5 gr	322.5 gr	322.5 gr		
RET. 3/8"	5.7 %	0.6 %	0.0 %	0.0 %	6.3 %	73.1 gr
	388.6 gr	395.6 gr	395.6 gr	395.6 gr		
RET. 1/4"	1.5 %	5.9 %	0.0 %	0.0 %	7.4 %	85.8 gr
	413.0 gr	481.4 gr	481.4 gr	481.4 gr		
RET. N°4	0.0 %	5.2 %	0.0 %	0.0 %	5.2 %	60.3 gr
	481.4 gr	541.7 gr	541.7 gr	541.7 gr		
PASA N°4	0.0 %	53.3 %	0.0 %	0.0 %	53.3 %	618.3 gr
	541.7 gr	1160.0 gr	1160.0 gr	1160.0 gr		





JOSE YGNACIO MELCHOR ARECHE
INGENIERO CIVIL
Reg. Del Colegio de Ingenieros N° 59767



Gobierno del Perú
Trabajo por la prosperidad

Fuente: MTC.

Figura 15*Ensayo de adherencia (arena).*

ENSAYO DE ADHERENCIA (ARENA)
RIEDEL WEBER MTC E-220-2000

IDENTIFICACIÓN (*) : Arena (material pasante malla N° 30 y retenido malla 70°),
 producto de la mezcla:

TIPO DE ASFALTO : PEN 120 – 150 S/R

SOLUCIÓN DE ENSAYO	ÍNDICE DE ADHESIVIDAD	CALIFICACIÓN DEL DESPRENDIMIENTO
Agua Destilada	0	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/256 – 0.414	1	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/128 – 0.828	2	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/64 – 1.656	3	NULO
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/32 – 3.312	4	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/16 – 6.625	5	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/8 – 13.25	6	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/4 – 26.50	7	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/2 – 53.00	8	PARCIAL
Na ₂ CO ₃ (g/l) M/1 – 106.0	9	PARCIAL

Fuente: MTC.

Figura 16

Carta de viscosidad – temperatura

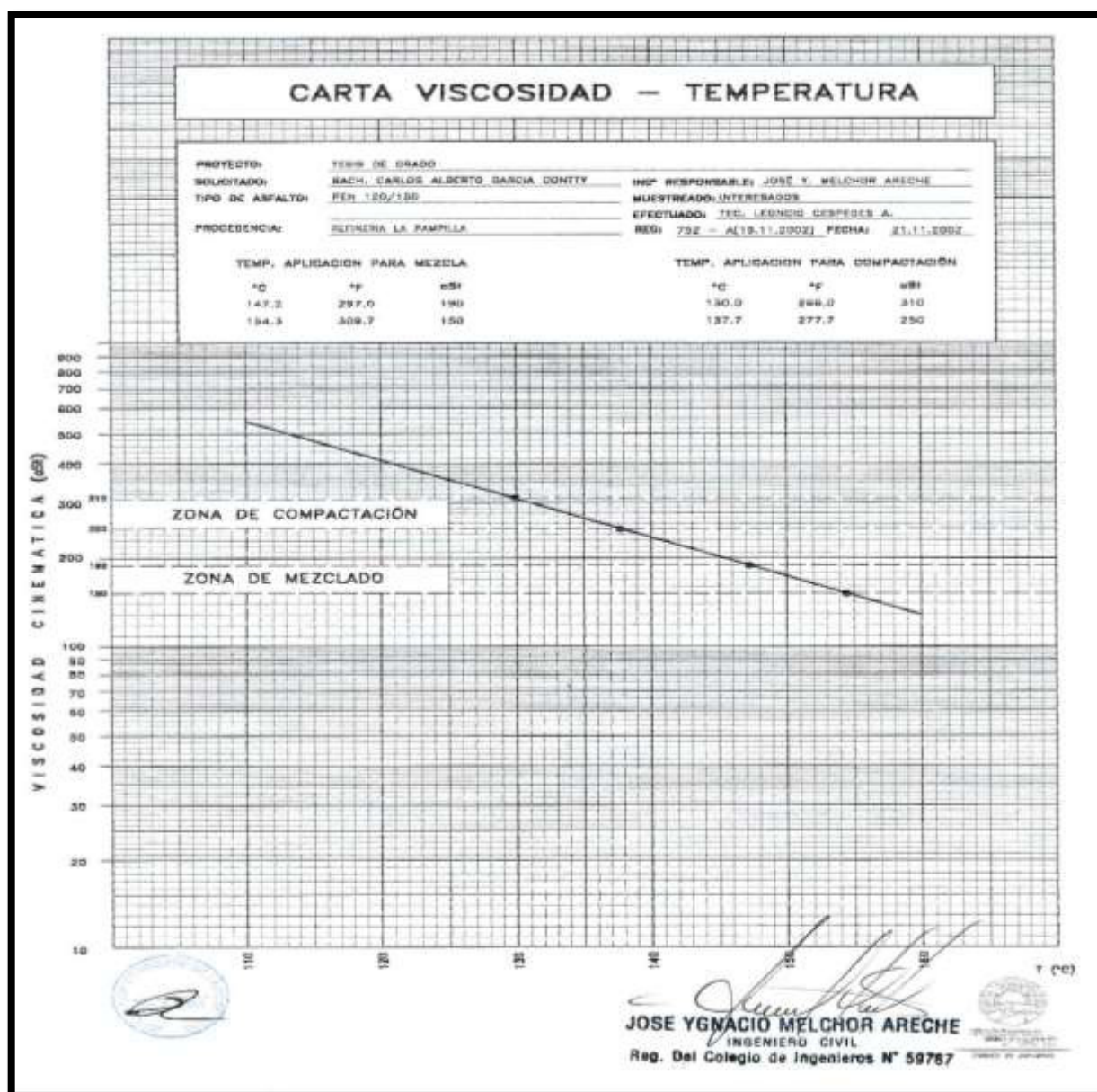


Figura 17

Informe sobre muestra de cemento asfáltico modificado

INFORME SOBRE MUESTRA DE CEMENTO ASFÁLTICO MODIFICADO			
E N S A Y O S	RESULTADO DE ENSAYO	ESPECIFICACIONES	
		Min.	Max.
		ASTM D - 946	
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	82.0		
PUNTO DE INFLAMACIÓN COPA ABIERTA, °C		218	--
DUCTILIDAD A 25 °C, 5cm/min, cm	+100	100	--
PUNTO DE ABLANDAMIENTO °C	60.0		--
DUCTILIDAD DESPUES DE ENSAYO DE PELICULA FINA, a 4 °C, 5 cm/min, cm ASTM D 113	13.7	42	--
PENETRACIÓN A 10 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	19.0	10	--
PENETRACIÓN A 30 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm	125.0		--
		AASHTO M - 20	
PÉRDIDA % MASA (PELICULA FINA)		--	1.3
ENSAYO DE LA MANCHA (OLIENSIS):			
Solvente Nafta - Standard	Negativo	NEGATIVO	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno	--	--	--
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno	--	--	--
		REFERENCIA FRANCESA	
ÍNDICE DE PENETRACIÓN (Suceptibilidad Térmica)	-0.05	- 1	+ 1
GRAVEDAD ESPECÍFICA A 25 °C, g/cm3	1.010		
CONTENIDO DE AGUA, %			
ESTABILIDAD AL ALMACENAMIENTO :	REFERENCIA MTC E319-1999		
PUNTO DE ABLANDAMIENTO SUPERIOR °C	94.4		
PUNTO DE ABLANDAMIENTO INFERIOR °C	52.0		
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm SUPERIOR	64.0		
PENETRACIÓN A 25 °C, 100 g, 5s, 0.1 mm INFERIOR	39.0		
		ASTM D 6084 y IRAM 6832	
RECUPERACION ELASTICA A 5°C (%)			
		ASTM D 113	
DUCTILIDAD A 4°C, 5cm/min, cm		25	

Fuente: MTC.

Figura 18

Granulometría resultante de mezcla de agregados

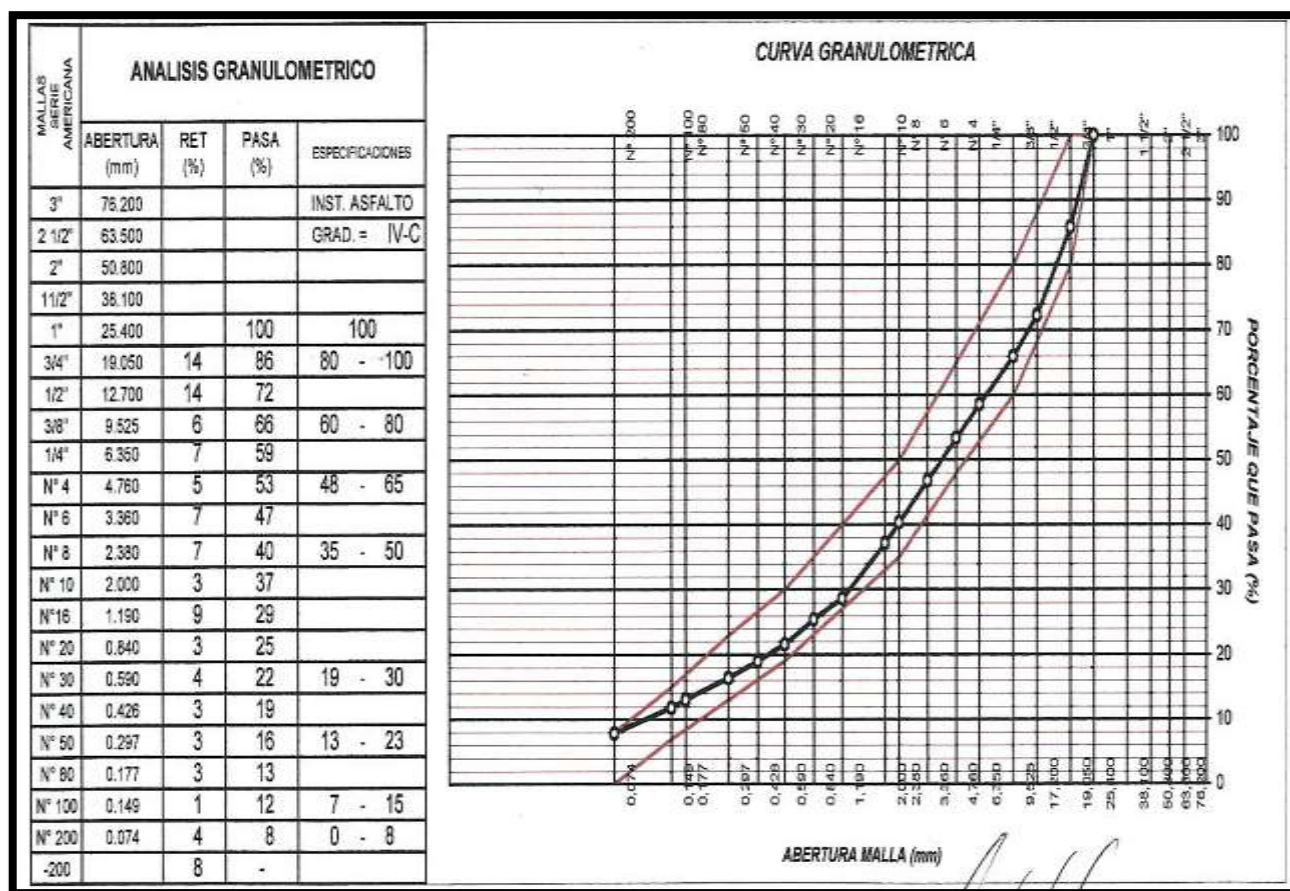


Figura 19

Gráfico de agregados

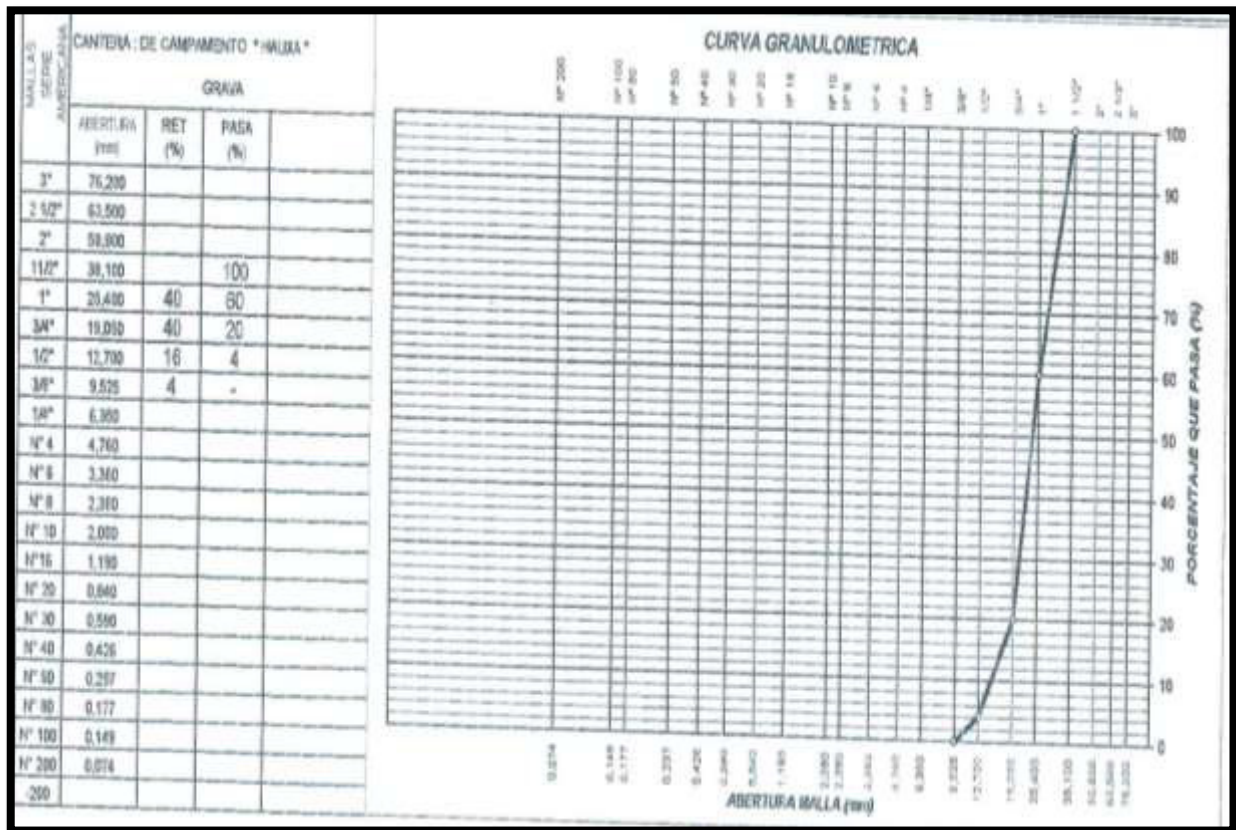


Figura 20

Informe sobre muestra de mezcla asfáltica en caliente

INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA EN CALIENTE		
IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	4.6 %
	GRAVA	35.0 %
	ARENA	65.0%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.596

Fuente: MTC.

Figura 21

Informe sobre muestra de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 2% en caliente

INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 2% EN CALIENTE		
IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	4.6 %
	GRAVA	35.0 %
	ARENA	65.0%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.616

Fuente: MTC.

Figura 22

Informe sobre muestra de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3% en caliente

INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 3% EN CALIENTE		
IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	4.6 %
	GRAVA	35.0 %
	ARENA	65.0%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.615

Fuente: MTC.

Figura 23

Informe sobre muestra de mezcla asfáltica modificada con polímero SBR 3.5% en caliente

INFORME SOBRE MUESTRA DE MEZCLAS ASFÁLTICA MODIFICADA CON POLIMERO SBR 3.5% EN CALIENTE		
IDENTIFICACIÓN (*)	CONTENIDO DE ASFALTO	4.6 %
	GRAVA	35.0 %
	ARENA	65.0%
PESO ESPECIFICO MÁXIMO (RICE), kg/cm ³ ASTM D-2041		2.613

Fuente: MTC.

Figura 24

Método Marshall – cuadro 1



MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES
DIRECCION GENERAL DE CAMINOS Y FERROCARRILES
OFICINA DE APOYO TECNOLÓGICO

METODO MARSHALL

PROYECTO : TESIS DE GRADO

SOLICITADO : BACH CARLOS ALBERTO GARCIA CONTTY

UBICACIÓN : CARRETERA JAUJA - TARMA

ING° RESP : JOSE MELCHOR ARECHE

REGISTRO N° : 752-A(19.11.2002)

TECNICO : L .Cespedes

FECHA : 21-11-2002

MUESTREADO : INTERESADO

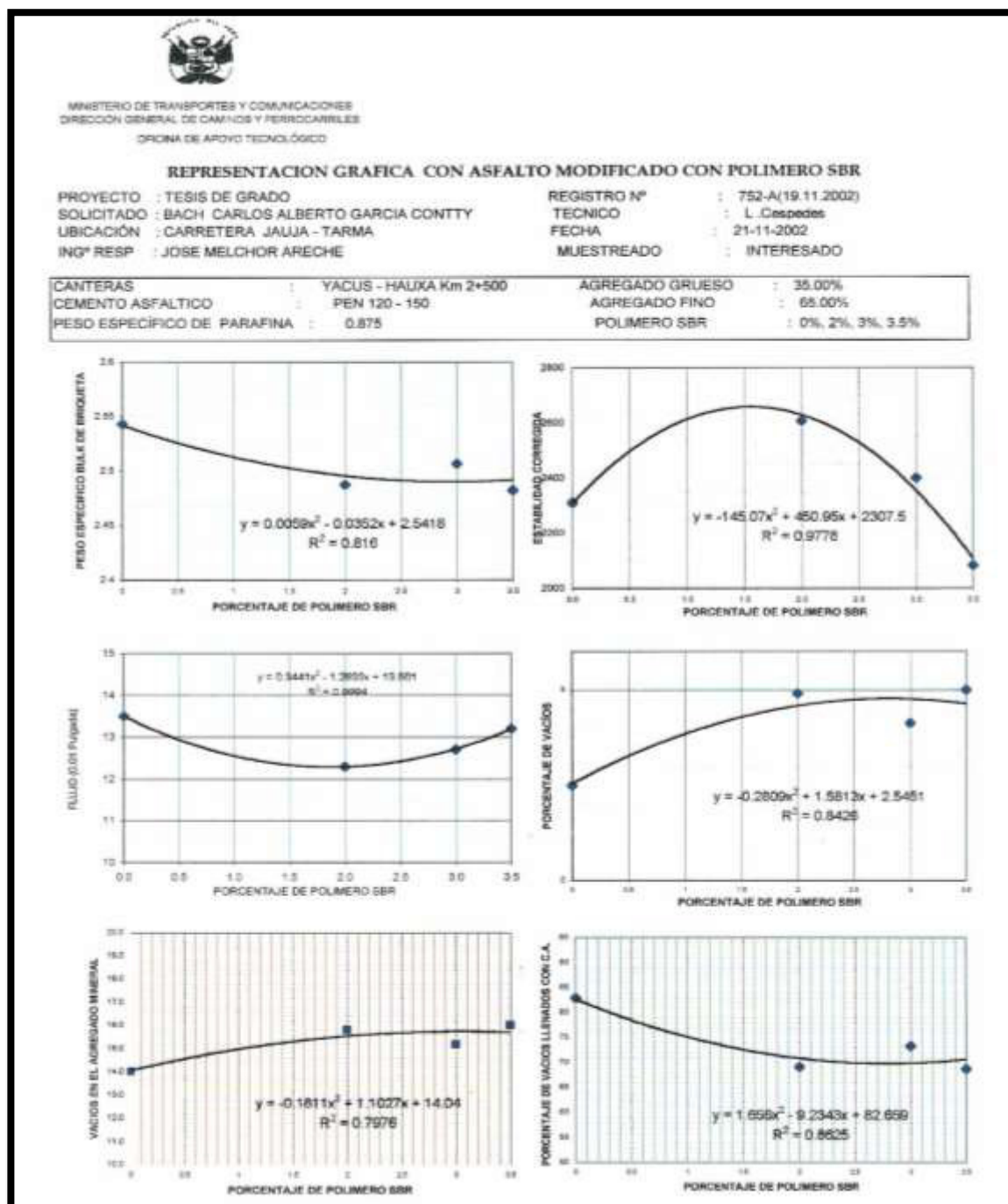
CANTERAS :	YACUS - HAUXA Km 2+500	AGREGADO GRUESO :	35.00%
CEMENTO ASFALTICO :	PEN 120 - 150	AGREGADO FINO :	65.00%
PESO ESPECÍFICO DE PARAFINA :	0.875	PORCENTAJE DE FILLER :	0.00%

N° DE BRIQUETAS	1	1A	1B	2	2A	2B
1 % DE C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	4.00%	4.00%	4.00%	4.50%	4.50%	4.50%
2 % DE AGREGADO GRUESO (MAYOR N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	33.60%	33.60%	33.60%	33.43%	33.43%	33.43%
3 % DE AGREGADO FINO (MENOR N° 4) EN PESO DE LA MEZCLA	62.40%	62.40%	62.40%	62.08%	62.08%	62.08%
4 % DE FILLER (MÍNIMO 65% PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
5 PESO ESPECÍFICO DEL CRIMENTO ASFALTICO - APARENTE	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
6 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO-BULK (MENOR 1")	2.835	2.835	2.835	2.835	2.835	2.835
7 PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	2.805	2.805	2.805	2.805	2.805	2.805
8 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER - APARENTE	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
9 ALTURA PROMEDIO DE LA BRIQUETA EN CENTÍMETROS	5.1	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
10 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE (gr.)	1211.3	1203.8	1209.3	1218.7	1216.3	1216.6
11 PESO DE LA BRIQUETA MÁS PARAFINA EN EL AIRE (gr.)	1219.6	1210.4	1218.6	1224.4	1223.0	1222.9
12 PESO DE LA BRIQUETA MÁS PARAFINA EN EL AGUA (gr.)	730.5	721.6	737.1	734.1	733.6	741.6
13 VOLUMEN DE LA BRIQUETA MÁS PARAFINA (cm³)	489.1	488.8	481.5	490.3	489.4	481.3
14 PESO DE LA PARAFINA (gr.)	8.3	6.6	9.3	5.7	6.5	6.3
15 VOLUMEN DE LA PARAFINA (PESO DE PARAF. / P.E. PARAF.) (cm³)	9.5	7.5	10.6	6.5	7.4	7
16 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm³)	479.6	481.3	470.9	483.8	482.0	474
17 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (gr./cm³)	2.526	2.501	2.568	2.519	2.524	2.566
18 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.640	2.640	2.640	2.617	2.617	2.617
19 PORCENTAJE DE VACÍOS	4.3	5.3	2.7	3.7	3.6	1.9
20 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (gr./cm³)	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815	2.815
21 V.M.A.	13.9%	14.7%	12.4%	14.6%	14.4%	13.0%
22 PORCENTAJE DE VACÍOS LLENADOS CON C. A.	68.8%	64.3%	78.1%	74.3%	75.3%	85.0%
23 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.834	2.834	2.834	2.833	2.833	2.833
24 ASFALTO ABSORVIDO POR EL AGREGADO TOTAL	0.22	0.22	0.22	0.21	0.21	0.21
25 PORCENTAJE DE ASFALTO EFECTIVO	3.79%	3.79%	3.79%	4.30%	4.30%	4.30%
26 FLUJO (0.01 Pulgada)	10.6	14.2	14.6	11.3	10.4	10.8
27 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	2288.0	1947.0	2213.0	1902.0	2368.0	1744.0
28 FACTOR DE ESTABILIDAD	1.14	1.14	1.14	1.09	1.14	1.14
29 ESTABILIDAD CORREGIDA	2608.3	2219.6	2522.8	2073.2	2699.5	1988.2

Fuente: MTC.

Figura 25

Representación gráfica con asfalto modificado con polímero SBR



Fuente: MTC.

Figura 26*Resumen del método Marshall*

% POLIMEROS SBR	PESO ESPECIFICO BULK BRIQUETAS	ESTABILIDAD CORREGIDA	FLUJO	% DE VACIOS	V.M.A	% VACIOS LLENADOS CON C.A.
0 %	2.543	2310.7	13.5	2.5	14.0	82.9
2 %	2.487	2606.9	12.3	4.9	15.8	69.1
3 %	2.506	2399.0	12.7	4.1	15.2	73.2
3.5 %	2.482	2083.3	13.2	5.0	16.0	68.7

Fuente: MTC.

Figura 27*Equivalente de arena*

MUESTRA S		ARENA N° 1			ARENA N° 2		
A	HORA ENTRADA A SATURACION	12.44		12.46	16.06		16.08 16.10
2	SALIDA SATURACION : (A+10)	12.54		12.56	16.6		16.18 16.20
B	HORA ENTRADA A DECANTACION	12.55		12.57	16.17		16.19 16.21
4	SALIDA DESCANTACION (B+20)	1.15		1.17	16.37		16.39 16.41
5	ALTURA MATERIAL FINO (Pulg)	6.08		5.75	5.85		5.90 6.00
6	ALTURA ARENA (Pulg)	3.21		3.0	3.40		3.50 3.50
7	EQUIVALENCIA ARENA (6/5x100) (%)	52.63		52.15	58.11		59.32 58.33
8	PROMEDIO DE EQUIV. ARENA		53%			59%	

MUESTRA		ARENA N° 3		
A	HORA ENTRADA A SATURACION	11.45		11.46
2	SALIDA SATURACION : (A+10)	11.55		11.56
B	HORA ENTRADA A DECANTACION	11.56		12.58
4	SALIDA DESCANTACION (B+20)	12.16		12.18
5	ALTURA MATERIAL FINO (Pulg)	6.00		5.75
6	ALTURA ARENA (Pulg)	2.80		2.90
7	EQUIVALENCIA ARENA (6/5x100) (%)	46.66		49.15
8	PROMEDIO DE EQUIV. ARENA		48%	

Fuente: MTC.

Figura 28

Ensayo de peso específico y absorción de agregados

CANTERAS : YACUS - HAUXA Km 2+500 JAUJA		
PESO ESPECIFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS GRUESOS		PIEDRA
Identificación	Yacus	
Peso Mat.Sat. y sup. seca (en aire) (A)	1,481	
Peso Mat.Sat. y sup. seca (en agua) (B)	960	
Volúmen de la masa + Vol. de vacíos (C) = (A-B)	521	
Peso mat seca en estufa a 105 (D)	1,476.9	
Vol de la masa (E) = C -(1000-D)	516.9	
Pe . Bulk (Base seca) =D/C	2.835	
pe . Bulk (Base seca) =1000/C	2.843	
Pe Aparente (Base seca) = D/E	2.857	
Absorción = A-D/*10C	0.28	

Fuente: MTC.

Observaciones:

Las posibilidades de este enfoque se restringen al manejo y supervisión de la combinación de asfalto producida en una instalación fija y caliente, utilizada en la fabricación de cemento asfáltico. Mediante las pruebas Marshall se establecen los niveles de estabilidad y fluidez en muestras cilíndricas, las cuales han sido compactadas de forma axial con un método específico y sometidas a pruebas a una temperatura de sesenta grados Celsius (60 °C). La estabilidad se calcula al medir la fuerza requerida para provocar la ruptura del objeto, aplicada perpendicularmente a su eje.

La distorsión vertical causada en la muestra por esa carga representa el flujo, mientras que la estabilidad indica la fortaleza estructural de la mezcla compactada y se ve influenciada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. El asfalto modificado con un 2% y un 3% de polímero SBR nos proporciona

resultados más altos que el asfalto tradicional, pero con un 3.5% los resultados son inferiores a los del asfalto convencional.

La cantidad de deformación necesaria para que se produzca la fractura, medida en términos del diámetro del espécimen, se conoce como valor de flujo. Este indicador refleja la capacidad de la mezcla para adquirir una condición plástica y, por ende, la resistencia que la capa de asfalto tendrá para no deformarse ante las cargas generadas por los vehículos.

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los criterios básicos de diseño cumplen con los estándares de estabilidad, fluidez, ausencia de huecos en el material pétreo y proporción de aire en la mezcla. De igual manera, el índice se encuentra en el intervalo indicado.

Para efecto de mejorar la calidad el cemento PEN 120-150 se ha utilizado la aplicación de polímero SBR del tipo látex NX 1129 y los resultados obtenidos reflejados en los valores hallados en comparación con el asfalto natural mejoras en la estabilidad, flujo y en los vacíos, este método de ensayo Marshall con respecto a la mezcla asfáltica modificada con polímero SBR, no nos dice casi nada con respecto al contenido óptimo de polímero para ser utilizado en la práctica.

En este ensayo por el Método Marshall se aprecian los valores de estabilidad, flujo y vacíos mejorados por la adición de polímero SBR del tipo látex NX 1129 por tal razón el espesor del pavimento se verá reducido con respecto del pavimento de mezcla convencional, por no contarse disponibles en el laboratorio de apoyo tecnológico del MTC, el equipo para hallar el módulo de resiliencia, no fue posible hallar el módulo elástico de la mezcla modificada para el nuevo diseño del espesor del pavimento.

VI. CONCLUSIONES

- 6.1. En el diseño la adición de polímero se hizo por experiencias anteriores y estas se basan en los porcentajes 2%, 3% y 3.5%. La formación de mezclas uniformes de asfalto y polímero se verá influenciada por el nivel de armonía que haya entre ellos, el cual está determinado por las características del asfalto y el tipo de polímero utilizado, así como por las condiciones de mezcla que se utilicen.
- 6.2. El asfalto (PEN 120/150) mejorado con Polímero SBR (Butonal NX 1129 en Látex) es una excelente opción para la construcción de carreteras. Sin embargo, es importante recordar que este material, aunque es crucial, no es el único factor determinante en el rendimiento del pavimento. Por lo tanto, aspectos como el diseño adecuado de la capa asfáltica, el tipo de aglutinante asfáltico empleado, la selección de los agregados y el método de compactación, entre otros, son fundamentales para asegurar la durabilidad y eficacia del pavimento.
- 6.3. Las estructuras de pavimentos planteadas para la carretera Tarma – Jauja, estarán definidas por el porcentaje de polímero SBR, así tenemos:

Figura 29

Diagrama de mezcla asfáltica modificada – Polímero SBR 2%

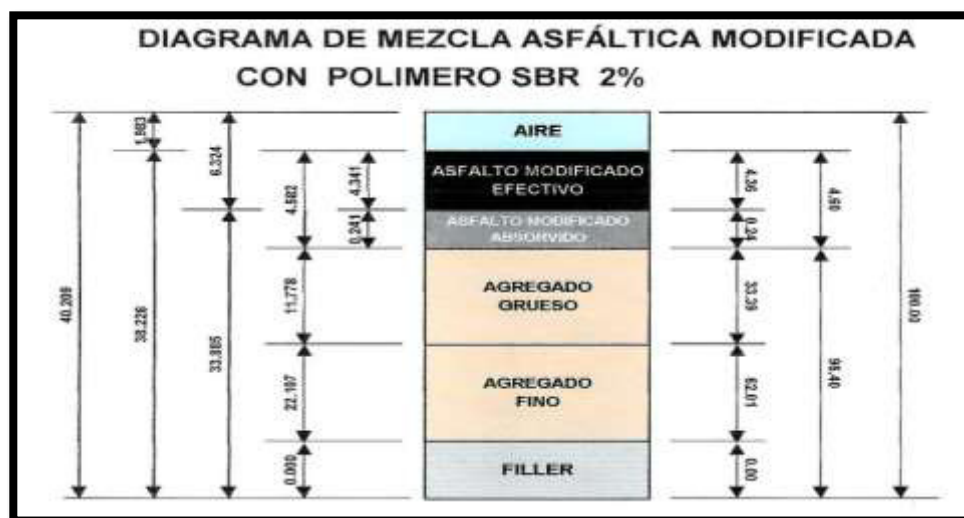
**Figura 30**

Diagrama de mezcla asfáltica modificada – Polímero SBR 3%

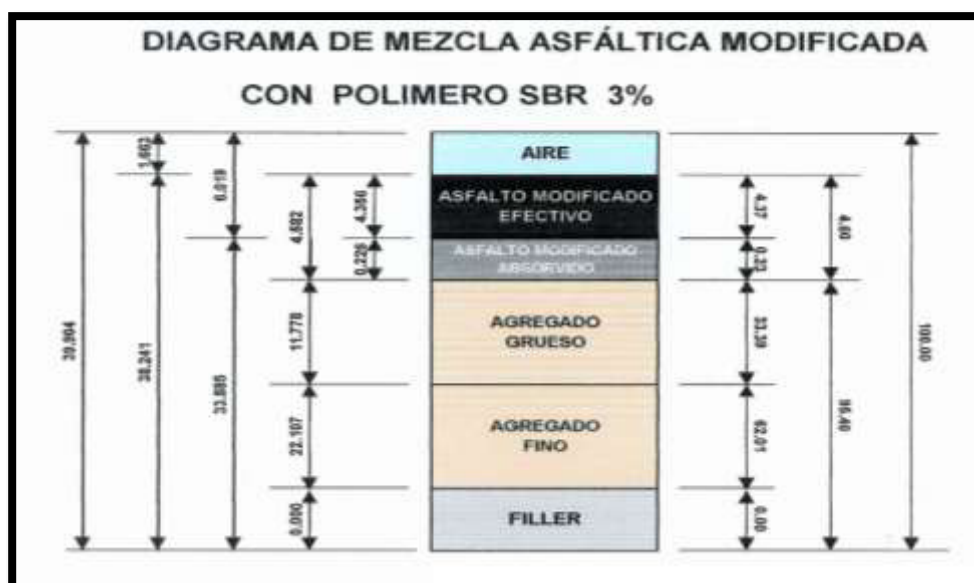
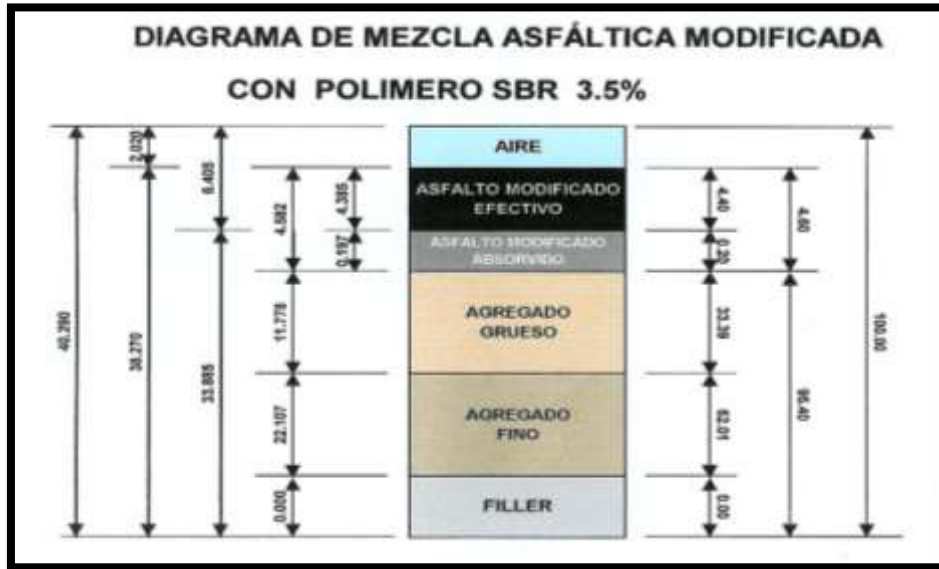


Figura 31

Diagrama de mezcla asfáltica modificada – Polímero SBR 3.5%.



VII. RECOMENDACIONES

- 7.1. Para efecto de mejorar la calidad del cemento PEN 120-150 se debe utilizar la aplicación de polímero SBR del tipo látex NX 1129 y los resultados obtenidos deben reflejar, en comparación con el asfalto natural, mejoras en la estabilidad, flujo y en los vacíos.
- 7.2. La popularidad del asfalto mejorado con polímero SBR está en aumento a nivel global, por lo tanto, es importante familiarizarse con las diferentes opciones disponibles junto con sus beneficios y restricciones, para así poder tomar decisiones más acertadas en cada situación. En regiones con cambios bruscos de temperatura y carreteras situadas a más de 3500 metros sobre el nivel del mar, es esencial emplear Asfalto Modificado con Polímeros. Para asegurar su eficacia, es imprescindible verificar en terreno real los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio.
- 7.3. La mezcla de asfalto con polímero SBR, debe dar una solución satisfactoria al problema del gradiente térmico que ocurre en zonas altas andinas como se reflejan en los ensayos de laboratorio.

VIII. REFERENCIAS

- Chávez, J. (2017). *Análisis de la carpeta asfáltica modificada con polímero SBS en el clima frígido de la región Junín – Yauli. 2017* [Tesis de Pregrado, Universidad César Vallejo]. Repositorio Institucional UCV. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/1391>
- De la Lama, P., De la Lama, M., & De la Lama, A. (2022). Los instrumentos de la investigación científica. Hacia una plataforma teórica que clarifique y gratifique. *Horizonte de la Ciencia*, 12(22), 189-202. <https://doi.org/10.26490/uncp.horizonteciencia.2022.22.1078>
- Diccionario de la Construcción. (2019). *Diccionario de la Construcción: Términos técnicos del sector de la construcción*. <https://www.diccionariodelaconstruccion.com>
- Maila, M. (2013). *Comportamiento de una mezcla asfáltica modificada con polímero etileno vinil acetato (EVA)*. [Tesis de Pregrado, Universidad Central del Ecuador]. Repositorio Institucional UCE. <https://www.dspace.uce.edu.ec/entities/publication/www.dspace.uce.edu.ec>
- Martínez, R. (2003). *Empleo del polímero SBR en la fabricación de mezclas asfálticas para zonas de altura* [Tesis de Pregrado]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Slater, P., & Hasson, F. (2025). Quantitative Research Designs, Hierarchy of Evidence and Validity. *Journal of Psychiatric and Mental Health Nursing*, 32(3), 656-660. <https://doi.org/10.1111/jpm.13135>
- Wulf, F. (2008). *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero* [Tesis de Pregrado, Universidad Austral de Chile]. Repositorio Institucional UACH. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/doc/bmfciw961a.pdf>

IX. ANEXOS

ANEXO A: MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema General	Objetivos	Marco Teórico	Hipótesis	Variables	Metodología
Principal ¿Empleando un diseño de concreto asfáltico modificado con aplicación de polímeros se podrá construir un pavimento eficiente para mejorar la <u>serviciabilidad</u> de la carretera Tarma – Jauja?	Objetivo General Plantear el mejoramiento de la <u>serviciabilidad</u> en la vía terrestre denominada carretera Tarma – Jauja utilizando concreto asfáltico modificado con polímeros.	Asfalto modificado con polímero Martínez (2003) señala que: El asfalto modificado es aquel que, mediante un proceso de mezclado a alta temperatura y esfuerzo cortante, se le incorporan polímeros para formar una "RED" tridimensional que atrapa dentro de sus espacios a las moléculas del asfalto. (p.64)	Empleando un diseño de concreto asfáltico modificado con aplicación de polímeros se podrá construir un pavimento eficiente para mejorar la <u>serviciabilidad</u> de la carretera Tarma – Jauja.	Variable independiente • Empleo de concreto asfáltico modificado con polímeros. Variable dependiente • Mejoramiento de la <u>serviciabilidad</u> de la carretera Tarma – Jauja.	Tipo de Investigación Nuestra investigación es de tipo aplicada. Enfoque de la Investigación El enfoque de la investigación es cuantitativo.
Problemas Específicos a. ¿Qué problemas afectan a las propiedades reológicas del asfalto y las propiedades físicas de las mezclas en zonas andinas? b. ¿Cómo debe estar conformada la estructura del pavimento de la carretera Tarma – Jauja?	Objetivos Específicos a. Estudiar nuevas tecnologías empleando polímeros en el asfalto. b. Definir como debe estar conformada la estructura del pavimento de la carretera Tarma – Jauja.	<i>Compatibilidad asfalto-polímero</i> Martínez (2003) señala que: Un Polímero y un asfalto son compatibles cuando pueden mezclarse sin que exista una separación de fases y no se llegue a una rotura del equilibrio coloidal del asfalto, la compatibilidad depende del Polímero de que se trate y de la composición química del asfalto. (p.68)			

**ANEXO B: PREPARANDO EL EQUIPO DE MEZCLADO DE ASFALTO
MODIFICADO AL AIRE LIBRE**



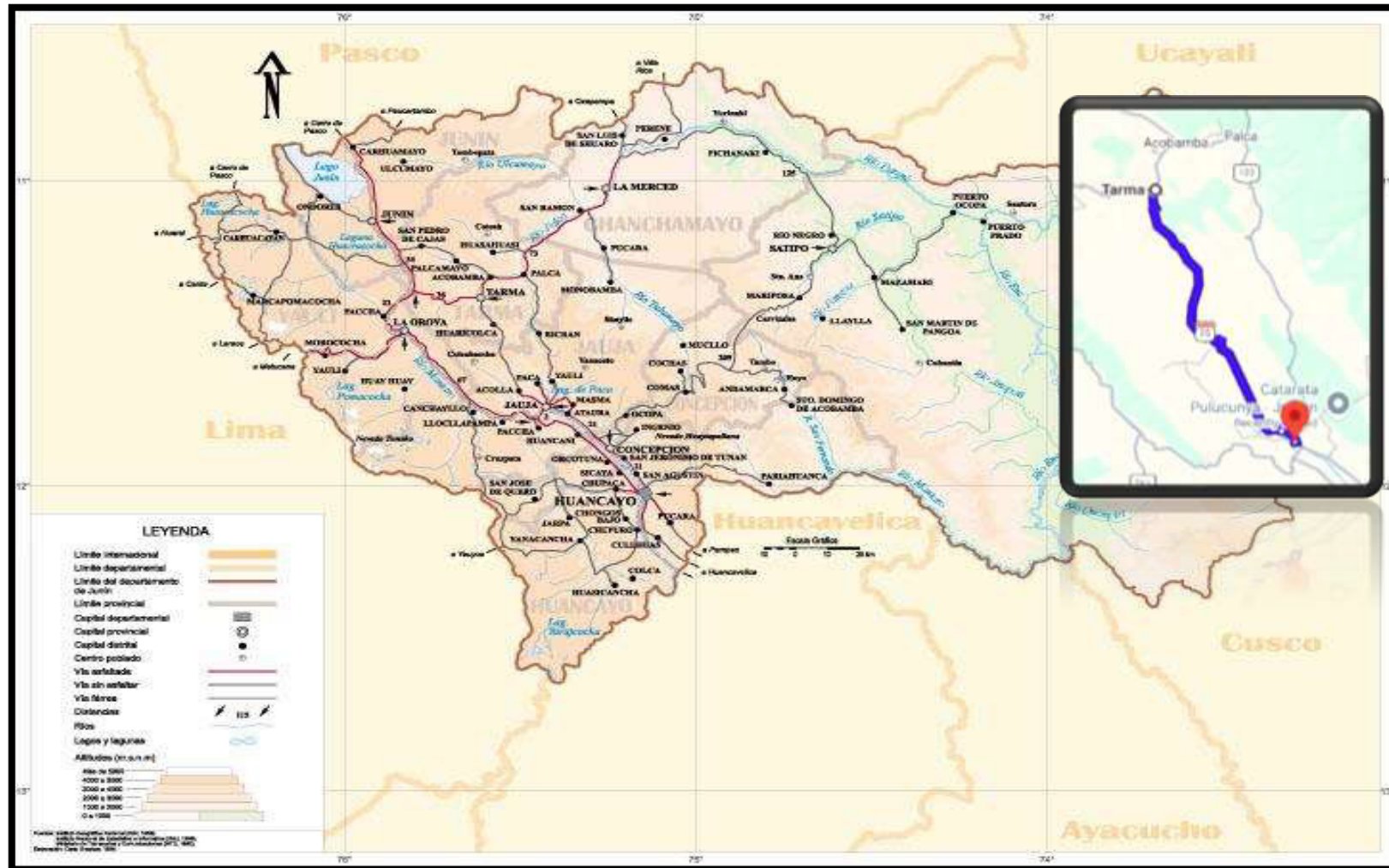
**ANEXO C: TOMA DE TEMPERATURA DE LA MEZCLA MODIFICADA PARA
FUTURO ENSAYO**



**ANEXO D: TOMA DE TEMPERATURA DE LA MEZCLA ANTES DEL
MEZCLADO CON POLÍMERO SBR NX 1129, POR EL TÉCNICO.**



ANEXO E: PLANO DE UBICACIÓN DE LA CARRETERA TARMA – JAUJA

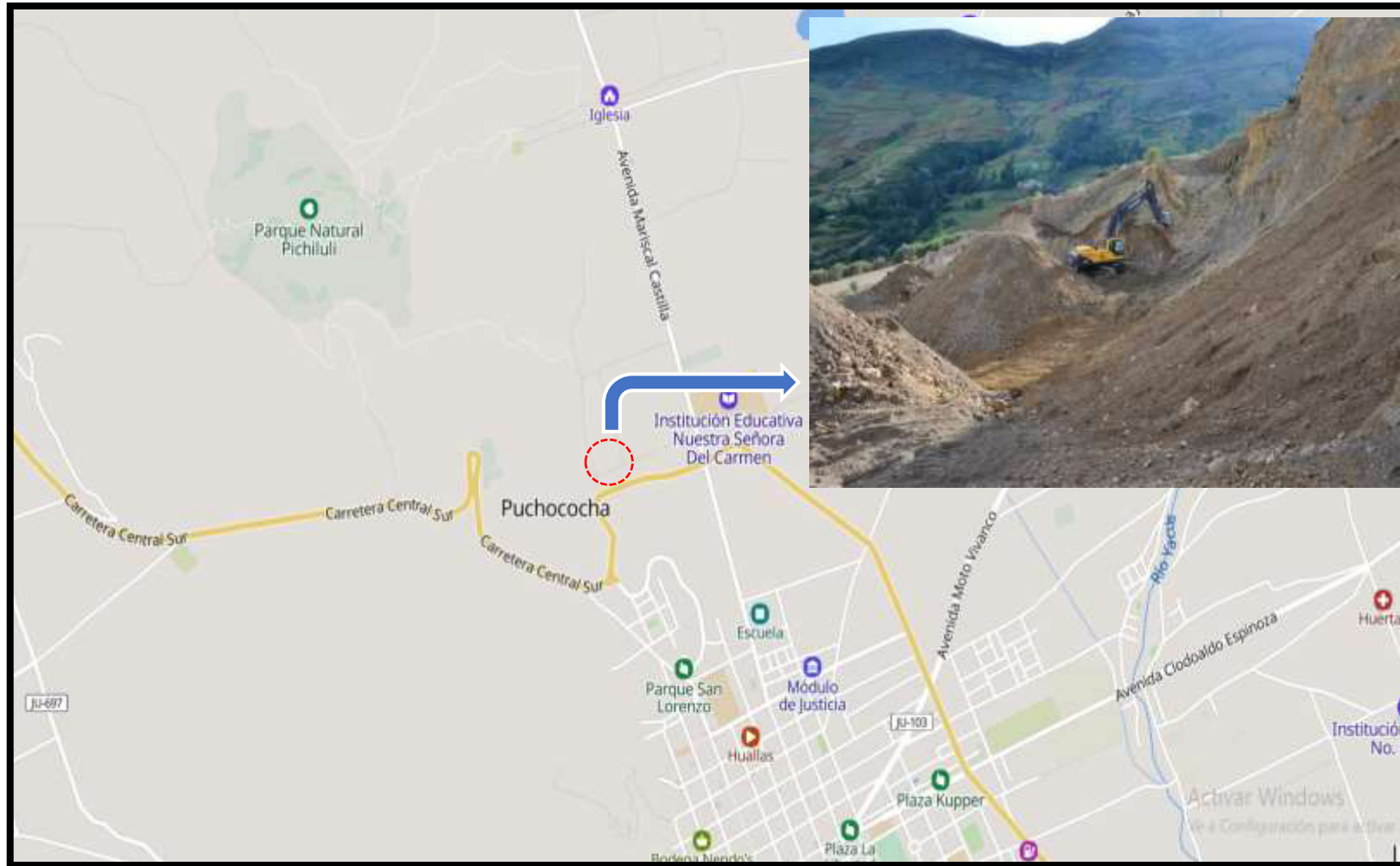


Fuente: IGN.

ANEXO F: UBICACIÓN DE LA CANTERA YACUS



ANEXO G: UBICACIÓN DE LA CANTERA PUCHOCOCHAS



ANEXO H: PLANO DE PROGRESIVAS

