



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

**“Implementación de la tecnología de asfalto modificado en el
diseño de mezcla asfáltica de la carretera Huancarani –
Paucartambo, Cusco”**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO CIVIL

AUTOR:

Arias Oblitas, Danny Yamil (ORCID: 0000-0001-8110-8870)

ASESOR:

Mg. Olarte Pinares, Jorge Richard (ORCID: 0000-0001-5699-1323)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño en Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

Agradezco a Dios por haber guiado mi vida a lo largo del tiempo, por ser la fortaleza necesaria, en los momentos de obstáculos y debilidad.

Doy gracias también a mis amados padres Nazario y María, por los valores y principios que me han inculcado brindándome una buena formación; quienes con amor, apoyo incondicional y esfuerzo me impulsaron siempre a alcanzar mis metas y vencer los desafíos.

A mis hermanos queridos, Fernando y Luis por su gran cariño e incondicional apoyo.

Agradecimiento

A los docentes de la Universidad, por compartir sus grandes conocimientos y experiencias en esta rama del saber humano, dedicado a mejorar la calidad de vida y formación de la población.

A mi asesor Mg. Jorge Richard Olarte Pinares, por su sabia orientación y apoyo hasta lograr la conclusión del presente informe de investigación.

A todas las personas que colaboraron conmigo para poder finalizar este trabajo de Tesis, principalmente a mis amigos y compañeros de trabajo de la empresa PROMAINGSA S.A.C., quienes me acogieron en sus instalaciones durante más de un quinquenio compartiendo su experiencia y brindándome el soporte técnico en los ensayos del presente informe.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	vi
Índice de Gráficos y figuras	vi
Resumen	viii
Abstract	ix
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	3
2.1 Antecedentes empíricos de la investigación	3
2.2 Bases teóricas.	7
2.2.1 Orígenes del asfalto	7
2.2.2 Definición Materiales Bituminosos:.....	8
2.2.3 Ligantes Asfálticos Convencionales y Modificados	21
2.2.4 Polímeros	22
2.2.5 Definición de asfalto modificado.....	24
2.2.6 Problemas climáticos con los asfaltos modificados.....	25
2.2.7 Ventajas en el uso del polímero en asfaltos	25
2.2.8 Desventajas en el uso del polímero en asfaltos	26
2.2.9 Método Superpave	27
2.3 Marco conceptual	30
CAPITULO III: METODOLOGÍA.....	34
3.1 Tipo y Diseño de investigación	34
3.2 Variables y Operacionalización.....	34
3.2.1 Identificación de variables	34
3.2.2 Operacionalización de variables	34
3.3 Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis	36
3.3.1 Población de estudio	36

3.3.2 Muestra	36
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	36
3.5 Procedimiento	36
3.6 Método de Análisis de Datos	36
3.7 Aspectos Éticos	36
CAPÍTULO IV: RESULTADOS.....	37
4.1 Características generales de la vía materia de estudio	37
4.2 Análisis de las condiciones actuales de la vía.	38
4.3 Análisis de las características actuales de la vía.	38
4.4 Selección del tipo de ligante asfáltico modificado con polímeros para la carretera Huancarani - Paucartambo.....	41
4.4.1 Determinación del Grado de Desempeño o PG	44
4.4.2 Cálculo de la Temperatura Máxima del Pavimento	44
4.4.3 Cálculo de la Temperatura Mínima del Pavimento.....	45
4.4.4 Ajustes del Grado de Desempeño o PG	45
4.4.5 Ajuste por velocidad de aplicación de carga	45
4.4.6 Ajuste por volumen de tráfico	46
4.4.7 Estudio de clima del proyecto	47
4.4.8 Cálculo del grado de desempeño del asfalto	48
4.4.9 Selección del tipo de ligante asfáltico.....	53
4.5 Diseño de mezcla asfáltica para la carretera Huancarani – Paucartambo.....	54
4.5.1 Acondicionamiento de la mezcla para ensayo.	56
4.5.2 Método de Compactación mediante Compactador Giratorio o SGC.	57
4.6 Comparación de costos de mantenimiento usando asfaltos convencionales y modificados con polímeros.	60
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	65
CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES	68
CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES	70
ANEXOS	72

Índice de tablas

Tabla 1.- Selección del tipo de cemento asfáltico.	9
Tabla 2.- Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración.	10
Tabla 3.- Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad.	10
Tabla 4.- Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros.....	12
Tabla 5.- Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros.....	12
Tabla 6.- Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros.....	13
Tabla 7.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	14
Tabla 8.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	15
Tabla 9.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	16
Tabla 10.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	17
Tabla 11.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	18
Tabla 12.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	19
Tabla 13.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	20
Tabla 14.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).....	21
Tabla 15.- Propósito de las pruebas de asfaltos Superpave.	29
Tabla 16.- Operacionalización de variables.....	35
Tabla 17.- Características técnicas de la vía proyectada.	40
Tabla 18.- Presupuesto Aprobado en Expediente Técnico.	40
Tabla 19.- Selección de ligantes asfálticos en función del nivel de tráfico y la velocidad.	46
Tabla 20.- Estaciones meteorológicas utilizadas para el proyecto.	47
Tabla 21.- Datos Estación Meteorológicas Paucartambo.....	49
Tabla 22.- Temperaturas máximas del pavimento.	49
Tabla 23.- Temperaturas mínimas del pavimento.	50
Tabla 24.- Grado de Desempeño por área geográfica.	50
Tabla 25.- Grado de Desempeño calculado.....	50
Tabla 26.- Ligante asfáltico recomendado para el proyecto.....	53
Tabla 27.- Análisis unitario mezcla asfáltica convencional.....	61
Tabla 28.- Análisis unitario mezcla modificada con polímeros SBS.....	62

Índice de Gráficos y figuras

Ilustración 1.- Relación Costo inicial vs tiempo de vida útil para asfaltos modificados y asfaltos convencionales.	27
Ilustración 2.- Presupuesto asignado a la obra carretera Huancarani – Paucartambo.	41
Ilustración 3.- Ubicación de carretera en estudio.	42
Ilustración 4.- Perfil longitudinal de la carretera.....	43
Ilustración 5.- Ensayo de Corte Dinámico (DSR)	52
Ilustración 6.- Ensayo de Horno de película delgada Rotacional (RTFO)	52
Ilustración 7.- Ensayo de viga de a flexión (BBR)	52
Ilustración 8.- Ensayo de envejecimiento a presión (PAV)	53
Ilustración 9.- Grados PG más utilizados	56
Ilustración 10.- Testigos de Mezcla asfáltica	59
Ilustración 11.- Equipo para el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo	59
Ilustración 12.- Evaluación de mezclas asfálticas con la rueda cargada de Hamburgo	60
Ilustración 13.- Datos meteorológicos SENAMHI	75
Ilustración 14.- Diseño Tentativo de Mezcla asfáltica.....	77
Ilustración 15.- Diseño Tentativo de Mezcla asfáltica.....	78
Ilustración 16.- Diseño Tentativo de Mezcla asfáltica.....	79
Ilustración 17.- Análisis Granulométrico Piedra Chancada	80
Ilustración 18.- Análisis Granulométrico Arena Chancada	81
Ilustración 19.- Análisis Granulométrico Arena Zarandeada	82
Ilustración 20.- Análisis Granulométrico Cal Hidratada	83
Ilustración 21.- Análisis Granulométrico para mezcla de agregados.....	84
Ilustración 22.- Especificación Técnica Asfalto Modificado	85
Ilustración 23.- Grado de Performance (PG)	86

Resumen

El objetivo de este trabajo de investigación es establecer e implementar la tecnología del asfalto modificado con polímeros en el diseño de la mezcla asfáltica. Determinando adecuadamente el Grado de Desempeño del ligante asfáltico en concordancia con las Especificaciones Técnicas Generales Para Construcción - EG2013, mediante la metodología SUPERPAVE en la Carretera Huancarani – Paucartambo de la Región del Cusco. La investigación es de tipo aplicada, de nivel descriptivo, con diseño experimental.

Palabras Clave: Grado de desempeño, Asfalto modificado, SUPERPAVE.

Abstract

The objective of this research work is to establish and implement the technology of polymer modified asphalt in the design of the asphalt mix. Properly determining the Performance Grade of the asphalt binder in accordance with the General Technical Specifications for Construction - EG2013, through the SUPERPAVE methodology on the Huancarani - Paucartambo Highway in the Cusco Region. The research is of an applied type, descriptive level, with an experimental design.

Keywords: Performance Grade, Modified asphalt, SUPERPAVE.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

El crecimiento de la infraestructura en general en nuestro país, viene generando mayores movimientos de transporte de carga pesada y mayores necesidades en el transporte vial por el gran incremento de los volúmenes de tráfico que transitan por nuestras vías; ello ha permitido que nuestro país implemente políticas en la construcción, mantenimiento y conservación de carreteras, debiendo también a la par mejorar las tecnologías en el uso de los asfaltos en el país mediante la aplicación de la metodología superpave con el fin de tener una vida útil en nuestros pavimentos.

La red de carreteras, llamada “Red Vial” en la Región Cusco, con datos de 2018 tenía 15,386.36 km. De éstos el 12% son carreteras de ámbito nacional, 17% de ámbito departamental y 71% de ámbito vecinal o local. De esta fuente, se tiene que en Cusco las vías departamentales y vecinales solo tienen asfaltado el 21% y 1% respectivamente.

De estos datos podemos colegir que, para una buena gestión de este crecimiento de vialidad, la inversión pública debería dar mayor importancia debe estar a concluir la inversión logrando el asfaltado red nacional y departamental de vías para integrar el territorio regional mediante inversiones eficientes.

En esa línea de entendimiento, es valioso enfocarse en que en las vías pavimentadas se ha utilizado en la superficie de rodadura la mezcla asfáltica. Por lo general, esta rodadura debería presentar un buen comportamiento para los períodos de diseño proyectados, sin embargo, bajo las consideraciones de incrementos de tráfico pesados y cada vez con mayor incremento de los volúmenes de tráfico, el comportamiento de los asfaltados no satisfacen las demandas actuales, prueba de ello es que se ha constatado que las mezclas asfálticas construidas especialmente en zonas de altura y con condiciones de gradientes térmicos altos como es el caso de la ciudad del Cusco han presentado deterioros prematuros, fallas por deformación permanente, fallas por fatiga prematuras, entre otras deficiencias que no permiten alcanzar la vida útil del proyecto vial para el que fue conceptualizado y construido el

pavimento, originándose de esta manera pérdidas millonarias al estado en sus inversiones por el deterioro prematuro de los pavimentos que están ligados al uso de tecnologías desfasadas en el diseño de mezclas asfálticas y la no implementación de nuevas tecnologías del asfalto que garanticen mayor vida útil al proyecto; esta problemática no es ajena a las obras viales de asfaltados ejecutadas en la ciudad del Cusco y principalmente por el Gobierno de la Región de Cusco, que estamos en la obligación de analizar y proponer alternativas de solución.

Es necesario considerar que ya, desde decenas de años, los polímeros se han empleado para potenciar ciertos aspectos del comportamiento del asfalto, entre ellos las deformaciones permanentes, la fatiga que causa el agrietamiento por impacto térmico, la mayor estabilidad de la mezcla para su estabilidad. Estas características vienen siendo consideradas de manera importante en varios países para lograr la mejora tecnológica del asfaltado (Walker, 2014). A pesar de ello, en el Perú, existe poca experiencia al ejecutar obras por modalidad en ejecución presupuestaria a cargo de los Gobiernos Regionales donde se haya empleado los asfaltos modificados aplicando la metodología Superpave.

Esta investigación se centrará en el estudio de la carretera Huancarani – Paucartambo del Departamento del Cusco, enfocando la influencia de las condiciones de clima y de tráfico a las cuales está sometida y poder determinar el tipo específico de ligante asfáltico a través del método de caracterización denominado Superpave, que está basado en el desempeño del ligante dentro del marco normativo peruano.

A partir del sustento de caracterización del tipo específico del ligante asfáltico seleccionado para este proyecto vial efectuar el diseño de mezcla considerando los ensayos al asfalto bajo la metodología superpave, concluyéndose en las mejoras de las propiedades que se traducirán en mejores desempeños y mayor vida útil de este pavimento.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes empíricos de la investigación

En una investigación realizada en Colombia denominado “Estado, conocimiento y estudio de mezclas modificadas” los investigadores consideran lo siguiente:

En un mundo globalizado es harto conocido que la utilización de la tecnología de asfaltos modificados viene siendo aplicada de manera general para lograr optimizar las peculiaridades de las mezclas asfálticas que se usualmente se aplican, tomando en cuenta que son sometidas a cotas elevadas de tránsito vehicular, además de gradientes considerables de temperatura.

Esta investigación se centra en los alcances del conocimiento logrados por varios investigadores acerca de asfaltos y las mezclas asfálticas modificadas, tomando en cuenta de manera preferente la experiencia desarrollada en Colombia. (Rondon, Reyes, Figueroa, Rodriguez, Real, & Montealegre, 2008)

Metodológicamente, estos investigadores, determinaron puntos clave en el desarrollo de este estudio, es así que abordaron temas como tipos de aditivos, ensayos realizados, procedimientos, resúmenes de simposios, jornadas de asfalto y pavimentos.

Entre las principales conclusiones a las que arribaron están las siguientes:

La falta de equipos necesarios para medir las propiedades dinámicas, no ha permitido realizar comparaciones de penetración y viscosidad entre los diseños de mezclas modificadas con los pavimentos tradicionales. De otro lado, el comportamiento químico y mecánico de mezclas modificadas ha sido estudiado de manera separada, por ello los investigadores no lo consideran como ideal.

Actualmente en Colombia y Perú ya se cuentan con laboratorios equipados para desarrollo de ensayos al asfalto bajo la metodología superpave.

En un estudio realizado por Martinez, Caicedo, Gonzales, Celis, Fuentes y Torres (2018) y presentado en la Revista Ingeniería de Construcción con la denominación de

“13 años en desarrollo de mezclas asfálticas modificadas con el grado de caucho a base de reciclado en Bogotá: alcanzando sostenibilidad en pavimentos” estiman lo siguiente:

El trabajo que se presenta, describe cada una de las distintas etapas que ha abordado el Instituto de Desarrollo Urbano, para una apropiada y conveniente persistencia de las mezclas mejoradas con Grano de Caucho Renovado y un segundo lapso de apreciación evaluativa y comparada del comportamiento utilizando otras variaciones de mezclas asfálticas que han sido modificadas agregando polímeros comúnmente disponibles en la oferta en el referido país.

En este trecho estuvo comprendida un intervalo de investigación en la que se utilizó una escala real, tomando en deferencia el asfalto modificado con polímeros y otras dos unidades con asfalto con caucho, una de ellas fue hecha en vía seca y la otra en vía húmeda. Se desarrolló, a partir de estos períodos, una explicación técnica con especificidades con la finalidad de establecer planeamientos acerca de la producción y evaluación de comportamiento de las mezclas con Grano de Caucho Renovado. También, se describen las mejorías a favor del medioambiente resultado del empleo de la citada tecnología. (Martinez, Caicedo, Celis, Fuentes, & Torres, 2018)

Entre las principales conclusiones destacan los siguientes:

El uso de la tecnología en referencia, con características respetuosas del medio ambiente ha sido posible mediante la conjunción de la acción de varias instituciones estatales y privadas en las fases de investigación y desarrollo. Ha sido manifiesta la consideración del apoyo técnico desde la academia, los técnicos del estado y los empresarios de la construcción de carreteras. Igualmente, la aclimatación de la citada tecnología a la realidad colombiana ha aportado soluciones para la orden de un residuo sólido complicado, con esto se ayuda a la preservación del medio ambiente y a la eficiencia de un material de construcción de superior desempeño, así también que se ahorra en costos de conservar y mantener las vías.

En la figura social, la generación de empleo es un aspecto muy trascendente, toda vez que se ha generado un nuevo sector productivo. La recolección de llantas en desuso,

su trituración industrial era totalmente inexistentes en Colombia. Estas mejorías ayudan a las bases de la una producción sostenible, como son la economía, la protección del ambiente y la generación de beneficios sociales con infraestructuras viales realmente sostenibles. (Martinez, Caicedo, Celis, Fuentes, & Torres, 2018)

La investigación surgió con el objetivo primordial de examinar los diferentes polímeros y su resultado sobre los asfaltos fabricados a partir de la destilación al vacío de los hidrocarburos naturales. Además, busca establecer el grado de desempeño de cada uno de ellos, cuando se emplean distintas concentraciones de polímero.

Son importantes las conclusiones a las que arriba dicha investigación:

De los resultados se ha demostrado que la distribución de ligantes asfálticos modificados, usando procedimientos de grado de desempeño no es suficiente para decidir el grado de desempeño tomando en cuenta las condiciones de tránsito y las temperaturas.

Hasta donde se ha podido determinar en los ensayos, el ligante que está teniendo un mejor desempeño es el polímero tipo EGA (Etilen Glicidil Acrilato).

Desde estos resultados de ensayo tienen que analizarse mezclas asfálticas que determinen un patrón, con la finalidad de establecer el efecto de desempeño de los ligantes asfálticos analizados, con respecto de las cualidades de la mezcla asfáltica. Partiendo de los resultados de dicho experimento se podrán graduar modelos de desempeño respecto a la fatiga de los materiales y su grado de deformación permanente en las mezclas asfálticas que fueron modificadas con diversos polímeros.

En la tesis “Experiencia para Modificar el Cemento Asfáltico y Polímeros SBS” escrita por Salcedo (2008) se establece que modificar el asfalto convencional adicionando polímeros SBS mejora sus cualidades mecánicas que resisten a las deformaciones causadas el clima y el tránsito de vehículos (ahuellamiento y fatiga).

Este mismo autor asevera que el uso de asfaltos modificados mediante adición de polímeros muestra un incremento en, las competencias positivas y/o particularidades

de vigor a las deformaciones por agentes de clima y de tránsito de asfalto convencional.

En el Perú, se ha llegado a calcular que, el costo del metro cúbico combinación asfáltica en caliente adicionado con asfalto modificado con polímeros SBS, con relación al asfalto convencional, oscila entre 35-40 %, se estima además el uso de asfaltos modificados, con polímeros SBS para mezclas de asfalto, eleva la vida útil del pavimento entre de dos y tres veces.

Entre las conclusiones de este estudio realizado en Perú, se tiene que:

La modificación del cemento asfáltico con SBS, fabricado en obra, ha aceptado medirse con liantes con propiedades superiores de resistencia a las variaciones constantes y mejor conducta a la fatiga. Por lo tanto, el asfalto modificado elaborado en obra, mostro los valores promedio que se dan de un punto de suavidad de 70 °C y del cambio elástico torsional de 80%, un asfalto convencional PEN 60/70, este es comúnmente usado en la zona de Sullana – Piura, para la mezcla asfáltica, estos parámetros logran valores de 50 °C y 8 - 13% respectivamente.

Por su parte Escalante (2007) alcanza en “Evaluación con mezclas con ligantes asfálticos peruanos convencional pen 60/70 y con polímero SBD tipo IE PG 76-22” efectúa (en Brasil) una estimación del proceder de asfaltos peruanos CAP PEN 60/70 modificados por polímero SBS Tipo I 60/60 y PG 76 – 22. Para el efecto utiliza mezclas asfálticas densas, con este experimento se ve el Grado de Desempeño en liantes asfálticos y la condición climática en regiones de Perú, sin considerar velocidad y volumen del tráfico.

El trabajo del autor citado, hace también una clasificación por desempeño de los ligantes asfálticos procedentes de Perú. Para este fin somete fueron los materiales a ensayos convencionales dentro de las especificaciones Superpave: penetración, punto de ablandamiento, viscosidad Brookfield, punto de inflamación, retorno elástico, estabilidad para almacenaje, envejecimiento a corto plazo (RTFOT), envejecimiento a largo plazo (PAV), corte dinámico (DSR) y rigidez a fluencia en flexión (BBR).

En el estudio bajo comentario, se evaluaron las propiedades que son mecánicas, sin envejecimiento y que tengan declive en corto plazo, luego fueron moldados, un total de 196 cuerpos que estuvieron a prueba, sometidos luego a los ensayos Marshall, fuerza de tracción, consistencia a tracción detenida al daño incitado por la humedad, módulo de resiliencia, fluencia por compresión uniaxial estática, fluencia por compresión uniaxial dinámica y vida a fatiga. En los resultados que se dio a a los ensayos hacen ver que el proceso de modificación de los asfaltos por polímero, muestra mejorías en las peculiaridades geológicas del ligante, presentando menor índice de susceptibilidad termina y superior resistencia al envejecimiento e incrementando la actuación de las mezclas asfálticas en los ensayos mecánicos. Dichos resultados han sido confirmados por el análisis estructural a través del programa computacional Elsym5, en las dos circunstancias de declive o envejecimiento estudiadas.

Dentro de las conclusiones de este estudio se destacan las siguientes:

Respecto al análisis del grado de desempeño de ligantes asfálticos en Perú.

Fue fijado el mapa de distribución del PG del ligante asfáltico para las diferentes regiones del Perú el mismo que debe ser asiduamente actualizado con las bases alcanzadas de todas las estaciones meteorológicas que accederá a seleccionar el ligante asfáltico más conveniente para cada región de trabajo.

De la distribución del PG, para las distintas regiones del Perú se determina que la región de la sierra requiere un ligante asfáltico con PG 58 -22, y para las regiones de la costa y la selva, un ligante asfáltico con PG 70 -10, recordando que no son estimadas las velocidades y el volumen del tráfico.

2.2 Bases teóricas.

2.2.1 Orígenes del asfalto

Se tiene que el asfalto viene a ser uno de los componentes de la ingeniería más antiguo, pues su utilización data desde los inicios del hombre en la industria de la construcción. Se tiene referencia que fue en Egipto que el asfalto fue usado

por primera vez, palabra cuyo vocablo deriva del acadio “Sphalto” el cual significa “deja caer”, este término se utilizaba en Asiria entre los años 1400 y 600 antes de cristo, pasado un tiempo este vocablo fue adoptado por los griegos, quienes dispusieron el significado de “que rigidiza o estabiliza”, y después evolucionó al latín, al francés (asphalte) y al español (asfalto) inclusive llegando al inglés (asphalt).

La palabra asfalto proviene del griego “aspaltos” que es igual a decir “seguro”. Los romanos lo usaban para lacrar sus baños, embalse y acueductos. La historia los asfaltos inician hace miles de años atrás, el asfalto es una creación natural que se da en lagos de asfalto y asfalto en antiguamente, los mesopotámicos lo usaban para impermeabilizar los tanques de agua y baños del templo, los fenicios taponaban las costuras de los buques mercantes en asfalto.

El asfalto refinado dio inicio a la utilización hace casi 200 años como remplazo del asfalto natural, dado que se encontraba en lugares muy distantes y no era muy buena la reología, pues el contenido malténico al calentarse tiende a evaporarse, muy rápidamente y se endurece con mucha facilidad. La industria automotriz se expande y llega una industria nueva, para realizar las mejoras en condiciones de las carreteras otorgándoles mejores texturas y mucho más suaves; es así como se inició el uso del asfalto en la construcción de carreteras. A inicios del siglo XIX.

La industria de mezclas para asfálolos iba en ascenso, empezaron a surgir investigaciones nuevas para saber por medio de muchas pruebas el comportamiento de asfaltos que se desarrollaron, en 1925, Prevost Hubbard realizo métodos de evaluación para saber el (Propiedad física de una mezcla asfáltica compactada) Gmb para simular la conducta de esta, en el campo.

2.2.2 Definición Materiales Bituminosos:

Está definido como betún de hidrocarburos pesados, al resultado de la obtención en estado natural o por distintos procesos físicos o químicos,

consistencia variable y con poder cohesivo e impermeabilizante, siendo soluble completamente en el bisulfato de carbono CS₂ (American Society for Testing and Materials – ASTM).

Ahora, la parte más grande del asfalto producido y utilizado en el mundo es extraído del petróleo, de lo cual es sacado, ausente de las impurezas, es casi todo completamente soluble en bisulfato de carbono o tetracloruro de carbono (IBP, 1994).

Cementos Asfálticos de Petróleo (CAP): Estos son obtenidos de acuerdo al proceso de destilación del petróleo crudo que se realiza a través de distintas técnicas de refinación. En temperatura ambiente, el cemento asfáltico viene a ser un semisólido oscuro, es de textura pegajoso y es material altamente viscoso. Tiene durabilidad y posee excelentes características impermeables y de adhesividad, es muy resistente a la acción de muchos de los ácidos, álcalis y sales. En su mayoría el uso de los cementos asfálticos, son unas mezclas asfálticas usadas para la pavimentación (Roberts et al., 1991).

El empleo de cemento asfáltico en riegos de liga y en las mezclas asfálticas hechas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Dicho empleo será según sus caracteres climáticas en la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y así como lo indica la Tabla 01 según lo establecido en Proyecto y aprobado por el Supervisor.

Selección del tipo de cemento asfáltico

Temperatura Media Anual			
24°C o más	24°C - 15°C	15°C - 5°C	Menos de 5°C
40-50 ó 60-70 o modificado	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado

Tabla 1.- Selección del tipo de cemento asfáltico.

FUENTE: Tabla 415-01 Manual para Carreteras –(2013) Ministerio Transportes Comunicaciones MTC.

El requerimiento de calidad del cemento asfáltico está establecido en las Tablas 02 y 03.

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por penetración

Tipo		Grado Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 g, 5 s, 0,1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de Inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99,0		99,0		99,0		99,0		99,0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) ⁽¹⁾	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽²⁾											
Solvente Nafta – Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163°C, 3,2 mm, 5 h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0,8		0,8		1,0		1,3		1,5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25°C, 5 cm/min, cm ⁽³⁾	MTC E 306			50		75		100		100	

(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.

(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15,5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.

Tabla 2.- Especificación de cemento asfáltico por penetración.

FUENTE: Tabla 415-02 +Manual de Carreteras y Especificaciones Técnicas del año 2013- Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por viscosidad

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1.000±200	2.000±400	4.000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25°C, 100gr, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de Inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máximo	1.250	2.500	5.000	10.000	20.000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) ⁽¹⁾					
Solvente Nafta – Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano – Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

(1) Porcentajes de solvente a usar, se determinará si el resultado del ensayo indica positivo.

Fuente: ASTM D 3381, NTP

Tabla 3.- Especificaciones del cemento asfáltico por viscosidad.

FUENTE: Tabla 415-03 del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción año 2013/Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC del Perú.

El cemento asfáltico, debe tener una apariencia homogénea, que esté libre de agua, además no debe tener espuma al ser calentado en 175°C.

El cemento asfáltico se puede modificar a través del aumento de aditivos de distinta naturaleza, siendo polímeros, rejuvenecedores y productos con garantía que hayan pasado por ensayos correspondientes.

En dichos casos, sus características particulares constituirán que aditivo y las características que cumpla el cemento asfáltico y las mezclas asfálticas que hayan resultado de estas, luego pasaran a ser aprobadas por el supervisor, también la dosificación y dispersión homogénea de lo que se haya incorporado al aditivo..

Las características en cementos asfálticos con polímeros se describen en las tablas 04, 05 y 06 correspondientes a la Sección 431 de las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción 2013 del Manual de Carreteras del MTC junto con sus requisitos de calidad.

Tabla 431-01

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros

Características		TIPO I (*)							
		I-A		I-B		I-C		I-D	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el producto original									
Penetración, 25°C. 100g. 5s, dmm	MTC E-304	100	150	75	100	50	75	40	75
Viscosidad absoluta 60°C, poise	MTC E-308	1.250		2.500		5.000		5.000	
Viscosidad. 135°C, cSt	MTCE-310		3.000		3.000		3.000		3.000
Punto de inflamación. COC. °C	MTC E 303	232		232		232		232	
Solubilidad en tricloroetileno; % (**)	MTC E 302	99		99		99		99	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307 MTC E 319		2,2		2,2		2,2		2,2
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Recuperación elástica. 5°C; %	ASTM D 6084	50				--		--	
Punto de Ablandamiento (anillo y bola). %	MTC E 307	45		50		60		60	
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)									
Recuperación elástica 25°C, 10 cm de elongación; %	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Penetración. 4°C. 200g. 60s; dmm	MTC E-304	20		15		13		10	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307		≤10		≤10		≤10		≤10

(*) Asfalto modificado con polímero tipo Elastómero

(1) Puede utilizarse el horno de película fina (no rotatoria), pero la película fina rotatoria será el método que defina en caso de discrepancia

Fuente: NTP 321.146 (2003)

(**) Opcionalmente se puede utilizar el método ASTM D 5546, para el caso de polímeros que no sean solubles con tricloroetileno

Tabla 4.- Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros

FUENTE: Tabla 431-01 Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 431-02

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros

Características		TIPO II (*)							
		II-A		II-B		II-C		II-D	
		min	max	min	máx	min	máx	min	max
Pruebas sobre el producto original									
Penetración, 25°C. 100g. 5s; dmm	MTC E-304	100		70		85		80	
Viscosidad, 60°C. 1 s-\ poise	MTC E-308	800		1.600		800		1.600	
Viscosidad. 135°C, C; cSt	MTCE-310	300		300		300		300	
Ductilidad. 4°C. 5cm/min; cm	MTCE-306	50		50		25		25	
Punto de inflamación. COC, °C	MTC E 303	232		232		232		232	
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	50		50		50		50	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307 MTC E 319		3		3		3		3
Punto de Ablandamiento (anillo y bola):%	MTC E307	45		50		50		50	
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)									
Ductilidad. 4°C. 5cm/min; cm	MTC E 306	25		25		10		10	
Viscosidad, 60°C. 1 s-\ poise	MTC E-308		4.000		8.000		4.000		8.000

(*) Asfalto modificado con polímero tipo Elastómero.

(1) Puede utilizarse indistintamente el horno de película fina (no rotatoria) u Horno de película fina rotatoria.

Fuente NTP 321.147 (2003)

Tabla 5.- Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros.

FUENTE: Tabla 432-01 Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 431-03

Especificaciones del cemento asfáltico modificado con polímeros

Características		TIPO IV ^(*)							
		IV-A		IV-B		IV-C		IV-D	
		min	máx.	min	máx.	min	máx.	min	máx.
Pruebas sobre el producto original									
Penetración, 25°C. 100g. 5s. dmm	MTC E-304	90		75		65		50	
Viscosidad absoluta 60°C, poise	MTC E-308	1.250		4.000		2.500		6.000	
Viscosidad. 135°C. cSt	MTCE-310		3.000		3.000		3.000		3.000
Punto de inflamación. COC. °C	MTC E 303	232		232		232		232	
Solubilidad en tricloroetileno; % (**)	MTC E 302	99		99		99		99	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307 MTC E 319		2,2		2,2		2,2		2,2
Recuperación elástica, 25°C; %	ASTM D 6084	60		60		60		60	
Recuperación elástica. 5°C; %	ASTM D 6084	50		--		--		--	
Punto de Ablandamiento (anillo y bola), %	MTC E 307	50		50		50		50	
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (1)									
Recuperación elástica 25°C, 10 cm de elongación; %	ASTM D 6084	60		70		60		70	
Penetración. 4°C. 200g. 60s; dmm	MTC E-304	20		20		15		15	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento (anillo y bola) de porción superior e inferior; °C	MTC E 307	≤10		≤10		≤10		≤10	

(*) Asfalto modificado con polímero tipo Elastómero.

Fuente NTP 321.149 (2003)

(1) Puede utilizarse indistintamente el horno de película fina (no rotatoria), pero la película fina rotatoria será el método que defina en discrepancias

(**) Opcionalmente se puede utilizar el método ASTM D 5546, para el caso de polímeros que no sean solubles con tricloroetileno

Tabla 6.- Especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros

FUENTE: Tabla 431-03 Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Asimismo, las especificaciones de cementos asfálticos modificados con polímeros clasificados por Performance Grade (PG) se describen en las tablas 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13 y 14 correspondientes a las Especificaciones para Construcción 2013 del Manual de Carreteras del MTC.

Tabla 423-13
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG según Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<46			<52						<58				<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflexión, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa.s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa, ^e máximo, %	1,00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, ^d mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
Temperatura de curado PAV, °C ^f	90			90						100				100							
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, ^d máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313: ^g máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0.300 temp de prueba @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión Directa, T 314: ^h Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Tabla 7.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-13 del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-13 (continuación)
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 1 de AASHTO M320

	PG 70						PG 76						PG 82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34		
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<70						<76						<82					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34		
Asfalto original																		
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																	
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa·s, temp de prueba, °C	135																	
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
Película delgada en horno rotativo (T 240)																		
Cambio de masa, ^e máximo, %	1.00																	
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, ^d mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76						82					
Residuo en cámara de presión (R 28)																		
Temperatura de curado PAV, °C ^f	100 (110)						100 (110)						100 (110)					
Esfuerzo cortante dinámico G* senS, ^d máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28		
Resistencia al deslizamiento, T 313 : ^g S, máximo 300 MPa valor-m, mínimo 0,300 temp de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		
Tensión Directa, T 314: ^h Def unitaria de la falla, mínimo 1,0% temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24		

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

Tabla 8.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-13 (Continuación) del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-14
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 2 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<46			<52						<58				<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^b	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: ^c máximo 3 Pa·s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^d G*/senS, ^e mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa, ^f máximo, %	1.00																				
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, ^e mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
Temperatura de curado PAV, °C ^g	90			90						100				100							
Esfuerzo cortante dinámico G*/senS, ^e máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Temperatura baja crítica de falla, R 49: Temperatura crítica de falla determinada mediante R 49, temperatura de prueba, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

- ^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 32.3 and R 35.
- ^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.
- ^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.
- ^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.
- ^e El cambio de masa debe ser menor que 1.00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).
- ^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

Tabla 9.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-14 del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-14 (continuación)
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 2 de AASHTO M320

	PG 70					PG 76					PG 82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<70					<76					<82					
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^b	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
Asfalto original																
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230															
Viscosidad, T 316: ^c máximo 3 Pas, temp de prueba, °C	135															
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^d G*/senS, ^e mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70					76					82					
Película delgada en horno rotativo (T 240)																
Cambio de masa, ^f máximo, %	1.00															
Esfuerzo cortante dinámico, T 315: G*/senS, ^e mínimo 2.20 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	70					76					82					
Residuo en cámara de presión (R 28)																
Temperatura de curado PAV, °C ^g	100(110)					100(110)					100(110)					
Esfuerzo cortante dinámico G*/senS, ^e máximo 5000 kPa temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Temperatura crítica de falla, R 49: Temperatura crítica de falla determinada mediante R 49, temperatura de prueba, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 32.3 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

Tabla 10.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-14 (continuación) del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-15
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 3 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58				PG 64							
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<46			<52						<58				<64							
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-34	>-40	>-46	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-46	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40
Asfalto original																					
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo	230																				
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pa·s, temp de prueba, °C	135																				
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS, ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	46			52						58				64							
Película delgada en horno rotativo (T 240)																					
Cambio de masa, ^e máximo, %	1.00																				
MSCR, TP 70 ^f : Tráfico standard "S" ^g I _{vis} , máximo 4.0 I _{res} , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	46			52						58				64							
MSCR, TP 70 ^h : Tráfico pesado "H" ⁱ I _{vis} , máximo 2.0 I _{res} , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	46			52						58				64							
MSCR, TP 70 ^j : Tráfico muy pesado "V" ^k Grade 1 I _{vis} , máximo 1.0 I _{res} , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	46			52						58				64							

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si proveedor garantiza que cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

^h Tráfico estándar "S" en las situaciones más típicas será para niveles de tráfico de menos de 10 millones de EALS.

ⁱ Tráfico pesado "H" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico comprendidos entre 10 y 30 millones de EALS.

^j Prueba MSCR en residuo RTFO debe realizarse en graduación PG basada en alta temperatura ambiental pavimento. Clasificación por golpeo realiza necesitando un valor <3m mientras realiza prueba a T.A.

Tabla 11.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-15 del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-15 (continuación)
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 3 de AASHTO M320

	PG 46			PG 52						PG 58						PG 64					
	34	40	46	10	16	22	28	34	40	46	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	40
Residuo en cámara de presión (R 28)																					
PAV temperature envejecimiento, °C ^a	90			90						100						100					
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: Grado "S" G* senS, d máximo 5000 kPa Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: Grados "H" & "V" G* senS, ^b maximum 6000 kPa Temperatura de prueba @ 10 rad/s, °C	10	7	4	25	22	19	16	13	10	7	25	22	19	16	13	31	28	25	22	19	16
Resistencia al deslizamiento, T 313: ^c S, máximo 300 MPa m-value, mínimo 0,300 temperatura de prueba @ 60 s, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30
Tensión directa, T 314: ^d Rotura de falla, minimum 1.0% Temp de prueba @ 1.0 mm/min, °C	-24	-30	-36	0	-6	-12	-18	-24	-30	-36	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	-30

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente: la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

^h Tráfico estándar "S" en las situaciones más típicas será para niveles de tráfico de menos de 10 millones de EALS.

ⁱ Tráfico pesado "H" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico comprendidos entre 10 y 30 millones de EALS.

^j Tráfico muy pesado "V" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico de más de 30 millones de EALS.

^k La prueba MSCR en el residuo RTFO residuo debe ser realizada en la gradación PG basada en alta temperatura ambiental del pavimento. La clasificación por golpes se realiza necesitando un valor menor de Jnr mientras se realiza la prueba a temperatura ambiental.

Tabla 12.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-15 (continuación) del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-15 (continuación)
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 3 de AASHTO M320

	PG 70						PG 76					PG 82				
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Temperatura de diseño máxima del pavimento promedio de 7 días, °C ^a	<70						<76					<82				
Temperatura de diseño mínima del pavimento, °C ^a	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-40	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34	>-10	>-16	>-22	>-28	>-34
Asfalto original																
Punto de inflamación, T 48, °C, mínimo							230									
Viscosidad, T 316: ^b máximo 3 Pas, temp de prueba, °C							135									
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: ^c G*/senS ^d mínimo 1.00 kPa temp de prueba @ 10 rad/s, °C	70						76					82				
Película delgada en horno rotativo (T 240)																
Cambio de masa, ^e máximo, %							1.00									
MSCR, TP 70 ^f : Tráfico estándar "S" ^g I _{10k} , maximum 4.0 I _{10k} , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	70						76					82				
MSCR, TP 70 ^f : Tráfico pesado "H" ^h I _{10k} , maximum 2.0 I _{10k} , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	70						76					82				
MSCR, TP 70 ^f : Tráfico muy pesado "V" ⁱ Grade 1 I _{10k} , maximum 1.0 I _{10k} , maximum 75% Temp de prueba @ 10 rad/sec, °C	70						76					82				

^a La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

^b Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

^c Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

^d G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

^e El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

^f La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

^g Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

^h Tráfico estándar "S" en las situaciones más típicas será para niveles de tráfico de menos de 10 millones de EALS.

ⁱ Tráfico pesado "H" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico comprendidos entre 10 y 30 millones de EALS.

^j Tráfico muy pesado "V" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico de más de 30 millones de EALS.

^k Prueba MSCR en residuo RTFO debe realizarse en graduación PG basada en alta temperatura ambiental pavimento. Clasificación por golpeo realiza necesitando un valor <3jr mientras realiza prueba a T.A.

Tabla 13.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423 – 15 (continuación) del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

Tabla 423-15 (continuación)
Especificaciones del cemento asfáltico clasificado por PG Tabla 3 de AASHTO M320

	PG 70					PG 76					PG 82					
	10	16	22	28	34	40	10	16	22	28	34	10	16	22	28	34
Residuo en cámara de presión (R 28)																
PAV temperature envejecimiento, °C	100 (110)					100 (110)					100(110)					
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: Grado "S" G* senS, d máximo 5000 kPa Temp de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Esfuerzo Cortante Dinámico, T 315: Grados "H & V" G* senS, d maximum 5000 kPa Temp de prueba @ 10 rad/s, °C	34	31	28	25	22	19	37	34	31	28	25	40	37	34	31	28
Resistencia al deslizamiento, T 313.1 ² S, máximo 300 MPa m-value, mínimo 0.200 temperatura de prueba @ 60 s, °C	0	-6	-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24
Tensión directa, T 314.1 ² Rotura de falla, minimum 1.0% Temp de prueba @ 1.0 min/min, °C	0		-12	-18	-24	-30	0	-6	-12	-18	-24	0	-6	-12	-18	-24

¹ La temperatura del pavimento puede estimarse a partir de la temperatura del aire, usando un algoritmo contenido en el programa de cálculo de superpave, la dependencia específica puede ser suministrada o ser obtenida siguiendo los procesos indicados en M 323 and R 35.

² Este requerimiento puede omitirse a discreción de la agencia específica, si el proveedor garantiza que el cemento asfáltico puede bombearse y mezclarse convenientemente a una temperatura que satisfaga todos los estándares aplicables de seguridad.

³ Para el control de calidad de la producción de cemento asfáltico no modificado, la medición de viscosidad del cemento asfáltico original puede sustituirse por las mediciones del esfuerzo cortante dinámico de G*/senS, para una temperatura de prueba para la cual el asfalto sea un fluido newtoniano.

⁴ G*/senS = Resistencia a alta temperatura y G* senS = Resistencia a temperatura intermedia.

⁵ El cambio de masa debe ser menor que 1,00 % tanto para la variación positiva (aumento de masa) como la negativa (pérdida de masa).

⁶ La temperatura de curado PAV se basa en condiciones climáticas simuladas y es una de tres temperaturas, 90°C, 100°C ó 110°C. Normalmente la temperatura de curado PAV es de 100 °C para el PG 58-xx y superiores. Sin embargo, en climas desérticos la temperatura de curado PAV para PG 70-xx y superiores deben ser fijada como 110°C.

⁷ Si la Resistencia al deslizamiento es inferior a 300 MPa, la prueba de tensión directa no es necesaria. Si la resistencia al deslizamiento se encuentra entre 300 y 600 MPa puede usarse el requerimiento de la deformación unitaria a la falla por tensión directa, en lugar del requerimiento de la resistencia al deslizamiento. En ambos casos debe satisfacerse el requerimiento del valor-m.

⁸ Tráfico estándar "S" en las situaciones más típicas será para niveles de tráfico de menos de 10 millones de EALS.

⁹ Tráfico pesado "H" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico comprendidos entre 10 y 30 millones de EALS.

¹⁰ Tráfico muy pesado "V" en las situaciones más comunes será para niveles de tráfico de más de 30 millones de EALS.

¹¹ La prueba MSCR en el residuo RTFO residuo debe ser realizada en la graduación PG basada en alta temperatura ambiental del pavimento. La clasificación por golpeo se realiza necesitando un valor menor de Jnr mientras se realiza la prueba a temperatura ambiental.

Tabla 14.- Especificaciones de cementos asfálticos clasificados por Performance Grade (PG).

FUENTE: Tabla 423-15 (continuación) del Manual de Carreteras – Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (2013) del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC.

2.2.3 Ligantes Asfálticos Convencionales y Modificados

Ligante asfáltico convencionales:

Materia de carácter cementante con color marrón de oscuro a negro, que consta primordialmente de betunes, origen natural obtenido por refinación de petróleo. El asfalto se muestra en magnitudes variables de mayor parte de los crudos de petróleo. Se le denomina Cemento Asfáltico de Petróleo (CAP).

Ligante asfáltico modificado por polímero:

Las mezclas asfálticas necesitan ser flexible en bajas temperaturas de servicio, para lograr prevenir grietas térmicas por el pavimento, y bastante rígida a temperaturas altas de servicio, para prevenir las continuas deformaciones. Las

mezclas asfálticas, producto del asfalto convencional, no siempre presentan cualidades deseables, por ello se realiza una búsqueda constante de nuevos materiales, que logren mejorar el funcionamiento de los pavimentos asfálticos, por ejemplo, los asfaltos modificados por polímeros. (Escalante, 2007).

En consecuencia, los asfaltos modificados por polímeros son obtenidos a partir de la incorporación de polímero al cemento asfáltico, la cual debe estar en proporción a lo adecuado, incluyendo o no una reacción química. Los ligantes asfálticos que se prestan a la modificación, son aquellos que presentan compatibilidad con el polímero a ser empleado. Un asfalto modificado eficiente, debe mostrar el polímero y el asfalto “entrelazados”, constituyendo dos fases continuas, uno impregnado al otro. Si la mezcla es realizada de forma adecuada, o el asfalto y el polímero no sean químicamente similares, conformarían dos fases con predominio de una sobre otra. En los dos casos, la participación del asfalto modificado, no sería adecuado para su utilización. (Escalante, 2007).

De acuerdo al manual de carreteras el Perú contempla el uso de asfaltos modificados, aunque su aplicación en el país particularmente para obras ejecutadas directamente por el Estado aún está limitada.

2.2.4 Polímeros

Son sustancias macromoleculares, es decir, son las que tienen centenas o millares de átomos que son extraídas de la naturaleza (madera, oleo lubricante, corteza, etc.) o también pueden ser resultado artificial, de la estructura de red de pequeñas moléculas o monómeros. (Escalante, 2007).

La organización de polímeros debe estar realizada en cuatro categorías: Plásticos, fibras, elastómeros y aditivos. Los plásticos son divididos en termoplásticos y termorrígidos, por otro lado, los elastómeros se sub dividen en caucho natural y sintético. (Isacsson & Lu, 1995).

Polímeros Elastómeros:

Se dice Polímeros Elastómeros al resultado de calentar y luego descomponerse, antes de ablandarse. Estos tienen características netamente elásticas que luego se parecen a las del caucho. Ejemplo: styrene butadiene rubber (SBR), styrene butadiene styrene (SBS). (Escalante, 2007).

Elastómero – Termoplástico:

Llamadas así cuando a altas temperaturas, tienden a tener un comportamiento como termoplástico, es decir, se ponen blandos al calentarse, por ello se endurecen al enfriar, y en menores temperaturas muestran propiedades que son elásticas. Ejemplo: styrene butadiene styrene (SBS). (Escalante, 2007).

Polímeros S B S:

SBS son copolímeros elastomérico y a la vez termoplástico, estas cuentan con cadenas intermediarias de poli butadieno y con cadenas terminales, poli-estireno, formando así bloques de polímeros incompatibles (poli estireno termoplástico y poli butadieno elastomérico). El sistema SBS presenta dos fases a temperatura ambiente (poli butadieno que presenta temperatura de transición vítrea de -90°C y el poli estireno de 100°C). Cuando sube la temperatura, los dominios tienden a dispersarse, en ese transcurso los bloques de la parte terminal no se arreglan más al dominio y el SBS, se comporta como un cuerpo plástico. el fenómeno que tiene el comportamiento plástico a temperaturas altas y que son elástico a baja temperatura es totalmente reversible. (Leitte & Soares, 1997).

En estudios realizados por “polímeros SBS”, se observó que el polímero SBS logra subir la elasticidad de los asfaltos a altas temperaturas y primó la flexibilidad de estos a baja temperaturas muy bajas, es decir, ayuda al aumento en la fuerza para deformar las superficies de rodadura y al agrietamiento, en las altas y bajas temperaturas. (Lu & Isacsson, 1997).

Refiere Becker (2001), posiblemente el SBS es el polímero más apropiado para la modificación del asfalto, a pesar que la adición de SBS, tipo copolímero, en

bloque tenga inconvenientes económicos. En cualquier forma, el SBS es el polímero más utilizado para modificar asfaltos.

2.2.5 Definición de asfalto modificado.

Los elementos asfálticos modificados incorporan al asfalto, polímeros, podemos decir sustancias que se mantiene en el tiempo y que luego varia la temperatura, se le agrega material de asfalto que modifique y disminuya la susceptibilidad en temperatura, humedad y oxidación.

Modificar, produce un movimiento superficial iónico, que aumenta la adherencia en la inter fase que va entre el material pétreo y el asfáltico, conservándose aun en presencia del agua. Además, se incrementa la fuerza en mezclas asfálticas, a la deformación y esfuerzos de revuelo repetidos, por lo tanto a la fatiga y reduce el agrietamiento, al igual que la debilidad de las capas asfálticas a las variaciones de temperatura. Los mencionados modificadores normalmente va directo al material asfáltico CAP, anticipadamente a la mezcla con el material pétreo.

Los asfaltos, con polímeros pueden hacer uso de polímeros que puedan conformar unas redes tridimensionales a través de vulcanización, formación de cristales o enredos poliméricas. Lo que son mayormente comunes incluyen:

- LLDPE, LDPE, HDPE.
- PET.
- SBS, SB, SBR.

Los problemas que en su mayoría se encontraron en este tipo, están ligados a la dificultad de obtener resultados de solución coloidal y estable de asfaltenos, maltenos y polímero. Ya que existen entre sí, fuerzas que tienden a separar compuestos formando superficies incompatibles que salen en una falla del material. Según Becker (2001), probablemente el SBS es el polímero más apropiado y el más usado para modificar asfaltos.

2.2.6 Problemas climáticos con los asfaltos modificados

El principal desafío de un asfalto, implica el aguante a la deformación permanente expuestas temperaturas que son muy altas y rompimiento que sucede en bajas temperaturas, países como Suecia y Canadá advierten temperaturas promedio, en un margen menor al de países más cercanos al ecuador, también con climas desérticos, la máxima temperatura es alta, entonces el cambio de temperatura súbito afecta también las características de relajación del material. Altas y bajas temperaturas e intenso tráfico manifiestan un reto para el funcionamiento de estos asfaltos modificados con polímero. El empleo de asfaltos se consolida en su reología, otros modelos como el Modelo de Wagner se han utilizado para describir el proceso reológico de estos materiales. A altas temperaturas el asfalto se comporta como un fluido newtoniano, cabe mencionar que, una vez que esta modificado con polímero, la conducta del es no newtoniano, lo cual complica el estudio del mismo y su predicción para climas fríos y calientes. Las ecuaciones constitutivas son aplicadas para comportamiento reológico.

2.2.7 Ventajas en el uso del polímero en asfaltos

Para continuar, se va enumerar algunas de las ventajas de los asfaltos modificados con polímeros:

- a. Para el asfalto modificado con polímero no es necesario la agitación constante ni debe ser sostenido en altas temperaturas. Ni se verá afectado las propiedades del producto si se mantiene almacenado a temperatura ambiente por tiempos prolongados.
- b. Reduce la susceptibilidad térmica.
- c. Se obtiene un tipo de mezcla mucho más rígidas a altas temperaturas de servicio, reduciendo las roderas; da como resultado mezclas más flexibles a bajas temperaturas de servicio reduciendo el fisura miento.
- d. Mayor elasticidad: Esto se debe a los polímeros en cadenas largas.
- e. Mayor adherencia: Como consecuencia de los polímeros de cadenas cortas.

- f. Mayor cohesión: La acción hace que el polímero refuerce la cohesión en la mezcla.
- g. Mejor compactación y trabajo: Esto se debe a la acción de lubricante que presenta el polímero o los aditivos incrementados para el mezclado.
- h. Mejor impermeabilización: Sucede en los sellados bituminosos, ya que absorbe de mejor manera los esfuerzos tangenciales, evadiendo las posibles propagaciones de las fisuras.
- i. Más resistencia a envejecer: conserva las propiedades del ligante, por consiguiente, los sitios más activos de los asfaltos son ocupados por el polímero.
- j. Mayor durabilidad: envejecimiento y ensayo más raudo en laboratorio, muestran su excelente resistencia al cambio de sus propiedades características.
- k. Proporciona mayor espesor de la película de asfalto sobre el agregado.
- l. Disminuye el costo de mantenimiento.
- m. Acepta la reducción de hasta el 20% de los espesores por su mayor módulo.
- n. Mantiene buenas condiciones en el almacenamiento a temperaturas moderadas.
- o. No es necesario equipos especiales.

2.2.8 Desventajas en el uso del polímero en asfaltos

El uso de polímeros en la modificación de asfaltos también tiene algunas desventajas como las siguientes:

- a. Mayor costo en polímero.
- b. Problemas en mezclado, debido a que polímeros son compatibles en asfalto base.
- c. La menor temperatura de distribución 145°C por el rápido endurecimiento.

Como se aprecia la principal desventaja representa el alto costo inicial de producir el asfalto modificado, sin embargo, si efectuamos el análisis de costo a largo plazo es decir durante la vida útil del asfalto modificado, se concluye que el costo inicial queda compensado con la reducción de los costos de mantenimiento por la mayor vida útil del asfalto modificado, tal como se puede apreciar en la figura N° 01.



Ilustración 1.- Relación Costo inicial vs tiempo de vida útil para asfaltos modificados y asfaltos convencionales.

FUENTE: Monografía: Ventajas y desventajas del uso de polímeros en los asfaltos – Vasquez (2010).

2.2.9 Método Superpave

En 1987, el Strategic Highway Research Program, fue dispuesto por el congreso de EEUU, con presupuesto de 150 millones de dólares en investigación, con el fin de tener la mejora en el desempeño y duración de carreteras de modo que sean más seguras, Al final del programa el producto es un nuevo sistema denominado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement - Pavimentos de Asfalto de Rendimiento Superior). Configura una tecnología provista de manera tal que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral; implementar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones de desempeño en el pavimento. Este procedimiento evalúa los elementos de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfalto), y su interacción cuando están mezclados.

2.2.9.1 Pruebas Superpave al cemento asfáltico:

Las pruebas Superpave a los cementos asfálticos, tiene la función de medir propiedades que son físicas que pueden estar relacionadas directamente al desempeño en campo mediante principios ingenieriles. Las pruebas Superpave para cemento asfáltico, incluso son puestas a temperaturas en que se encuentran los pavimentos en servicio. El motivo central en las especificaciones Superpave es la confianza de las pruebas del cemento asfáltico en condiciones que imitan las tres etapas críticas durante la vida del asfalto. Las pruebas que son realizadas en el asfalto original, constituyen la primera etapa: transportación, almacenamiento y manejo. La segunda etapa representa el asfalto a lo largo de la producción, mezcla y construcción; es simulada por las especificaciones mediante el envejecimiento del asfalto en el Horno Rotatorio de Película Delgada (RTFO). Este proceso expone películas delgadas de asfalto a calor y aire para acercarse al envejecimiento que sufre el asfalto durante su mezcla y construcción. En la tercera etapa, pasa que cuando envejece el cemento asfáltico a partir de la colocación en una mezcla asfáltica, y carpeta asfáltica, hasta el final de su vida de diseño para el cual fue planeado. En esta etapa se aparenta en la vasija de envejecimiento a presión (PAV), a través de la exposición de muestras de asfalto a presión y calor, el envejecimiento se representa en pavimento, durante los años de servicio. En la Tabla N°15 pruebas Superpave, y la finalidad de las mismas.

Equipos	Propósito
Horno rotatorio de película delgada (RTFO) Vasija de envejecimiento a presión (PAV)	Simula las cualidades del envejecimiento en asfalto
Reómetro / corte dinámico (DSR)	Mide elementos del asfalto a temperaturas altas e intermedias
Viscosímetro rotacional (RV)	Mide elementos del asfalto a altas temperaturas

Reómetro: viga en flexión (BBR) Ensaye en tensión directa (DTT)	Mide características del asfalto a bajas temperaturas.
-----------------------------------------------------------------	--------------------------------------------------------

Tabla 15.- Propósito de las pruebas de asfaltos Superpave.

FUENTE: Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para la compactación de mezclas asfálticas- Garnica, Delgado, Sandoval (2005)

2.2.9.2 Ensayos de desempeño

Módulo de rigidez

La rigidez de las mezclas de asfalto-agregado es muy importante para el valor de la calidad de un pavimento y esencial para el estudio de la respuesta del pavimento ante la carga de tráfico.

El ensayo se hace en base a parámetros de la norma ASTM D6648-08

Resistencia a fatiga

La participación de las propiedades a fatiga de la mezcla asfáltica es fundamental a modo de falla es la figuración a raves de fatiga. Se utilizan pruebas de flexión (a 2,3 y 4 puntos).

Dichas pruebas realiza viga de mezcla asfáltica a flexión repetida hasta la falla. Estas obtienen leyes de fatiga y módulos de rigidez a fatiga.

Deformación dinámica

El ensayo de deformación se realiza para estimar el potencial ahuellamiento de mezclas asfálticas, determinándose como a-huellamiento a depresión canalizada en la huella de circulación de los vehículos.

La prueba está en función a los procedimientos descritos en la norma ASTM D7405-10^a.

Ensayos relacionados a cementos asfálticos modificados

Método de ensayo de recuperación elástica para asfaltos modificados

(ASTM D 6084 - 06 AASHTO-T301-99)

El método es utilizado en los asfaltos modificados, los cuales están conformados por las emulsiones y cementos de asfalto modificado. Este ensayo se considera una temperatura $13 \pm 0,5$ °C, 5 cm/min. Velocidad $\pm 5\%$. Para materiales bituminosos elastoméricos se tiene en cuenta elongación 20 cm. para muestra del mismo.

Método para determinar el índice de penetración en asfaltos modificados

(UNE 104-281)

La metodología especifica el proceso que sigue para precisar penetración, IP. Dicho índice calcula valores de penetración y ablandamiento, el cual brinda un criterio de medición.

2.3 Marco conceptual

- Aditivos: Son productos, habitualmente polímeros, que se adicionan a un cemento para asfalto convencional, teniendo como consecuencia un ligante de caracteres reológicas mejoradas.
- Ahuellamiento (pavimento flexible).- Depresión longitudinal del pavimento que coincide con la zona donde pasan con mayor frecuencia las ruedas de los vehículos (huella).
- Asfalto Modificado.- Material que se obtiene al modificar un cemento asfáltico con un polímero, resultando un ligante de características reológicas mejoradas.
- Asociación Molecular.- Se refiere a la asociación que ocurre entre las moléculas de ligante asfáltico durante el almacenamiento a temperatura ambiente. El efecto de la asociación molecular es específico de cada asfalto y puede presentarse incluso después de pocas horas de almacenamiento.
- Bache.- Hoyos de diversos tamaños que se producen en la superficie de rodadura por desintegración local.

- Capa de Rodadura.- Capa superficial de un camino que recibe directamente la acción del tránsito. Debe ser resistente al deslizamiento, a la abrasión y a la desintegración por efectos ambientales.
- Capa Asfáltica.- Capa compuesta de una mezcla de agregados pétreos ligados con asfalto y apoyada sobre capas de sustentación.
- Cemento Asfáltico.- Material obtenido por refinación de residuos de petróleo y que debe satisfacer los requerimientos establecidos para su uso en la construcción de pavimentos.
- Cuarteo.- Procedimiento empleado para reducir el tamaño original de una muestra de suelo o agregado pétreo, cuyo objetivo es obtener una muestra representativa del material y de un tamaño acorde a los requerimientos del ensayo a realizar.
- Deflexión (auscultaciones).- Deformación elástica (recuperable) que sufren los pavimentos al ser solicitados por las cargas que impone el tránsito. La deflexión que presenta un pavimento en un determinado momento es un buen indicador para estimar su vida útil remanente. Se mide tanto en centésimas de milímetro como en micrones (μm).
- Deflexión Elástica.- La recuperación de la deformación vertical que tiene lugar cuando la carga se retira de la superficie.
- Densidad (pétreos).- Cociente entre la masa y el volumen de un material pétreo a una temperatura determinada. Se expresa normalmente en kg/m^3 .
- Emulsión Asfáltica.- viene a ser la dispersión de asfalto en agua con emulsificador.
- Fisura (asfaltos).- Quiebre o rotura que afecta a las capas estructurales del pavimento, de variados orígenes, y cuyo ancho superficial es igual o menor que 3 mm.
- Fluidez o Fluencia (mezcla asfáltica).- Deformación correspondiente a la carga máxima de rotura de una probeta en el ensayo Marshall.
- Grieta de Reflexión.- se llama así a la capa asfáltica del pavimento de hormigón y se junta a la base.
- Grietas por Fatiga miento: es la llamada “piel de cocodrilo”. normalmente de dimensiones menores a 300 mm.

- Imprimación Reforzada.- Es el proceso de Imprimir convencionalmente una superficie granular, luego se coloca ligante y después la capa de arena colocada uniformemente.
- Imprimación.- Es el asfalto liquido sobre una capa de base granular que sella y al cohesionar produce adherencia.
- Ligante Asfáltico.- Cemento basado en asfalto que se elabora de residuos de petróleo, modificadores orgánicos no participados con o sin adición.
- Mezcla en Caliente.- Viene a ser una mezcla asfáltica fabricada, extendida y compactada en caliente.
- Mezcla en Frío.- Son mezclas asfálticas que puede fabricarse, extenderse y compactarse a la temperatura ambiente del mismo.
- Mezcla en Sitio.- Mezcla asfáltica confeccionada en el mismo lugar donde ha de emplearse.
- Muestra de Obra.- Muestra representativa de un pétreo que ya sea sobre un vehículo o en almacenamiento.
- Pérdida de Áridos.- Es la falla/desgaste superficial por pérdida del ligante, su origen por adherencia entre árido y ligante.
- Poros.- Espacios vacíos interiores de una partícula de pétreo.
- Punto de Fragilidad.- Temperatura a la cual una película de material bituminoso muestra la primera fisura o rotura en su superficie, debido a la consistencia adquirida tras ser sometida en condiciones especificadas, a ciclos sucesivos de flexión a temperaturas decrecientes.
- Repavimentación.- consiste en la restauración a través de una capa de pavimento.
- Riego Asfáltico.- Aplicar el ligante asfáltico en la base granular, capas asfálticas o pavimentos.
- Riego de Liga.- Es la aplicación de ligante asfáltico líquido sobre la mezcla asfáltica, adhiriendo inmediatamente a la capa superior.
- Rugosidad.- Es la Irregularidad superficial de rodadura. Se mide a través del Índice de Rugosidad Internacional (IRI).

- Superpave.- Pavimento asfáltico diseñado según procedimientos del programa de investigación denominado SHRP.
- Talud.- Tangente en ángulo con respecto a la vertical.
- Terraplén.- Obra construido empleando suelos apropiados, compactos y fundación de pavimento.
- Trabazón.- acomodo de partículas gruesas del agregado estructural estable.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

Ámbito de estudio: localización política y geográfica

El presente estudio se circunscribe al ámbito de la carretera Huancarani – Paucartambo, el mismo que se ubica políticamente en la Región Cusco al suroriente del Perú, su capital es la ciudad del Cusco. Limita por el norte con las regiones de Ucayali y Junín, por el este con Madre de Dios y Puno, por el Sur con Arequipa y por Oeste con Apurímac.

3.1 Tipo y Diseño de investigación

Siguiendo a Restituto Sierra Bravo, la presente investigación es de tipo aplicada, la investigación siguiendo a Sergio Carrasco Díaz es de nivel descriptivo, primero presenta a las variables de estudio tal como se encuentran en la realidad y desde luego posteriormente busca establecer una vinculación entre las mismas para poder llegar a la respectiva teorización.

Siguiendo a Roberto Hernández Sampieri y colaboradores, se tiene que la investigación comprende un diseño experimental.

3.2 Variables y Operacionalización

3.2.1 Identificación de variables

- Ligante asfáltico modificado.
- Mezcla asfáltica.

3.2.2 Operacionalización de variables

Variable	Definición	Dimensión	Indicadores	Escala de medición
Ligante asfáltico modificado	Material cementante, obtenido por refinación de petróleo, debe satisfacer los requerimientos establecidos para su uso en la construcción de pavimentos, son graduados por su Grado de Desempeño (PG) en función de la temperatura ambiental más alta y la temperatura ambiental más baja a la cual el pavimento se mantendrá sin fallas.	Grado de desempeño	Temperatura Máxima	Razón
			Temperatura Mínima	
			Velocidad por carga	
			Volumen de tráfico	
Mezcla asfáltica	Menciona que “las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato” de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan de acuerdo al diseño vial. (Navarro, 2017).	Diseño	Agregados	Razón
			Ligante Asfáltico	
			Vacios	

Tabla 16.- Operacionalización de variables

FUENTE: Elaboración propia

3.3 Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis

3.3.1 Población de estudio

Está conformada por los 44.38 km de la carretera Huancarani – Paucartambo.

3.3.2 Muestra

16.5 Km iniciales de la carretera Huancarani - Paucartambo

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como menciona Meza (2006, p.151), una técnica es un medio en la cual el investigador procede a elegir la información a recabar, en función de los objetivos de la investigación. Estas técnicas son importantes ya que pueden emplearse en la investigación científica, las técnicas son para:

- Recopilar información documental
- Recolectar datos
- Datos de laboratorio
- Excel, Spss u otros

Se realizará la observación en el cual como refiere Carrasco (2013, p. 283), esta técnica permite tener información precisa y objetiva, que permitirá solucionar la problemática, mediante la medición de los rasgos y características en datos de resultados.

3.5 Procedimiento

Partiendo de las bases teóricas que se ha planteado dentro del método utilizado, se procedió a la aplicación de las mencionadas técnicas de forma contextual, en el caso a investigar, se comenzó por establecer los pasos a seguir en cada una de las técnicas, por ejemplo: ¿cómo se va a hacer?, ¿cómo se va trabajar? y ¿con quiénes?, así como el planteamiento de los instrumentos de medición, las formular aplicadas y discusión según sea el caso.

3.6 Método de Análisis de Datos

Los datos alcanzados a lo largo del trabajo de campo, ha pasado por un procesamiento y análisis a través de Excel.

3.7 Aspectos Éticos

La presente tesis, se elaboró respetando los principios y normas de la Universidad Cesar Vallejo, información que servirá para empresas públicas y privadas, de disponer la información para precisión de sus proyectos, asimismo la investigación se basó en la ética profesional, respetando todos los lineamientos del autor.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

Para la descripción de la dimensión vamos a describir el proyecto: en mención ejecutada por el Gobierno Regional de Cusco.

4.1 Características generales de la vía materia de estudio

La elaboración del estudio definitivo a nivel expediente técnico de proyecto tiene una longitud de 44+380.95 kilómetros es como resultado de la solicitud de los beneficiarios de la provincia de Paucartambo, y la propuesta de los Estudios de Factibilidad de la Etapa de Pre inversión del proyecto “Mejoramiento de la carretera Huancarani-Paucartambo provincia de Paucartambo, departamento del cusco” de código SNIP: 214769 cuya fecha de viabilidad es del 27 de diciembre del año 2012. El mejoramiento de esta vía es ventajoso, comparativa y competitivas en la región.

La carretera materia de estudio no tiene transitabilidad continua sobre todo en las épocas lluviosas por existir en ella una zona inestable denominada Papahura. La vía actualmente tiene un trazo con características geométricas inadecuado, cuenta con obras de arte insuficientes e inadecuadas, estas consideraciones sumado al deficiente plan de mantenimiento hacen que sea una vía inadecuada para el tránsito peatonal y vehicular y lo que demandan las poblaciones de esta zona son vías que mejoren sus condiciones de traslado de sus productos agropecuarios, traslado de los turistas, traslado de la población en condiciones óptimas.

Los centros poblados beneficiados directamente con la carretera son los siguientes: Huancarani, Paucartambo, Tambopata, Quiner Huaccaycancha, Patacancha, Soledad, Mahuaypampa, Huayllabamba, Kcautay, Accha, Vizcochoni.

La elaboración del Expediente Técnico de esta vía estuvo a cargo de la Gerencia de Estudios e Infraestructura y correspondió a la visión de desarrollo proyectada por el Gobierno Regional Cusco, que contempla la articulación de sus poblaciones por medio de vías de comunicación de masiva influencia de carga y pasajeros. Y está enmarcado dentro de la Ley N° 27293 Ley del Sistema Nacional de Inversión Pública, la ejecución del proyecto ha sido prioritaria, por beneficiar una zona con un potencial Turístico, agrícola, ganadera, entre otros. El proyecto se elaboró en concordancia a las Normas de Diseño de Carreteras DG-2001, Normas para el Diseño de Caminos Pavimentados; y teniendo como base el Perfil del proyecto

aprobado por la Entidad. Este proyecto durante el año 2018 fue actualizado en concordancia a las Especificaciones Generales EG 2013 del Ministerio de Transportes principalmente en mejorar las exigencias para el uso de asfaltos.

4.2 Análisis de las condiciones actuales de la vía.

La carretera hacia Huancarani - Paucartambo presenta una longitud 44.38 Km. Articulando poblados y distritos de Paucartambo. Inicia al Salir del Distrito de Huancarani y su recorrido es a través de los centros poblados de Mahuaypampa, Ccascara, Ninamarca, Ccucya, Micca, Vizcochoni, Colquepata, Challabamba, llegando finalmente a Paucartambo.

La carretera materia de estudio es una vía principal, con acceso a la ciudad de Paucartambo, es una vía Cusco-Paucartambo, Estas zonas son consideradas importantes, ya que se da el intercambio comercial y posee un importante potencial, por la existencia de turístico, cuenta con vinculación político administrativo hacia la ciudad del Cusco-capital del Departamento. Actualmente se accede del Cusco a Paucartambo por vía asfaltada Cusco - Huancarani, siguiendo la carretera afirmada Huancarani – Paucartambo, esta es la vía a asfaltar.

La carretera Huancarani – Paucartambo, se encontraba a nivel afirmada, lastrada en longitud, tiene algunas cunetas en tierra, el ancho de plataforma es variable entre 4m a 6m. Estas características determinan la inadecuada transitabilidad de la carretera, afectando principalmente el tráfico vehicular.

La ejecución se realizó sin estudio previo, se ha venido mejorando por trabajos de mantenimiento, no se ha mejorado la parte geométrica técnica - normativa, por esta razón se observa deficiencias, en los anchos de plataforma a esta vía, lo cual aumenta la dificultad para el tránsito de los vehículos pesados y de circulación segura.

4.3 Análisis de las características actuales de la vía.

Respecto a la superficie rodadura: La topografía de donde pasa el eje de carretera existente, es netamente ondulada y con tramos de 0% a 14% de pendiente.

Muestra existencia de Baches con diámetro máximo de 1.00 m, esto en los tramos tangentes en 30 % al ancho de la vía y en calaminados en sus curvas con algunos cambios de pendiente o gradiente. Por otro lado se puede ver la superficie de rodadura está formada por material gravoso, y deleznable producto de las zonas de falla, que circundan a la carretera.

En relación a las alcantarillas que existen, el 90% se encuentra deteriorada u obstruidas, 10% de ello encuentran en regular estado y semi-obstruidas; por no contar con mantenimiento. Cabe mencionar que técnicamente son insuficientes para el buen funcionamiento del terraplén que se pueda garantizar. Esta carretera tiene solamente cunetas de tierra eventuales, es así que se encuentran sin mantenimiento es decir están colmatadas, lo cual ocasiona inundación en la vía por sectores.

En cuanto a la señalización de la carretera, solo existe una que fue colocada por el ministerio de cultura, para los centros poblados; a partir de ello no presenta señalización en los tramos siguientes, por lo cual urge la implementación. En la actualidad presenta un pontón; con presencia de vestigios de desembalses propios de la naturaleza y el flujo del agua, Hoy en día es transitado y en un estado de conservación regular. La ejecución de este proyecto inició en el año 2013, siendo en los años 2017 y 2018 donde se ha registrado mayor ejecución y precisamente donde se ha registrado el mayor avance físico en la colocación de carpeta asfáltica. El tramo de carpeta asfáltica colocado hasta el año 2017 se efectuó con asfalto convencional utilizando CAP 120-150, y para el año 2018 se sustentó la necesidad de utilizar la tecnología del asfalto modificado con polímeros a fin de mejorar la performance el proyecto.

Actualmente la carretera Huancarani- Paucartambo, tiene una zona de falla o Papahura, tiene deslizamientos, ocasionando accidentes en época de lluvia. En la siguiente Tabla 16 se aprecian las principales características técnicas de la vía proyectada.

Descripción	Con proyecto
Longitud total del tramo	44.38 Km (44,380.95m).

Tipo de Material de Superficie	Asfalto en Caliente 3" – tramos en asfalto convencional y tramo final con asfalto modificado
Ancho de la plataforma	6.00m.
Bermas	0.50m. a cada lado
Velocidad Directriz	>30 km/h
Radios de curvatura mínima	30m. y Excepcional 25m.
Pendientes Máxima	8.00%
Pendiente Mínima	0.15%
Cunetas	0.50X1.00m de concreto f'c 175 kg/cm2
Bombeo	2%

Tabla 17.- Características técnicas de la vía proyectada.

Fuente: Expediente técnico de obra mencionada

Partidas	Sub total S/.
Costo Directo	143,537,087.57
Gastos Generales 8.68222199%	12,462,208.58
Gastos de Supervisión de Obra 3.154569603%	4,527,977.33
Gastos de Expediente Técnico 1.50%	2,153,056.31
Gastos de Evaluación 0.38128574%	547,286.44
Gastos de Liquidación 0.304478615%	437,039.74
TOTAL, PRESUPUESTO	163,664,655.97

Tabla 18.- Presupuesto Aprobado en Expediente Técnico.

Fuente: Expediente técnico de obra mencionada

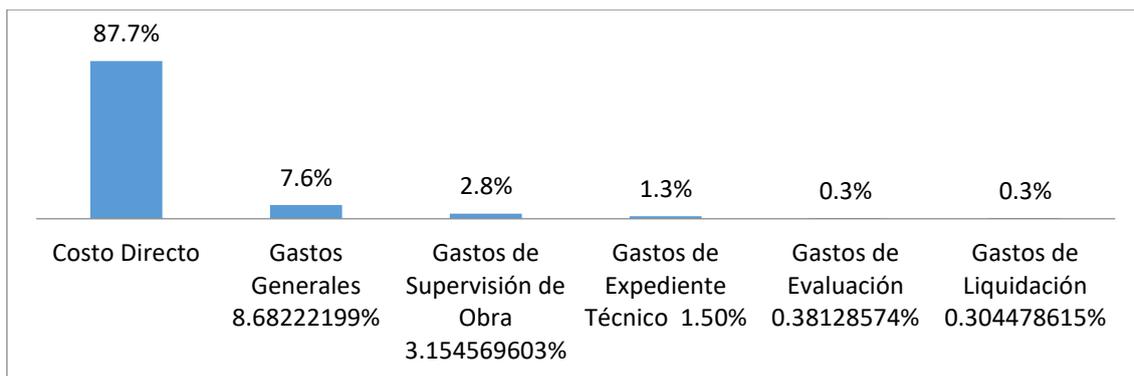


Ilustración 2.- Presupuesto asignado a la obra carretera Huancarani – Paucartambo.

Como se advierte el 87.70 %, es decir los S/. 143'537,087.57 corresponden al costo directo de la obra, donde se ha previsto el costo de materiales considerando inicialmente el uso de asfalto convencional con CAP 120/150. Durante el año 2018 se ha realizado el sustento técnico y efectuado las modificaciones presupuestales a fin de considerar el uso de asfaltos modificados con polímeros en este proyecto hasta su culminación. El cambio del uso de asfalto convencional a asfalto modificado radica principalmente en reemplazar el insumo CAP 120-150 por el CAP IB PG 70-28V originándose un incremento del precio base del insumo CAP 120-150 aproximadamente del 25% del cemento asfáltico restante proyectado hasta la culminación del proyecto, permitiendo lograr un mejor performance de la calidad del asfalto y proyectar una mejor vida útil del pavimento dada las ventajas que presenta el uso de los asfaltos modificados.

4.4 Selección del tipo de ligante asfáltico modificado con polímeros para la carretera Huancarani - Paucartambo.

Del análisis de las condiciones y características de la vía del proyecto: Mejoramiento de la carretera Huancarani – Paucartambo, y en aplicación de la Metodología Superpave contemplada en la EG 2013 del Ministerio de Transportes, es que se realiza el sustento de desarrollo de alternativas y selección del tipo de cemento asfáltico modificado con polímeros para el proyecto: Mejoramiento de la Carretera Huancarani-Paucartambo cuya ejecución recae en la Gerencia de Infraestructura del Gobierno Regional de Cusco a través de la Sub Gerencia de Obras.

En el presente trabajo se muestra el procedimiento metodológico empleado para la selección del ligante asfáltico más adecuado para este proyecto de acuerdo a las exigencias Superpave:

Metodología de Selección del ligante asfáltico modificado para el proyecto: Mejoramiento de la Carretera Huancarani – Paucartambo.

Este informe presenta una propuesta para el asfaltado de la carretera Huancarani - Paucartambo, para lo cual se estudió la alternativa del uso de un asfalto modificado con polímero SBS, lo cual es sustentado en este estudio efectuado donde se seleccionó el tipo de ligante asfáltico requerido en función de las condiciones meteorológicas de la zona de proyecto, y en el grado de desempeño determinado de los diversos tipos de materiales asfálticos convencionales y modificados con polímeros.

La carretera Huancarani - Paucartambo en su 100% de su longitud se encuentra a una altitud mayor a los 3042 msnm y altura máxima de 3,850 msnm.

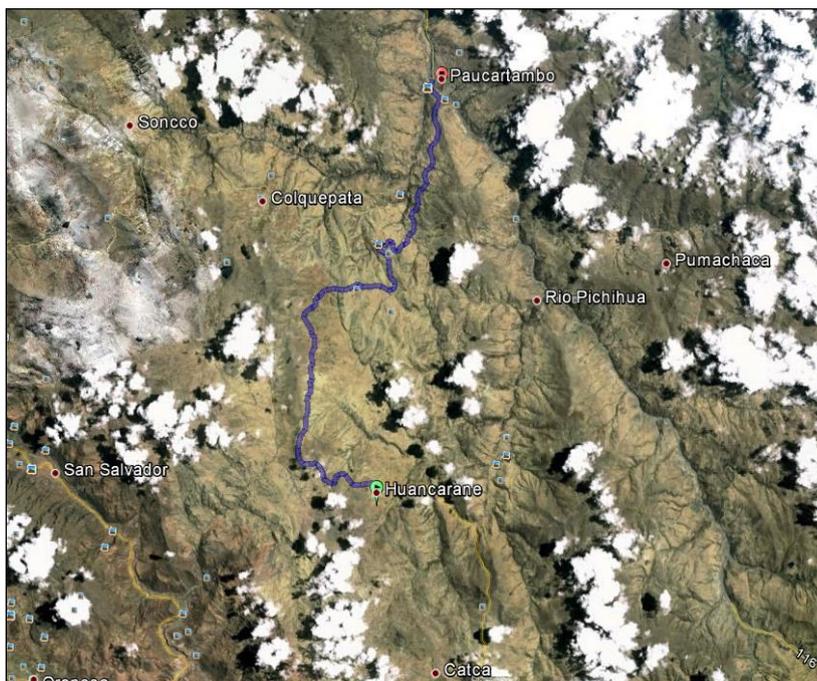


Ilustración 3.- Ubicación de carretera en estudio.



Ilustración 4.- Perfil longitudinal de la carretera.

El diseño inicial del pavimento de este proyecto fue realizado por la Sub Gerencia de Estudios y Proyectos del Gobierno Regional aún en el año 2012 en el que se consideró como ligante asfáltico para este proyecto al PEN 120-150 sin embargo no se contaba con ningún sustento del ¿por qué se seleccionó este cemento asfáltico?

En el año 2018 preocupados por el deterioro prematuro que vienen presentando los asfaltos convencionales en zonas de altura, se decidió realizar el sustento de elección del ligante asfáltico adecuado para este proyecto considerando las nuevas metodologías tecnológicas existentes a la fecha. Entonces para contar con algún sustento de elección del tipo de pavimento adoptado para este proyecto fue tomando en consideración el dimensionamiento realizado por la metodología AASHTO-93 para periodo de vida útil de 10 años, asimismo debe considerarse que Paucartambo muestra clima cálido y seco, en la cuenca media del río Paucartambo - Mapacho o Yavero, Río Quencomayo (Huancarani) río Vilcanota, río Huasacmayo, es decir en vía de estudio, hacia las partes bajas de laderas de los bosque, el que a su vez forma parte de la Cordillera Oriental de los Andes Peruanos. En las punas (Huancarani) y alrededores en las regiones que rodean a los glaciares; se encuentran por encima de los 3 800 msnm.

Teniendo en consideración que en todo este tramo carretero, la carpeta asfáltica estará a servicio por un tiempo a temperaturas frías, situación en la cual la carpeta asfáltica adquiere condiciones de fragilidad críticas (incremento del módulo de rigidez y pérdida de flexibilidad), por lo tanto a fin de retardar la aparición de fisuras de retracción térmica y de dotar a la carpeta asfáltica de la mayor flexibilidad posible bajo estas condiciones climáticas es necesario utilizar una mezcla asfáltica con cemento asfáltico modificado con polímero SBS.

4.4.1 Determinación del Grado de Desempeño o PG

El registro de las estaciones meteorológicas cercanas al proyecto nos permite determinar las temperaturas de diseño a ser utilizadas en este método. Es importante señalar que las temperaturas necesarias para esta clasificación, temperaturas del pavimento y el aire. Para el caso de las temperaturas altas se mide a profundidades de 20 mm por debajo de la superficie del pavimento; mientras que para las temperaturas bajas se mide en la superficie del pavimento. Por esta razón existen algunas relaciones que deben ser utilizadas para ajustar estos valores.

4.4.2 Cálculo de la Temperatura Máxima del Pavimento

El cálculo de temperaturas a más de 20 mm de profundidad en pavimento se ha realizado por tres modelos: Modelo recomendado por el (Strategic Highway Research Program) SHRP original, y los modelos, en investigaciones hechas a investigadores del LTPP Bind (FHWA) de 1996 y 2004. De estos, el modelo más actualizado del LTPP Bind (2004) proporciona valores precisos, velocidad del viento, y radiación solar utilizando el modelo climático integrado (ICM) de la FHWA para el cálculo de las temperaturas máximas del pavimento, motivo por el cual este fue el modelo considerado para la determinación del PG a alta temperatura. La ecuación a adaptar es:

$$T_{max} = 32.7 + 0.837 T_{max\ aire} - 0.0029 Lat^2 + z (\sigma^2 + \delta^2_{modelo})^{0.5}$$

Donde:

- T_{max} = Temperatura máxima del pavimento a 20mm de profundidad (°C)
- $T_{max\ aire}$ = Temperatura máxima del aire (°C)
- Lat = Latitud local del proyecto (°)
- Z = Valor obtenido de la tabla de distribución normal para un cierto valor de confiabilidad.
- δ_{modelo} = Error estándar del modelo utilizado = 2.1 °C
- σ = Desviación estándar de los datos registrados

Con esta relación calculamos la temperatura máxima del pavimento.

4.4.3 Cálculo de la Temperatura Mínima del Pavimento

Para el caso de este proyecto se consideró los resultados del modelo SHRP original debido a que nuestras bajas temperaturas son críticas debido a las fuertes gradientes térmicas que tenemos y cambios bruscos en cortas etapas de tiempo que generan un problema sumamente crítico en el pavimento.

En nuestro caso, por tratarse de una zona con gradientes de temperatura extremadamente elevados, es importante considerar un criterio conservador. Este modelo postula que la temperatura del pavimento es igual a la temperatura mínima del aire por lo que se puede utilizar la siguiente relación para calcular este valor:

$$T_{\min \text{ aire}} = T_{\text{media aire}} - Z * \sigma$$

Donde:

- $T_{\min \text{ aire}}$ = Temperatura mínima en la superficie del pavimento (°C)
- $T_{\text{media aire}}$ = Temperatura media del aire (°C)
- Z = Valor obtenido de la tabla de distribución normal para un cierto valor de confiabilidad.
- σ = Desviación estándar de los datos registrados

Con esta relación calculamos la temperatura mínima del pavimento.

4.4.4 Ajustes del Grado de Desempeño o PG

Existen algunos ajustes que deben realizarse al grado de desempeño obtenido según las ecuaciones mostradas anteriormente. Esto se debe a que existen algunas condiciones distintas que no son consideradas en el modelo original y que aplican en muchos de los proyectos que se desarrollan en nuestro país.

4.4.5 Ajuste por velocidad de aplicación de carga

El modelo del programa SHRP toma en consideración cargas de camiones a alta velocidad, 90 km/h, simuladas en ensayos de corte dinámico (DSR – Dynamic Shear Rheometer). Sin embargo, la velocidad del proyecto es

menor a este valor; por esta razón lo que se recomienda es incrementar la temperatura máxima en un nivel (6°C) para simular esta condición. Esto se debe a que, para menores velocidades, debido a que el tiempo de aplicación de la carga es mayor, la rigidez de la mezcla disminuye. Incrementar el tiempo es equivalente a incrementar la temperatura sobre el mismo.

4.4.6 Ajuste por volumen de tráfico

Por otro lado, el alto volumen de tráfico a transitar por esta vía en el tiempo también supone un efecto perjudicial sobre la misma. Esto se puede ver reflejado como un impacto directo sobre el comportamiento del ligante asfáltico por lo que se recomienda aumentar un nivel adicional (6°C) para evitar que el asfalto pierda rigidez bajo estas condiciones.

N de Proyecto (10 ⁶)	Ajuste del grado del ligante PG		
	Velocidad de Tráfico		
	Parado (V < 20 km/h)	Lento (V = 20 a 70 km/h)	Normal (V > 70 km/h)
< 0.3	-	-	-
0.3 a < 3	2	1	-
3 a <10	2	1	-
10 a < 30	2	1	-
≥ 30	2	1	1

Tabla 19.- Selección de ligantes asfálticos en función del nivel de tráfico y la velocidad.

En forma similar al principio de intercambio tiempo-temperatura descrito para la temperatura del ensayo del Reómetro de la Viga a Flexión (ensayando a una temperatura 10°C más alta se reduce la duración del ensayo de 2 horas a 60 segundos), considerando uno o más grados de temperatura alta, compensara y la velocidad será más lenta.

Hay un efecto adicional en los pavimentos para caminos de montaña que no está considerado directamente en la metodología Superpave, ya que no forman parte de las normas de diseño de los países desarrollados, que es el tema de las pendientes elevadas con que se diseñan los caminos asfaltados en Perú ($P > 6\%$). Los efectos de las cargas tangenciales sobre el ligante propician el flujo del mismo, por lo que adicionalmente el material asfáltico deberá ser seleccionado a temperatura alta, tal como un PG 70 en lugar de PG 64. El grado a más de (64°C o 70°C) no posee significado físico, ya que el pavimento nunca alcanzará esa situación; La especificación asegura que el ligante tendrá rigidez suficiente a los 64°C .

4.4.7 Estudio de clima del proyecto

Por atravesar el trazo del proyecto las cadenas montañosas de la Cordillera de los Andes, el clima asociado es particularmente típico de las zonas de altura, es decir, un clima caracterizado por la ocurrencia de temperaturas extremas cíclicas diarias, con máximas de 25.04°C durante el día y mínimas de 0.0°C en las madrugadas. La nubosidad es generalmente escasa y la radiación solar elevada. En esta zona, el clima es frío y seco.

Las temperaturas y la humedad disminuyen a medida que aumenta la altura. El proyecto se desarrolla sobre alturas aproximadas de 3400 msnm, como cota promedio y 3850 msnm como cota máxima.

Para poder seleccionar el ligante asfáltico más adecuado para un proyecto es importante contar con información climática de la zona donde se desarrollará el mismo. En este caso, se cuenta con el registro de la estación meteorológica de PAUCARTAMBO. De acuerdo al registro de temperaturas diarias de esta estación meteorológica se pueden realizar los cálculos necesarios para obtener el PG o Grado de Desempeño de este proyecto.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	LONGITUD	LATITUD	ALTURA (msnm)
PAUCARTAMBO	$71^{\circ} 35'$	$13^{\circ} 19'$	3042

Tabla 20.- Estaciones meteorológicas utilizadas para el proyecto.

Se ha procedido a efectuar un estudio exhaustivo del clima en la zona del proyecto, recurriendo para ello a la recopilación de información meteorológica oficial proveniente del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrografía (SENAMHI). Los datos correspondientes a una serie histórica de datos diarios, a lo largo de 5 años (2012-2016), obtenidos en la Estación Meteorológica de Paucartambo.

De la evaluación superficial realizada a los pavimentos construidos en el Perú en las zonas alto andinas con altos gradientes térmicos en los años de 1994 al 2004, se ha podido determinar que los pavimentos proyectados presentaron fisuramiento prematuro por contracción térmica de la carpeta asfáltica en caliente convencional, a pesar de haberse utilizado asfaltos convencionales de baja viscosidad con grado de penetración de 120 – 150 y consideraciones de diseño de mezclas asfálticas menos rígidas (relación estabilidad/flujo del ensayo Marshall) y con menor contenido de vacíos en la estructura de la mezcla asfáltica (% de vacíos = 2 %), además de presentar también problemas de deformación permanente y envejecimiento.

4.4.8 Cálculo del grado de desempeño del asfalto

Para este proyecto, el PG de los asfaltos es seleccionado la región geográfica y las temperaturas a las cuales estará sometido el pavimento (a partir de los registros históricos de temperaturas del aire). Se han obtenido los datos proporcionados por la Oficina General de Estadística e Informática del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI), que corresponden a la estación meteorológica de Paucartambo. Estos datos han sido procesados de acuerdo a la metodología Superpave, encontrándose los resultados mostrados en la Tabla 23., las temperaturas de diseño usadas para la selección del grado de desempeño del ligante asfáltico, es básicamente la temperaturas en el pavimento, mas no la temperatura en el aire. Por ello las capas de la superficie, Superpave marca la “temperatura alta” en el pavimento, a profundidad de 20 mm, debajo, en el pavimento, y la “temperatura baja” en superficies del pavimento.

AÑO	Temperatura máxima (siete días consecutivos más calientes)	Temperatura mínima (día más frío)
2012	23.84	1.00
2013	22.79	1.20
2014	24.74	0.30
2015	25.04	0.10
2016	24.77	0.20
Promedio	24.24	0.56
Desviación estándar	0.93	0.50

Tabla 21.- Datos Estación Meteorológicas Paucartambo.

Temperatura máxima

A partir de la información recibida y la ecuación descrita en la sección 4.4.2 se procede a calcular la temperatura máxima para cada una de las estaciones meteorológicas analizadas.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	TEMPERATURA DEL AIRE ALTA (°C)		TEMPERATURA DEL PAVIMENTO (°C)
	MEDIA	DESV. ESTANDAR	T PAV MAX.
PAUCARTAMBO	24.24	0.93	57.2

Tabla 22.- Temperaturas máximas del pavimento

Temperatura mínima

A partir de la información recibida y la ecuación descrita en la sección 4.4.3 se procede a calcular la temperatura mínima para cada una de las estaciones meteorológicas analizadas.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	TEMPERATURA DEL AIRE BAJA (°C)		TEMPERATURA DEL PAVIMENTO (°C)
	MEDIA	DESV. ESTANDAR	T PAV MIN.

PAUCARTAMBO	0.56	0.50	-0.5
-------------	------	------	------

Tabla 23.- Temperaturas mínimas del pavimento.

A partir de estos datos se obtiene el PG de diseño para cada una de las estaciones meteorológicas analizadas.

ESTACIÓN METEOROLÓGICA	TEMPERATURA DEL PAVIMENTO		GRADO DE DESEMPEÑO DEL ASFALTO (PG)
	T _{PAV} MAX.	T _{PAV} MIN.	
	°C	°C	
PAUCARTAMBO	57.2	-0.5	58 -10

Tabla 24.- Grado de Desempeño por área geográfica.

Luego, considerando los ajustes presentes en la sección 4.4.4 se puede obtener el Grado de Desempeño o PG para este proyecto.

PG por área geográfica	Ajuste por Velocidad de tránsito (20 a 70 km/h)	Ajuste por tráfico lento (<20 km/h debido a ser una carretera sinuosa con pendientes fuertes y curvas de volteo)	PG (recomendado)
PG 58 -10	PG 64 - 10	PG 70 - 10	PG 70 - 10

Tabla 25.- Grado de Desempeño calculado

Resultados de los Ligantes asfálticos modificados

LIGANTE ASFÁLTICO	GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG RECOMENDADO	CONCLUSIÓN
CAP PEN 120 – 150	58 – 28	70 – 10	NO CUMPLE
CAP MODIFICADO CON POLIMEROS SBS PG 70 - 28	70 – 28	70 – 10	SÍ CUMPLE

En los ensayos de Corte Dinámico (DSR) se encuentra que los asfaltos modificados con polímero presentan un desempeño de 70°C en ligante virgen, de igual manera en ligante envejecido en el RTFO presentan un desempeño de 70°C, clasificándolo de esta manera el asfalto a alta temperatura con un PG 70. Asimismo, se determinó la pérdida de masa, encontrándose que en todos los casos presenta resultados por debajo de 1.0%, lo cual cumple con la norma AASHTO M 320.

Los resultados de los ensayos en el reómetro de viga a flexión (BBR), luego del proceso de envejecimiento a presión (PAV), indican que los asfaltos modificados con polímero presenta un valor m y un módulo de rigidez (S) que permiten graduar a los asfaltos a baja temperatura como PG -28. Clasificándose de esta manera los asfaltos modificados con polímero con un PG 70 -28.

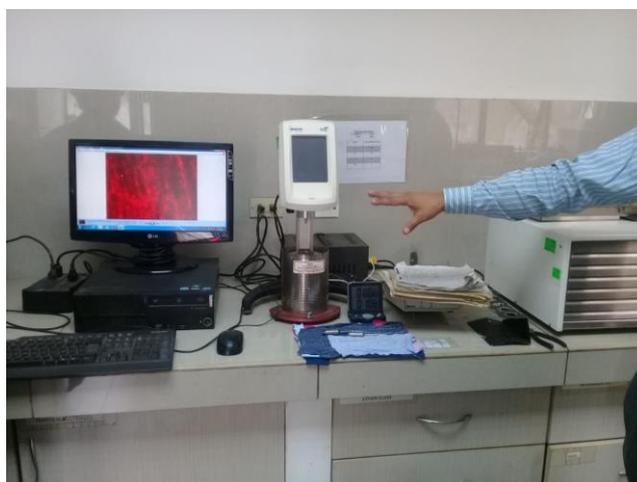


Ilustración 5.- Ensayo de Corte Dinámico (DSR)



Ilustración 6.- Ensayo de Horno de película delgada Rotacional (RTFO)



Ilustración 7.- Ensayo de viga de a flexión (BBR)

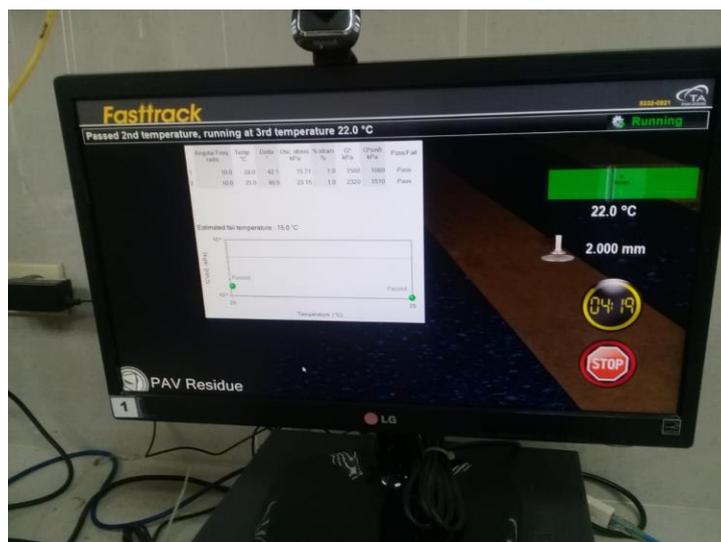


Ilustración 8.- Ensayo de envejecimiento a presión (PAV)

4.4.9 Selección del tipo de ligante asfáltico

De acuerdo a los ligantes asfálticos disponibles se recomienda el uso de un asfalto modificado con polímeros que cumpla los requerimientos del proyecto.

LIGANTE ASFÁLTICO	GRADO DE DESEMPEÑO (PG)	PG RECOMENDADO	CONCLUSIÓN
CAP PEN 120 – 150	58 – 28	70 – 10	NO CUMPLE
CAP MODIFICADO CON POLIMEROS SBS PG 70 - 28	70 – 28	70 – 10	SÍ CUMPLE

Tabla 26.- Ligante asfáltico recomendado para el proyecto.

Durante el proceso de construcción es importante que se realicen ensayos dinámicos. Estos también son importantes para el correcto desempeño de la solución a colocar. Se puede tomar como referencia los ensayos descritos en las Especificaciones Generales EG-2013 del MTC. Estos ensayos deberán ser realizados utilizando los agregados y el diseño de mezcla específico para el proyecto.

4.5 Diseño de mezcla asfáltica para la carretera Huancarani – Paucartambo

Se procedió a formular el diseño de mezcla asfáltica con el ligante asfáltico modificado con polímeros PG 70-28 seleccionado para el proyecto: Mejoramiento carretera Huancarani – Paucartambo, en laboratorio implementado con tecnología superpave de la empresa TDM ASFALTOS, el mismo que se adjunta en los anexos de este estudio.

Chimborazo (2012) en la monografía intitulada: “Diseño de las mezclas asfálticas, mediante SUPERPAVE” considera lo siguiente:

Contando con un presupuesto superior a los 150 millones en dólares invertidos en programas de investigación, con fondos de Estados Unidos, algunos países de Europa, Canadá y México, se desarrolló entre los años de 1987 a 1993 el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras, más conocido como Strategic Highway Research Program (SHRP) con la finalidad brindar un mejor diseño y desempeño para la duración de carreteras, haciéndolas seguras para automovilistas y trabajadores de las mismas. Iniciando un sistema para especificación de materiales asfálticos, el producto llamado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement). Este nuevo sistema representa una tecnología para especificar la relación entre cemento asfáltico y agregado mineral, así como desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer el desempeño del pavimento. Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfaltos) y su interacción cuando están mezclados. (Chimborazo, 2012)

El sistema SUPERPAVE entrega:

- Nuevas especificaciones para asfaltos.
- Nuevas especificaciones para agregados.
- Nuevos métodos de diseño de mezclas asfálticas.
- Nuevos modelos de predicción del comportamiento.

Enfocado en producir una mezcla que se comporte adecuadamente, el primer paso del análisis SUPERPAVE involucra la selección cuidadosa de los materiales y el proporcionamiento volumétrico de los mismos.

Los niveles superiores de análisis requieren la utilización de sofisticados ensayos, gran parte de los cuales aún se encuentran siendo perfeccionados. Estos niveles apuntan a determinar con precisión el comportamiento futuro de la estructura del pavimento ante variables como el clima y el tráfico.

Como resultado final del SHRP ha sido el desarrollo de SUPERPAVE, (Superior Performing Asphalt Pavements), sistema que conlleva especificaciones nuevas para materiales de asfaltos y agregados, así también muestra nuevos ensayos de laboratorio con un renovado método de diseño, exclusivo para mezclas asfálticas en caliente.

De acuerdo a las especificaciones SUPERPAVE, los ensayos a los ligantes, van a realizar bajo distintas temperaturas, lo que permitira identificar la temperatura crítica en que cada ensayo alcanza su valor límite especificado. De manera tal que se pueda establecer un rango de temperaturas, donde un asfalto en particular pueda desempeñarse muy adecuadamente. En este sentido podemos decir que la clasificación con respecto a Cementos Asfálticos por Grado de Desempeño, (PG) establecida por SUPERPAVE es en base a la siguiente forma general:

PG XX – YY

Dónde:

PG: Nomenclatura utilizada para la clasificación por Grado de Desempeño.

YY: Temperatura mínima de diseño del pavimento (°C)

XX: Temperatura máxima de diseño del pavimento (°C)

Ejemplo: Un asfalto PG 58–28 es utilizable en proyectos donde se tenga que la temperatura máxima de diseño de pavimento es de 58°C y con una mínima de -28°C. Estas temperaturas del diseño de pavimento de dicho proyecto en particular (temperatura máxima y mínima) debe ser calculada a través del algoritmo denominado por SUPERPAVE, en conclusión se usa los datos climatológicos de la zona, donde esté ubicado el proyecto.

Los grados PG utilizados hoy son los siguientes:

XX	YY
46	34, 46, 52
52	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
58	16, 22, 28, 34, 40
64	10, 16, 22, 28, 34, 40
70	10, 16, 22, 28, 34, 40
76	10, 16, 22, 28, 34
82	10, 16, 22, 28, 34

Ilustración 9.- Grados PG más utilizados

Determina SUPERPAVE, que si el total de ejes equivalente totales en números (ESAL) del proyecto a determinar es elevado, o si se estima que la velocidad del tránsito que circulará por las vías será relativamente baja, se tiene que emplear para dicho proyecto un asfalto con un grado XX uno o dos niveles superiores al determinado inicialmente por temperatura, evitando el ahuellamiento del pavimento por deformaciones prematuras y permanentes acumuladas en la vía.

Según el método y diseño de mezclas asfálticas establecido por SUPERPAVE refiere que es un diseño volumétrico con base en buscar el contenido de un asfalto adecuado, tal que la mezcla alcance un 96% en densidad teórica máxima de la mezcla del pavimento, luego de compactar y de las aperturas al tráfico. Esta mezcla con contenido óptimo de un asfalto debe cumplir con los parámetros volumétricos, a su vez con las especificaciones relacionadas con susceptibilidad a humedad, concepto no estudiado bajo el método de diseño Marshall que se emplea hoy en Chile y también en el Perú.

Así mismo, SUPERPAVE ha diseñado el ensayo y análisis de agregados que forman las mezclas con el fin de reforzar el desempeño de éstas en terreno. De igual manera la otra diferencia importante del método diseño SUPERPAVE en relación al método del diseño Marshall, para la confección de probetas de mezclas asfálticas, se consideran los siguientes puntos:

4.5.1 Acondicionamiento de la mezcla para ensayo.

Las mezclas para el asfalto, que se utilizaron para la realización de los ensayos, fueron puestas durante dos horas dentro del horno en una temperatura compacta, lo cual permitirá simular el envejecimiento de plazo corto que normalmente sufren las mezclas en el transcurso de su

elaboración en una planta y transporte hasta estar en la obra. El proceso que se realiza permite que el agregado tenga mayor tiempo para absorber el asfalto, evadiendo de esta manera distorsiones en cálculos al término de la dosis de asfalto en la mezcla.

4.5.2 Método de Compactación mediante Compactador Giratorio o SGC.

En este método, la compactación de las probetas se realiza a través de un equipo especial, que realice la rotación en ángulos de inclinación de 1.25 grados y ejerciendo presión en confinamiento con la misma.

Estos efectos fingen mejor el efecto que se produce a través de los rodillos compactadores sobre el pavimento, método de compactación por golpes usado en el método de diseño Marshall. La cantidad de giros que se da para la compactación depende del nivel de tránsito (ESAL).

Con las ventajas dadas en teoría para el método SUPERPAVE, en la predicción que se da al accionar en un pavimento, en terreno de comparación con el método empleado, urge evaluar el cambio definitivo al presente sistema, lo cual es utilizado en EEUU y Canadá con resultados muy buenos. En este sentido podemos decir que el desempeño futuro de nuestros pavimentos de asfalto será mejor, también se podrá disminuir la falla prematura en la ejecución de proyectos en el que el pavimento.

Para remplazar al sistema SUPERPAVE, es importante que entre otras cosas se pueda trabajar en zonas climáticas de Chile, que pueda indicar las temperaturas mínimas y máximas de diseño de pavimentos de acuerdo a cada zona.

Lo mencionado anteriormente, nos va permitir ser específicos con el Grado PG que el asfalto debe cumplir en un futuro proyecto de acuerdo a la zona donde se ubique.

En la ejecución del trabajo, se debe contar con una base de datos, donde este muestre las estaciones meteorológicas que corresponden a cada zona definida, también se aplicara datos recogidos en el algoritmo definido por

SUPERPAVE. Se debe destacar que, la clasificación por Grado de Desempeño PG, es muy útil en nuestro país, esto es por la variedad de climas que se tiene, sean estos extremos o disponibles en nuestro territorio.

Para masificar el uso de SUPERPAVE, existe un gran desafío en Perú, se refiere al equipamiento de laboratorios que cuenten con los equipos que exige la metodología, esto debido al costo superior con relación a los equipos que se utilizan normalmente en Perú, sin contar con la capacitación que implica dar a los laboratoristas y/o profesionales del área, que manejen este sistema y que logren comprender los nuevos conceptos que éste conlleva. Por otro lado la experiencia y teoría en otros países, manifiestan que llevar a cabo este cambio a pesar del esfuerzo, este trae una buena recompensa.

En Perú, hoy en día contamos con el primer laboratorio de investigación y desarrollo tecnológico de ligantes asfálticos perteneciente al Grupo TDM, donde se desarrolló los diseños en cuanto a mezcla asfáltica usando asfalto modificado con polímeros "SBS" en el proyecto que ha ejecutado el Gobierno Regional Cusco.

Con los sustentos de selección del tipo de ligante asfáltico para la obra Mejoramiento carretera Huancarani Paucartambo, ejecutada por el Gobierno Regional de Cusco aprobados por la Supervisión, se realizó los diseños de mezcla asfáltica usando asfalto modificado, con polímeros en laboratorios equipados con tecnología SUPERPAVE, existentes en el Perú, procediendo mediante la Supervisión a aprobar los diseños en cuanto a la mezcla asfáltica, se modificada con polímeros.



Ilustración 10.- Testigos de Mezcla asfáltica



Ilustración 11.- Equipo para el ensayo de la rueda cargada de Hamburgo



Ilustración 12.- Evaluación de mezclas asfálticas con la rueda cargada de Hamburgo

4.6 Comparación de costos de mantenimiento usando asfalto convencional y modificado con polímero.

De acuerdo a un estudio desarrollado por Castro en su planteamiento para la gestión de un pavimento propuesto para la ciudad de Piura, indica que: En el país, el costo que superpone por m³ en la mezcla de asfalto caliente con asfalto modificado con polímeros SBS, en relación al listo con asfalto convencional 35-40 % usando este asfaltos modificado en polímeros SBS la mezclas asfálticas para pavimentación, supera la vida útil en pavimento 3 veces más.

Sin embargo, consideramos que estos porcentajes de costos adicionales de m³ de la mezcla SBS en relación a la mezcla asfáltica convencional debe ser analizado para cada proyecto en particular, ya que ello repercutirá en las decisiones que pueda tomarse para seleccionar la mejor alternativa, en nuestro caso este porcentaje representa en un 19% como se apreciará más adelante.

Para cuantificar los incrementos producidos en el costo de m3 de mezcla asfáltica modificada y convencional es necesario remitirse a los análisis unitarios en la zona del proyecto.

Partida		Mezcla asfáltica en caliente (MAC 2) Convencional					
Rendimiento	300.00	m3 / día		Costo unitario directo por:		m3	506.09
Clasificación	AS001			Jornada de trabajo:		horas	8.00
Descripción Recurso		Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
Mano de Obra							1.92
101005	Operador de Planta de asfalto	hh	1.00	0.0267	14.74	0.39	
101001	Peón	hh	5.00	0.1333	11.46	1.53	
Materiales							443.12
202035	Grava 3/4"	m3		0.1000	120.00	12.00	
202036	Grava 1/2"	m3		0.4200	120.00	50.40	
202034	Arena gruesa	m3		0.6800	120.00	81.60	
202041	Cemento Portland tipo I, 42.5kg	kg		16.0000	0.57	9.12	
202022	Asfalto convencional CAP 120-150	gln		29.0000	10.00	290.00	
Equipos							61.05
300999	Herramientas manuales	%mo		5.0000	2.86	0.14	
305005	Planta de asfalto en caliente	hm	1.00	0.0267	1,930.51	51.54	
303002	Cargador Frontal 125HP	hm	1.00	0.0267	180.00	4.81	
307013	Grupo Electrogenero 180KW	hm	1.00	0.0267	104.61	2.79	
307012	Grupo Electrogenero 38KW	hm	1.00	0.0267	54.36	1.45	
309002	Servicio de laboratorio	m3	1.00	0.0794	4.00	0.32	
Partida		Carpeta Asfáltica en Caliente, e=3.0" c/equipo					
Rendimiento	2,500.00	m2 / día		Costo unitario directo por:		m2	42.24
Clasificación	AS001			Jornada de trabajo:		horas	8.00
Descripción Recurso		Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
Mano de Obra							0.37
101001	Peón	hh	8.00	0.0256	11.46	0.29	
101002	Oficial	hh	2.00	0.0064	12.75	0.08	
Equipos							3.31
300999	Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.47	0.02	
304005	Rodillo tandem 10Tn	hm	1.00	0.0032	224.00	0.72	
304001	Rodillo Neumatico 10Tn	hm	2.00	0.0064	224.03	1.43	
305003	Pavimentadora de asfalto	hm	1.00	0.0032	356.24	1.14	
Subpartidas							38.56
	Mezcla asfáltica en caliente (MAC 2)-Asfalto Convencional	m3		0.0762	506.09	38.56	

Tabla 27.- Análisis unitario mezcla asfáltica convencional.

Partida	Mezcla asfáltica en caliente (MAC 2) con AMP						
Rendimiento	300.00	m3 / día			Costo unitario directo por:	m3	600.34
Clasificación	AS001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
	Mano de Obra						1.92
101005	Operador de Planta de asfalto	hh	1.00	0.0267	14.74	0.39	
101001	Peón	hh	5.00	0.1333	11.46	1.53	
	Materiales						537.37
202035	Grava 3/4"	m3		0.1000	120.00	12.00	
202036	Grava 1/2"	m3		0.4200	120.00	50.40	
202034	Arena gruesa	m3		0.6800	120.00	81.60	
202041	Cemento Portland tipo I, 42.5kg	kg		16.0000	0.57	9.12	
202022	Asfalto modificado con polímeros	gln		29.0000	13.25	384.25	
	Equipos						61.05
300999	Herramientas manuales	%mo		5.0000	2.86	0.14	
305005	Planta de asfalto en caliente	hm	1.00	0.0267	1,930.51	51.54	
303002	Cargador Frontal 125HP	hm	1.00	0.0267	180.00	4.81	
307013	Grupo Electrogenero 180KW	hm	1.00	0.0267	104.61	2.79	
307012	Grupo Electrogenero 38KW	hm	1.00	0.0267	54.36	1.45	
309002	Servicio de laboratorio	m3	1.00	0.0794	4.00	0.32	
Partida	Carpeta Asfáltica en Caliente, e=3.0" c/equipo						
Rendimiento	2,500.00	m2 / día			Costo unitario directo por:	m2	49.43
Clasificación	AS001				Jornada de trabajo:	horas	8.00
	Descripción Recurso	Und	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	Total S/.
	Mano de Obra						0.37
101001	Peón	hh	8.00	0.0256	11.46	0.29	
101002	Oficial	hh	2.00	0.0064	12.75	0.08	
	Equipos						3.31
300999	Herramientas manuales	%mo		5.0000	0.47	0.02	
304005	Rodillo tandem 10Tn	hm	1.00	0.0032	224.00	0.72	
304001	Rodillo Neumatico 10Tn	hm	2.00	0.0064	224.03	1.43	
305003	Pavimentadora de asfalto	hm	1.00	0.0032	356.24	1.14	
	Subpartidas						45.75
	Mezcla asfáltica en caliente (MAC 2)-Modificada con Polímero			0.0762	600.34	45.75	

Tabla 28.- Análisis unitario mezcla modificada con polímeros SBS

COMPARACIÓN DE COSTOS: % DE VARIACIÓN DE COSTOS MAC CONVENCIONAL VS MAC MODIFICADO:

$$\frac{\text{Costo MAC Modificada}}{\text{Costo MAC Convencional}} = \frac{600.34}{506.09} = 1.19\%$$

Ahora, conociendo los costos adicionales por m³ de mezcla asfáltica es necesario también estimar la vida útil de los pavimentos usando mezclas asfálticas convencionales y mezclas asfálticas poliméricas, para tal efecto podemos apoyarnos en los sistemas de información del manejo de pavimentos (PMIS).

Sistema de Información del Manejo de Pavimentos (Pmis)

Recopilación De Datos:

Para obtener la medición del comportamiento de los pavimentos realizados con asfaltos modificados y compararlos con los que no han sido modificados. Se hace un análisis de costo durante un ciclo de vida en los dos casos.

La condición física de los pavimentos (Distress Rating).

La calidad de rodaje sobre el mismo (Ride Rating), evaluando ahuellamientos, grietas, baches, etc)

La escala de resultado en el PMIS es de 0 a 100, cuando un valor es de 50 hacia adelante indica que el pavimento requiere mantenimiento.

La literatura existente concluye que, realizando una regresión de tiempo de servicio contra condición vial, de los pavimentos ejecutados con asfaltos modificados y los pavimentos efectuados con asfalto convencional se tiene:

Pavimentos sin modificar: Tiempo de Servicio = 5.1 años.

Pavimentos modificados: Tiempo de Servicio = 8.05 años.

A continuación, se realiza una proyección de costos anuales de mantenimiento con mezcla asfáltica convencional y polimérica para un tramo de la carretera Huancarani - Paucartambo de 16,5km:

Análisis Mezcla Asfáltica Convencional: Espesor = 0.05m

Tiempo estimado de servicio = 5 años

Vol. de mezcla a colocar aproximada (16.5km, ancho 9m, e=2") = 7,543.80 m³

Costo Mezcla Asfáltica Convencional = S/. 506.09/m³

Costo de carpeta colocada = 7,543.80 m³ x S/. 506.09 = S/. 3'817,841.74

Costo Anual S/. 3'817,841.74 / 5 años = S/. 763,568.35

Análisis Mezcla Asfáltica Modificada: Espesor = 0.05m

Tiempo estimado de servicio = 8 años

Volumen de mezcla a colocar = 7,543.80m³

Costo Mezcla Asfáltica Modificada = S/. 600.34/m³

Costo de carpeta colocada = 7,543.80 m³x S/. 600.34= S/. 4'528,844.89

Costo Anual = S/. 4'528,844.89 / 8 años = S/. 566,105.61

Margen = S/. 763,568.35 - S/. 566,105.61 = S/. 197,462.74 (Ahorro Anual)

Como se aprecia, la aplicación de tecnología en el asfalto modo con polímeros en el tramo analizado de la carretera Huancarani – Paucartambo, reporta ahorros, que permitirían optimizar los presupuestos públicos.

Es evidente entonces que la creación de los pavimentos asfálticos con mezcla asfálticas modifica, con polímeros es una realidad que debe ser implementada en nuestra región y el país ya que muestra resultados técnicos – económicos altamente favorables y estamos convencidos que el uso de los polímeros dará solución en parte, los permanentes, prematuros y deterioros de pavimentos, por lo tanto su implementación debe ser una de las prioridades para la mejora de la vida útil de nuestros pavimentos.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

Esta investigación se centra básicamente en determinar qué grado de performance del ligante asfáltico mediante la metodología Superpave, tomando en cuenta que se tiene gradientes considerables de temperatura y en cumplimiento a lo especificado técnicamente para construcción, llegando a determinar que el PG para la carretera Huancarani Paucartambo corresponde al PG 70 – 28, sin embargo esta metodología presenta inconvenientes con respecto a los equipos necesarios para realizar sus ensayos puesto que son muy costosos y la poca oferta de laboratorios que desarrollan estos diseños, por lo que los ingenieros a cargo se dedican a diseñar mediante los métodos tradicionales, los mismos que se centran en las propiedades - características de materiales sin considerar que las mezclas tienen un comportamiento dinámico; esto se refleja en el corto tiempo de servicio o la vida útil de los pavimentos.

Asimismo, es importante mencionar que actualmente se vienen implementando otros laboratorios en el país con tecnología superpave, por lo que las Entidades Estatales como son los Gobiernos Regionales y el propio Ministerio de Transportes deben adecuarse a esta exigencia tecnológica y normativa para la conceptualización y ejecución de mejores vías en el país.

La experiencia lograda en el Gobierno Regional de Cusco con la implementación del uso del asfalto modificado con polímeros mediante la determinación del grado de desempeño, ha sido transmitida mediante charlas de capacitación a los ingenieros de la Sub Gerencia de Estudios, Proyectos de la Gerencia de e Infraestructura del Gobierno Regional Cusco a fin de mejorar la calidad de los proyectos de asfaltados que se prevé a futuro como es el caso del proyecto Asfaltado Carretera Izcuchaca – Cruzpata con una longitud de 11km donde ya se viene planificado la tecnología del asfalto modificado a nivel de expediente técnico y pronta ejecución así como otros asfaltados considerados en la cartera de proyectos.

Igualmente, esta experiencia ha sido transmitida a los funcionarios del P.E.R. Plan Copesco del Gobierno Regional de Cusco, a fin de planificar el uso de asfaltos modificados con polímeros en los proyectos futuros de ejecución como es el caso de la Carretera Cusco - Ccorcca con una longitud de 18km.

Por las consideraciones señaladas anteriormente, se hace necesario que el Gobierno Regional de Cusco, en función de la cartera de inversiones en infraestructura vial a través de sus distintas unidades ejecutoras consideradas en la Programación Multianual de Inversiones, planifique implementar laboratorios de control de calidad acordes al desarrollo tecnológico adquiriendo equipos que permitan desarrollar diseños y controles de calidad bajo el enfoque internacional Superpave, esto permitirá mejorar la calidad de los asfaltos utilizados en la Región Cusco, mejorando el tiempo de vida útil de los asfaltados y optimizando consiguientemente los presupuestos a considerar para actividades para mantenimientos periódicos y rutinarios.

En la tesis “Experiencia de Modificación de Cemento Asfáltico con Polímeros SBS” escrita por Salcedo (2008), se señala que en el Perú, se ha llegado a calcular que, el costo en adición del metro cúbico de combinación asfáltica en caliente adicionado con asfalto modificado con polímeros SBS, con relación al asfalto convencional, oscila entre 35-40 %, se estima además el uso de asfaltos modificados, con polímeros SBS para mezclas asfálticas de pavimentación, eleva la vida útil del pavimento entre de 2 a 3 veces.

En esta investigación consideramos que esta variación de costos debe analizarse para cada proyecto en particular, en nuestro caso se ha determinado que este porcentaje representa un 19%.

Finalmente, también debemos señalar que las ecuaciones para el desarrollo de esta metodología han sido desarrolladas en EE.UU, lo que no precisamente

simbolizan los mismos escenarios en Perú, este método podría no representar apropiadamente el estado de los pavimentos en los gradientes térmicos tan marcados que tenemos.

CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

- Las condiciones climatológicas del proyecto son particularmente críticas para la durabilidad y estabilidad del pavimento, debido a la ocurrencia de temperaturas cíclicas extremas diarias, con tasas de enfriamiento elevadas, generando condiciones propicias para la fatiga térmica de la capa asfáltica; temperatura ambiente alta y radiación solar intensa durante el día, creando condiciones para el calentamiento del pavimento asfáltico y su falla por pérdida de resistencia al corte (deformaciones permanentes).
- Con la implementación de la tecnología del asfalto modificado con polímeros mediante SUPERPAVE se ha optimizado el diseño de mezcla para la carretera Huancarani – Paucartambo.
- El proyecto se desarrolla completamente en zonas de altura a una altitud mayor a los 3000 msnm en la que el pavimento estará sujeto durante toda su vida útil al fenómeno de contracción térmica y susceptible a fallas por fatiga térmica y una combinación térmica – dinámica.
- En función a los datos de temperaturas diarias, se ha procedido a calcular el Grado de Performance requerido para la zona del proyecto. De acuerdo a los cálculos efectuados, el asfalto recomendado para la construcción del pavimento debe cumplir con un PG 70 -10, lo cual considera los efectos del clima, el volumen de tráfico, las cargas lentas y la fatiga térmica ocasionada por el gradiente térmico y la velocidad de enfriamiento.
- El asfalto requerido para la zona de estudio es de un PG de 70 – 10, ajustado por velocidad y tráfico lento debido a curvas sinuosas y fuertes pendientes, para cual un asfalto convencional PEN 120-150, tiene un PG 58 -28 el cual no cumple con el PG de temperaturas altas, habiendo sido por lo tanto descartado su uso.
- Como consecuencia del análisis efectuado considerando todos los aspectos del proyecto, se recomendó cambiar el ligante asfáltico para el diseño en mezcla asfáltica, que tome en consideración el uso de un asfalto modificado con polímeros elastoméricos.
- En el Gobierno de la Región de Cusco, han implementado la tecnología del asfalto modificado con polímeros tomando en referencia el proceso descrito por la

Strategic Highway Research Program (SHRP) en el sistema denominado SUPERPAVE (Superior Performing Asphalt Pavement), realizándose el dimensionamiento para selección del tipo de cemento asfáltico modificado con polímeros para la carretera Huancarani – Paucartambo ejecutada por el Gobierno de la Región de Cusco, resultando ser el ligante asfáltico modificado con polímeros sbs tipo PG 70-28 el cual cumple con las solicitudes de clima y tráfico propios de la carretera Huancarani – Paucartambo.

- Los controles de calidad efectuados en laboratorios internacionales bajo las exigencias Superpave al ligante asfáltico modificado con polímeros tipo IB PG 70-28V utilizados en el proyecto Carretera Huancarani-Paucartambo ejecutados por el Gobierno Regional Cusco, cumplen las Especificaciones Técnicas.
- Los controles de calidad efectuados en laboratorios internacionales bajo las exigencias Superpave al ligante asfáltico modificado con polímeros tipo IB PG 70-28 utilizados en el proyecto Carretera Huancarani-Paucartambo ejecutados por el Gobierno Regional Cusco, cumplen las Especificaciones Técnicas, quedando establecido el cambio de tecnológico del asfalto convencional al asfalto modificado.

CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

1. Se debe impulsar el uso de la metodología Superpave en los proyectos viales ejecutados en la región del Cusco, para este tema, los entes involucrados como el GORE, la Gerencia Regional de la infraestructura, el PER Plan Copesco, la Dirección Regional de Transportes y Comunicación del Cusco, así como la Dirección de Caminos, tienen la enorme responsabilidad de realizar las acciones de planificación, diseño, construcción, mantenimiento y evaluación de las acciones relacionados.
2. Del mismo modo, la utilización del asfalto modificado, debe ser más difundida e intensa puesto que las ventajas de su uso beneficiaran al conjunto de pobladores de la Región Cusco no solo en el aspecto económico, sino también por las ventajas de orden ambiental que facilitan mejor calidad de vida.
3. Continuar con investigaciones académicas que permitan evidenciar no solo las bondades del uso del asfalto modificado, sino que también se pueden visibilizar sus características, propiedades, para eso deben darse el apoyo a los investigadores en cuanto a laboratorios para realizar ensayos.
4. Los entes inmersos en la investigación y el desempeño tecnológico de infraestructura vial tales como Gobierno Nacional, Gobiernos Regionales, Universidades públicas y privadas deben sumar esfuerzos a fin de implementar centros de desarrollo tecnológico con laboratorios equipados para desarrollar ensayos a la calidad de los asfaltos bajo el enfoque superpave, que permita mejorar la calidad de los asfaltos utilizados en nuestra región y el país.

REFERENCIAS

Hernández, R., Garnica, P., & Solorio, R. (2009). Evaluación del uso de asfaltos modificados con un enfoque de gestión de pavimentos. México: Asociación Mexicana del Asfalto.

Loria , L. (2017). Evaluación de Asfaltos Modificados en Laboratorio con Distintos Polímeros. Laboratorio Nacional de Materiales y Estructurales (Lenamme UCR), 46 - 53.

Martinez, G., Caicedo, B., Celis, L., Fuentes , L., & Torres , V. (2018). Trece años de continuo desarrollo con mezclas asfálticas modificadas con Grano de Caucho Reciclado en Bogotá: Logrando sostenibilidad en pavimentos. Revista Ingeniería de Construcción RIC, 42 - 50.

Rondon, H., Reyes, F., Figueroa, A., Rodríguez, E., Real, C., & Montealegre, T. (2008). Estado del Conocimiento del Estudio Sobre Mezclas asfálticas Modificadas en Colombia . Infraestructura Vial , 10 - 20 .

Vila, R., & Jaramillo, J. G. (2018). Incidencia del empleo de polímeros como modificadores de asfalto. Revista Lasallista de Investigación, 315-326.

Walker, D. (2014). The benefits of Modified Asphalts. The Magazine of the Asphalt Institute, 13-19.

ANEXOS

ESTACION METEOROLÓGICA ANALIZADA:

ESTACIÓN PAUCARTAMBO

TEMPERATURAS MÍNIMAS

Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
T. MIN. 2012	7.3	7.0	5.1	5.3	2.3	1.3	1.0	1.0	2.0	5.0	6.3	7.0
T. MIN. 2013	5.4	8.1	7.2	2.2	3.0	3.0	1.2	1.4	3.1	3.4	6.3	5.3
T. MIN. 2014	7.4	6.3	6.4	5.1	2.1	0.3	2.0	1.4	4.1	3.4	5.2	8.0
T. MIN. 2015		7.0	6.4	6.0	4.3	0.1	2.0	3.1	3.4	4.2	6.2	6.1
T. MIN. 2016	7.2	8.3	6.2	5.2	2.1	1.4	0.2	1.4	3.1			

TEMPERATURAS MÁXIMAS

DATOS METEOROLOGICOS DEL SENAMHI AÑO 2012

ESTACION PARAMETRO	PAUCARTAMBO Temperatura Máxima												DEPARTAMENTO PROVINCIA DISTRITO	CUSCO PAUCARTAMBO PAUCARTAMBO	
Dia	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			
1	19.4	21.4	19.4	21.4	20.4	20.4	22	21.3	22.3	23	23.4	19.4			
2	19	20.2	20.1	20.3	21	22.3	21.2	22.4	21.4	22.1	22.3	20			
3	18.4	21.1	21.2	21	22.4	21	20.3	24	21	22.3	22	19.4			
4	19	22	19.4	21.4	21.2	20.2	20	22	20	23.4	20	21			
5	20.1	20.4	20.3	22	20.4	21.3	21	23.1	20.4	19.4	21	22.1			
6	21.3	18.3	19	21.4	21	21	21.3	24	22.1	21	20.3	19			
7	20.4	20	18.3	22.2	19.4	20.4	20	25.3	24.2	20	22	20.1			
8	19.4	20.3	19	20.1	19	19.3	19.1	24.4	20.4	21.4	21.4	19.2			
9	20	21	19.4	21.3	21	20.2	21.2	23	19.3	23.3	22.3	19.4			
10	21.2	20.4	19	20	23	23.4	23	24	20.3	21	24.4	18.3			
11	21.4	18.4	20.1	22.3	22.3	22	24.2	23.1	20	19	25	19			
12	22.1	20	19.4	19.2	20.2	23	25.4	21.2	22.1	21.4	20.1	20			
13	19.4	19.3	19	21.3	22.1	22.4	21	18.4	18.4	22	20	19.4			
14	20	17.4	19.4	20.1	21.3	22	22.3	19.3	19	23.4	22.3	18.4			
15	18.3	18.3	18.2	18.4	22.4	23.4	21.4	20.2	21	24.4	23	17.3			
16	21.4	17	20	20.4	21.2	22.1	20.2	21	22	22.2	24	20.4			
17	20	18	20.4	20	21	22.4	21	22	20.3	20	20	21.3			
18	20.2	19.1	21.3	18.4	20.1	23	19.4	19.1	21	22.4	19.4	22			
19	18	18.2	20.4	20	21.4	21	20.3	20.2	22	20.3	22	21.4			
20	20	19.4	22	21.3	21	23.2	23.4	21.3	22.3	23.4	21.2	20.4			
21	21.2	20	21	23	20	22	22.1	22	23	21.3	21.4	20.3			
22	20.1	18.3	20.2	22.1	19	22.4	24.4	21.4	21.2	22.3	23.2	19.4			
23	20.4	19.2	20	20.4	19.4	19	21	20	20	22	22	20			
24	21.4	19.4	19.3	22	20	20.4	21.3	19.4	22.4	19	24.4	21.3			
25	19	20.3	20	20.4	21.1	19.3	20.2	18.3	20.1	19.4	20	19.4			
26	20	19	21.2	21.3	23.4	20.4	21	20	18.4	20.3	23.1	22.4			
27	18.4	18.4	20.4	22	22.3	20.1	20.1	19.3	20	21.4	25	19.4			
28	20	19.3	21	20	22	20	22.2	20	20.4	24	23.2	20			
29	20.3	20	19.4	21.4	21.4	20.2	21	21.2	20	21.3	19	19.4			
30	19.4	20.3	20.2	20.3	21.4	19.4	21	21	19.4	23.4	22.3	19			
31	21.2	21.4	22	22	22	21.4	22.1	22	22	22	20	20			
Promedio de los 7 días consecutivos más calientes del año							23.84	Desviación estándar					0.8		

DATOS METEOROLOGICOS DEL SENAMHI AÑO 2013

ESTACION PARAMETRO	PAUCARTAMBO Temperatura Máxima												DEPARTAMENTO PROVINCIA DISTRITO	CUSCO PAUCARTAMBO PAUCARTAMBO	
Dia	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre			
1	21	23	19.4	23.4	23.2	19.3	20.2	21.3	22.3	23	23.4	19.4			
2	20.2	21.4	20.2	23	24	22.4	21.2	22.4	21.4	22.1	22.3	20			
3	19.4	19.2	20	23.2	23	23.2	21.1	24	21	22.3	22	19.4			
4	21	19.4	21.2	21.4	22.3	22.4	22.2	22	20	23.4	20	21			
5	18.3	18.3	20	23	24.4	23	22.1	23.1	20.4	19.4	21	22.1			
6	20.1	20	22.3	22.2	24.3	22.4	21.1	24	22.1	21	20.3	19			
7	21	20	19	22.4	22.1	18.3	21.2	25.3	24.2	20	22	20.1			
8	19.2	19.4	20	23.4	23.2	19.1	20	24.4	20.4	21.4	21.4	19.2			
9	21.2	21	23.4	20.2	24.4	19.4	21.4	23	19.3	23.3	22.3	19.4			
10	23.4	21.2	23	22	23.4	20	22.4	24	20.3	21	24.4	18.3			
11	20	19.4	23.4	21	24.4	19.3	22.4	23.1	20	19	25	19			
12	19.4	20.3	22	23.2	24	18.2	23.1	21.2	22.1	21.4	20.1	20			
13	20.3	20	21.2	22	22.2	19.4	20.3	18.4	18.4	22	20	19.4			
14	19	18.4	21.4	22.4	23.2	21.3	21.3	19.3	19	23.4	22.3	18.4			
15	20.2	19.3	19.4	23.2	22.2	21.1	21	20.2	21	24.4	23	17.3			
16	18.4	21	19.3	20	19.1	22.2	24.2	21	22	22.2	24	20.4			
17	19.2	20	20.4	19.4	18.4	22	23.4	22	20.3	20	20	21.3			
18	20.1	21.2	21	23.3	19.2	18.4	22.4	19.1	21	22.4	19.4	22			
19	21	20	20.2	21.2	19.4	19.4	23.2	20.2	22	20.3	22	21.4			
20	20.4	21.4	23.1	23.4	21.3	20.2	22.1	21.3	22.3	23.4	21.2	20.4			
21	18	19.4	22.3	22	23.2	22	21.4	22	23	21.3	21.4	20.3			
22	18.4	20.3	23.4	23	21	22.2	22.1	21.4	21.2	22.3	23.2	19.4			
23	19.4	20.1	24	22.3	23.2	23.2	21.4	20	20	22	22	20			
24	20	22.4	23.2	24	22.4	23	22.1	19.4	22.4	19	24.4	21.3			
25	23.4	21.3	21.4	22.4	23.2	21.3	21	18.3	20.1	19.4	20	19.4			
26	22	19.4	19.4	21.4	22.3	20.4	21.4	20	18.4	20.3	23.1	22.4			
27	22.3	21.2	19	23.3	24.3	24.1	19.2	19.3	20	21.4	25	19.4			
28	21.4	19	20.2	21.4	22.2	24.4	22.4	20	20.4	24	23.2	20			
29	20.4	21.4	24	24	24.3	23.4	21.2	21.2	20	21.3	19	19.4			
30	21	22.3	24.4	23.2	20.4	20.2	21	19.4	23.4	22.3	22.3	19			
31	22.4	23	23	23.4	23.4	21	22.1	22	22	22	20	20			
Promedio de los 7 días consecutivos más calientes del año							22.79	Desviación estándar					1.6		

DATOS METEOROLOGICOS DEL SENAMHI
AÑO 2014

ESTACION PAUCARTAMBO
PARAMETRO Temperatura Máxima

DEPARTAMENTO CUSCO
PROVINCIA PAUCARTAMBO
DISTRITO PAUCARTAMBO

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	15.1	19.4	24.4	19.4	23.2	24.3	23.4	22.4	23.2	22.4	25	21.4
2	22	20.3	22.4	20.2	24.3	23.1	24.1	21.4	22.4	21.4	25.2	24.2
3	21.4	23.4	21	22.1	21.1	23	23	22.2	23.1	22.3	25	21.3
4	19	23	19	18.4	23.1	25.1	22	21.4	21.3	21.2	25	19.4
5	17	19.4	20.3	20	23.2	23.4	22.2	21.3	21	21.4	22.1	21.2
6	21	20.1	23.4	23.2	23	23.2	22.1	20.3	19.4	22.2	24	23.3
7	22.2	22.4	22.2	23.1	19.2	26.2	23	18.3	23	22.4	25	24.2
8	20.1	20	21.3	21.4	20.4	24	21.3	17	24.4	23	26.1	24
9	19.4	22.2	22	22.4	22.2	23	23.4	16.3	22.4	21.3	23.1	24.2
10	17.2	21.4	23	21.2	21	23.2	23.1	20.4	21.4	21.2	22	23.4
11	22	22	23.4	22.4	22.2	23.3	24	23	23	19.4	18.3	22.1
12	18.4	21.1	23	22.1	22.2	21	23.4	21.3	22.4	18.3	23.4	25.1
13	19.4	19.4	21.3	23	20.4	23.4	24.4	22	22	20.4	25	25.2
14	20.1	17	23.1	18.1	21.1	20	22.3	21.4	24.3	21.1	22.4	29.2
15	21	19.4	23	20.4	21.4	20.3	23.4	21	20.2	21.3	18.4	22.4
16	20.2	21	21.2	25	19.4	21.1	22.3	22.3	22.4	23.4	15	23.2
17	19.4	21.1	22.1	24.4	22.2	19.4	20.2	21.3	22.2	24	23	22.1
18	21.2	23.2	21.4	22.3	21	21.2	21	17.4	23.1	21	21.4	20.2
19	22	23.4	21	22	23.1	23	18	26	22.2	19.4	22	18.4
20	21	24	20	23.3	23	23.3	20.2	20.2	21.1	20.4	23.2	22
21	22.1	23	21.4	22.3	23.1	20.1	21.4	23.4	17.4	19.2	23.4	21.4
22	19.4	22.4	20.2	20.3	19.4	25.2	24	24.3	22.2	22.1	22.2	23.4
23	19	21	19.4	20.2	21.1	24.2	21.4	24.4	24	18	21.4	22
24	22.2	23.4	23.3	21.4	22.4	25.2	22	22.3	22	25.2	23.2	22.3
25	22.4	22.3	23.2	21.4	25.3	22.3	18.3	23.3	21.4	17.4	23.1	24.1
26	20	22	18.4	24	24.4	21.3	22.3	23	24.1	21.3	22.4	22.2
27	21.4	23.4	22.4	22.3	25	22.1	19.4	20.4	20.3	22	23.4	22.4
28	20.2	19	21.1	22.2	23.2	20	21.2	20.3	17.2	21	22	20.4
29	21		24	22.2	23.3	22.1	21.3	19.4	22	22.4	25.1	19.3
30	19.4		23	22.2	25	23.3	21.3	20	23.3	24.4	26.1	20.2
31	20.1		23.1	24.3	24.2		23.4	21.4		23.3		19
Promedio de los 7 días consecutivos más calientes del año								24.74	Desviación estándar			2.2

DATOS METEOROLOGICOS DEL SENAMHI
AÑO 2015

ESTACION PAUCARTAMBO
PARAMETRO Temperatura Máxima

DEPARTAMENTO CUSCO
PROVINCIA PAUCARTAMBO
DISTRITO PAUCARTAMBO

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1		20.2	21.3	20.2	21.4	23	21.3	21.2	21.4	20.3	21.2	21.4
2		21.1	19.4	20.4	21	23.2	22.1	20.4	21	19.4	23.2	21
3		23	23.2	21.4	23.2	24	22	22	23	23	22.2	23.2
4		23.2	24.4	23	24	23.1	23	22.3	22.4	22.2	24.3	22
5		24.1	18.4	23.3	20.4	23	17.2	23	19.3	23.1	20	23.4
6		24.4	21	20.1	22.2	22	21	27.1	22.3	23.1	20.3	23
7		23	21.2	19	17.2	22.4	24.1	23	24	24.4	19.4	19.4
8		25.2	20.3	20.2	21	21.3	22.2	23.4	24.2	25	21	22
9		21.3	20	20.1	21.2	22.3	23.3	24.3	23.3	24	19.4	23.4
10		22	23.4	19.4	22	22	24.4	21.4	23.2	25.1	24	23.2
11		19.1	23	20.2	20	24.1	24.3	18.4	24.1	23.4	22.4	23
12		19.3	23.1	20	22.2	22.4	21.2	19.2	23	24.3	18	23.1
13		22	22.2	20.3	20.1	23	21.4	17.4	24	15.1	22.3	24
14		2.1	22	22	20.4	22	21	19	22.4	23.2	22.1	23.3
15		21.2	19.4	21.3	17.4	21.4	22	22	24.2	25	21	22
16		22	18	19.2	18.3	19.4	21.2	21.3	25	18	21.4	23
17		18.4	20.3	19.4	19.4	21.3	20.3	23.4	24.4	19.2	22.4	23.1
18		21.3	21.2	18.4	22.4	20.4	22.1	23.3	25	18.4	23.2	21
19		22.2	19.4	21.3	22	20	24.4	22.4	21.4	23	23.2	19
20		23.1	21.4	23.4	20.2	21.3	25.4	21.2	20.2	22.3	25	20
21		22	20.3	20.3	21	20.4	21	22.3	22	23.4	25.4	19
22		22.2	19.4	22	22.1	20	21.3	23.2	23.4	24.1	24.4	20.1
23		20.1	21.1	18	22.3	20	23.4	22.4	23.1	24	25	20.4
24		21.3	20.4	22	23	21	21.4	25.4	20.4	18.4	26.2	20
25		20.4	20.2	22.2	23.1	19	22	22.3	22.4	22.3	25	22
26		21.4	20	22	21.2	21	25.3	20.2	21.3	24.4	24.3	17.4
27		23	21	22.3	22	21.2	25	22.1	22.4	21	23.2	21
28		22.3	19.4	20.3	20	22.3	23.4	21.4	23.3	22.2	22.4	21.3
29			21.2	21.3	21	24	22.3	22.2	21.2	24.4	23.4	20.2
30			22	20.4	22	22.3	21	22.4	21	20	23	22.3
31			20.4		22.4		22.1	21		23.3		23
Promedio de los 7 días consecutivos más calientes del año								25.04	Desviación estándar			0.6

**DATOS METEOROLOGICOS DEL SENAMHI
AÑO 2016**

ESTACION PAUCARTAMBO DEPARTAMENTO CUSCO
PARAMETRO Temperatura Máxima PROVINCIA PAUCARTAMBO
DISTRITO PAUCARTAMBO

Día	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	18.3	19	23.2	24.4	26	25	23.1	23.4	23.4			
2	22.3	19.4	20.3	24	25.4	23.3	23	22.3	22.3			
3	23	20.4	23.2	23.4	23	22.4	24.4	23.3	22			
4	24.1	19.4	25.3	21.3	21.3	23	23.2	22	20.2			
5	23.4	23.2	20.2	22.1	23.1	24	24.3	21.4	23			
6	24	20	23.1	24	23.4	23.1	19.3	22	22.3			
7	24.3	19.4	19.4	24.3	24	22.4	17.4	21.4	24.1			
8	23.1	18.3	21.3	25.1	20	20	21.4	20.3	23.1			
9	23	20.1	25.1	24	24.3	24.2	22.2	21.3	24.2			
10	22.4	23.3	19.4	26.4	23.4	22.1	24.3	20.4	24			
11	23	23	20.4	23.1	24	22.4	23	21.4	23.3			
12	22	21.3	21.3	20.2	23.3	23.3	23.4	22.1	24.2			
13	19.4	22.4	22	25	19.4	24	24	20.2	23.2			
14	24	22.2	21.2	25.2	21	21.4	22.3	21	22.3			
15	21.4	22	23.4	22.3	24.2	22.3	24	22.3	20			
16	23.3	24.4	24	25	24.4	23	21.3	22	23.4			
17	24	19.2	22.3	21.4	22.4	20.2	22	23.2	24.1			
18	22.1	22.3	25	22	23.3	21.1	24.2	22.4	23			
19	21	21.2	24.4	23	23	19.4	22.4	20.2	22.4			
20	20.4	24	24	22.1	24.1	19	24	21.1	19.2			
21	19	20	24.2	25	22.2	20.1	24.3	20.1	23.1			
22	24	19.3	25.1	20	21	21.3	23	22.1	22.2			
23	23.4	17	24.4	24.2	24	22	24.4	22.4	20.4			
24	24.4	21	26.3	24	21.3	22.2	21.4	21.4	22.4			
25	23.2	21.3	25	25	24.3	20.4	24	23.2	23.1			
26	20	22	21	25.1	25.4	20	21.3	22.4	21.2			
27	23.1	20	22.4	22	23	18.2	23.3	23.1	23.4			
28	21.3	24	23.3	23.3	21.3	17.4	24.1	21.2	24.4			
29	23.3	24.4	23	25.4	21	22.4	20.3	23.1	23.2			
30	22.4		22.4	23.4	25.2	24	21.4	21	24			
31	21.2		25.1		21.3		21	22.1				
Promedio de los 7 días consecutivos más calientes del año							24.77	Desviación estándar				0.8

Ilustración 13.- Datos meteorológicos SENAMHI

FUENTE: Reporte meteorológico SENAMHI

ANEXO 02

REPORTES DE CARACTERIZACIÓN PG

**INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)
(RESUMEN)**

SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 UBICACIÓN : CUSCO
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

1.- MEZCLA DE AGREGADOS (PORCENTAJES EN PESO)

CANTERA QOSQO AYLLU

PIEDRA CHANCADA 5/8" : 43%
 ARENA CHANCADA : 34%
 ARENA ZARANDEADA : 20.5%
 CAL HIDRATADA : 2.5%
 : ASTM D-3515
 : GRADACIÓN D-5

2.- LIGANTE BITUMINOSO

Tipo de asfalto : BETUTEC IB -PG 70-28V
 % optimo de C.A. : 6.4

3.- ADITIVO

Tipo de aditivo : ADHESOL 10000
 % de aditivo en peso del C.A. : 0.5

4.- CARACTERÍSTICAS MARSHALL MODIFICADO

Nº DE GOLPES	75		
CEMENTO ASFÁLTICO (% EN PESO DE LA MEZCLA TOTAL)	6.2	6.4	6.6
DENSIDAD SECA BULK (g/cm ³)	2.330	2.338	2.343
VACIOS (%)	3.6	3.0	2.5
V.M.A. (%)	15.39	15.30	15.25
R.B.V. (%)	75.7	79.6	83.5
FLUJO (0,25 mm)	13.54	13.95	14.32
ESTABILIDAD (kg)	1964.0	1971.0	1961.0
Relación polvo - asfalto	1.04	1.00	0.96

5.- TEMPERATURA DE APLICACIÓN (°C)

Según carta de viscosidad
 Temperatura de mezcla : 158°C - 165°C
 Temperatura de compactación : 148.1°C - 158.1°C

6.- OBSERVACIONES

- 1.- Se recomienda realizar los ensayos faltantes que exige la especificación EG-2013.
- 2.- Se utilizó 0.5% de mejorador de adherencia con respecto al peso del asfalto -Mejorador de adherencia ADHESOL 10000.
- 3.- Para validar este diseño se recomienda realizar los ensayos de desempeño a la Mezcla Asfáltica.

Ilustración 14.- Diseño Tentativo de Mezcla asfáltica

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 UBICACIÓN : CUSCO
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

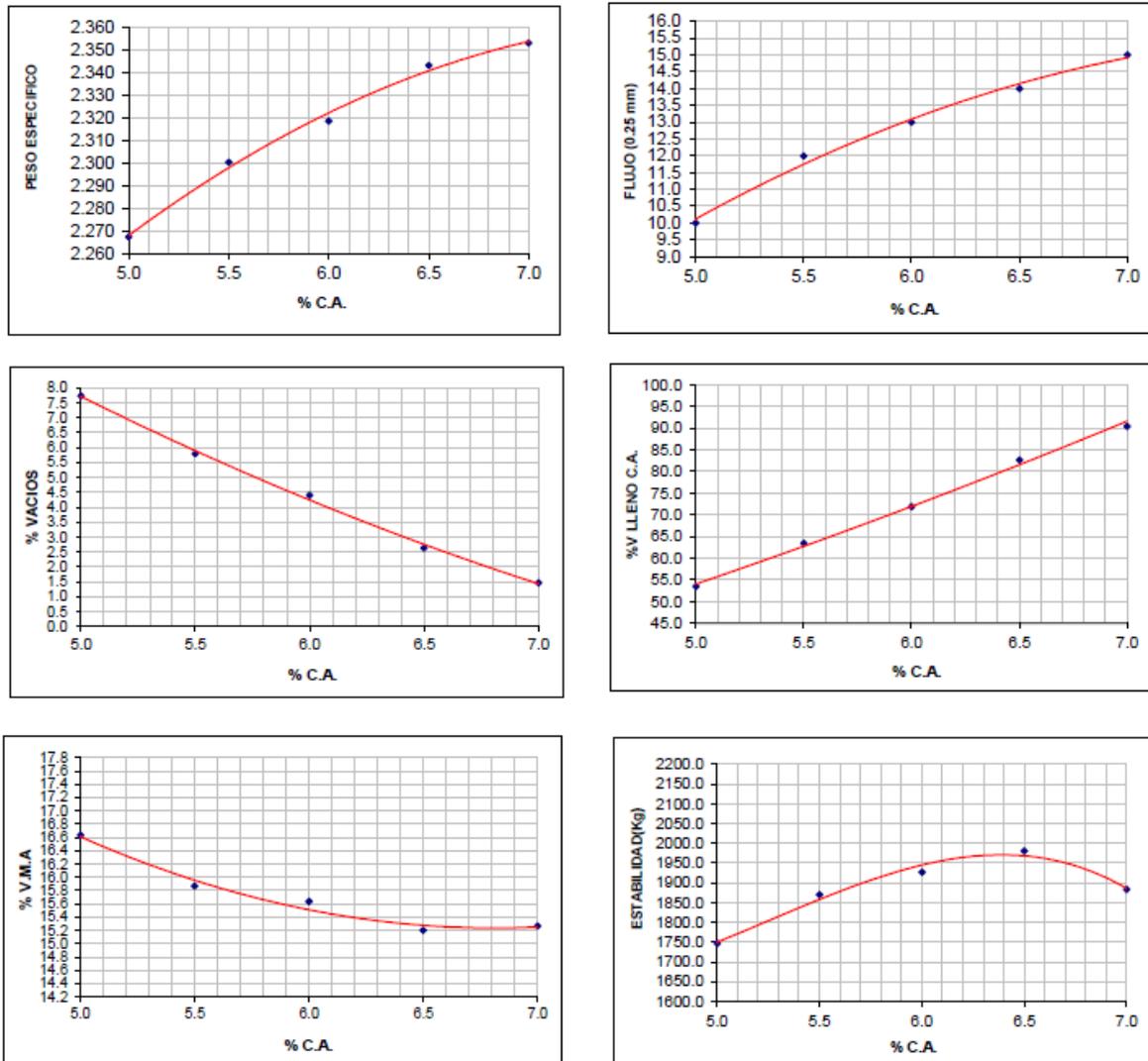


Ilustración 15.- Diseño Tentativo de Mezcla asfáltica

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos



INFORME DE DISEÑO
DISEÑO TENTATIVO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS
MÉTODO MARSHALL (ASTM D 6926 / ASTM D6927)

SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 UBICACIÓN : CUSCO
 PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

N° BRIQUETAS	1	1-A	1-B'	2	2-A	2-B'	3	3-A	3-B'	4	4-A	4-B'	5	5-A	5-B'
1 % C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	5.0	5.0	5.0	5.5	5.5	5.5	6.0	6.0	6.0	6.5	6.5	6.5	7.0	7.0	7.0
2 % A. GRUESO (5/8") EN PESO DE LA MEZCLA	40.85	40.85	40.85	40.64	40.64	40.64	40.42	40.42	40.42	40.21	40.21	40.21	39.99	39.99	39.99
3 % A. FINO CHANCADO EN PESO DE LA MEZCLA	32.30	32.30	32.30	32.13	32.13	32.13	31.96	31.96	31.96	31.79	31.79	31.79	31.62	31.62	31.62
4 % A. FINO ZARANDEADA EN PESO DE LA MEZCLA	19.48	19.48	19.48	19.37	19.37	19.37	19.27	19.27	19.27	19.17	19.17	19.17	19.07	19.07	19.07
5 % FILLER (MÍNIMO PASA N° 200) EN PESO DE LA MEZCLA	2.38	2.38	2.38	2.36	2.36	2.36	2.35	2.35	2.35	2.34	2.34	2.34	2.33	2.33	2.33
6 PESO ESPECÍFICO DEL C.A. APARENTE	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018	1.018
7 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO GRUESO (5/8")	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592	2.592
8 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO CHANCADO	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582	2.582
9 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO FINO ZARANDEADA	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579	2.579
10 PESO ESPECÍFICO DEL FILLER APARENTE	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
11 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE (g)	1147.4	1136.7	1137.5	1154.5	1158.0	1156.9	1154.8	1155.2	1156.8	1163.4	1153.4	1156.2	1165.1	1164.9	1162.6
12 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AIRE SS (g)	1153.6	1142.3	1142.6	1157.8	1160.9	1159.2	1156.7	1156.5	1157.3	1164.0	1154.1	1157.5	1165.6	1165.9	1163.5
13 PESO DE LA BRIQUETA EN EL AGUA (g)	648.6	640.5	640.3	656.5	657.0	656.1	658.8	658.3	658.3	667.6	662.1	663.9	669.2	671.8	669.9
14 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (cm ³)	505.0	501.8	502.3	501.3	503.9	503.1	497.9	498.2	499.0	496.4	492.0	493.6	496.4	494.1	493.6
15 PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA	2.272	2.265	2.265	2.303	2.298	2.300	2.319	2.319	2.318	2.344	2.344	2.342	2.347	2.358	2.355
16 PESO UNITARIO DE LA BRIQUETA A 25°C (g/cm ³) - ASTM D 2726	2.265	2.258	2.258	2.296	2.291	2.293	2.312	2.312	2.311	2.337	2.337	2.335	2.340	2.351	2.348
17 PESO ESPECÍFICO MÁXIMO - ASTM D 2041	2.458	2.458	2.458	2.441	2.441	2.441	2.424	2.424	2.424	2.407	2.407	2.407	2.389	2.389	2.389
18 % VACIOS - ASTM D 3203	7.6	7.8	7.8	5.7	5.9	5.8	4.4	4.4	4.4	2.6	2.6	2.7	1.7	1.3	1.4
19 PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584	2.584
20 V.M.A. (%)	16.5	16.7	16.7	15.8	15.9	15.9	15.6	15.6	15.7	15.2	15.2	15.2	15.5	15.1	15.2
21 % VACIOS LLENADOS CON C.A.	53.9	53.3	53.3	63.9	62.9	63.5	71.8	71.8	72.0	82.9	82.9	82.2	89.0	91.4	90.8
22 PESO ESPECÍFICO EFECTIVO DEL AGREGADO TOTAL	2.655	2.655	2.655	2.658	2.658	2.658	2.659	2.659	2.659	2.660	2.660	2.660	2.658	2.658	2.658
23 ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO TOTAL	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1
24 % ASFALTO EFECTIVO	3.98	3.98	3.98	4.46	4.46	4.46	5.0	5.0	5.0	5.4	5.4	5.4	5.97	5.97	5.97
25 FLUJO (0.01pulgada)	11.0	9.0	10.0	12.0	12.0	12.0	13.0	13.0	13.0	14.0	14.0	14.0	15.0	15.0	15.0
26 ESTABILIDAD SIN CORREGIR	1792	1623	1623	1830	1771	1792	1758	1966	1835	1898	1805	1835	1750	1843	1708
27 FACTOR DE ESTABILIDAD (TABLA)	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.04	1.09	1.09	1.04	1.09	1.09
28 ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)	1864	1688	1688	1904	1842	1864	1829	2044	1908	1974	1967	2000	1820	2009	1861

Ilustración 16.- Diseño Tentativo de Mezcla asfáltica

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 UBICACIÓN : CUSCO
 SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA QOSQO AYLLU
 DESCRIPCIÓN : PIEDRA CHANCADA 5/8"

PRESENTACIÓN : saco de polipropileno
 CANTIDAD : 40 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050				100.0	
1/2"	12.700	1082.9	10.4	10.4	89.6	
3/8"	9.525	3207.2	30.9	41.3	58.7	
1/4"	6.350					
# 4	4.760	5791.7	55.8	97.1	2.9	
# 6	3.360					
# 8	2.380	290.8	2.8	99.9	0.1	
# 10	2.000					
# 16	1.190	9.2	0.1	100.0	0.0	
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 80	0.177					
# 100	0.149					
# 200	0.074					
< # 200	(ASTM C-117)					

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

P.E. MASA (ASTM C127) : 2.592 g/cm³
 P.E. SSS (ASTM C127) : 2.627 g/cm³
 P.E. APAR. (ASTM C127) : 2.686 g/cm³
 ABSORCIÓN (ASTM C127) : 1.4 %
 1 CARA FRACT. (ASTM D5821) : 100%
 2 CARAS FRACT. (ASTM D5821) : 96.5%
 CHATAS Y ALARG. (ASTM D4791) : 3.4 %

Nota:

El Ensayo de Partículas Chatas y Alargadas se realizó con el material retenido en la malla 3/8".

CURVA GRANULOMÉTRICA

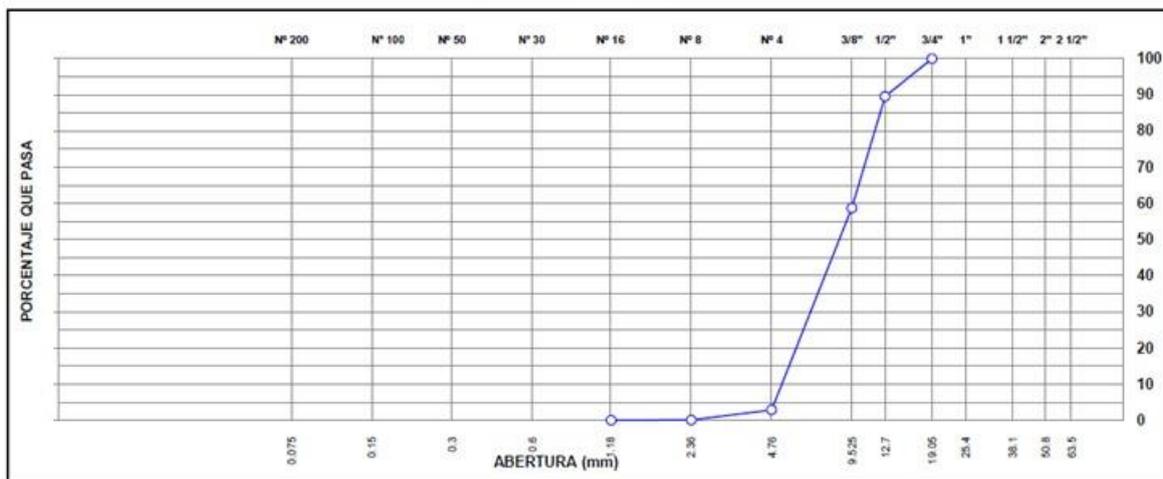


Ilustración 17.- Análisis Granulométrico Piedra Chancada

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 UBICACIÓN : CUSCO
 SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA QOSQO AYLLU
 DESCRIPCIÓN : ARENA CHANCADA

PRESENTACIÓN : saco de polipropileno
 CANTIDAD : 40 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350				100.0	
# 4	4.760	78.9	5.4	5.4	94.6	
# 6	3.360					
# 8	2.380	435.8	30.0	35.4	64.6	
# 10	2.000					
# 16	1.190	337.7	23.2	58.6	41.4	
# 20	0.840					
# 30	0.590	173.1	11.9	70.5	29.5	
# 40	0.426					
# 50	0.297	134.6	9.3	79.8	20.2	
# 80	0.177					
# 100	0.149	121.1	8.3	88.1	11.9	
# 200	0.074	90.9	6.3	94.4	5.6	
< # 200	(ASTM C-117)	82.2	5.6	100.0	0.0	

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO	
P.E. MASA (ASTM C127)	: 2.582 g/cm ³
P.E. SSS (ASTM C127)	: 2.619 g/cm ³
P.E. APAR. (ASTM C127)	: 2.680 g/cm ³
ABSORCIÓN (ASTM C127)	: 1.4 %
EQUIV. DE ARENA (ASTM D2419)	: 74 %
AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)	3.0 mg/g

CURVA GRANULOMÉTRICA

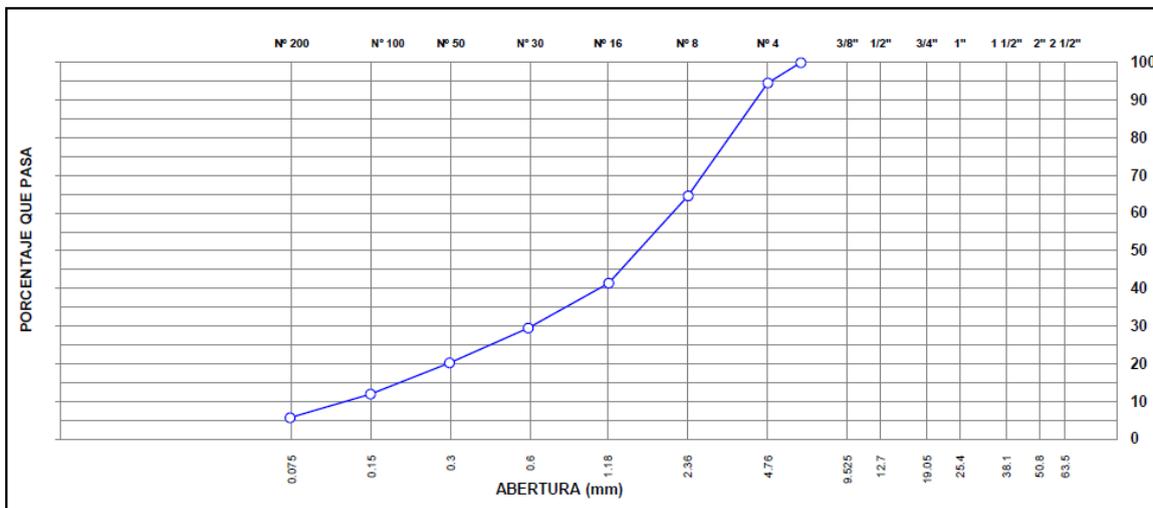


Ilustración 18.- Análisis Granulométrico Arena Chancada

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE : PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 UBICACIÓN : CUSCO
 SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA QOSQO AYLLU
 DESCRIPCIÓN : ARENA ZARANDEADA

PRESENTACIÓN : saco de polipropileno
 CANTIDAD : 40 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350				100.0	
# 4	4.760	55.5	3.7	3.7	96.3	
# 6	3.360					
# 8	2.380	226.2	15.1	18.8	81.2	
# 10	2.000					
# 16	1.190	212.5	14.2	33.0	67.0	
# 20	0.840					
# 30	0.590	267.6	17.9	50.9	49.1	
# 40	0.426					
# 50	0.297	424.8	28.4	79.3	20.7	
# 80	0.177					
# 100	0.149	184.8	12.3	91.6	8.4	
# 200	0.074	57.1	3.8	95.4	4.6	
< # 200	(ASTM C-117)	68.2	4.6	100.0	0.0	

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO	
P.E. MASA (ASTM C127)	: 2.579 g/cm ³
P.E. SSS (ASTM C127)	: 2.629 g/cm ³
P.E. APAR. (ASTM C127)	: 2.714 g/cm ³
ABSORCIÓN (ASTM C127)	: 1.9 %
EQUIV. DE ARENA (ASTM D2419)	: 68 %
AZUL DE METILENO (AASHTO TP 57)	: 6.5 mg/g

CURVA GRANULOMÉTRICA

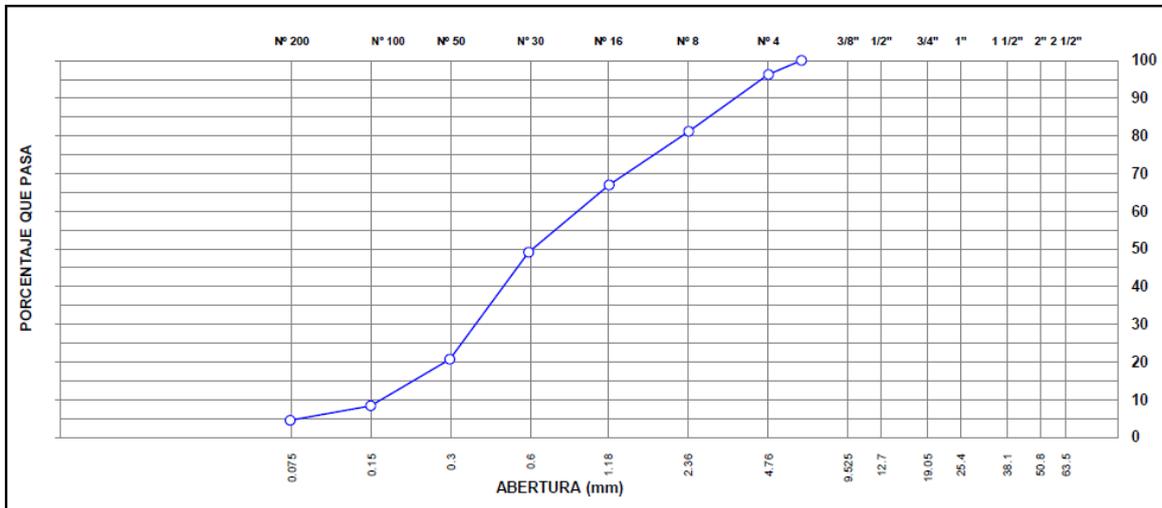


Ilustración 19.- Análisis Granulométrico Arena Zarandeada

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE : PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 UBICACIÓN : CUSCO
 SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : PRESENTACIÓN : saco de polipropileno
 DESCRIPCIÓN : CAL HIDRATADA CANTIDAD : 40 kg aprox.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS POR TAMIZADO (ASTM C-136)						
MALLAS						
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	PESO RET. g	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACIÓN
2"	50.800					
1 1/2"	38.100					
1"	25.400					
3/4"	19.050					
1/2"	12.700					
3/8"	9.525					
1/4"	6.350					
# 4	4.760					
# 6	3.360					
# 8	2.380					
# 10	2.000					
# 16	1.190					
# 20	0.840					
# 30	0.590					
# 40	0.426					
# 50	0.297					
# 80	0.177				100.0	
# 100	0.149	0.6	0.1	0.1	99.9	
# 200	0.074	1.6	0.3	0.5	99.6	
< # 200	(ASTM C-117)	485.2	99.6	100.0	0.0	

CARACTERIZACIÓN DEL AGREGADO

CURVA GRANULOMÉTRICA

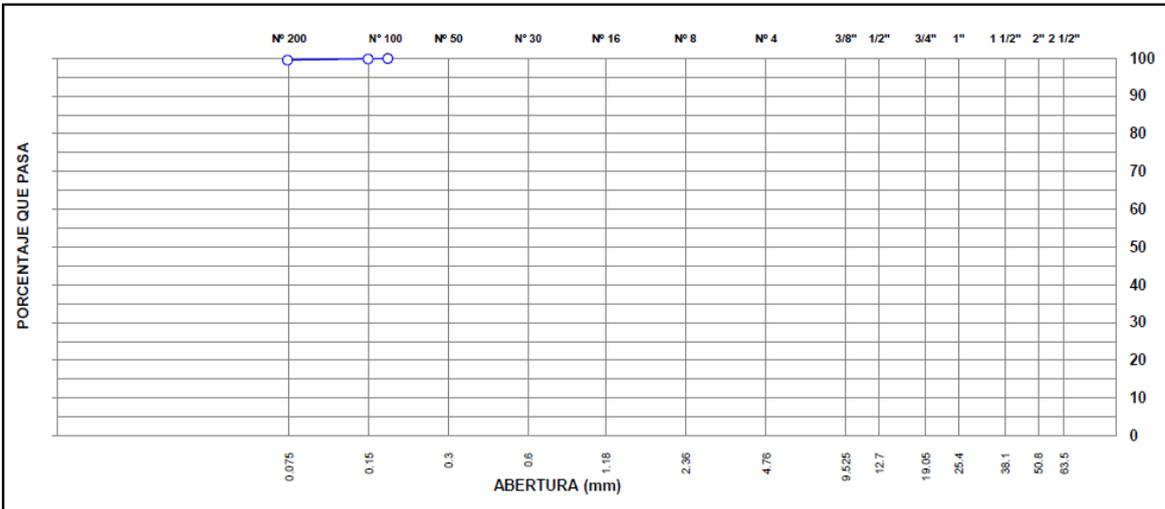


Ilustración 20.- Análisis Granulométrico Cal Hidratada

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

INFORME DE DISEÑO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

PROYECTO : MEJORAMIENTO DE VÍAS DE ACCESO; MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA HUANCARANI-PAUCARTAMBO, PROVINCIA DE PAUCARTAMBO, DEPARTAMENTO DEL CUSCO.
 UBICACIÓN : CUSCO
 SOLICITANTE : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
 REFERENCIA : MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

DETALLE DE LA MUESTRA

IDENTIFICACIÓN : CANTERA QOSQO AYLLU
 DESCRIPCIÓN : MEZCLA DE AGREGADOS
 PRESENTACIÓN : sacos de polipropileno
 CANTIDAD : 50 kg aprox. c/u

COMBINACIÓN TEORICA DE AGREGADOS GRUESO Y FINO					
MALLAS					
SERIE AMERICANA	ABERTURA (mm)	RET. PAR. %	RET. AC. %	PASA %	ESPECIFICACION ASTM D-3515 D5
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050			100.0	100 100
1/2"	12.700	4.5	4.5	95.5	90 100
3/8"	9.525	13.3	17.8	82.2	
1/4"	6.350				
# 4	4.760	26.6	44.4	55.6	44 74
# 6	3.360				
# 8	2.380	14.5	58.9	41.1	28 58
# 10	2.000				
# 16	1.190	10.8	69.7	30.3	
# 20	0.840				
# 30	0.590	7.7	77.4	22.6	
# 40	0.426				
# 50	0.297	9.0	86.4	13.6	5 21
# 80	0.177				
# 100	0.149	5.4	91.7	8.3	
# 200	0.074	2.9	94.7	5.3	2 10
< # 200	(ASTM C-117)	5.3	100.0	0.0	

PROPORCIONES DE MEZCLA DE AGREGADOS	
PIEDRA CHANCADA 5/8"	43.0 %
ARENA CHANCADA	34.0 %
ARENA ZARANDEADA	20.5 %
CAL HIDRATADA	02.5 %

ESPECIFICACIONES

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASTM D-3515 -D5 PARA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

CURVA GRANULOMÉTRICA

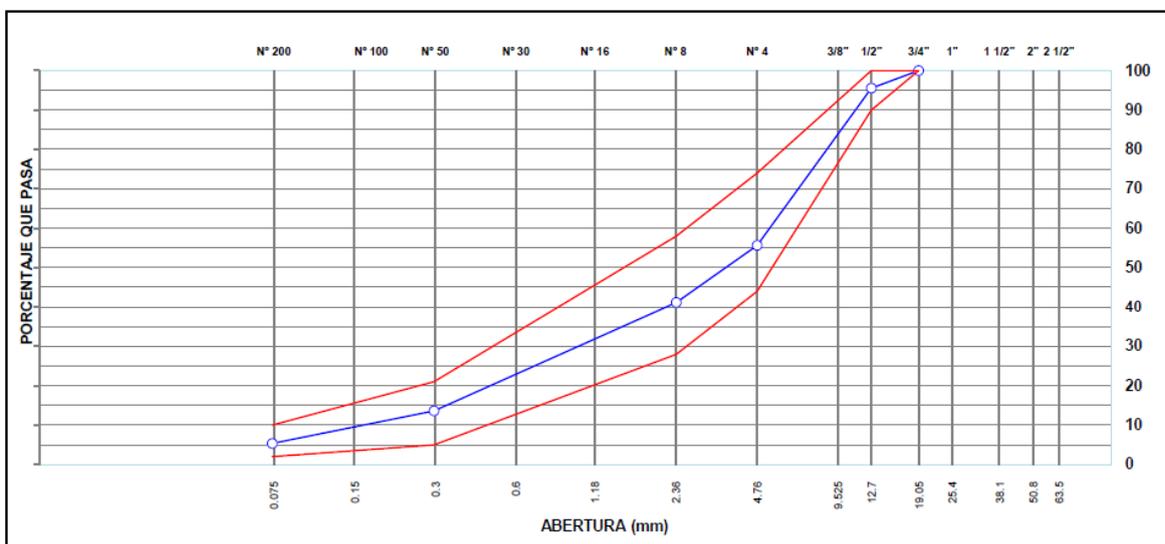


Ilustración 21.- Análisis Granulométrico para mezcla de agregados

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

BETUTEC IB - PG 70-28V

GUIA TDM ASFALTOS :

CLIENTE:

GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO

REFERENCIAS

TANQUE:

CINTILLO DE SEGURIDAD N°:

LOTE DE PRODUCCIÓN:

CANTIDAD:

4 KILOS

ENSAYOS	MÉTODO ASTM	UNIDADES	ESPECIFICACIONES		RESULTADO	
			MÍNIMO	MÁXIMO		
PENETRACIÓN	5 s, 25°C	D-5	dmm	75	100	78
VISCOSIDAD ABSOLUTA	60°C	D-2171	Po	2500	--	20192
VISCOSIDAD CINEMATICA	135°C	D-2170	cSt	--	3000	1215.0
PUNTO DE INFLAMACIÓN		D-92	°C	232	--	290
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO		D-2042	%	99	--	99.72
VISCOSIDAD BROOKFIELD	135 °C	D-4402	cP	--	--	1145.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD	145 °C	D-4402	cP	--	--	580.0
VISCOSIDAD BROOKFIELD	175 °C	D-4402	cP	--	--	211.0
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	90
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	Método A, 10 cm, 5°C	D-6084	%	--	--	60
PUNTO DE ABLANDAMIENTO		D-36	°C	50	--	74
ESTABILIDAD A ALMACENAMIENTO	163 °C, 48 horas	D-7173				
SEPARACION, DIFERENCIA		D-36	°C	--	2.2	1.0
RESIDUO DESPUÉS DE PELÍCULA FINA ROTATORIA		D-2872				
RECUPERACION ELASTICA LINEAL	Método A, 10 cm, 25°C	D-6084	%	60	--	85
PENETRACIÓN	4°C, 200 g, 60 s	D-5	dmm	15	--	28
SEPARACION, diferencia		D-36	°C	--	10	1.0

OBSERVACIONES:

La muestra de asfalto cumple especificaciones de MTC - EG 2013

No presenta espuma a 163 °C

Ilustración 22.- Especificación Técnica Asfalto Modificado

FUENTE: Laboratorios Empresa TDM Asfaltos

GRADO DE PERFORMANCE

SOLICITANTE	GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO
PROYECTO	
PRODUCTO	BETUTEC IB PG 70-28 V
CODIGO DE MUESTRA	
PROCEDENCIA	
FECHA DE INGRESO/PRODUCCION	

ENSAYOS	METODO ASTM	UNIDADES	Especificaciones		RESULTADO
			Mínimo	Máximo	
LIGANTE ORIGINAL					
PUNTO DE INFLAMACIÓN	D-92	°C	230	---	290
VISCOSIDAD BROOKFIELD, SPINDLE 21, 20 RPM, 135°C	D-4402	cP	---	3000	1145.0
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	1	---	1.82
DESPUES DE ENVEJECIMIENTO RTFOT	D-2872				
PERDIDA DE MASA	D-2872	%	---	1	0.418
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	70
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	2.2	---	6.29
DESPUES DE ENVEJECIMIENTO PAV	D-6521				
TEMPERATURA DE CURADO PAV	D-6521	°C	---	---	100
TEMPERATURA DE CORTE DINAMICO	D-7175	°C	---	---	22
CORTE DINAMICO G*/senδ, 10 rad/s	D-7175	kPa	---	5000	1290
TEMPERATURA DE RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO	D-6648	°C	---	---	-18
RIGIDEZ AL DESPLAZAMIENTO, VALOR S, a 60 seg	D-6648	MPa	---	300	118
VALOR m	D-6648		0.300	---	0.341

GRADO DE PERFORMANCE	PG 70 -28
----------------------	-----------

Observaciones

GRADO DE PERFORMANCE SEGÚN ASTM D-6373-13 TABLA 1

Ilustración 23.- Grado de Performance (PG)

FUENTE : Laboratorios Empresa TDM Asfaltos