

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

SECCIÓN: INGENIERÍA

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS

*USO DE POLÍMEROS EN UN NUEVO DISEÑO PARA
MEJORAR LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL
ASFALTO: CONTRIBUCIÓN PARA EL TRAMO DE LA
CARRETERA CHILETE – CAJAMARCA*

Presentado por:

WALTER ENRIQUE IBÁÑEZ MALDONADO

Asesor

Mg. Ing. Hugo Miranda Tejada

CAJAMARCA, PERÚ

2015

COPYRIGHT © 2015 by

Ing. WALTER ENRIQUE IBÁÑEZ MALDONADO

Todos los derechos reservados

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

ESCUELA DE POSTGRADO



MAESTRÍA EN CIENCIAS

SECCIÓN: INGENIERÍA

MENCIÓN: INGENIERÍA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCIÓN

TESIS

***USO DE POLÍMEROS EN UN NUEVO DISEÑO PARA MEJORAR
LAS PROPIEDADES FÍSICO – MECÁNICAS DEL ASFALTO:
CONTRIBUCIÓN PARA EL TRAMO DE LA CARRETERA
CHILETE – CAJAMARCA***

Presentado por:

WALTER ENRIQUE IBÁÑEZ MALDONADO

Comité Científico

Mg. Ing. Hugo Miranda Tejada
Asesor

Msc. Marco Silva Silva
Miembro de Comité Científico

M.Cs. Sergio Huamán Sangay
Miembro de Comité Científico

Mg. Héctor Pérez Loayza
Miembro de Comité Científico

Cajamarca, Perú

2015

A:

Los seres que no sólo me dieron la vida, sino lo que en esencia soy, mis Padres; a aquellos que cada vez que me han visto caer, sin importarles nada estuvieron a mi lado para darme la mano y ayudarme a poner de pie; a ellos por ayudarme a cruzar con firmeza el camino de la superación brindándome su apoyo y consejos he logrado alcanzar una de mis grandes metas.

Dime y lo olvido, enséñame y lo recuerdo, involúcrame y lo aprendo.

-Benjamín Franklin.

CONTENIDO

Ítem	Página
AGRADECIMIENTOS:.....	x
LISTA DE ABREVIACIONES.....	xi
RESUMEN	xii
INTRODUCCIÓN	1
CAPITULO I	4
PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	4
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	4
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	6
1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	6
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	7
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES.....	9
CAPITULO II.....	11
MARCO TEÓRICO.....	11
2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	11
A. Antecedentes a Nivel Internacional	11
B. Antecedentes a Nivel Nacional.....	12
C. Antecedentes a Nivel Local.....	14
2.2. BASES TEÓRICAS	14
2.2.1. EL ASFALTO.....	14
2.2.2. DEFORMACIÓN DE LOS PAVIMENTOS.....	25
2.2.3. POLÍMEROS.....	27
2.2.4. MODIFICACIÓN DE ASFALTOS	36
CAPITULO III.....	42
CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	42

3.1	UNIDAD DE ANÁLISIS, UNIVERSO, MUESTRA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN	42
	A. Unidad de Análisis:	42
	B. Universo:	42
	C. Muestra:.....	42
	D. Tipo de Investigación:.....	43
3.2	DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS.....	43
3.3	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN	44
	CAPÍTULO IV.....	45
	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	45
4.1	DISEÑO DE ASFALTO MODIFICADO CON ELVALOY ® 4170	45
	4.1.1 ESCENARIO ELEGIDO: CARRETERA CHILETE – CAJAMARCA.....	45
	4.1.2 ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE ASFALTO MODIFICADO.....	52
	4.1.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	68
	4.1.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	82
	CAPITULO V	86
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	86
5.1.	CONCLUSIONES	86
5.2.	RECOMENDACIONES.....	88
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	89
	PAGINAS WEB	90

LISTA DE ILUSTRACIONES

Tablas:

Tabla N° 1: Composición Química del Asfalto.....	15
Tabla N° 2: Especificaciones de los Cementos Asfálticos	24
Tabla N° 3: Comparación de recuperación elástica para ligantes modificados.....	32
Tabla N° 4: Especificaciones de Asfalto Modificado con Polímero Tipo V	41
Tabla N° 5: Resumen número de ensayos	43
Tabla N° 6: Temperatura y precipitación en el ámbito de la Vía: Chilite-Cajamarca	48
Tabla N° 7: Flujo vehicular 2012-2014, Unidad de peaje Ciudad de Dios	49
Tabla N° 8: Resultados de los factores destructivos.....	51
Tabla N° 9: Velocidad promedio vehicular	52
Tabla N° 10: Resultados de ensayos de caracterización del asfalto convencional	54
Tabla N° 11: Características físicas del polímero Elvaloy® 4170	57
Tabla N° 12: Ensayos de penetración a 25°C a asfalto modificado comparado con NTP 321.149.....	59
Tabla N° 13: Especificaciones de la NTP 321.149 vs. Ensayos practicados por laboratorio INGGEOS S.A.C.....	68
Tabla N° 14: Resultados de ensayos de penetración	69
Tabla N° 17: Resultados de ensayos de punto de ablandamiento.....	71
Tabla N° 16: Resultados de ensayo Ductilometro a 25°C	73
Tabla N° 17: Resultados de ensayo Ductilometro a 5°C	74
Tabla N° 18: Resultados de ensayo de Ductilidad.....	74
Tabla N° 19: Resultados comparativos de ensayos a asfalto convencional y modificado	85

Ilustraciones:

Figura N° 1: Estructura química del asfalto.....	15
Figura N° 2: Estructura coloidal de un asfalto.....	16
Figura N° 3: Comportamiento del Asfalto (Consistencia Vs. Temperatura).....	18
Figura N° 4: Fabricación de productos asfálticos.....	21
Figura N° 5: Esquema del ensayo de penetración.	22
Figura N° 6: Esquema del ensayo punto de ablandamiento.	23

Figura N° 7: Deformación de las carpetas asfálticas	25
Figura N° 8: Esquema que representa el deterioro y el efecto de la rehabilitación de las obras viales	27
Figura N° 9: Esquema del polímero polietileno	28
Figura N° 10: Presentación del ELVALOY® 4170	31
Figura N° 11: Presentación del Caucho Molido	35
Figura N° 12: Comportamiento Asfalto Convencional vs. Asfalto Modificado	37
Figura N° 13: Diagrama prototipo de planta modificadora de asfalto con Elvaloy® 4170	38
Figura N° 14: Microfotografías de asfaltos modificados con polímero tipo SBS	39
Figura N° 15: Plano de Ubicación de la carretera Chilete-Cajamarca	46
Figura N° 16: Plano Clave de la Carretera Chilete-Cajamarca	47
Figura N° 17: Reacción química del polímero Elvaloy® 4170 en el asfalto.....	56
Figura N° 18: Estructura química del ácido polifosfórico	57
Figura N° 19: Diagrama de flujo en el diseño de mezcla de asfalto modificado.....	67

Gráficos:

Gráfico N° 1: Curva de viscosidad para determinar las temperaturas de compactación y mezclado para ligantes modificados.....	34
Gráfico N°2: Penetración y punto de ablandamiento asfalto base.....	56
Gráfico N° 3: Ensayos de penetración a 25°C a asfalto modificado con Elvaloy comparado con NTP 321.149.2003.....	61
Gráfico N° 4: Penetración del asfalto convencional PEN 120/150 y el asfalto modificado con Elvaloy® 4170.....	71
Gráfico N° 5: Punto de ablandamiento del asfalto convencional PEN 120/150 y el asfalto modificado con Elvaloy® 4170.....	72
Gráfico N°6: Punto de inflamación y llama.....	77
Gráfico N°7: Pérdida de masa por calentamiento... ..	78
Gráfico N°8: Punto de reblandecimiento.....	80
Gráfico N°9: Penetración a 4°C después del horno RTFO.....	82

Fotografías:

Fotografía N° 1: Verificación de la temperatura 186°C.....	64
Fotografía N°2: Verificación de la tancada PEN 120-150.....	64
Fotografía N° 3: Calibración y adición del Elvaloy ® 4170 (5min/seg).....	65-66
Fotografía N°4: Adición y agitación del elvaloy® 4170.....	66
Fotografía N° 5: Adición del ácido polifosfórico (catalizador).....	67
Fotografía N°6: Obtención 1era muestra a 40min.....	67
Fotografía N°7: Obtención 2da muestra a 1 hora.....	67
Fotografía N°8: Ensayo de recuperación elástica por torsión.....	68
Fotografía N°9: Ensayo de penetración	68
Fotografía N° 10: Realizando la penetración en las Muestras	71
Fotografía N°11: Equipo de ensayo recuperación elástica por torsión.....	73
Fotografía N°12: Realizando el ensayo recuperación elástica por torsión... ..	74
Fotografía N°13: Preparación de las probetas... ..	75
Fotografía N°14: Muestras estiradas antes de que se rompan.....	76
Fotografía N°15: Preparación del equipo y muestra.....	77
Fotografía N°16: Peso de las Muestras.....	79
Fotografía N°17: Calentando las muestras en el horno.....	79
Fotografía N°:18 Preparación de la Muestra en los Anillos de Bronce.....	80
Fotografía N°19: Punto de Reblandecimiento (Método “Anillo y Bola”).....	81

AGRADECIMIENTOS:

Quiero empezar agradeciendo a Dios, por la fortaleza que me ha brindado hasta ahora y que gracias a Él, he logrado enfrentar las dificultades que se me han presentado.

Agradezco a los docentes de la Escuela de Post Grado de la Universidad Nacional de Cajamarca, área Ingeniería y Gerencia de la Construcción, por sus enseñanzas sobre diversas temáticas que me permitieron concluir esta investigación y a mi asesor el Mg. Ing. Hugo Miranda Tejada, por el tiempo que dispuso en acompañarme para el logro de la misma.

Del mismo modo, agradezco al personal de la Oficina Descentralizada Cajamarca de Provías Nacional, que me proporcionaron incondicionalmente la información que me sirvió para concretar este trabajo.

Igualmente mi agradecimiento al personal del Laboratorio de Mecánica de Suelos, Concreto, Asfalto y Ensayos Especiales: “Laboratorios INGGEOS SAC”; por su disposición a ayudarme con lo necesario para realizar mis experimentos.

LISTA DE ABREVIACIONES

EVA:	Etileno-acetato de vinilo.
EMA:	Etileno-acrilato de metilo.
IMDA:	Índice Medio Diario Anual.
TPDS:	Tránsito Promedio Diario Semanal.
NCAT:	Centro Nacional para Tecnología en Asfalto.
PE:	Polietileno.
PP:	Polipropileno.
SHRP:	Strategic Highway Research Program.
SBS:	Estireno-butadieno-estireno
dmm	Décimas de milímetro.

RESUMEN

Ante el deterioro y el uso recurrente de diseños de carpeta asfáltica y materiales tradicionales que sufrió la carretera Chilete-Cajamarca en la década del 90, surgió la inquietud de plantear el uso de la técnica de modificación de asfaltos con polímeros para mejorar las propiedades físico – mecánicas de la carpeta asfáltica; por lo que, el objetivo de esta tesis fue encontrar mediante ensayos en laboratorio, una combinación entre el asfalto convencional PEN 120/150 con el polímero Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico, que mejore el rendimiento de la misma. Tomando en cuenta las condiciones climáticas y el volumen vehicular que soporta la vía Chilete-Cajamarca, el diseño de la mezcla para la carpeta, se inició con la determinación de las características del asfalto convencional realizando el ensayo de penetración y punto de ablandamiento, obteniéndose como resultado un PEN de 135mm y 44°C; luego se realizaron ensayos para encontrar la combinación óptima de dosificación entre el asfalto y el polímero elegido, realizando mezclas exploratorias con: 1.0%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4%, 1.5% y 1.6%, en todos los casos se incorporó el 0.08% de ácido polifosfórico; a cada mezcla se realizó su ensayo de penetración, contrastando los resultados con las especificaciones establecidas en la Normas Nacionales e Internacionales, encontrando que con el 1.3% dio como resultado un PEN de 92mm, superando la especificación mínima fijada por la norma nacional (90mm); posteriormente esta decisión se confirmó con los resultados de los ensayos físicos y mecánicos evaluables: Punto de Ablandamiento (64°C), Recuperación Elástica por Torsión (58%) y Ductilómetro (a 25°C dio 88% - a 5°C dio 50%), Ductilidad (150mm), Pérdida de masa por calentamiento (0.67%), y Separación del Asfalto

después del RTFO (cumple); demostrando que con tal mezcla se logra mejorar las propiedades del asfalto convencional.

Palabras claves: Asfalto convencional, asfalto modificado, polímero Elvaloy® 4170, ácido polifosfórico y resistencia de carpeta asfáltica.

ABSTRACT

Given the deterioration and recurrent designs using traditional materials asphalt and suffered the Chilete-Cajamarca road in the 90s, raised the concern of the use of the technique of polymer modified asphalts to improve physical properties emerged - mechanical properties of the asphalt; therefore, the aim of this thesis was found by laboratory tests, a combination of conventional asphalt PEN 120/150 Elvaloy® 4170 with the polymer and polyphosphoric acid, which improves the performance of the same. Taking into account climatic conditions and vehicle volume that supports Chilete-Cajamarca, the mix design for the folder, began with the determination of the characteristics of conventional asphalt when tested in penetration and softening point path, obtaining as 135mm resulted PEN and 44 ° C; then tests were performed to find the optimal combination of dosing between the asphalt and the polymer selected, performing exploratory mixtures: 1.0%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4%, 1.5% and 1.6% in all cases It incorporated 0.08% of polyphosphoric acid; each blend its penetration test was conducted, comparing the results with the specifications in the national and international standards, finding that 1.3% resulted in a 92mm PEN, exceeding the minimum specification set by the national standard (90mm) ; This decision was subsequently confirmed by the results of physical and mechanical tests evaluated: Softening Point (64 ° C), Torsion Elastic Recovery (58%) and Ductilómetro (at 25 ° C gave 88% - 5 ° C gave 50 %), ductility (150mm) Mass loss by heating (0.67%) and Asphalt Separation after RTFO (meets); showing that with such a mixture is accomplished improving the properties of conventional asphalt.

Keywords: conventional asphalt, modified asphalt, polymer Elvaloy® 4170, polyphosphoric acid and resistance of asphalt.

INTRODUCCIÓN

La construcción de carreteras es un medio esencial y estratégico para el desarrollo económico de cualquier país, con esto se logra comunicar ciudades importantes, o inducir el desarrollo económico de una región aislada geográficamente. En el Perú se construye y se da mantenimiento a las carreteras, empleando el proceso constructivo tradicional de pavimentos asfálticos; que consiste en la combinación de asfalto y agregados minerales pétreos, dosificados en proporciones establecidas. Este proceso, se basa en las Especificaciones Técnicas Generales para Construcción de Carreteras EG 2013, aprobadas por la Dirección General de Caminos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su calidad de ente rector del Sistema Vial en el País, que no establece pautas específicas para diseños de asfaltos en zonas de: Costa, Sierra y mucho menos para la Selva; que presentan condiciones climáticas, dinámicas y económicas, totalmente diferentes. La Región Cajamarca ha corrido la misma suerte del resto de vías del país, al no haberse planteado estudios propositivos para mejorar los diseños del asfalto de la principal vía de la región: Carretera Cajamarca – Ciudad de Dios, que pueda resistir los fenómenos meteorológicos y el incremento del flujo vehicular que soporta; y que, ante un ausente mantenimiento periódico regular, se necesitó fuertes inversiones para realizar trabajos de rehabilitación y ponerla operativa como sucedió en los últimos años.

El asfalto, material constituido por una mezcla de diversos hidrocarburos de origen natural, sus propiedades aglutinantes e hidrofóbicas lo han llevado a ser ampliamente utilizado en aplicaciones que van desde la impermeabilización hasta la construcción de vías. Sin embargo, sus propiedades son altamente susceptibles a cambios de temperatura, conllevando para que asfaltos que funcionan adecuadamente a

temperaturas ambientales altas, no presenten igual comportamiento a bajas temperaturas. Debido a esto se ha generado un interés en el sector de la construcción a desarrollar productos y vías, basados en el uso de este material, que sean cada vez más duraderos y que puedan ser aplicados en temperaturas ambientales variables: altas ($T_a > 40^\circ\text{C}$) o bajas ($T_a < 0^\circ\text{C}$).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de asfaltos, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas, para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento) de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez; así como, disminuir el fisuramientos por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad y finalmente, contar con un ligante de mejores características adhesivas.

Este trabajo de investigación demuestra que la modificación del asfalto PEN 120/150 producido por Petroperú, con el polímero Elvaloy® 4170 en un porcentaje del 1.3% y el 0.08% de ácido polifosfórico como agente catalizador, mejora sus características físico mecánicas, convirtiéndolo en una mezcla ideal para ser utilizada como por ejemplo en la carretera Chilite-Cajamarca; que por el uso y fenómenos climáticos que soporta, requiere una carpeta asfáltica con características mejoradas. En el mismo se definió como variables independientes el polímero Elvaloy® 4170 y el ácido polifosfórico resultando como variable dependiente el asfalto modificado.

El contenido de la presente tesis está estructurado de la siguiente manera: en el primer capítulo se aborda el problema de la investigación, haciendo énfasis en el planteamiento del mismo, formulación de la hipótesis respectiva, determinación de

los objetivos, justificación de la investigación y finalmente los alcances y limitaciones que se afrontó en la tarea propuesta. El capítulo segundo se refiere al marco teórico, incidiendo en los antecedentes del estudio; revisión de la literatura relacionada con el problema de la investigación, a fin de fundamentar el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos y tiene que ver con el estudio de los asfaltos, deformación de los pavimentos, los polímeros y la modificación de los asfaltos. En el capítulo tercero se realiza la contrastación de la hipótesis formulada; las técnicas e instrumentos utilizados en la recolección y análisis de resultados. En el capítulo cuarto se analiza los resultados y la discusión de los mismos, resaltando el diseño construido de la modificación del asfalto convencional con el polímero Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico (catalizador), el análisis y comparación de los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos. Finalmente, en el capítulo cinco se presentan las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I

PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La vía Chilete – Cajamarca, tramo de la carretera de Carácter Nacional¹: Ciudad de Dios – Cajamarca – Chachapoyas, fue diseñada en la década de los 80 para un tráfico ligero/medio, pero con el devenir de los tiempos e inicio de las actividades mineras en la región en la década de los 90, se creó una dinámica económica distinta, con un alto flujo vehicular fundamentalmente pesado y de pasajeros, que aunado a los factores climáticos y la ausencia de mantenimiento o rehabilitación, ocasiono la falla estructural de toda la vía; lo que generó impactos negativos en las actividades económicas locales, por la elevación de costos del transporte tanto para los productos e insumos y restringiendo la actividad turística.

Esta situación se debió al empleo recurrente de diseños de carpetas asfálticas y materiales tradicionales; como se deduce del Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca, donde se observa que no propone mejorar las características de rendimiento del asfalto empleado; salvo lo referido al mejoramiento de la adherencia, considerando el uso del filler mineral (cal

¹ La red nacional corresponde a las grandes rutas longitudinales como la Panamericana, Carretera Andina, Marginal de la Selva y Rutas Transversales, cuya responsabilidad le corresponde a PROVÍAS NACIONAL según lo establecido en el D.S. N° 033–2002 –MTC (12.07.02).

hidratada) o mejoradores de adherencia; como textualmente establece las especificaciones técnicas: volumen 2, punto 05: Especificaciones Técnicas Especiales, 4.0 Pavimentos, 4.10: Carpeta Asfáltica en Caliente, que dice: “ Descripción.- Esta partida consistirá en la colocación de carpeta asfáltica en caliente y colocada sobre la base granular imprimada, a todo lo ancho de la vía incluyendo las bermas existentes, de acuerdo a los planos y detalles del proyecto. Las mezclas asfálticas en caliente estarán compuestas de agregados minerales gruesos, finos y material bituminoso. El uso de filler y aditivos mejoradores de adherencia, estarán sujetos a requerimiento del diseño de mezcla y calidad de los agregados”. Veamos ahora el material bituminoso empleado, como queda establecido al leer textualmente, tal documento: “(a) **Cemento Asfáltico.**- El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente, será clasificado por su viscosidad absoluta y por su penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico, las consideraciones del Proyecto y las indicaciones del Supervisor”.

Finalmente, para corroborar lo expresado se presenta el punto referido a la aceptación de los trabajos, que a la letra dice: “410.01 **Aceptación de los Trabajos, (a) Calidad del Cemento Asfáltico:** El Supervisor efectuará las siguientes actividades de control:

- (1) Comprobar, mediante muestras representativas de cada entrega y por cada carro termo tanque, la curva viscosidad - temperatura y el grado de penetración del asfalto. En todos los casos, guardará una muestra para eventuales ensayos ulteriores de contraste, cuando el Contratista o el proveedor manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.

- (2) Efectuar los controles con la frecuencia que se indica o, antes siempre que se sospechen anomalías.
- (3) Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico incorporado en las mezclas que haya aceptado a satisfacción.”

En consecuencia los trabajos que se realizaron a partir de este estudio no proponen mejorar las Propiedades Físicas (Consistencia, Temperatura, Resistencia y Envejecimiento) y Mecánicas (Viscosidad, Fatiga y Deformación Permanente) del asfalto que se empleó en la carpeta, que actualmente los métodos constructivos demandan ser mejorados.

1.2.FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cuáles serán las mejoras de las propiedades físicas – mecánicas del asfalto convencional en la carretera Chilete-Cajamarca, al utilizar asfalto modificado con el polímero denominado Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico como catalizador?

1.3.HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

“La modificación del asfalto convencional PEN 120/150 con el polímero Elvaloy® 4170 y la incorporación de ácido polifosfórico, mejoran sus propiedades físico – mecánicas”.

Convirtiéndose en variable independiente el polímero y el catalizador elegidos y el asfalto modificado en la variable dependiente.

1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Objetivo general

Mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto convencional con la incorporación del polímero Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico, que puedan ser utilizados como alternativas en la carpeta asfáltica de la carretera Chilete – Cajamarca.

Objetivos específicos

Realizar los ensayos de Penetración y Punto de Ablandamiento en laboratorio para conocer las características del asfalto convencional PEN/120-150, según normatividad vigente.

Realizar los ensayos de Penetración en laboratorio para encontrar el porcentaje óptimo de mezcla del asfalto convencional con el Polímero y Catalizador elegido, según normatividad vigente.

Realizar los ensayos comprobatorios en laboratorio, para demostrar las mejoras en las propiedades Físicos – Mecánicas del asfalto modificado, según normatividad vigente.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo propone un diseño que mejora las propiedades físico – mecánicas del asfalto, para reducir las deformaciones de la carpeta asfáltica y ampliar los periodos de mejoramiento o rehabilitación; ofreciendo finalmente, comodidad y seguridad a la población usuaria, específicamente de la vía Chilete – Cajamarca. Los fundamentos que complementan y refuerzan esta pretensión, se expresan en los aspectos siguientes:

Aspecto económico/productivo

Considerando que en el futuro entrarán en operación proyectos de gran envergadura hoy postergados, como son: Proyecto Minero Michiquillay, Proyecto Minero Minas Conga, Proyecto de Irrigación Presa Chonta, entre otros; ubicados en el ámbito de influencia de la vía Chilete – Cajamarca, que generarán una dinámica económica superior a la existente; con flujos de ingreso y salida de productos, bienes y equipos que demandará la nueva actividad minera y agrícola; así como, las actividades colaterales que de ellas se deriven, que al final se traducirá en un mayor flujo vehicular.

Al constituir Cajamarca parte del eje turístico Nor Oriental, con articulación a Kuelap y Chachapoyas; el flujo de turistas se viene incrementando progresivamente en la ruta Trujillo – Cajamarca – Chachapoyas y Chiclayo – Cajamarca – Chachapoyas.

Como quiera que esta vía constituye el único acceso para atender la demanda de actividades económicas futuras; resulta necesario, dotarla de una carpeta asfáltica con características que soporte las exigencias del futuro tránsito vehicular.

Aspecto medio ambiental

El Elvaloy® 4170 y el ácido polifosfórico, materiales modificadores del asfalto, no afectan negativamente el medio ambiente; por el contrario, la construcción de carpetas de rodadura con estos materiales, mitigan el ruido y la fricción en el transporte, reduciendo la contaminación sonora.

El envejecimiento de los asfaltos

El fenómeno de envejecimiento de los asfaltos, considerado inicialmente como un proceso de endurecimiento físico y, progresivamente reconocido como un fenómeno complejo con repercusiones en la durabilidad y las propiedades fisicoquímicas del asfalto, que ocasiona pérdidas económicas debido a deterioros prematuros de las carpetas asfálticas; demanda la urgencia de realizar investigaciones relacionadas con el perfeccionamiento de nuevos asfaltos con propiedades mejoradas, para garantizar una mayor durabilidad de los pavimentos asfálticos.

Uso recurrente de diseños, técnicas y materiales tradicionales

Otro aspecto que ha motivado esta investigación tiene que ver con el estudio y los trabajos realizados en el mejoramiento de la vía Chilete-Cajamarca, en donde se ha empleado el diseño tradicional constructivo como se detalla en el Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca, de 176.48 Km. donde se plantearon las soluciones o tratamientos más adecuados para conservar la infraestructura vial, durante los próximos diez años.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

Alcances

Tomando en consideración las condiciones climatológicas y de tránsito en las que se encuentra el tramo de la carretera Chilete – Cajamarca la presente investigación exploró las distintas opciones de mezclas de asfalto convencional con Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico en laboratorio, para encontrar la dosificación adecuada que mejore la resistencia de la carpeta asfáltica.

Limitaciones

Ausencia de laboratorios especializados en la ciudad de Cajamarca y en la región norte, obligó realizar los ensayos en la ciudad de Lima.

Falta de estadísticas sobre flujo vehicular de la carretera de Cajamarca-Ciudad de Dios; que retrasó contar con tal información importante.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

A. Antecedentes a Nivel Internacional

La historia de la modificación del asfalto, no es reciente como podría pensarse, de acuerdo a King y et al, manifiesta que en 1843 se concedieron patentes para modificar asfaltos con polímeros naturales y sintéticos. En Europa a principios de los años 30, se pusieron en marcha proyectos pilotos al respecto; en EE UU en los años 50, fueron introducidos los polímeros que encontraron un mercado pequeño pero constante; al pasar los años, el uso fue en aumento, especialmente después del inicio y desarrollo de las autopistas por el Programa Estratégico de Investigación de Carreteras (Strategic Highway Research Program SHRP); a partir del cual, a principios de los años 90 se inician y se desarrollaron las especificaciones para ligantes asfálticos, conocido como el método Superpave Performance Graded-PG-SUPERPAVE. Entre las investigaciones sobre la materia, identificadas fuera del país tenemos:

Rodríguez Valdivia, Fernando Andrés. (2010) con la tesis titulada: “Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Austral de Chile, en la ciudad de Valdivia – Chile, concluye con lo siguiente: “Al analizar los resultados obtenidos de estabilidad y fluencia queda demostrado que las mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos modificados posee un mejor comportamiento que las mezclas elaboradas con

asfalto convencional, tal como se esperaba, ya que la finalidad de modificar los asfalto es mejorar sus propiedades.”

Salazar Delgado, Jorge (2008), informe final de la investigación titulada: “Evaluación de la factibilidad del uso en Costa Rica de polímeros modificantes de asfalto incorporados en planta”, Unidad de Investigación, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos estructurales, Universidad de Costa Rica; concluye: “Los asfaltos modificados son definitivamente una muy buena alternativa para mejorar las propiedades de los asfaltos y por la misma condición, la mezcla asfáltica”.

Loría Salazar, Luis Guillermo (Febrero 2007), estudio titulado: “Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros”, Unidad de Investigación del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica; concluye entre otros: “De momento, el ligante que está determinando un mejor desempeño en los ensayos estudiados es el polímero tipo EGA”.

B. Antecedentes a Nivel Nacional

En el país, las investigaciones sobre uso de asfaltos modificados con polímeros han sido abordadas en distintas tesis realizados por graduandos. Veamos:

Bazán Serrano, Milagritos de Jesús y Vargas Hernández, Johan César (2009) con la tesis titulada: “Estudio de mejoramiento de la carretera Panamericana Norte (Km. 609), Cartavio – Santiago de Cao” para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo, concluye que: “El Distrito de Santiago de Cao y sus aledaños, cuenta con una buena producción agroindustrial, la misma que podrá ser bien aprovechada con la construcción de

ésta carretera; mejorando los niveles de vida de la población, impulsando el comercio y el turismo, y generando empleo temporal a los pobladores de la zona. El terreno de fundación de la carretera está constituido en su mayoría por suelos de arcilla inorgánica de baja plasticidad, arcilla con grava, arcilla arenosa, de regular a mala calidad para carreteras con un CBR de 5.49 %. Se ha diseñado el pavimento, obteniendo una estructura de 0.30 m de espesor de afirmado usando el método de USACE (U.S. ARMY CORPS OF ENGINEERS) y el método del ROAD RESEARCH LABORATORY.”

Marín Hernández, Alberto. (2008) con la tesis titulada: “Asfaltos modificados y pruebas de laboratorio para caracterizarlos”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de Ingeniería, en la ciudad de Lima – Perú, concluye: “Aquí, se dieron a conocer los materiales que se pueden usar, para modificar los asfaltos convencionales. Como se hizo notar, estos materiales nombrados, logran un cambio significativo en el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas. El uso de cualquiera de estos depende en gran medida del juicio del proyectista, el cual debe basarse en un criterio objetivo, desde la perspectiva técnica.”

Vargas Maldonado, José. (2005) con la tesis titulada: “Utilización de asfaltos modificados en una vía para mejorar su rendimiento y resistencia”, para obtener el título de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo, en la ciudad de Trujillo – Perú, concluye que: “Los asfaltos modificados con polímeros tipo SBS o SB, tienden a ser más resistentes en cuanto a volver a su posición original una vez que se retira el esfuerzo de tensión a que habían sido sujetos y se considera que la elasticidad es una energía almacenada al disiparse.”

C. Antecedentes a Nivel Local

No se ha encontrado ningún estudio sobre la materia.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. EL ASFALTO

Pese a las múltiples definiciones, de manera general se ha coincidido en que el asfalto es una compleja mezcla heterogénea de hidrocarburos. Generalmente es obtenido como subproducto del proceso de refinación del petróleo crudo; también puede encontrarse de modo natural, ya sea de manera sólida en los llamados depósitos de rocas asfálticas o en yacimientos. Desde la antigüedad hasta hoy el asfalto ha sido utilizado como cemento para ligar, cubrir o impermeabilizar objetos. Es un material muy versátil, se puede decir que es el material de ingeniería más antiguo utilizado por el hombre². A principios del siglo XIX el descubrimiento del asfalto refinado por medio de la destilación del petróleo crudo y el auge de la industria automovilística, dió lugar al aumento en el consumo de éste, fue utilizado como material para pavimentar caminos y otras aplicaciones. En país dos empresas producen asfalto para pavimentación: Petroperú y Repsol YPF, la que mayor posicionamiento ha logrado en el mercado por la bondad de sus productos es la primera; que produce los siguientes tipos clasificados por grado de penetración AASHTO M 20: **40/50, 60/70, 85/100, 120/150, 200/300.**

²JPh. Pfeiffer. The properties of Asphaltic Btumen (London, 1950), p.3

2.2.1.1 PROPIEDADES DEL ASFALTO

Propiedades Químicas: Básicamente, el asfalto está compuesto por varios Hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas trazas de azufre, nitrógeno y otros elementos. El asfalto cuando es disuelto en un solvente como el heptano puede separarse en dos partes principales asfaltenos y maltenos.

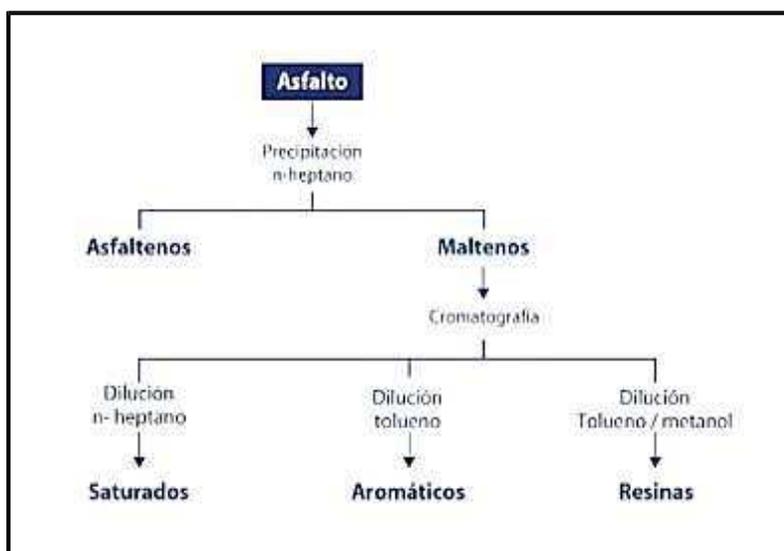


Figura N° 1: Estructura química del asfalto.

Fuente: http://www.repsol.com/pe_es/corporacion/conocer-repsol/

La composición química presenta la siguiente composición:

Tabla N° 1: Composición Química del Asfalto.

ELEMENTO	CONCENTRACIÓN
Carbono	82- 88%
Hidrógeno	8- 11%
Azufre	0- 6%
Oxígeno	0-1.5%
Nitrógeno	0- 1%

Fuente: Conferencia: Introducción a la Química del Asfalto por: Ing. German Garzón, Costa Rica, 2004

De manera general las propiedades químicas del asfalto dependen altamente de la naturaleza y proporción de sus componentes. El papel de cada fracción en su estructura y por consiguiente en sus propiedades no se ha entendido completamente, existiendo diferentes teorías que describen tal estructura, siendo por el momento el planteamiento que el asfalto presenta una estructura coloidal en la cual los asfaltenos y las resinas más polares forman micelas que se dispersan en una matriz continua formada por los maltenos, (Lesueur 2009). La figura N° 2, presenta una imagen obtenida mediante un microscopio de fuerza atómica (AFM), la estructura coloidal del asfalto donde se señalan sus componentes.

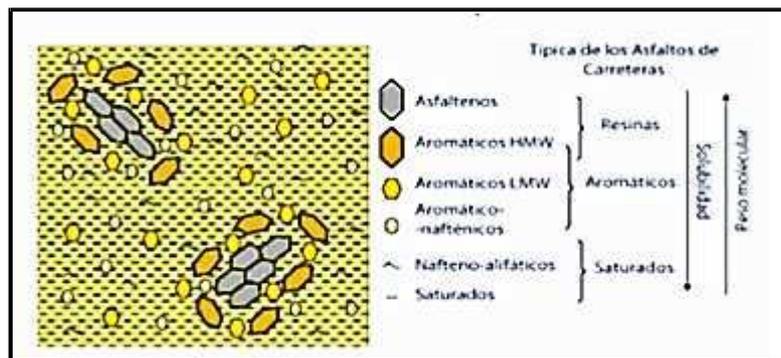


Figura N° 2: Estructura coloidal de un asfalto

Fuente: <http://www.repsol.com/asfaltos/fisicoquimicadelasfalto>.

Conceptualmente la propiedad química del asfalto es el cambio que sufre en su composición, por efecto del agregado de sustancias químicas como modificadores poliméricos que altera su estructura y propiedades finales.

Propiedades Físicas: Conceptualmente, son las características propias de la naturaleza del asfalto, que se manifiestan sin necesidad de ninguna intervención. Las de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras son:

Durabilidad:

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento y por consiguiente, es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto debido a que el comportamiento del pavimento es afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Adhesión y cohesión:

La **adhesión** se refiere a la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. La **Cohesión** por otro lado, es la capacidad del asfalto, de mantener firmes las partículas del agregado en el pavimento terminado.

Susceptibilidad a la temperatura:

El asfalto es un material termoplástico, se vuelve más viscoso (duro) a medida que su temperatura disminuye y menos viscoso (blando) conforme su temperatura aumenta. Su importancia radica en que el asfalto debe tener suficiente fluidez a temperaturas altas, para que pueda cubrir las partículas del agregado durante el mezclado y así permitir que éstas se desplacen unas con respecto a otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficientemente viscoso, a temperatura ambiente normal, para mantener unidas las partículas del agregado. Ver Figura N° 03 siguiente:

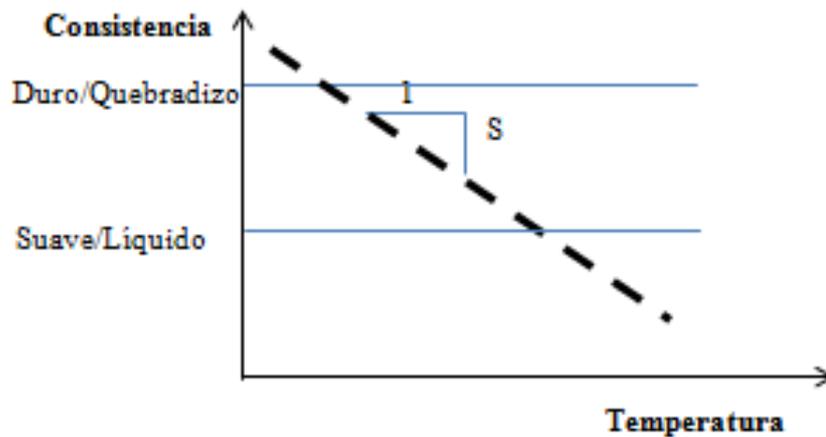


Figura N° 3: Comportamiento del Asfalto (Consistencia Vs. Temperatura)
 Fuente: Principios de Construcción de Mezcla Asfáltica en Caliente. Asphalt Institute Año 1995.

Endurecimiento y envejecimiento:

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. El endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado). No todos endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas; por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El fenómeno del envejecimiento, ha sido ampliamente estudiado durante muchos años y se puede definir como un proceso lento que involucra cambios en la composición química del asfalto. Youtcheff y Jones (1994) definieron el envejecimiento oxidativo, como la reacción de grupos frágiles del asfalto con el oxígeno; sin embargo, este proceso involucra otros cambios a nivel estructural. Las propiedades del asfalto

cambian con el tiempo, y debido a esto las especificaciones utilizadas para el diseño de las carpetas asfálticas basadas en las propiedades físicas iniciales, no aseguran un buen desempeño después que el asfalto ha sido mezclado con el agregado, aplicado y puesto en marcha para soportar los esfuerzos mecánicos propios del transporte. Durante el proceso de preparación de la mezcla asfáltica, los asfaltos se oxidan por acción del oxígeno del aire y de las altas temperaturas de mezclado, permitiendo que el fenómeno de envejecimiento se inicie en forma inmediata, y posteriormente, es inducido por los diversos factores climáticos que inciden en los pavimentos. Por lo tanto, para conseguir carpetas asfálticas con una mayor durabilidad, se debe considerar estas circunstancias y la composición química inicial.

Pureza

El cemento asfáltico está constituido en su mayor parte por bitumen, el cual es por definición un material totalmente soluble en bisulfuro de carbono. Aproximadamente el 99.5% de los asfaltos refinados son solubles en bisulfuro de carbono y si contienen impurezas estas son inertes. Normalmente el cemento asfáltico carece de agua, ya que ésta fue perdida durante el proceso de refinación. Cuando no pierde toda el agua, se vuelve espumoso al ser calentado a temperaturas superiores a 100°C (212°F). Por tanto, la pureza de un asfalto está definida por su carencia de humedad y cualquier impureza.

Propiedades Mecánicas: Conceptualmente, son las que se manifiestan cuando se somete al asfalto a un esfuerzo, es decir, como se comporta cuando le aplicamos una fuerza (carga) y cuando es expuesto al medio ambiente; o sea cual es la deformación que experimenta al sufrir estas aplicaciones; es decir, cual es el comportamiento

reológico. La reología, estudia la respuesta mecánica de un material cuyas propiedades varían en función de la temperatura y la aplicación de una carga, excluyéndose los fenómenos de rotura. Los asfaltos por ser materiales visco-elásticos, presentan un comportamiento reológico muy complejo.

2.2.1.2 PRODUCCIÓN DEL ASFALTO

El petróleo crudo está compuesto por distintos productos, incluyendo el asfalto; la refinación permite separar estos productos y recuperar el asfalto. Durante el proceso de refinación, el petróleo crudo es conducido a un calentador tubular donde se eleva rápidamente su temperatura para la destilación inicial. Luego entra a una torre de destilación donde se vaporizan los componentes o fracciones más livianas (más volátiles) y se separa para su posterior refinamiento en nafta, gasolina, kerosene y otros productos derivados del petróleo.

El residuo de este proceso de destilación es la fracción pesada del petróleo crudo, comúnmente llamado crudo reducido. Puede ser usado como fuel oil residual, o procesado en distintos productos, entre ellos el asfalto. Para separar la fracción, asfalto del crudo reducido, se puede utilizar un proceso de extracción mediante solventes. Luego, se refina la mayor parte de esta fracción para obtener el cemento asfáltico. Según el proceso de refinación usado se obtiene cementos asfálticos de muy alta o de baja consistencia. Estos productos se mezclan después, en cantidades adecuadas para obtener cementos asfálticos de la consistencia deseada. Los asfaltos soplados se producen insuflando aire a altas temperaturas al asfalto de consistencia adecuada.

El esquema del proceso de fabricación del asfalto se observa en la figura N°4, en donde se aprecia que una vez que el crudo llega a la refinería, se calienta en un gran horno a temperaturas superiores a los 370°C, para después trasportarlo a la torre de destilación, el corazón de la refinería. En la torre se fragmenta el crudo en diferentes componentes:

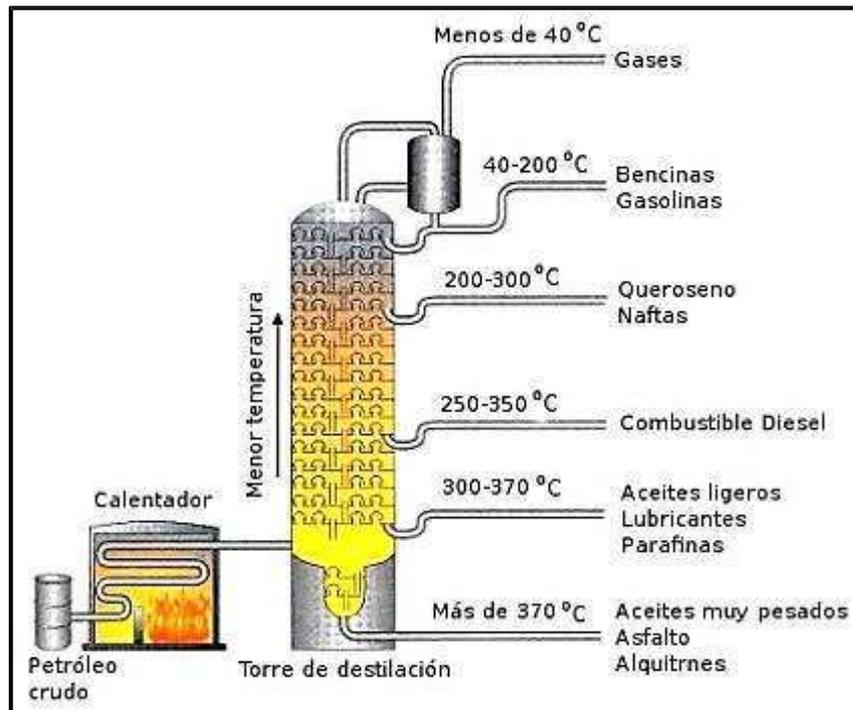


Figura N° 4: Fabricación de productos asfálticos.

Fuente: A Guide for Hot Mix Asphalt Pavement. NAPA.

2.2.1.3 CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO.- MÉTODOS

Investigaciones dentro del programa SHRP, estableció métodos de caracterización de los asfaltos vírgenes o convencionales, basados en numerosos ensayos prácticos como los utilizados para medir la penetración y el punto de ablandamiento, propiedades que dan una idea acerca de la consistencia (rigidez) y susceptibilidad térmica (variaciones de viscosidad con cambios de temperatura) del asfalto.

Medición de la penetración y punto de ablandamiento

El procedimiento utilizado para hallar la penetración del asfalto está estipulado en la norma peruana ASTM D5: 97 y consiste en medir la profundidad que una aguja estandarizada penetra cuando es sometida a una carga de 100g durante 5s (ver figura N°5) a una temperatura de 25°C. La longitud que la aguja penetra al asfalto se expresa en unidades de 0,1mm (*décimas de milímetro*, dmm) y se conoce como penetración (Pen) del material.

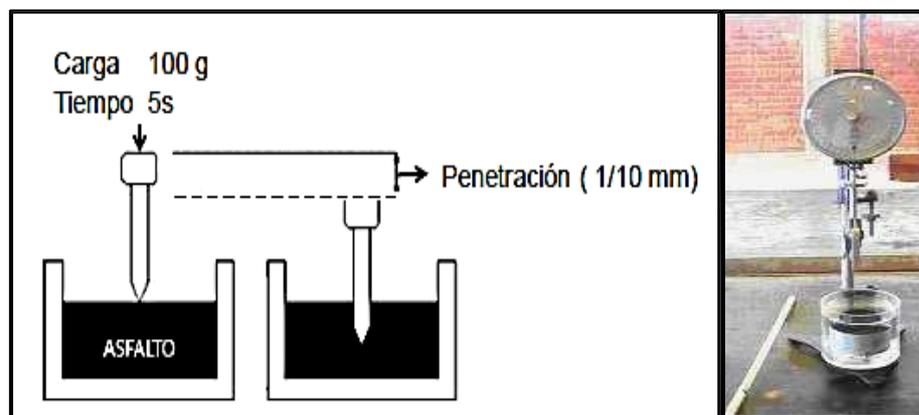


Figura N° 5: Esquema del ensayo de penetración.

Fuente: <http://www.ingenieracivil.com/2007/06/indice-de-penetracion-cementos.html>

El ensayo de penetración ha permitido establecer los siguientes grados de asfaltos: 40–50; 60–70; 85–100; 120–150; 200–300. Un grado 200-300, indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro; esta es una indicación de un asfalto “blando”, un grado 40- 50 es indicación de un asfalto “duro”.

El punto de ablandamiento del asfalto se calcula utilizando el procedimiento descrito en la norma ASTM D36-95, método conocido como anillo y bola, el cual consiste en situar una bola de acero en la superficie de un anillo relleno con la muestra de asfalto, luego se introduce en un baño que se calienta con una velocidad 5°C / min

(Ver figura N° 6). La temperatura a la cual la bola cae una distancia de 25.4mm (1”), se conoce como temperatura o punto de ablandamiento (PA) del asfalto.

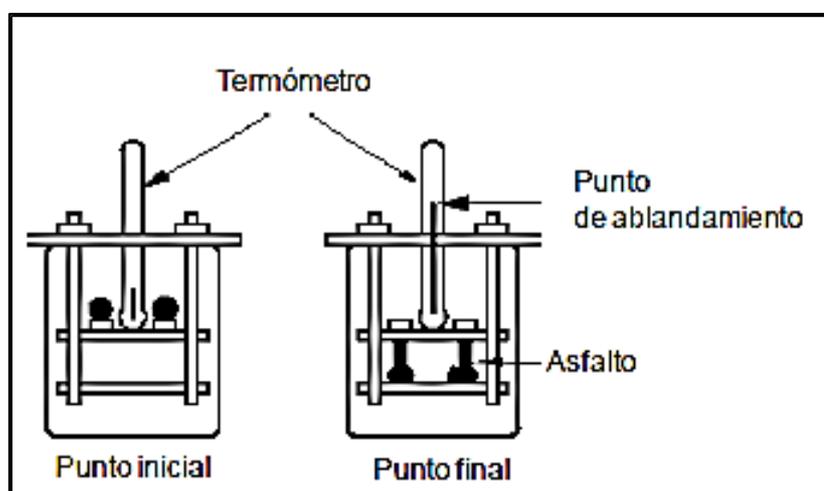


Figura N° 6: Esquema del ensayo punto de ablandamiento.

Fuente: <http://www.ingenieracivil.com/2007/06/indice-de-ablandamiento-cementos.html>

2.2.1.4 Especificaciones de los asfaltos

En el país, la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, como ente rector del sistema vial, regula la aplicación de la Norma Técnica Peruana NTP 321.051:2014: PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cementos Asfálticos. Especificaciones, 3ª Edición, elaborada por el Comité Técnico de Normalización de Petróleo Derivados y Combustibles líquidos, aprobada por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-CRT, del INDECOPI, que fija las propiedades requeridas por los cementos asfálticos para uso en la construcción de pavimentos. Ver Tabla N° 2.

Tabla N° 2: Especificaciones de los Cementos Asfálticos

CARACTERISTICAS	ESPECIFICACIONES										METODO DE ENSAYO		
	40/50 PEN		60/70 PEN		85/100 PEN		120/150 PEN		200/300 PEN		ASTM	AASHTO	ISO
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max			
Penetración a 25 °C, 100 g, 5 s mm	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300	D 5	T 49	
Punto de ablandamiento, °C (Véase NOTA 1)	49	-	46	-	42	-	38	-	32	-	D 36		
Punto de inflamación Cleveland, Copa Abierta, °C	232	-	232	-	232	-	218	-	177	-	D 92	T 48	2592
Ductilidad a 25 °C, 5cm/min, cm	100	-	100	-	100	-	100	-	100(1)	-	D 113	T 51	
Solubilidad en tricloroetileno, % masa	99	-	99	-	99	-	99	-	99	-	D 2042	T 44	
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm; 163 °C; 5 horas											D 1754	T 179	
Perdida por calentamiento, % masa	-	0.8	-	0.8	-	1.0	-	1.3	-	1.5			
Penetración del residuo, % del original	55+	-	52+	-	47+	-	42+	-	37+	-	D 5	T 49	
Ductilidad del residuo a 25 °C, 5cm/min, cm	-	-	50	-	75	-	100	-	100(1)	-	D 113	T 51	

OBSERVACIONES:

(1) Si la ductilidad a 25 °C es menor a 100 cm, el material puede ser aceptado si la ductilidad a 15 °C es como mínimo 100 cm a 5 cm/min de elongación

Nota 1: Se incluye el Ensayo Punto de Ablandamiento en la Tabla de esta NTP, de acuerdo a la Tabla N° 2 de la norma ASTM D 946

Fuente: NTP 321.051:2014, pag 6 de 7

2.2.2. DEFORMACIÓN DE LOS PAVIMENTOS

Una de las grandes diferencias entre una carpeta rígida (carpeta de concreto hidráulico) y una carpeta flexible; es la forma en que cada una de ellas absorbe y transmite las cargas a las capas subyacentes del pavimento. Es sabido que una carpeta rígida absorbe las cargas de manera distribuida, debido a su carácter de material rígido, propiedad con la que no cuenta una carpeta de asfalto; una carpeta asfáltica recibe la carga en forma directa, se deforma y la transmite en forma distribuida a la capa inferior. En la figura N°7, se muestra que en el lado izquierdo una carpeta asfáltica presenta deformación, mientras que en el lado derecho, la carpeta rígida no presenta deformación.

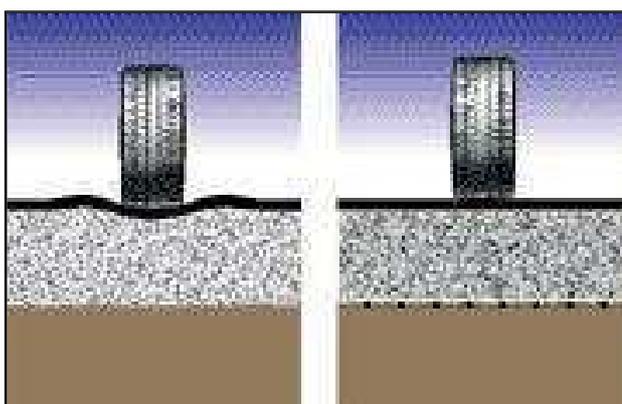


Figura N° 7: Deformación de las carpetas asfálticas

Fuente: Agnusdei J., Iosco O., Jair M., Morea F. (2006), Correlación entre medidas de ahuellamiento “in situ” y ensayos de laboratorio Proc. xxxiv Reunión del Asfalto.

Esta característica de las carpetas asfálticas es un gran inconveniente en las vías, pues la deformación de la carpeta asfáltica está en función, de la zona en que esté localizada; del clima o de la temperatura ambiental; de la rigidez de la misma carpeta; del tipo de tránsito que circule, pues las cargas mayores, producen una deformación proporcional a ellas; y el tiempo de acción de estas cargas, en los sitios donde se presenta un tráfico lento, o bien en estacionamientos, las cargas actúan

por tiempos más prolongados que en los que se tiene una circulación fluida.

El problema de las deformaciones es significativo cuando éstas llegan a ser permanentes, transmitidas a las capas inferiores del pavimento, pues con esto se puede dar inicio a la desintegración de la carpeta. La deformación permanente, se produce cuando se acumula deformación plástica, con cargas repetidas a altas temperaturas comprendidas entre 40°C y 65°C (mayores al punto de reblandecimiento del asfalto). Los factores que favorecen la aparición de tal deformación, son las altas presiones de inflado de las llantas de los vehículos, aunque esto no depende del proyectista; un alto o bajo contenido de asfalto en la mezcla, el uso de agregados de forma alargada y redonda, además de la afinidad del pétreo a la humedad. Otro fenómeno que se presenta, es el agrietamiento por baja temperatura, esto ocurre cuando el asfalto es demasiado rígido, debido a una elasticidad demasiado baja, lo que propicia que el asfalto se vea sometido a esfuerzos de tensión, antes de recibir alguna carga.

Al estar en operación una vía, se deteriora gradualmente y presenta diferentes condiciones de servicio a través de los años. Los deterioros pueden ser pequeños al principio, pero empeoran con el transcurso del tiempo hasta ser considerables acelerando la falla; por lo que, una vía requiere de mantenimiento o conservación permanente, a fin de asegurar por lo menos su vida útil y proporcionar un servicio adecuado. El deterioro se observa y se califica con un valor del 1 al 5, llamado índice de servicio (serviciabilidad); cuando una obra comienza a funcionar recién construida, debe tener una calificación de 4.0 a 4.5, la cual disminuye al paso del tiempo. Cuando un camino de primer orden o autopista llega a un índice de servicio de

2.5 ó 2, el tránsito tiene problemas y la comodidad del viaje llega al punto mínimo. En este momento, la obra alcanza su falla funcional, si el camino sigue en servicio, se produce la falla estructural y prácticamente no hay tránsito.

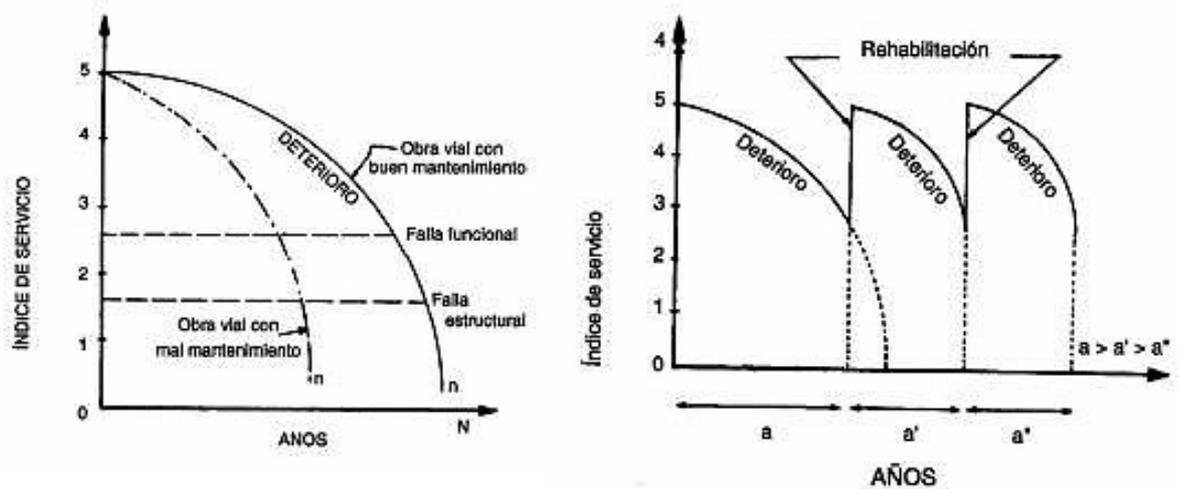


Figura N° 8: Esquema que representa el deterioro y el efecto de la rehabilitación de las obras viales

Fuente: Agnusdei J., Iosco O., Jair M., Morea F. (2006), Correlación entre medidas de ahuellamiento “in situ” y ensayos de laboratorio Proc. xxxiv Reunión del Asfalto.

La ilustración muestra, que después de entrar en servicio una obra, se va deteriorando hasta llegar en “n” años a su falla de estructura; sin embargo, cuando la serviciabilidad llega a 2.5, se rehabilita, se aumenta su vida útil en “n” años más, este ciclo se puede repetir en varias ocasiones; sin embargo, después de cuatro o cinco rehabilitaciones, el daño causado a la obra es tal que es conveniente una reconstrucción, pues la eficacia de la rehabilitación es cada vez menor, como se ve en la ilustración anterior de la derecha.

2.2.3. POLÍMEROS

Los polímeros (del Griego: poly: muchos y mero: parte, segmento), son macromoléculas compuestas por una o varias unidades químicas llamadas monómeros, que se repiten a lo largo de toda una cadena. Un polímero es como si uniésemos con un

hilo muchas monedas perforadas por el centro, al final obtenemos una cadena de monedas, en donde las monedas serían los monómeros y la cadena con las monedas sería el polímero. La parte básica de un polímero son los monómeros que se repiten a lo largo de toda la cadena de un polímero; por ejemplo, el monómero del polietileno es el etileno, el cual se repite “x” veces a lo largo de toda la cadena.

Polietileno = etileno-etileno-etileno-etileno-etileno-.....

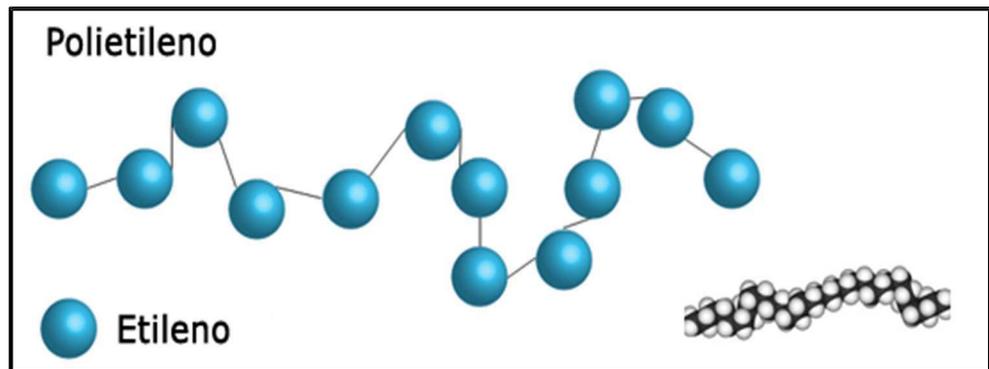


Figura N° 9: Esquema del polímero polietileno

Fuente: <http://www.losadhesivos.com/definicion-de-polimero.html>

En función de la repetición o variedad de los monómeros³, los polímeros se clasifican en:

Homopolímero.- Se le denomina así, al polímero que está formado por el mismo monómero a lo largo de toda su cadena, el polietileno, poliestireno o polipropileno son ejemplos de polímeros pertenecientes a esta familia.

Copolímero.- Se le denomina así, al polímero que está formado por al menos 2 monómeros diferentes a lo largo de toda su cadena, el SBS o el SBR son ejemplos pertenecientes a esta familia. Los copolímeros se dividen en:

Elastómeros: son aquellos que al tensarlos y dejar de hacerlo, vuelven a su posición original; es decir, son muy elásticos. (Polímeros Naturales, proceden de los seres vivos Ejemplo: Algodón, Seda, Caucho Natural; Polímeros Sintéticos, se

³ S.V.Canevarolo. Ciencia dos Polímeros. (Brasil, 2002) p. 5

obtienen en la industria o en el laboratorio, Ejemplo: Plásticos, Kevlar, Tergal, Nylon. El petróleo, hoy en día es el más importante insumo para la producción de polímeros sintéticos.

Plastómeros: son aquellos que al tensarlos, se sobrepasa la tensión de fluencia no volviendo a su longitud original al cesar la sollicitación, (EVA: etileno-acetato de vinilo; EMA: Etileno-acrilato de metilo; PE: Polietileno, tiene buena resistencia a la tracción y buena resistencia térmica, como también buen comportamiento a bajas temperaturas; PP: Polipropileno; Poliestireno: una alternativa de poco uso).

2.2.3.1 POLÍMEROS MODIFICADORES DE ASFALTOS

En la actualidad, del universo existente de polímeros; los asfaltos son modificados con polímeros tipo elastómeros y plastómeros.

A. Modificadores Elastoméricos

Estireno Butadieno Estireno (SBS)

Numerosos estudios han coincidido en que adicionar SBS al asfalto, efectivamente mejora sus propiedades, (Stangl, y otros 2007; Lucena, y otros 2004; Burak, y otros 2007; Jian-Shiuh, y otros 2002), dichas mejoras se ven reflejadas en el incremento del componente elástico (G') del asfalto, reduciendo el componente viscoso (G''). Brinda una mejor recuperación elástica después de retirar un esfuerzo actuante; también se reduce la susceptibilidad térmica del material incrementando su resistencia especialmente a temperaturas ambientales altas. El grupo estireno-butadieno, le proporciona al asfalto un aumento de su rigidez; en la resistencia al agrietamiento a bajas temperaturas y un aumento en las propiedades de adherencia, que favorece las

mezclas utilizadas en pavimentos. El SBS, se añade usualmente en el rango de 3-9% p/p de la mezcla (Soenen, y otros 2006).

Dependiendo de la naturaleza del asfalto y del polímero, la morfología de la mezcla varia; se puede formar una fase continua de asfalto con partículas de SBS dispersas o una fase continua de polímero con asfalto disperso en forma de glóbulos o dos fases continuas entrecruzadas (Yildirim 2007). Algunas veces, puede ocurrir una separación entre el polímero y el asfalto, debido a la dificultad de compatibilizar las especies y obtener materiales homogéneos. Por lo tanto, para modificar algunos asfaltos, sobre todo los que carecen de aceites aromáticos, necesitan utilizar agentes químicos de acoplamiento con características aromáticas.

Elvaloy® 4170

Es un Terpolímero Elastomérico Reactivo de Etileno, producto relativamente nuevo diseñado específicamente para la modificación de asfalto. La invención surge a partir de 1988, cuando las compañías Chevron (petrolera) y DuPont (química) se unen en un esfuerzo conjunto, para desarrollar un nuevo polímero modificador de asfalto con las características siguientes:

Que el polímero pudiera incorporarse fácilmente al asfalto.

Que el asfalto modificado con ese polímero fuera sencillo de trabajar.

Que el polímero proporcionara propiedades visco elásticas similares a las de otros polímeros ya utilizados (Copolímeros de Estireno Butadieno: SB, SBS).

En 1989, DuPont desarrolla el Elvaloy de reacción lenta y a partir de 1991 se comienza con la experiencia de pavimentación de trechos experimentales en Estados Unidos. De 1994 a la fecha, se desarrollan varios grados de Elvaloy, entre ellos el de

alta reacción con catalizador, que actualmente se utiliza en México denominado Elvaloy® 4170. Este tipo de polímero, ha sido evaluado ampliamente en los Estados Unidos, como parte del programa Strategic Highway Research Program (SHRP), en tareas de investigación orientadas a mejorar el desempeño y duración de las carreteras; el resultado de la evaluación, fue el cumplimiento de las exigencias del programa. Es un polímero que tiene una composición diferente a los elastómeros, formado por bloques de estireno – butadieno. El material, es un compuesto químico con una columna de etileno, que incorpora dos copolímeros, el cual por su distribución química puede reaccionar químicamente con los asfaltenos del asfalto, para formar un solo compuesto inseparable; es decir, después de lograda la reacción, permanecerá unido con la molécula de asfaleno y no se separará. El asfalto final modificado tendrá por lo tanto, una estabilidad muy alta, ya que no habrá polímero disuelto en él, sino que el asfalto como tal, tendrá una composición química diferente al original. La presentación, es en forma de pellets de resina, los cuales son empacados en cajas o sacos para el manipuleo adecuado.



Figura N° 10: Presentación del ELVALOY® 4170
Fuente: DUPONT; Packagin and Industrial Polymeres

Ventajas sobre otros polímeros:

El estudio: “Evaluación de asfaltos modificados en laboratorio con distintos polímeros” (Loria Salazar, Luis Guillermo; 2007), realizado en la Unidad de Investigación del Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica, concluye que el ligante que mejor desempeño ha obtenido en los ensayos, es el polímero tipo EGA, es decir Elvaloy. A continuación, se presenta el resumen de los resultados de los ensayos realizados sobre el particular:

Materiales usados: asfalto AC 30; polímeros: Etil Glicidicil Acrilato-EGA (Elvaloy), Eastman, látex, SBS, negro humo y asfaltita.

Proporciones empleadas: AC-30 + 1.5% EGA; AC-30 + 2.0% SBS; AC-30 + 3.0% PLASTÓMERO; AC-30 + 2.0% UPS-65; AC-30 + 12.0% NEGRO DE HUMO y AC-30 + 3.0% ASFALTITA.

Ensayos realizados: CREEP (mide la deformación permanente), fatiga, recuperación elástica y viscosidad de corte cero, veamos los resultados.

Tabla N° 3: Comparación de recuperación elástica para ligantes modificados

Asfalto Base	Modificante	Ciclos para la falla	Deformación Acumulada (uS)
AC-30	Asfaltina 3%	700	15.8
AC-30	Negro Humo 12%	600	19.4
AC-30	Plastómero 2.0%	800	6.4
AC-30	EGA 1.5%	1100	7.6
AC-30	Látex 2.0%	900	16.5
AC-30	SBS 2.0%	1000	12.8

Fuente: Fuente: Luis Guillermo Loría Salazar, Universidad Nacional de Materiales, Universidad de Costa Rica, “Evaluación de Asfaltos Modificados en Laboratorio con Distintos Polímeros, 2007.

El autor explica así los resultados expuestos en la Tabla N° 03, “se muestra que el EGA y el SBS, presentan un comportamiento a fatiga mayor. En cuanto al ensayo de deformación permanente, los asfaltos modificados con mejor desempeño son el Plastómero y el EGA, al haber obtenido las deformaciones menores. En cuanto al ensayo de deformación elástica, es notorio que el EGA tiene una capacidad de deformación elástica muy superior a la de los otros polímeros”.

Los resultados del ensayo de viscosidad se presentan en el gráfico siguiente:

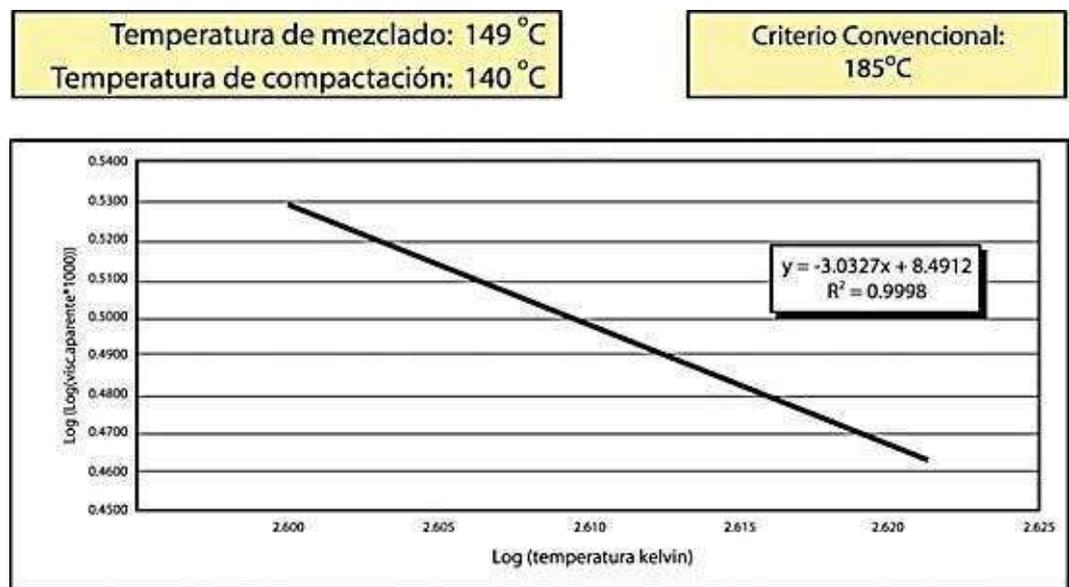


Gráfico N° 1: Curva de viscosidad para determinar las temperaturas de compactación y mezclado para ligantes modificados.

Fuente: Fuente: Luis Guillermo Loría Salazar, Universidad Nacional de Materiales, Universidad de Costa Rica, “Evaluación de Asfaltos Modificados en Laboratorio con Distintos Polímeros, 2007.

El comentario del autor sobre los resultados que muestra en el gráfico, indica: ... “De la figura se puede concluir que hay una significativa ventaja en el uso del nuevo criterio para determinar la temperatura de mezclado y compactación en laboratorio para asfaltos modificados, pues se logra bajar de 185 grados Celsius a 149 grados Celsius”.

Los resultados de este estudio, sirvieron como referencia para el nuestro, que permitieron obviar los ensayos comparativos indicados y realizar los necesarios para adaptarlo a la vía elegida y al asfalto producido por Petroperú.

Caucho molido proveniente de llantas.

El caucho molido de llanta, fue el primer polímero que se utilizó como modificador del asfalto, aunque inicialmente el objetivo de este proceso fue más buscar una salida viable a las grandes cantidades de llantas desechadas que se acumulaban en depósitos, buscando un beneficio ecológico. Sin embargo, el caucho molido de llanta tiene propiedades capaces de modificar el asfalto como se ha demostrado en diferentes estudios (Osman y Cengiz 2008) (Rafat, Jamal y Inderpreet 2007). La adición de caucho molido de llanta, se puede realizar por técnicas diferentes que incluyen procesos en seco o en húmedo. Estas mezclas pueden también contener aditivos o modificadores adicionales como, diluyentes, cales, aceites etc. (Frantzis 2003). En el proceso en seco, las partículas de caucho representan del 0.5 a 3.0%p/p de la mezcla; en cambio, el proceso en húmedo la cantidad de caucho molido de llanta puede llegar hasta el 20% p/p del total del asfalto utilizado. El proceso en seco, utiliza 2 a 4 veces menos caucho molido de llanta (CR) que la técnica en húmedo. El uso resulta difícil por el proceso de mezclado.



Figura N° 11: Presentación del Caucho Molido

Fuente: Pavimentos con polímeros reciclados, Lina Marcela Ramírez Jiménez, Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Civil, Escuela de Ingeniería de Antioquia, 2011

B. Modificadores termoplásticos

Poliétileno (PE)

El trabajo de los elastómeros sobre el asfalto, se evidencia en el aumento del comportamiento elástico del asfalto volviéndolo más dúctil, pero en general poseen rigidez reducida. Los termoplásticos mejoran la dureza del asfalto y también reducen la susceptibilidad térmica del asfalto, especialmente en altas temperaturas de servicio, evitando deformaciones permanentes. Uno de los termoplásticos más utilizados para la modificación de asfalto, es el polietileno. Existen varios tipos de polietileno, entre los más comunes están los de alta (PEAD) y baja densidad (PEBD). Los polietilenos de alta densidad se utilizan cuando la aplicación exige principalmente de una adecuada rigidez, resistencia y tolerancia al calor; en cambio, los polietilenos de baja densidad se utilizan en aplicaciones que exige alta resistencia al impacto y ductilidad (Murphy, y otros 2000).

Diferentes investigaciones (Giovanni, y otros 2005; Hussein, y otros 2005; Rafat, y otros 2008), han utilizado tanto PEAD como PEBD para modificar asfalto; sin embargo, el mayor inconveniente que han encontrado es su incompatibilidad con el asfalto, debido principalmente a que las macromoléculas del polímero presentan gran peso molecular y por ende altas viscosidades, inhibiéndose de interaccionar con los componentes del asfalto por la poca miscibilidad entre ambos. Esta situación, hace que el asfalto, cuando es mezclado con polietileno, en su estructura contenga fases de éste en forma de glóbulos afectando las propiedades de la mezcla.

2.2.4. MODIFICACIÓN DE ASFALTOS

La modificación del asfalto, es una nueva técnica que permite el aprovechamiento efectivo de los asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica, consiste en la adición de polímeros tipo elastómeros, fundamentalmente Elvaloy y SBS; a los asfaltos convencionales, con la finalidad⁴ de mejorar sus características físico-mecánicas y la reología, (ver Figura N°12) es decir, mejorar su resistencia a las deformaciones. Entonces, los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos son:

- a) Contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez;
- b) Disminuir los fisuramientos, por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad; y,
- c) Contar con un ligante de mejores características adhesivas.

⁴ H. L. Robinson. Polymers in Asphalt. (United States of America, 2004) p. 15

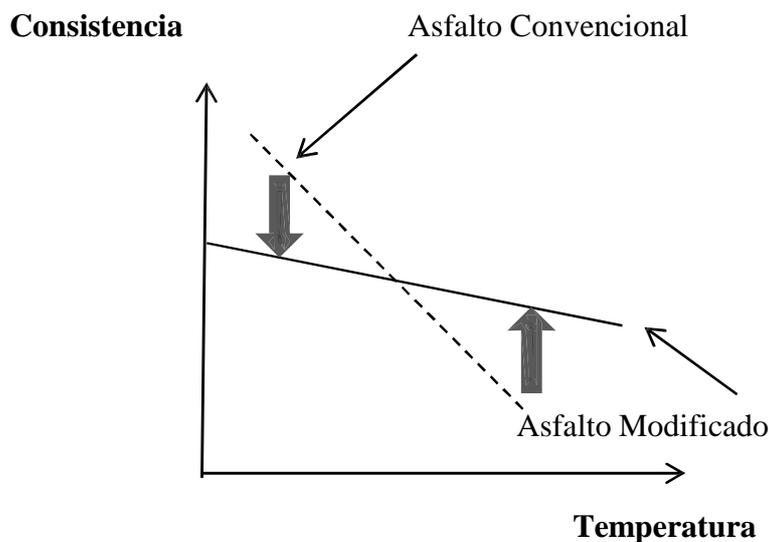


Figura N° 12: Comportamiento Asfalto Convencional vs. Asfalto Modificado

Fuente: Introducción a la Reología de los Asfaltos Modificados. Conferencia dictada por: Ing. German Garzón Costa Rica, 2004.

2.2.4.1 CONDICIONES EN LA MODIFICACIÓN DE LOS ASFALTOS

A. CONDICIONES GENERALES

En general, las condiciones a tomar en cuenta durante el proceso de modificación de los asfaltos son:

1. **La temperatura de disolución y mezclado**, juega un papel fundamental debido a que la clave de la incorporación del polímero será, su disolución en el asfalto siendo la forma más fácil, cuando este se encuentra en forma líquida.
2. **Los equipos de esfuerzo de corte**, cuentan con sistemas para control de velocidades y temperatura, de esta forma los polímeros se incorporan de la forma más eficiente, al realizarse una disminución gradual de partículas.
3. **La aromaticidad**, juega un papel muy importante en la viscosidad final del asfalto y al término en la producción de la mezcla. La viscosidad y las propiedades reológicas de la mezcla final, dependerán de las proporciones de disolución asfalto-polímero, y la fase en las que se encuentre.

B. EQUIPOS

Existe una variedad de equipos que pueden realizar con éxito el proceso de mezclado para la modificación de asfaltos; siempre es más sencillo incorporar polímeros modificantes líquidos que los sólidos, básicamente por condiciones operativas de planta. En forma general, se requiere de un equipo que cuente con la capacidad de dispersar cualquier tipo de polímero (sólido o líquido) y de cualquier forma, incluso ralladuras de caucho recicladas. En forma básica, el asfalto ingresa al equipo de modificación mediante un sistema de distribución; el polímero se incorpora en forma controlada al sistema de mezclado, hasta que el polímero sea incorporado en forma homogénea. Específicamente y teniendo en consideración que el polímero elegido para el presente trabajo, es el polímero Elvaloy® 4170, el equipo necesario para este proceso de modificación, requiere un tanque con capacidad para lograr regímenes turbulentos $Re \geq 10,000$ y la capacidad para calentar el asfalto hasta temperatura de reacción, que es alrededor de 186°C . En la figura N°13 se aprecia el diagrama respectivo.

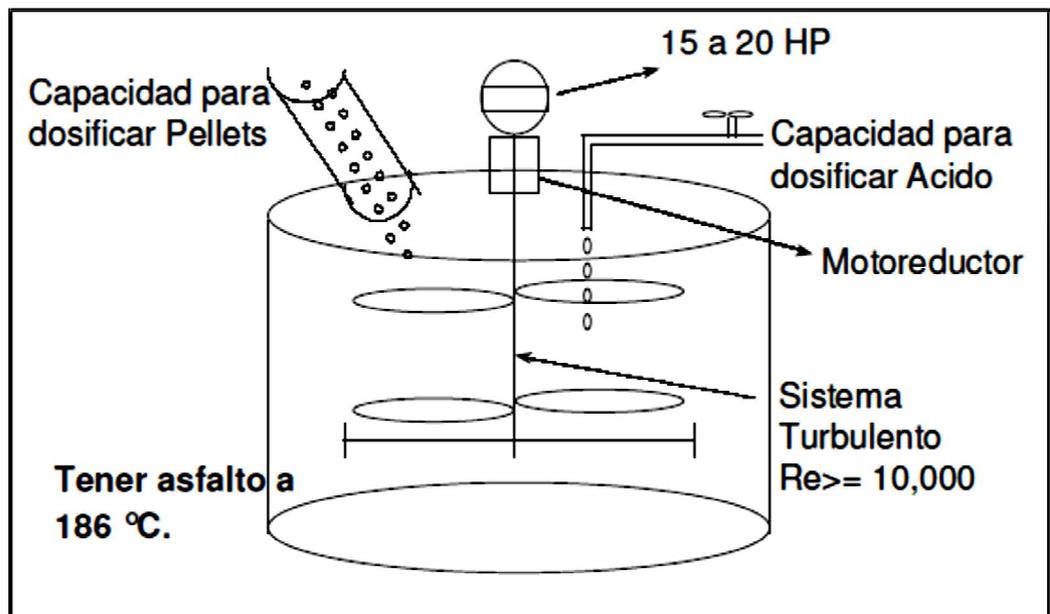


Figura N° 13: Diagrama prototipo de planta modificadora de asfalto con Elvaloy® 4170

Fuente: DUPONT; Packagin and Industrial Polymeres

C. COMPATIBILIDAD DE LOS POLÍMEROS.

Para llevar a cabo la modificación del asfalto, se debe conocer la compatibilidad de éste con el modificador para que coexistan como sistema, es decir, debe ser miscible o que pueda mezclarse, lo que indica una mezcla monofásica. Un polímero es compatible con el asfalto, cuando la heterogeneidad de la mezcla no se puede apreciar por un examen visual. Los asfaltos más ricos en fracciones aromáticas y resinas, serán los más compatibles, ya que estas fracciones son las que permiten que el polímero se disuelva. Los asfaltos menos compatibles son los más ricos en asfaltenos y saturados.

Para lograr efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; esto se logra, cuando la química del polímero y del asfalto son compatibles, tal compatibilidad, produce rápidamente un asfalto estable. En las microfotografías mostradas en la figura N° 14, nos muestran polímeros tipo SBS en diferentes asfaltos (lo blanco es polímero y lo negro es asfalto). Las dos primeras presentan una red continua de polímero, teniendo una estructura estable que no se separa, tomando ventaja de las propiedades elásticas del polímero; las dos siguientes no están en red, separadas durante el almacenaje y por tanto, no tendrán el mismo incremento benéfico sobre las distintas propiedades.

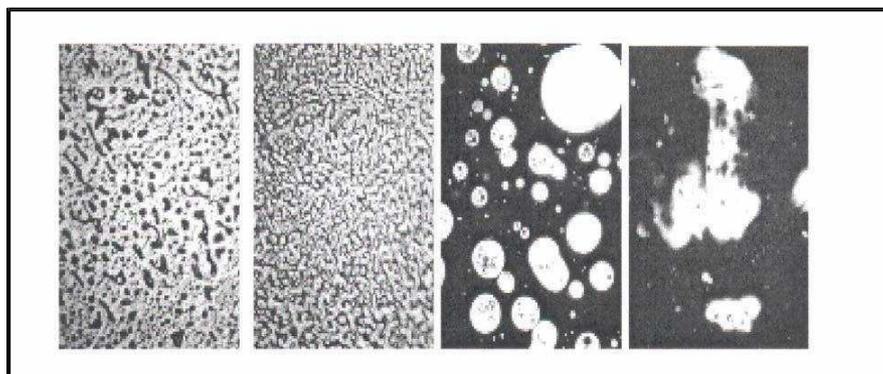


Figura N° 14: Microfotografías de asfaltos modificados con polímero tipo SBS

Fuente: Emulsiones Asfálticas, Gustavo Rivera E.

En consecuencia, para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas, se debe seleccionar cuidadosamente el asfalto base, el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta, el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.) y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia. El proceso de modificación es variable de acuerdo al tipo de polímero: el tipo SBS, requieren etapas de molienda; otros como el Elvaloy® 4170, no se requiere un molino, solamente es con agitación y temperatura en un tiempo corto, el polímero se funde y se incorpora al asfalto, por lo regular son 2 horas a 186°C; el control de calidad se observa mediante la prueba visual.

2.2.4.2 ESPECIFICACIONES DE LOS ASFALTOS MODIFICADOS

Igual que para los cementos asfálticos sin modificar, en el país es la Dirección General de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, la entidad encargada de velar porque se cumplan las especificaciones sobre asfaltos modificados para pavimentación, establecidas en la Norma Técnica Peruana NTP 321.149:2014 : PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cementos Asfálticos Modificados, aprobada por la Comisión de Reglamentos Técnicos y Comerciales-CRT, del INDECOPI, las pruebas que fija la norma, son referenciales por que deben ser complementadas con las que recomienda los proveedores y las condiciones en el lugar donde serán aplicados. La tabla que se presenta a continuación se ha extraído de la norma en referencia.

Tabla N° 4: Especificaciones de Asfalto Modificado con Polímero Tipo IV

Ensayos	IV - A		IV - B		IV - C		IV - D		IV - E		IV - F	
	min	max										
Pruebas en producto original												
Penetración, 25 °C, 100 g. 5 s; dmm	90		75		65		50		50		35	
Viscosidad, 60 °C, 1 s ⁻¹ ; poise (1)	1250		4000		2500		6000		4500		8000	
Viscosidad, 135 °C; cSt		3000		3000		3000		3000		3000		3000
Punto de inflamación, Copa abierta Cleveland; °C	232		232		232		232		232		232	
Solubilidad en tricloroetano; %	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
Separación, diferencia entre punto de ablandamiento anillo y bola de porción superior e inferior; °C (2)	Reportar											
Pruebas en el residuo de película fina y rotatoria (3)												
Recuperación elástica, 25 °C, 10 cm de elongación; %	60		70		60		70		60		70	
Penetración, 4°C, 200 g, 60 s; dmm	20		20		15		15		10		10	

(1) Tubos Koppers modificado.

(2) Puede utilizarse la viscosidad a 135 °C utilizando el método ASTM D 2170 en sustitución del punto de ablandamiento. Deben observarse con cuidado las diferencias de viscosidad mayores al 10 %. Debe tenerse cuidado cuando se utiliza este metodo para evaluar sistemas poliméricos dispersos. Los limites reales son reportados cuando exista suficiente cantidad de datos para sostener este criterio. Sin embargo, una prueba de separación para un material puede no ser apropiado para otro, resultado en potenciales reportes de falla en el campo. Los resultados de este ensayo pueden ser usados como una guía para establecer el procedimiento de manipulación en el campo. Grandes diferencias en los valores de separación indican que el material debe mantenerse agitado durante el almacenamiento.

(3) Puede utilizarse el método del Horno de película fina (no rotatoria), pero el Horno de película fina rotatoria será el método que defina en caso de discrepancia.

Fuente: NTP 321.149:2014, pag 8 de 8

CAPITULO III

CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

3.1 UNIDAD DE ANÁLISIS, UNIVERSO, MUESTRA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

A. Unidad de Análisis:

Está constituida por los diversos ensayos realizados en laboratorio.

B. Universo:

Los materiales necesarios para la investigación; es decir, el asfalto tipo PEN 120/150, polímero Elvaloy® 4170 y el ácido polifosfórico.

C. Muestra:

La muestra seleccionada está constituida por los 46 ensayos elegidos que son la totalidad de las pruebas necesarias que las normas internacionales, como nacionales en materia de asfaltos (AASHTO T51 y la NTP 321.051:2014), fijan para garantizar la confiabilidad de los resultados; por tanto, es una muestra finita ya que se ha tomado el conjunto de ensayos necesarios, que garantiza un margen de error cero y el nivel de confianza está por encima del 95%, rangos que se estipulan en los cálculos de los tamaños de muestras. El resumen del número de ensayos se muestra en la tabla N° 5 y el detalle de cada uno de ellos en los reportes respectivos, en el anexo N° 02:

Tabla N° 5: Resumen número de ensayos

ENSAYOS	N° DE ENSAYOS
A. DEL ASFALTO CONVENCIONAL	03
B. DE ASFALTO MODIFICADO	21
<u>DE PENETRACIÓN</u>	<u>21</u>
Con 1.0 % de Elvaloy® 4170	03
Con 1.1 % de Elvaloy® 4170	03
Con 1.2 % de Elvaloy® 4170	03
Con 1.3 % de Elvaloy® 4170	03
Con 1.4 % de Elvaloy® 4170	03
Con 1.5 % de Elvaloy® 4170	03
Con 1.6 % de Elvaloy® 4170	03
C. DE COMPROBACIÓN	22
Recuperación Elástica por Torsión	01
Recuperación Elástica por Ductilómetro:	
A 25°C	02
A 5°C	02
Punto de ablandamiento (método, anillo y bola)	02
Ductilidad	02
Punto de inflamación y llama	04
Residuo de la prueba de la película delgada (RTFO)	04
Ensayo de separación del asfalto modificado	02
Penetración después del horno RTFO	03
TOTAL	46

D. Tipo de Investigación:

La investigación realizada es de “Tipo Experimental”, basada en el efecto que ocurre al modificar el asfalto convencional con el polímero Elvaloy® 4170 y el ácido polifosfórico.

3.2 DESCRIPCIÓN DEL DISEÑO DE CONTRASTACIÓN DE LA HIPÓTESIS

En la hipótesis planteada, si se modifica el asfalto convencional PEN 120/150 con el polímero Elvaloy® 4170 e incorpora ácido polifosfórico como catalizador, se mejoran

sus propiedades físico – mecánicas; que contribuyen a reducir el deterioro de la vía Chilete – Cajamarca; lo que resultó ser verdadera, quedando comprobada mediante la experimentación a través de los ensayos llevados a cabo en laboratorio, en donde se estableció que adicionándose el 1.3 % del polímero elegido y el 0.08% de ácido polifosfórico, mejora las propiedades indicadas, ofreciendo un mejor rendimiento del asfalto y por tanto, se reduce el deterioro de la misma. En conclusión, la validez o veracidad de la hipótesis se cumple; por cuanto, los datos obtenidos en los ensayos son congruentes con ella; es decir, que los porcentajes añadidos del polímero y del catalizador se constituyen en variables independientes (causa) y el asfalto modificado con propiedades mejoradas, en la variable dependiente (efecto). La cuantificación de las mejoras, se expresa en los resultados de los ensayos de penetración, ductilidad, elasticidad, envejecimiento, inflamación; que en el punto referido al análisis de resultados se presenta.

3.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN

La experimentación, incluye la técnica de ensayos en laboratorios realizados para obtener resultados, éstos se contrastaron con los parámetros mínimos necesarios establecidos en las Normas Nacionales, y la aplicación del polímero elegido para obtener el diseño que se ha resumido líneas arriba.

Los instrumentos empleados en la recolección de los resultados fueron: Formularios y Fichas de registro.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 DISEÑO DE ASFALTO MODIFICADO CON ELVALOY® 4170

4.1.1 ESCENARIO ELEGIDO: CARRETERA CHILETE – CAJAMARCA

Para contar con elementos de juicio que ayudaron con el diseño de la mezcla del asfalto modificado, resultó necesario conocer: la localización geográfica de la vía, características climatológicas y meteorológicas del área y la dinámica vehicular que soporta la misma.

A. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

La Carretera Chilete – Cajamarca, forma parte de la vía Ciudad de Dios – Cajamarca de 176.480 kilómetros de longitud, que se inicia a la altura del Km. 868 de la Carretera Panamericana Norte, aproximadamente 15 kilómetros al Nor Este de Pacasmayo, Región La Libertad. La carretera tiene dirección Este y Nor Este, cruza los centros poblados de Tembladera, Chilete, Magdalena y San Juan entre otros, terminando en la ciudad de Cajamarca, capital de la Región del mismo nombre. El tramo elegido se inicia en la Ciudad de Chilete en el Km. 90+760 con una altitud de 860 msnm, llega a 3,050 msnm en el abra del Gavilán y finaliza en el Km. 155+000 (Cajamarca), con una longitud de 64.240 Km. a una altitud de 2,750 msnm.

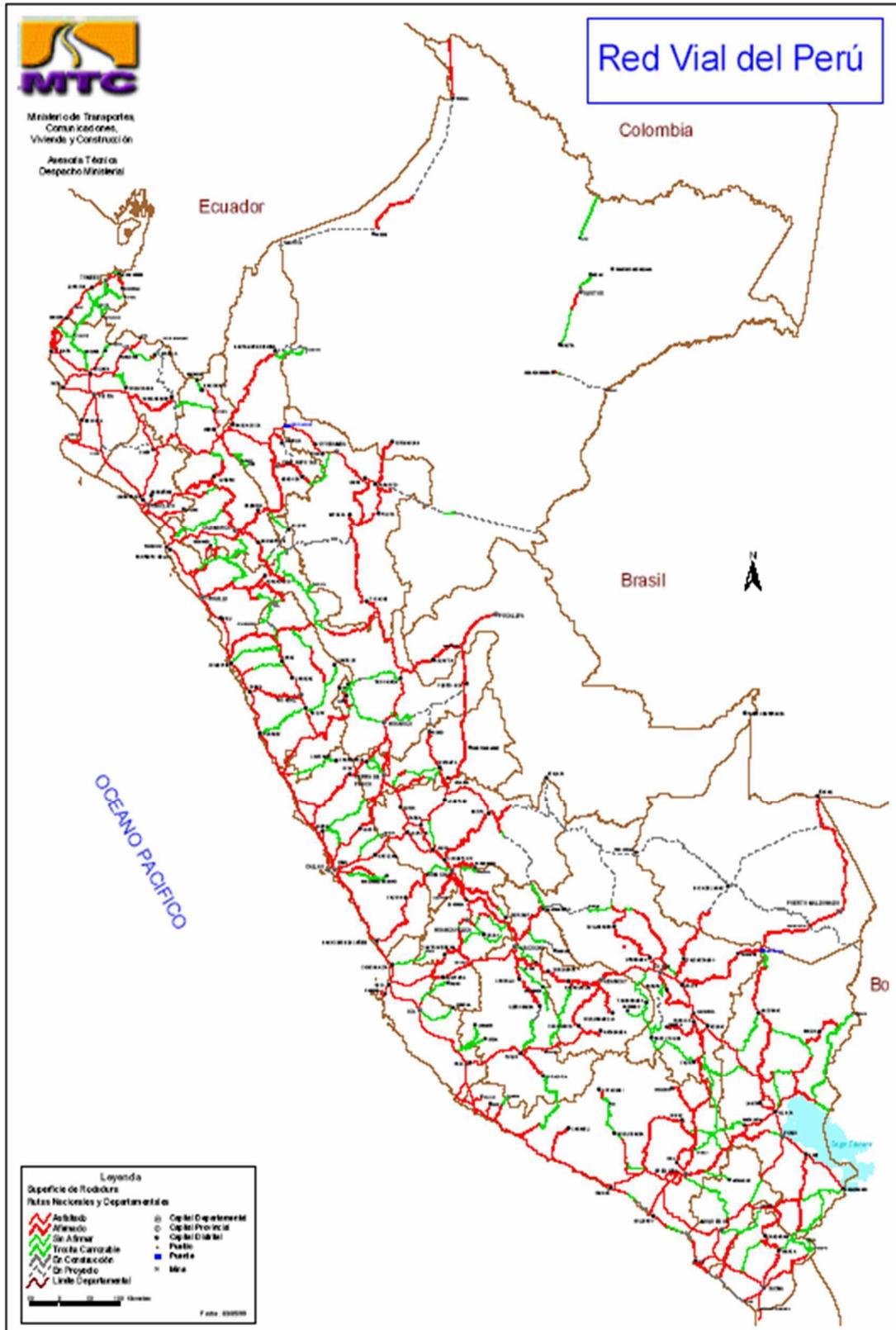


Figura N° 15: Plano de Ubicación de la carretera Chilite-Cajamarca
 FUENTE: “Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca” Año 2007

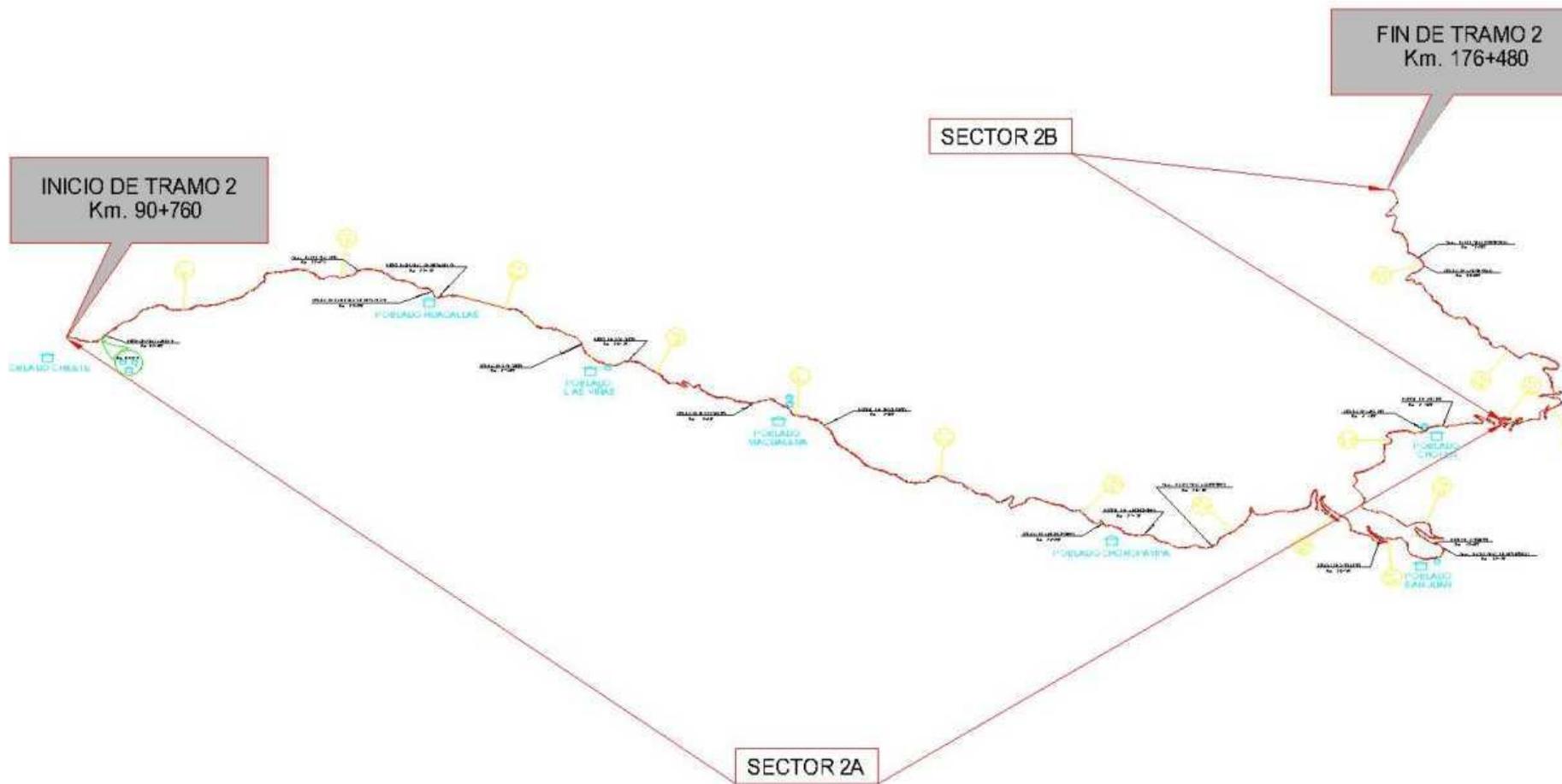


Figura N° 16: Plano Clave de la Carretera Chilate-Cajamarca

FUENTE: “Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca” Año 2007.

B. CARACTERÍSTICAS CLIMATOLÓGICAS Y METEOROLÓGICAS.

Tipos de Climas: De acuerdo a la clasificación oficial que maneja el Ministerio de Agricultura y Riego, los climas predominantes en el área donde se ubica el tramo son:

Templados cálidos (Región Yunga), de 1,000 a 2,000 msnm, el clima es cálido moderado, ligeramente húmedo. Chilite punto de inicio del tramo es considerado un valle interandino del plano oriental de los Andes (Yunga Fluvial), su clima es cálido moderado y seco, escaso de lluvias, con abundante radiación solar durante todo el año.

Templado (Región Quechua), más de 2,000 a 3,000 msnm, la temperatura oscila entre 15°C y 0°C, llueve en verano (enero a marzo), escasa humedad atmosférica, vientos dominantes del Sur-Este (Alisios).

Templado frío (Región Puna), el clima es frío con escasa humedad. Se extiende entre los 3,000 y 4,000 msnm, con temperaturas entre los 12°C y 0°C, veranos lluviosos.

Temperatura y Precipitación: Ver tabla siguiente:

Tabla N° 6: Temperatura y precipitación en el ámbito de la Vía: Chilite-Cajamarca

ESTACIÓN	TEMPERATURA (°C)						PRECIPITACIÓN			
	Absoluta		Helada	Media		Anomalía		Total	Días	Anomalía
	MAX	MIN	(Días)	MAX	MIN	MAX	MIN	(mm)	(N°)	(%)
ASUNCIÓN	25.2	9.8	0	20.7	12.6	0.9	0.8	69.8	10	-55
SAN JUAN	25.2	9.0	0	21.0	12.2	0.8	0.5	72.3	10	-59
CONTUMAZÁ	21.6	3.2	0	18.5	9.4	-0.5	-0.7	37.9	12	-79
MAGDALENA	32.7	14.5	0	28.9	17.6	1.2	0.0	15.3	5	-80

Fuente: SENAMHI Cajamarca, Febrero 2007

C. FLUJO VEHICULAR

Complementariamente al conocimiento físico del escenario donde se ubica la vía, fue

necesario conocer la dinámica de la misma; es decir, el flujo vehicular y las características de tal dinámica. El Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), conjuntamente con el Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional – Provías Nacional, han elaborado en forma mensualizada para los años 2012-2014, informes que registran los movimientos de entradas y salidas del tráfico vehicular en las distintas vías del país, tanto de carga como de pasajeros y ligeros. Para nuestro caso se ha tomado la información de la Unidad de Peaje Ciudad de Dios, que registra la entrada y salida de los vehículos en la carretera Ciudad de Dios – Cajamarca, de la cual forma parte el tramo Chilete- Cajamarca; los resultados se presentan en la tabla siguiente:

Tabla N° 7: Flujo vehicular 2012-2014, Unidad de peaje Ciudad de Dios

MESES/AÑOS	2012	2013	2014
ENERO	61,485	68,628	65,912
FEBRERO	55,621	60,339	61,968
MARZO	51,605	63,898	60,947
ABRIL	52,778	57,539	58,331
MAYO	60,038	66,356	63,812
JUNIO	53,953	62,673	57,754
JULIO	61,405	64,340	64,517
AGOSTO	64,823	66,422	66,363
SETIEMBRE	59,208	62,089	31,013
OCTUBRE	61,009	62,548	31,325
NOVIEMBRE	52,218	60,962	29,892
DICIEMBRE	54,009	65,652	32,661
TOTALES	688,152	761,446	593,482

Fuente: INEI, Flujo Vehicular por Unidades de Peaje, Informes Técnicos: 2013, 2014 y 2015,

Se observa que en el período mostrado, el año 2013 tuvo un mayor movimiento, al registrarse que 761,446 unidades vehiculares circularon por la vía Ciudad de Dios-Cajamarca, con un promedio mensual de 63, 454; este flujo, presenta las características siguientes:

Variación horaria vehicular

El volumen horario se incrementa a partir de las 05:00 a.m., para alcanzar la hora punta de la mañana entre las 09:00 a 10:00 horas, con el 5.77% del flujo total detectado y alcanza la hora punta de la tarde de 16:00 a 17:00 horas con un 5.68% del flujo vehicular.

Variación diaria vehicular

Durante la semana el mayor volumen de tráfico se presenta el miércoles y el menor el domingo.

Composición del tipo de flujo vehicular

Está dado fundamentalmente por vehículos ligeros con 57.70 % y los vehículos pesados representan el 42.30 % del flujo vehicular total.

Resultados de factores destructivos

Los resultados del “Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca”, establece que los factores destructivos del pavimento son más altos en el sentido Ciudad de Dios – Cajamarca, debido al flujo de camiones hacia las diversas minas ubicadas en la zona Centro-Sur de la Región Cajamarca, cargados de avíos y equipos; en cambio, los factores

destruictivos por los buses son más altos de Cajamarca a Ciudad de Dios, por la condición empinada de la vía que exige un mayor frenado.

Tabla N° 8: Resultados de los factores destructivos

SENTIDO	CIUDAD DE DIOS- CAJAMARCA		CAJAMARCA-CIUDAD DE DIOS	
	SPILL	CPILL	SPILL	CPILL
BUS 2 EJES	3.05	6.24	3.50	7.17
BUS 3 EJES	2.17	4.48	3.22	6.72
CAMIÓN 2 EJES	1.24	1.51	0.37	0.39
CAMIÓN 3 EJES	3.24	5.21	1.30	1.81
CAMIÓN 4 EJES	2.53	3.52	2.53	-
2S2	0.52	1.04	1.93	3.26
2S3	6.80	8.78	4.09	5.91
3S2	3.80	7.36	2.58	5.02
3S3	4.54	8.71	2.05	3.65
3T2	10.62	15.69	6.70	8.76
3T3	5.84	10.15	1.46	3.00

FUENTE: “Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca”

SPILL: Sin Ajuste por Presión de Inflado de Llantas

CPILL: Con Ajuste por Presión de Inflado de Llantas

Velocidad Promedio de Recorrido

La velocidad promedio de recorrido se presenta en la Tabla siguiente:

Tabla N° 9: Velocidad promedio vehicular

VEHÍCULO	C. DE DIOS-CAJAMARCA (Km/h promedio)	CAJAMARCA-C. DE DIOS Km/h promedio
CAMIÓN ARTICULADO	44.79	46.72
AUTOS	64.90	64.63
BUS	63.04	64.67
C2 Y C3	49.04	51.70
CRM	47.72	48.89
PU	59.60	29.24

FUENTE: “Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca”

C2 : Camiones 2 ejes
 C3 : Camiones 3 ejes
 CRM : Camiones Remolque
 PU : Pick Up

4.1.2 ELABORACIÓN DEL DISEÑO DE ASFALTO MODIFICADO

De acuerdo al objetivo planteado para el presente trabajo, referido a buscar mediante ensayos en laboratorio la combinación de asfalto modificado con propiedades físicas y mecánicas mejoradas, dentro de los límites que las especificaciones de la normatividad nacional establece y que además resulte económica; se realizó los ensayos en las instalaciones del “Laboratorio INGGEOS S.A.C” de Mecánica de Suelos, Concretos y Pavimentos de la ciudad de Lima, tomando como referencia las Consideraciones Generales y Técnicas establecidas para la Modificación de Asfaltos, las características del área donde se ubica la carretera Chilete-Cajamarca y la dinámica a la que está sometida la misma. El esquema de trabajo seguido fue diseñado de la manera siguiente:

En primera instancia, se realizaron los ensayos de penetración y punto de ablandamiento, para determinar las características del asfalto base y establecer la compatibilidad con el polímero elegido.

Estos resultados, sirvieron para un segundo momento realizar los ensayos que permitieron encontrar el diseño de la mezcla ideal buscada.

A. CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES UTILIZADOS

ASFALTO

El material base para la modificación, es un asfalto con grado de penetración 120/150, de origen peruano, fabricado en la refinería de Conchán por Petroperú, de un solo lote de producción que se almacenó alrededor de 7,177 galones (tancada). Utilizar un solo asfalto, elimina factores que ocasionen variaciones en las características del asfalto que repercuten en los resultados de las propiedades finales de las mezclas. Petroperú elabora sus asfaltos en base a las especificaciones de la Norma Técnica Peruana: NTP 321.051:2002: PETRÓLEO Y DERIVADOS. Cementos Asfálticos y de los estándares internacionales. La ficha técnica se presenta en el Anexo N° 01.

Ensayos de caracterización usados

Los ensayos para caracterizar el asfalto elegido, se realizaron de acuerdo a lo establecido en la Norma Técnica Peruana-NTP 321.051: 2014, empleando los métodos ASTM y AASTO que permitieron determinar sus características térmicas, químicas y reológicas; estos son los de penetración y punto de ablandamiento. El procedimiento utilizado para encontrar la penetración del asfalto está estipulado en la norma indicada, utilizando el método ASTM D5- 97 y el punto de ablandamiento fue determinado utilizando el procedimiento descrito en la norma y con el método ASTM D36-95, método conocido como anillo y bola.

Resultados de la medición de penetración y punto de ablandamiento

En la tabla N° 10 y en el gráfico N°2, se muestran los valores obtenidos, tanto de penetración (Pen) como punto de ablandamiento (PA). Los resultados indican que el asfalto tiene una penetración de 135 dmm, (resultado promedio de 03 ensayos realizados a igual número de muestras). Generalmente, el rango de penetración de los diferentes asfaltos utilizados mundialmente en aplicaciones ingenieriles, oscila entre 30 a 200 dmm, un número de penetración alto (> 100 dmm) caracteriza un asfalto blando, mientras que un número bajo (< 30 dmm) corresponde a un asfalto duro (Lesueur 2009). En consecuencia el valor que se obtuvo lo caracteriza como un asfalto blando.

Tabla N° 10: Resultados de ensayos de caracterización del asfalto convencional

ENSAYOS	MUESTRAS			
	1	2	3	PROMEDIO.
PENETRACIÓN	136	135	135	135
PUNTO DE				
ABLANDAMIENTO	-	-	-	44°C

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01 y 03-03-2013, elaboración propia.

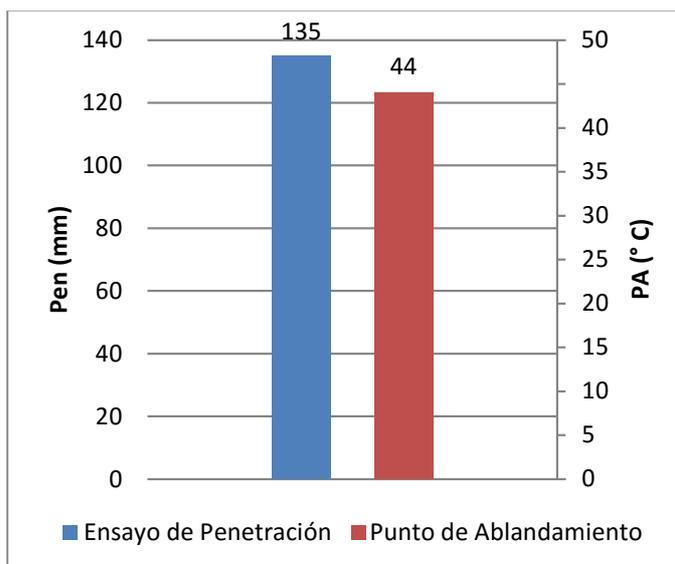


Gráfico N°2: Penetración y punto de ablandamiento asfalto base

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01 y 03-03-2013.

De igual manera, se determinó que el asfalto presenta una temperatura de ablandamiento de 44°C. El rango de temperaturas de ablandamiento en asfaltos comerciales está entre 35 a 65°C. Un asfalto duro está cerca de los 60°C, mientras que los asfaltos blandos susceptibles a la temperatura, presentan valores de PA alrededor de 40°C. Al igual que el resultado del ensayo de penetración, el valor obtenido en esta medición es característico de asfaltos poco rígidos.

En conclusión, los resultados indican que el asfalto elegido es altamente susceptible a la temperatura, esto significa que presentará cambios prematuros en su estructura, debido a variaciones en la temperatura; como sucede en la vía Chilite-Cajamarca, que soporta climas que oscilan entre 9.0 y 32.7°C en promedio durante el año. Esta variabilidad, exige que este tipo de asfaltos deban modificarse para tener mejor control sobre sus propiedades. Traxler y Van Der Poel⁵, manifiestan que las características: de

⁵ Traxler, R.N. «A review of the rheology of bituminous materials.» *J Colloid Sci*, 1947: 49-68.

penetración y punto de ablandamiento, se *“harán óptimas si se disminuye la penetración y se aumenta el punto de ablandamiento del asfalto, que es lo que se busca con la adición de polímeros.”* Por otro lado, el asfalto en su composición química, alberga fracciones aromáticas y resinas, elementos que facilitan la disolución del Elvaloy® 4170; estos aspectos garantizan la compatibilidad con polímero elegido.

POLÍMERO ELVALOY® 4170

Las características del polímero se han tomado de la información proporcionada por el productor, resaltando que es un material diseñado especialmente para modificar el asfalto, que al mezclarlo reacciona químicamente favorable con los asfaltenos del asfalto, generando un sistema de ligas: polímero – asfalto. Esta reacción se visualiza en la figura N° 17 siguiente:

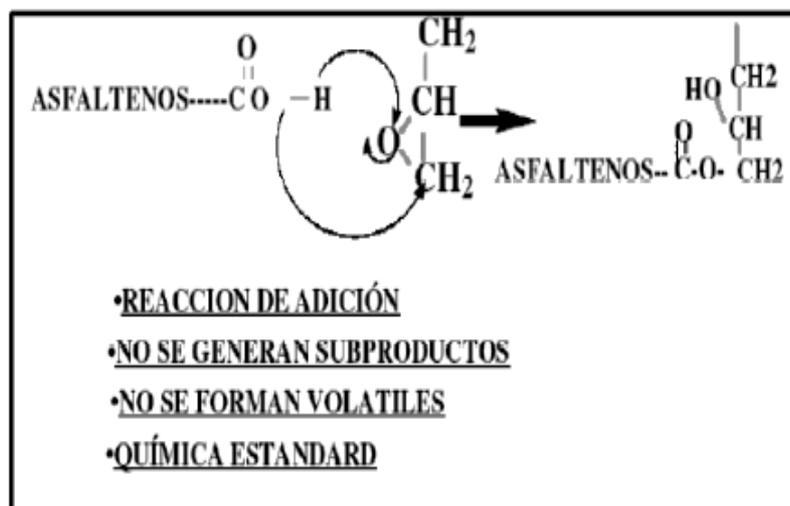


Figura N° 17: Reacción química del polímero Elvaloy® 4170 en el asfalto

Fuente: DUPONT; Packagin and Industrial Polymeres

Después de lograda la reacción, el Elvaloy® 4170 permanece unido con la molécula del asfalteno y no se separa; lo que determina que el asfalto final logre una estabilidad muy

Van Der Poel, C. «A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data.» *J Appl Chem*, 1954: 221-257.

alta. Las características saltantes que se muestran, se han extraído de la ficha técnica que suministra la empresa fabricante (anexo N°01).

Tabla N° 11: Características físicas del polímero Elvaloy® 4170

Físicas	Valores Nominales	Método de Ensayo
Densidad	0,94 g/cm ³	ASTM D792
Flujo del derretimiento (190 ° C / 2,16 kg)	8 g/10 min	ASTM D1238 ISO 1133
Térmica	Valores Nominales	Método de Ensayo
Punto de fusión (DSC)	72 ° C (162 ° F)	ASTM D3417

ÁCIDO POLIFOSFÓRICO:

Es un polímero inorgánico, obtenido por condensación de ácido mono fosfórico o por hidratación de P₂O₅; tiene 0% de agua libre; líquido viscoso (25°C) de 840 cP (105%) a 60000 cP (115%); temperatura de cristalización debajo 15°C; ácido mediano: función de acidez (Hammet) = 6 (ref H₂SO₄ = 12); altamente soluble en orgánicos; no es un oxidante. Su estructura química es la siguiente:

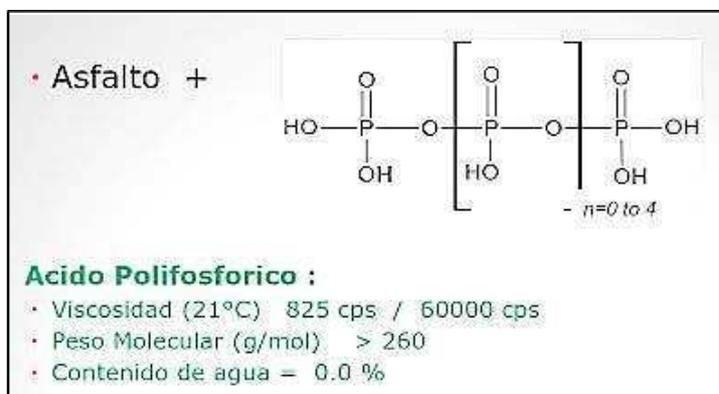


Figura N° 18: Estructura química del ácido polifosfórico

Fuente: © Merck KGaA, Darmstadt, Alemania, requi.peru(at)merck.com.pe, 2014

Diversos estudios demuestran el impacto favorable de la combinación del ácido polifosfórico con polímeros sintéticos: éste permite reducir la proporción de polímero adicionado al ligante asfáltico, lo que provoca reducción de la viscosidad y proporciona propiedades reológicas tan adecuada.

Función catalizadora.

Conceptualmente un catalizador es una sustancia química, simple o compuesta, que modifica la velocidad de una reacción química, interviniendo en ella pero sin llegar a formar parte de los productos resultantes de la misma. El ácido polifosfórico se emplea como catalizador en la modificación (catálisis) del asfalto convencional con Elvaloy® 4170, aumentando la velocidad de tal proceso; por eso se dice que cumple el papel de catalizador positivo. Es un catalizador homogéneo que en el proceso de modificación, se combina con el elvaloy formando un compuesto intermedio que reacciona fácilmente con el asfalto y no influye en el equilibrio del asfalto modificado. Reacciona desarrollando un encadenamiento químico entre el polímero y el asfalto.

B. DISEÑO DE LA MEZCLA

La modificación del asfalto con Elvaloy® 4170, por ser una técnica nueva no existe aún parámetros sobre un diseño establecido; sin embargo, se puede decir que la modificación, depende básicamente del asfalto base, el grado de modificación deseada y el contexto en el que se ubica la vía; en base a estos parámetros, se calcula la dosificación respectiva. Los valores típicos de dosificación, por ejemplo en México, están alrededor de 1.5% en el peso total del asfalto.

En la elaboración del diseño de la mezcla se tomó en consideración el escenario de la vía Chilete-Cajamarca, es decir: temperaturas que varían entre 9.0 y 32.7°C (ver Tabla

N°06) y volumen de tráfico; así como, los resultados de los ensayos de caracterización del asfalto convencional (penetración y punto de ablandamiento) y la compatibilidad del modificador con el asfalto. Para encontrar la composición óptima del diseño, los ensayos se exploraron tomando en cuenta la experiencia mejicana, estableciendo arbitrariamente rangos porcentuales de incorporación de Elvaloy® 4170 que fueron de: 1.0%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4%, 1.5% y 1.6%; en todos los casos se incorporó el 0.08% de ácido polifosfórico (catalizador). El procedimiento de los ensayos se llevó a cabo de acuerdo a lo normado por el “Manual de Ensayos de Materiales del MTC-DGCF (EM 2000)”;

Tabla N° 12: Ensayos de penetración a 25°C a asfalto modificado comparado con NTP 321.149:2014

ENSAYOS	ESPECIFICACIÓN Mínima (mm)	RESULTADOS
1.0 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico	90	85 mm
1.1 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico	90	87 mm
1.2 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico	90	89 mm
<u>1.3 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico</u>	<u>90</u>	<u>92 mm</u>
1.4 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico	90	94 mm
1.5 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico	90	96 mm
1.6 % de Elvaloy+0.08 % de ácido polifosfórico	90	97 mm

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 03-03-2013.

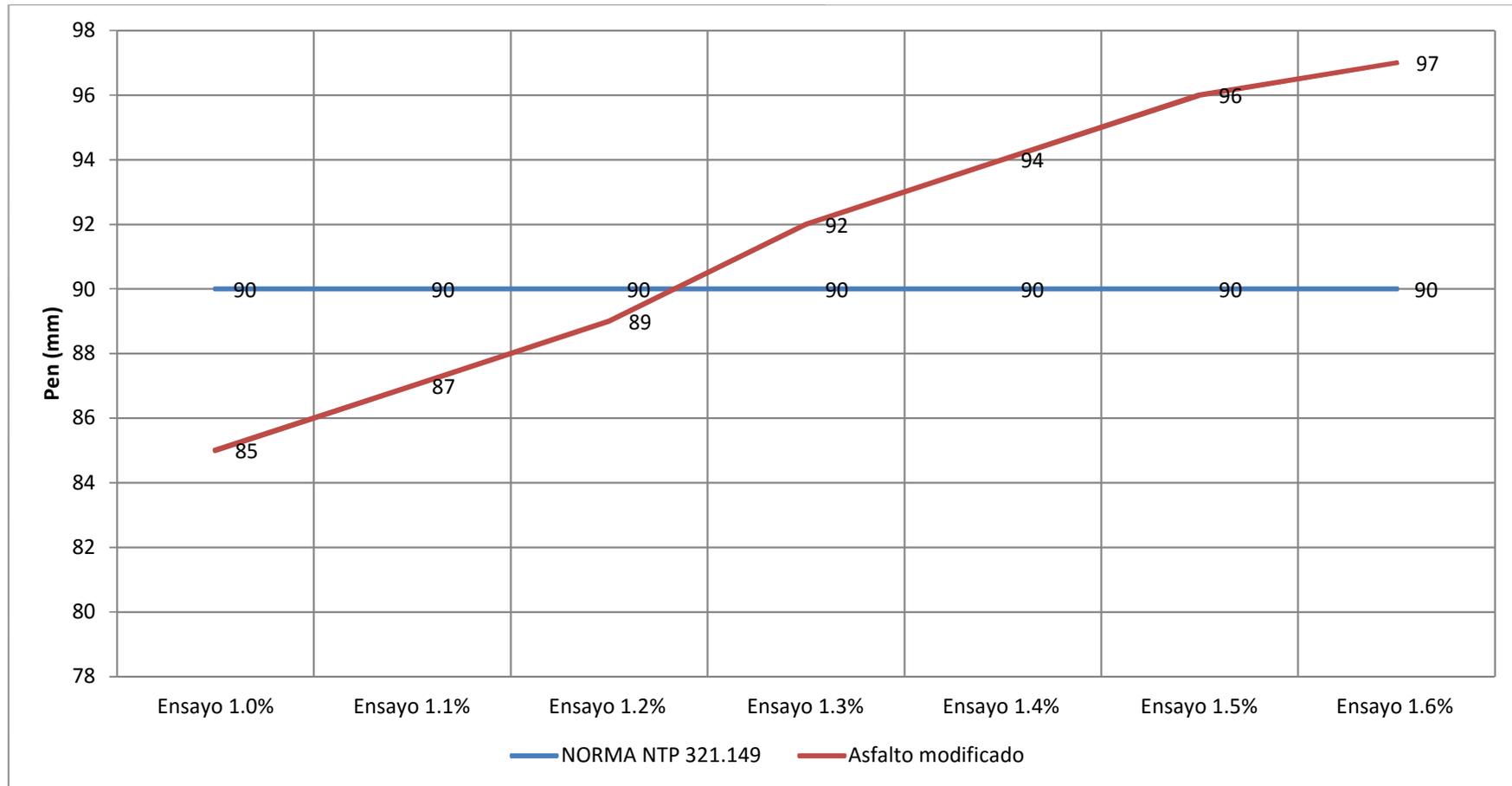


Gráfico N° 3: Ensayos de penetración a 25°C a asfalto modificado con Elvaloy comparado con NTP 321.149:2014
 Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 03-03-2013, elaboración propia.

Se observa que la mezcla con el 1.3 % de Elvaloy® 4170, supera mínimamente la especificación fijada por la NTP 321.149:2014, que es 90 mm y el ensayo nos muestra 92 mm; este resultado es el óptimo técnica y económicamente. Técnica, porque está dentro de lo establecido por la Norma Nacional contando con margen de garantía en sus propiedades, porque si se usa un porcentaje superior, se estaría obteniendo un asfalto menos consistente, que no es la finalidad de la modificación de los asfaltos. No se optó por el resultado inferior que es 89 mm, porque no cumplirá con la norma y habría riesgo en el resultado. Esta situación, permitió tomar la decisión de ir a la siguiente fase: confirmar esta dosificación, con la realización de los ensayos de Recuperación Elástica por Torsión a 25°C, Recuperación Elástica por Ductilometro a 25°C, Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos-Método de Anillo y Bola, Ductilidad a 25°C, Punto de Inflamación Cleveland-Copa Abierta °C, Análisis del Residuo de la Prueba de Película Delgada (RTFO)- Pérdida de Masa por Calentamiento, Separación del Asfalto Modificado después del RTFO, Penetración a 4°C y Recuperación Elástica por Ductilometro a 5°C; cuyos resultados comparados con lo establecido en la NTP 321.149:2014. El análisis de cada uno de ellos que se presenta más adelante en el punto 4.1.3, confirma que la mezcla elegida era la recomendable / óptima y es la que, se presenta como corolario del presente trabajo de investigación y que por tanto; se puede afirmar sin lugar a dudas, que se mejora las propiedades físico-mecánicas del asfalto y constituye una alternativa para mejorar el rendimiento de la vía Chilote – Cajamarca. Los reportes de los ensayos se presentan en el Anexo N°02.

El resumen de materiales utilizados en el diseño de la mezcla se indica a continuación:

Materiales:

Tipo de Asfalto	: PEN 120/150
Modificador	: Elvaloy® 4170 = 1,3 %
Catalizador	: Acido Polifosfórico = 0,08%

Condiciones:

Temperatura del asfalto	: 186°C
Sistema Turbulento	: $Re \geq 10,000$

Para el cálculo de la cantidad de materiales en el diseño de mezcla, se parte del hecho que la venta del asfalto se efectúa en galones y al por mayor (en tanques cisternas de 7,177 gls. en promedio) utilizados un promedio de 500gl en las 46 ensayos, el Elvaloy® 4170, tiene presentación en bolsas de 25 Kg. y el ácido polifosfórico por litros; por tanto, los cálculos para determinar los requerimientos de los modificadores para la cantidad de asfalto establecido, se tendrá que efectuar de la manera siguiente:

CÁLCULO DE CANTIDAD DE MATERIALES EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE ASFALTO MODIFICADO CON ELVALOY

MATERIALES

Asfalto PEN 120/150	7, 177 Gls.
Elvaloy® 4170	1.3 %
Ácido Polifosfórico	0.08 %

Factores de Conversión

1 Gl de asfalto pesa	3.785 Kg.
Peso específico del Elvaloy	0.95
Peso de bolsa de Elvaloy	25 Kg.

Cálculo de Pellets de Elvaloy® 4170:

7,177 Gls X 3.785 = 27,164.9 Kg. de asfalto

27,164.9 Kg X 1.3 % = 353.14 Kg X 0.95 = 335.48 Kg

Cantidad necesaria de Elvaloy® 4170 para una tancada de asfalto de 7,177 galones:

335.48 Kg / 25Kg = 13.4 bolsas

Cálculo de Ácido Polifosfórico:

7,177 Gls X 3.785 = 27,164.9 Kg. de asfalto

27,164.9 Kg X 0.95 = 25,806.65 Kg.

Cantidad necesaria de ácido polifosfórico para una tancada de asfalto de 7,177 galones:

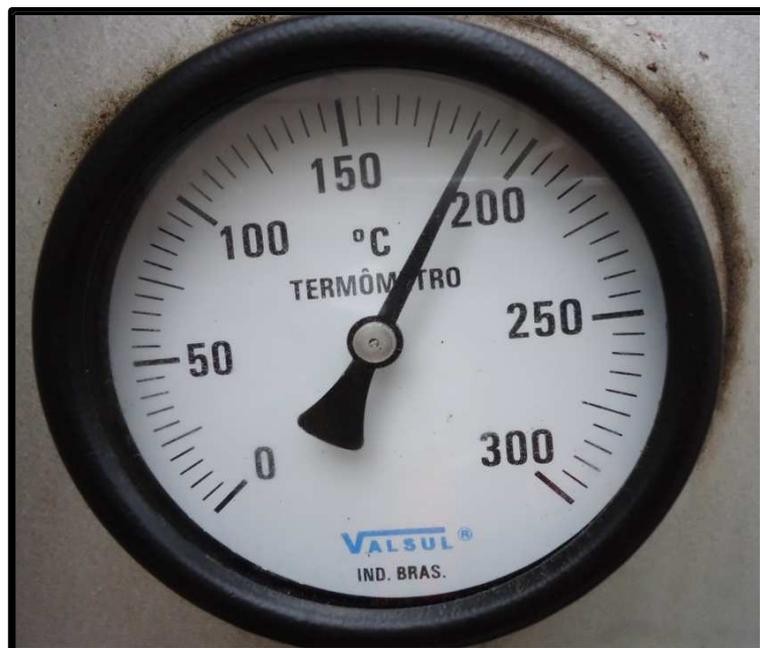
25,806.65 Kg X 0.08% = 20.64 Lts

PROCESO DE MEZCLADO: Se llevó a cabo los siguientes pasos:

1. Verificación de temperatura

Se constató que la temperatura del asfalto en planta debería encontrarse a 186°C.

Fotografía N° 1: Verificación de la temperatura 186°C



2. Verificación de la cantidad de asfalto

Se constató la cantidad del asfalto PEN 120/150 (una tancada 7,177 gl. corresponde a 27,164.9 Kg. de asfalto).

Fotografía N°2: Verificación de la tancada PEN 120-150



3. Calibración y dosificación

Se calibró y se realizó la dosificación de pellets (Elvaloy): cada bolsa de 25kg, se incorporó en 5min al tanque con una agitación de 120 rpm.

Fotografía N° 3: Calibración y adición del Elvaloy ® 4170 (5min/seg)



4. *Adición y agitación del Elvaloy*

Se añadió el 1.3 % de Elvaloy® 4170 (13.4 bolsas) en 02 horas al asfalto que se calentó a una temperatura de 186°C.

Fotografía N°4: Adición y agitación de Elvaloy por dos horas



5. Adición del catalizador

A continuación se añadió 0.08% de ácido polifosfórico que corresponde a 20.64 lt. del peso total. La adición se realizó a una velocidad de 5 lt. x min. Se agitó por 40 min, se extrajo una muestra para el control de homogenización, se continuó agitando hasta cumplir una hora, al final de la cual se obtuvo una segunda muestra para el control de calidad.

Fotografía N° 5: Adición del ácido polifosfórico (catalizador)



Fotografía N°6: Obtención 1° muestra a 40min

Fotografía N°7: obtención 2° muestra a 1 hora



6. Ensayos de recuperación elástica por torsión y de penetración

Culminado el proceso de modificación se realizó de inmediato los ensayos de recuperación elástica por torsión y de penetración.

Fotografía N°8: Ensayo de recuperación elástica por torsión



Fotografía N°9: Ensayo de penetración



En forma resumida el proceso de modificación realizado, se muestra en el diagrama siguiente:

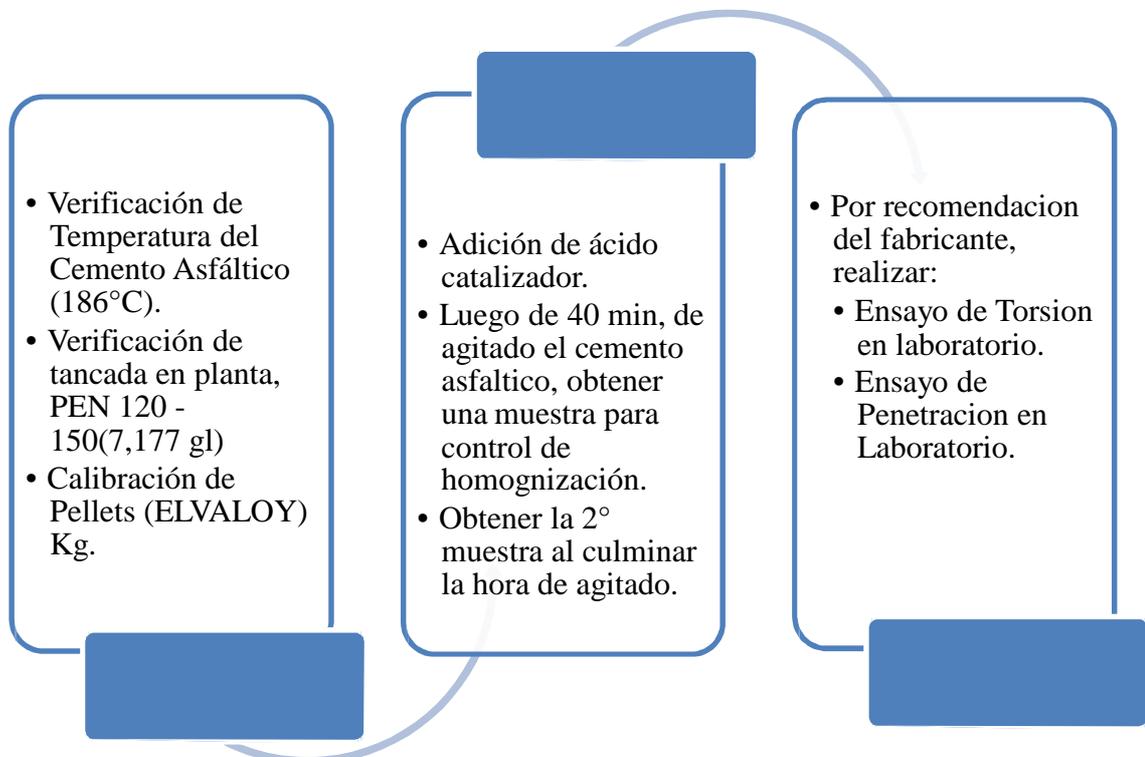


Figura N° 19: Diagrama de flujo en el diseño de mezcla de asfalto modificado.

4.1.3 ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

La comparación de los resultados obtenidos mediante los ensayos de la mezcla modificada, se muestra en la tabla N° 13 siguiente; donde se observa, que dicha mezcla supera ampliamente los requerimientos mínimos exigidos por la norma que regula los ensayos realizados, esto permite asegurar que las propiedades físico-mecánicas del asfalto al modificarse, se mejoran significativamente.

Tabla N° 13: Especificaciones de la NTP 321.149:2014 vs. Ensayos practicados por laboratorio INGGEOS S.A.C.

PRUEBA	ASFALTO MODIFICADO		RESULTADOS
	NTP 321.149:2014		
	Mínimo	Máximo	
Recuperación elástica por torsión 25 °C , 10 cm de elongación; %	60	-	58%
Recuperación Elástica por Ductilometro a 25°C	60%*	N.C.	88%
Penetración , 25°C, 100g, 5s, mm	90	-	92
Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos, Método Anillo y Bola	N.C.	N.C.	64°C Si Cumple
Ductilidad a 25 °C; 5cm/min; cm	N.C.	N.C.	>150
Punto de Inflamación Cleveland, copa abierta, °C	232	-	295(Inflamación) 345(Llama)
Análisis del Residuo de la Prueba de la Película Delgada(RTFO) Pérdida de Masa por Calentamiento	N.C.	N.C.	0.67%
-Separación del Asfalto Modificado después del RTFO	N.C.	N.C.	Si cumple
-Penetración 4°C, 200 o 60 g; dmm	20	-	30mm
-Recuperación Elástica por Ductilometro a 5°C	50%.*	N.C.	64%

N.C. No Considera.

(*): Por recomendación de Normas Internacionales

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01-03-2013, elaboración propia.

El análisis comparativo de los resultados de cada uno de los ensayos realizados se expresan a continuación:

Penetración

Este ensayo se realizó tanto al asfalto convencional como al modificado, con la finalidad de encontrar en primer momento las características del asfalto sin modificar y en segundo momento, para elegir el porcentaje óptimo de Elvaloy® 4170 como agente modificador. El resultado del ensayo al asfalto convencional, arrojó un PEN de 135 mm, en cambio al ser modificado presenta un PEN de 92 mm, lo que demuestra que se encuadra en la afirmación que hacen Traxler y Van Der Poel⁶ quienes manifiestan, que la característica de penetración, se hará óptima si ésta disminuye, que es lo que se busca con la adición de polímeros. De igual manera, si se compara el PEN del asfalto modificado con lo que establece la norma peruana, vemos que el resultado es superior, lo que garantiza que tal modificación está amparado en la Norma Nacional, al encontrarse en los rangos establecidos. El resultado del ensayo de penetración se presenta en la tabla N° 14 y gráfico N° 04 siguientes:

Tabla N° 14: Resultados de ensayos de penetración

ENSAYOS	MUESTRAS			
	1	2	3	PROMEDIO.
Penetración Asfalto Convencional	136	135	136	135
Penetración Asfalto Modificado	93	92	93	92

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 03-03-2013, elaboración propia.

⁶ Traxler, R.N. «A review of the rheology of bituminous materials.» *J Colloid Sci*, 1947: 49-68.
 Van Der Poel, C. «A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data.» *J Appl Chem*, 1954: 221-257.

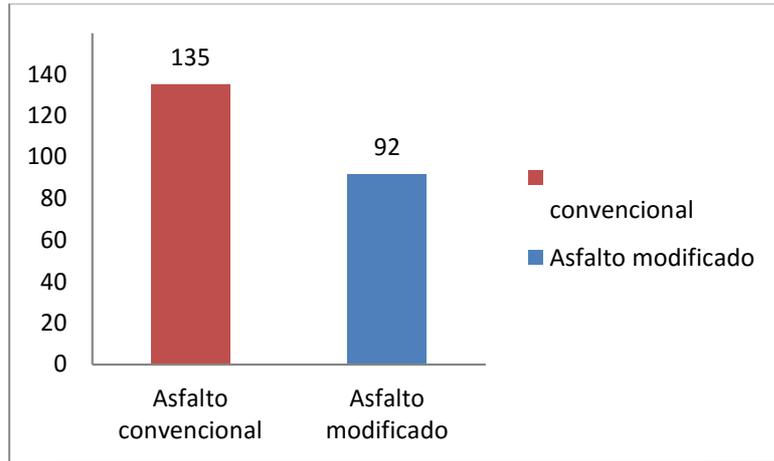


Gráfico N° 4: Penetración del asfalto convencional PEN 120/150 y el asfalto modificado con Elvaloy® 4170

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 03-03-2013, elaboración propia.

En la fotografía siguiente, se muestra la ejecución del ensayo de penetración, subrayando que para cada uno de los porcentajes tentados (1.0; 1.1;1.2;1.3;1.4;1.5 y 1.6) de Elvaloy, se realizó la misma mecánica de ensayos.

Fotografía N° 10: Realizando la penetración en las Muestras.



Fuente: Laboratorio INGGEOS SAC

Punto de Ablandamiento – Método de Anillo y Bola

Contrario al ensayo de penetración, se observa que el punto de ablandamiento aumenta con la modificación practicada; es decir, pasa de 44°C a 64°C; estos resultados confirman lo que sostienen Traxler y Van Der Poel⁷, que la característica del punto de ablandamiento, se *“hará óptimas si se aumenta el punto de ablandamiento del asfalto, que es lo que se busca con la adición de polímeros”*; la norma peruana NTP 321.149:2014 no considera esta prueba, por lo que se ha tomado como referencia la especificación guía propuesta por las normas internacionales ASTM D36 – AASHTO T53 – MTC E307, que considera un mínimo de 50°C.

Tabla N° 15: Resultados de ensayos de punto de ablandamiento

ENSAYOS	RESULTADOS
Punto de Ablandamiento de Asfalto Convencional	44°C
Punto de Ablandamiento de Asfalto Modificado	64°C

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 03-03-2013.

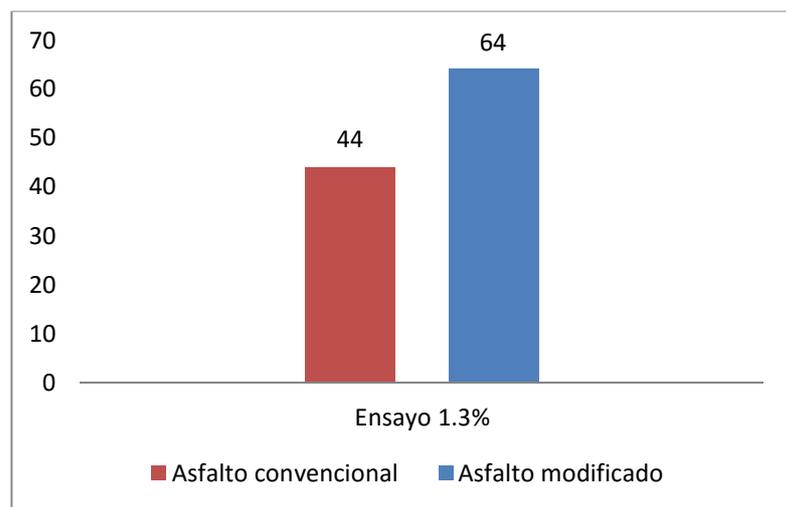


Gráfico N° 5: Punto de ablandamiento del asfalto convencional PEN 120/150 y el asfalto modificado con Elvaloy® 4170

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01-03-2013.

⁷ Traxler, R.N. «A review of the rheology of bituminous materials.» *J Colloid Sci*, 1947: 49-68.
Van Der Poel, C. «A general system describing the visco-elastic properties of bitumens and its relation to routine test data.» *J Appl Chem*, 1954: 221-257.

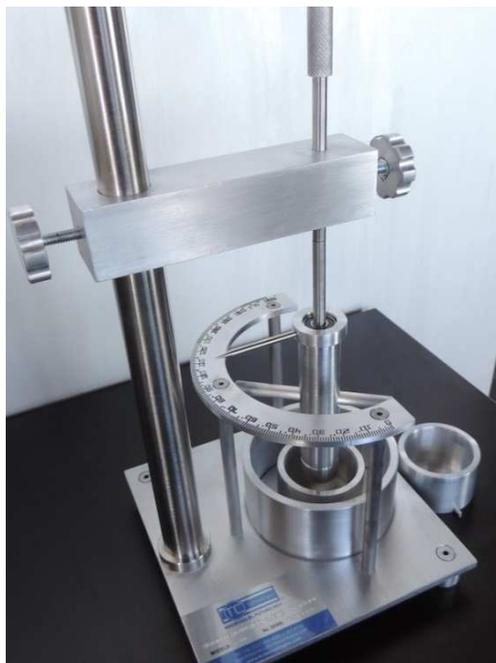
En conclusión, estos dos (02) ensayos demuestran que la modificación del asfalto Petroperú PEN 120/150 con Elvaloy® 4170 y catalizador, lo convierten en un material con habilidad que lo hace resistente a una deformación permanente. A continuación se analizan los resultados de los ensayos que confirman la validez de la elección adoptada y la adecuada modificación del asfalto PEN 120/150.

Recuperación elástica por torsión.

El resultado obtenido con esta prueba, está por debajo del mínimo establecido por la NTP 321.149:2014; se debe precisar que esta norma no considera todavía al Elvaloy® 4170 como agente modificador; por tanto, el mínimo considerado se hace por analogía de los polímeros tipo IV. En este caso, se tomó las recomendaciones brindadas por DUPONT, que fija los límites entre 40 y 60 % para esta prueba; en este caso, el resultado fue 58% de recuperación, que se encuentra en el rango establecido.

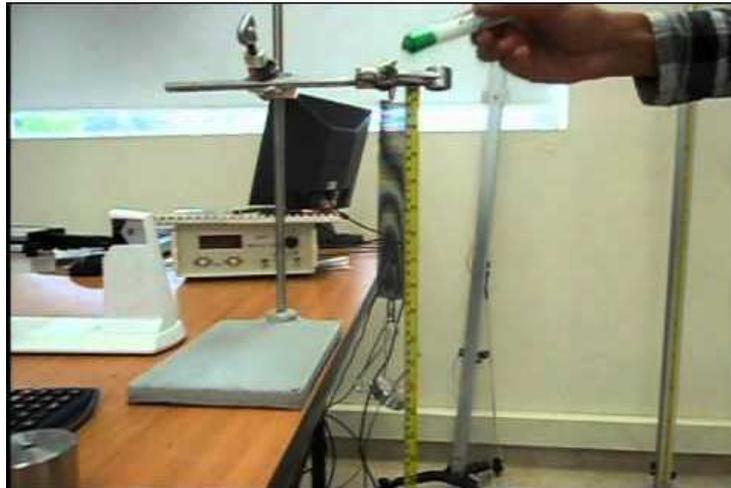
Las fotografías del equipo utilizado y el ensayo realizado, se muestran a continuación:

Fotografía N°11: Equipo de ensayo recuperación elástica por torsión



Fuente: Laboratorio INGGEOS SAC

Fotografía N°12: Realizando el ensayo recuperación elástica por torsión



Fuente: Laboratorio INGGEOS SAC

Recuperación Elástica por Ductilometro a 25°C

El resultado del ensayo arrojó un 88%; considerando que la norma peruana no incluye dentro de las especificaciones este ensayo, se tomó como referencias comparativa la norma técnica internacional ASTM D-6084 que fija un rango mínimo de 60% y de manera referencial la “Especificación TI-BmB TEIL 1” de Shuler y Colaboradores⁸ que establece un mínimo de $\geq 50\%$, para dar garantía a nuestro resultado, con lo cual se otorga el aval suficiente a este ensayo.

Tabla N° 16: Resultados de ensayo Ductilometro a 25°C

ENSAYO	MUESTRAS		PROMEDIO	ESPECIFIC.
	1	2		MÍNIMA
Ductilometro a 25°C	88%	87%	88%	60%

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01-03-2013, elaboración propia.

⁸ Shuler propone una especificación guía para A.M.P. En Alemania la Sociedad de investigaciones viales ha desarrollado un pliego de especificaciones técnicas para “Betunes modificados con polímeros, listos para su uso, TL-PmB, Parte 1,199”

Recuperación Elástica por Ductilometro a 5°C

En el ensayo a 5°C, el resultado fue 64% que se encuentra por encima del 50% fijado como especificación mínima. Ver tabla N° 17.

Tabla N° 17: Resultados de ensayo Ductilometro a 5°C

ENSAYO	MUESTRAS		PROMEDIO	ESPECIFIC.
	1	2		MÍNIMA
Ductilometro a 25°C	64%	63%	64%	50%

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01-03-2013.

Ductilidad

Este ensayo tampoco es considerado por la NTP 321.149:2014 sin embargo, con la intención de garantizar las bondades del asfalto modificado se llevó a cabo, obteniéndose un resultado de 150cm, siendo la especificación mínima según normas internacionales ASTM D113 – AASHTO T51 – MTC E306 un rango mínimo de 100cm., confirmando las cualidades favorables de la mezcla, como se observa en la tabla siguiente:

Tabla N° 18: Resultados de ensayo de Ductilidad

ENSAYO	MUESTRAS		PROMEDIO	ESPECIFIC.
	1	2		MÍNIMA
Ductilidad	150cm	150cm	150 cm	100cm

Fuente: Reporte de Ensayos en Laboratorio INGGEOS SAC, 01-03-2013, elaboración propia.

Fotografía N°13: Preparación de las probetas.



Fuente: Laboratorio INGGEOS SAC

Fotografía N°14: Muestras estiradas antes de que se rompan.



Fuente: Laboratorio INGGEOS SAC

Punto de Inflamación y llama

La prueba está considerada en la NTP 321.149:2014 y fija como mínimo 232°C el **Punto de Inflamación**, el ensayo practicado arrojó que a 295°C se presenta el punto de inflamación. En cuanto al ensayo **Punto de Llama**, la citada norma no lo considera; el ensayo practicado arrojó 345°C es decir, superior al punto de inflamación; esto nos asegura que el manipuleo del asfalto modificado, tanto para el transporte como el uso en obra, son superiores a la temperatura de mezcla y a la de la zona donde se encuentra la obra. En el gráfico siguiente, observamos el proceso como se llegó al punto de inflamación y llama y en la foto, el ensayo respectivo.

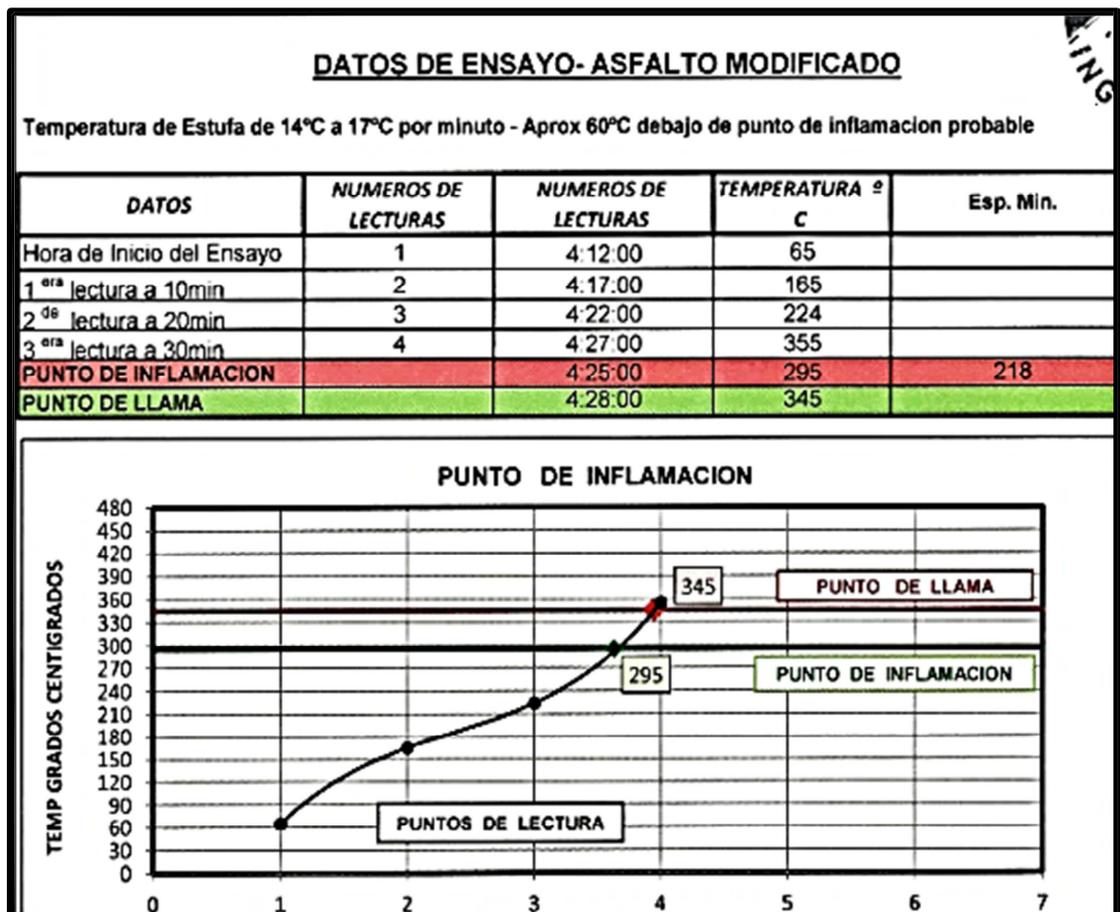


Gráfico N°6: Punto de inflamación y llama.

Fuente: Reporte del ensayo Laboratorio INGGEOS SAC

Fotografía N°15: Preparación del equipo y muestra.



Pérdida de masa por calentamiento (RTFO)

Esta prueba no es considerada en la NTP 321.149:2014; por lo que se ha tomado la especificación guía propuesta por Shuler, que fija el rango de ≤ 1 . El resultado del ensayo en este caso, fue 0.67%; es decir, es un resultado inferior a la recomendación establecida; el mismo que se obtuvo después de 04 pruebas con los resultados siguientes: 0.66%, 0.69%, 0.66% y 0.69%, resultando el promedio: 0.67%. En el gráfico y fotografías siguientes, se muestran el proceso del ensayo.



Gráfico N°7: Pérdida de masa por calentamiento
Fuente: Reporte del ensayo Laboratorio INGGEOS SAC

Fotografía N°16: Peso de las Muestras.



Fotografía N°17: Calentando las muestras en el horno.



Separación del asfalto después del RTFO

El objetivo de esta prueba, es verificar si el polímero está bien incorporado y no existe separación al sujetarlo a altas y bajas temperaturas. Esta prueba es considerada por la NTP 321.149:2014, pero no establece límites mínimos ni máximos. El resultado del ensayo es favorable y el laboratorio recomienda que “sí cumple”. Los resultados y el procedimiento del ensayo se aprecian en el gráfico y fotografías siguientes:

DATOS DE ENSAYO - DESPUES DEL R.T.F.O

PASO N° 1: ENSAYO DE SERARACION DEL ASFALTO MODIFICADO

Hora y Fecha de Moldeo a medio ambiente (50 gr)	10:11:00 a.m.	18/03/2013
Tiempo de enfriamiento de muestra- Aprox 60 min	11:11:00 a.m.	
Ingreso a Horno a 163 °C por 48 Horas	11:13:00 a.m.	20/03/2013
Salida de Horno Pasadas las 48 Horas	11:13:00 a.m.	
Hora de Ingreso de muestra al congelador por 4 horas a 5°C	11:13:30 a.m.	
Hora de Salida de muestra del congelador a 5°C	03:13:30 p.m.	
Tiempo de calentamiento en horno a 163 °C 30 min - Aprox	03:43:30 p.m.	

PASO N° 2: PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

Hora de Moldeo a medio ambiente	03:45:30 p.m.	20/03/2013
Tiempo de Curado o enfriamiento - Reposo 30 min	04:15:30 p.m.	
Ingreso a Congeladora 5 °C - 15 min	04:30:30 p.m.	
Hora de colocacion de esferas en muestra Aprox 15 seg	04:30:45 p.m.	
Hora de colocacion del ensayo en la estufa 415° - 5°C/min	04:31:00 p.m.	

	ESFERA N° 1	ESFERA N° 2	DIFERENCIA M1 A M2 ± 2.2 °C	OBSEVACION
Hora de Inicio del Ensayo	04:31:00 p.m.	04:31:00 p.m.		
Temperatura de Agua en vaso al inicio del ensayo	5 °C	5 °C		
Hora de Final del Ensayo	04:53:00 p.m.	04:53:30 p.m.		
Temperatura de Agua en vaso al final del ensayo	62 °C	63 °C	1	SI CUMPLE

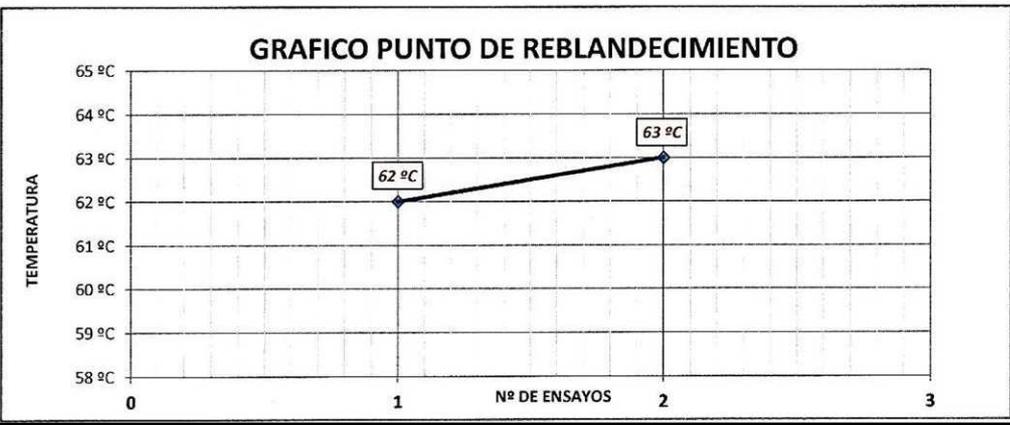


Gráfico N°8: Punto de reblandecimiento
Fuente: Reporte del ensayo Laboratorio INGGEOS SAC

Fotografía N°:18 Preparación de la Muestra en los Anillos de Bronce.



Fotografía N°19: Punto de Reblandecimiento (Método “Anillo y Bola”).



La prueba de **Penetración de Materiales Asfálticos después del Horno RTFO a 4°C**, simula también el envejecimiento durante el mezclado y la etapa de construcción, es recomendada por la NTP 321.149:2014 que fija un mínimo de 20 mm; el resultado del ensayo practicado es 30 mm. Este ensayo indica el efecto del calor y el aire sobre el cemento asfáltico y puede usarse como guía para evaluar el grado de endurecimiento producido en el asfalto, durante su mezclado y calentamiento en la planta asfáltica. En el gráfico siguiente, se presenta el procedimiento del ensayo.



Gráfico N°9: Penetración a 4°C después del horno RTFO
Fuente: Reporte del ensayo Laboratorio INGGEOS SAC

4.1.4 INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Las variaciones que ha sufrido las propiedades físico – mecánicas del asfalto convencional, al ser modificado con el polímero Elvaloy® 4170 en la proporción de 1.3% y 0.08 % de ácido polifosfórico, se explican a continuación:

PROPIEDADES FÍSICAS

Durabilidad, esta propiedad está relacionada con el fenómeno del envejecimiento, el mismo que se midió con el ensayo: “Análisis del residuo de la prueba de la película delgada (RTFO), pérdida de masa por calentamiento” que arrojó un resultado de 0.67%, indica que se mantiene las propiedades del asfalto y presenta una gran resistencia al cambio de las mismas; este comportamiento fue ratificado con el ensayo “Separación del asfalto modificado después del RTFO”.

Adhesión y cohesión, la adhesión se mejora por la reacción química que genera el polímero y el ácido polifosfórico en el asfalto, al formar cadenas consistentes; que también se logra reforzar la cohesión de la mezcla.

Endurecimiento, la modificación del asfalto practicada permite obtener una mezcla rígida a altas temperaturas y flexible a bajas temperaturas; propiedad que se demostró con los ensayos de **penetración a 25°C y punto de ablandamiento-método anillo y bola;** en el primer caso se disminuyó la penetración de 135 mm a 92 mm y en el segundo se aumentó el punto de ablandamiento de 44°C a 64°C; que es lo que se busca con tal modificación. El resultado de penetración fue confirmado con el “**Ensayo de penetración a 4°C**”, que arrojó un resultado de 30mm, inferior al resultado del asfalto convencional que fue 47mm.

Pureza, el polímero y el ácido polifosfórico al incorporarse al asfalto, no alteran la pureza de este, porque no contienen agua ni otras impurezas.

PROPIEDADES MECÁNICAS

El fin de modificar el asfalto convencional, es mejorar sus características mecánicas; es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climáticos y del tránsito o mejorar el comportamiento reológico. La mezcla obtenida fue materia de evaluación para conocer sus bondades, practicando para ello los siguientes ensayos que corroboraron el cumplimiento de esta finalidad.

Recuperación elástica por torsión a 25°C, esta prueba mide la habilidad del asfalto modificado para retornar a su posición original después de una torsión; es útil también

para confirmar que el material añadido tiene propiedades elásticas. El resultado obtenido es 58%; indica que de un ángulo de 180° girado, la muestra se recupera en el ángulo, un 58%; además que el polímero empleado es elástico.

Recuperación elástica por Ductilometro a 25°C, esta prueba mide la habilidad del asfalto modificado para su recuperación después de una elongación o la resistencia a una deformación permanente; también sirve para comprobar si el polímero utilizado tiene propiedades elásticas. El resultado obtenido en el ensayo es 88%, indica que la mezcla tiene la capacidad de recuperarse en 88%, después de haber soportado la carga y además que el polímero usado es altamente elástico. Esta propiedad se confirmó con la misma prueba practicada a 5°C, en donde se obtuvo un 64%.

Ductilidad a 25°C, mide la resistencia que presenta el asfalto modificado cuando es sometido a la acción de una fuerza sin deformarse y llegar a romperse. El resultado del ensayo es >150cm., indica que la mezcla obtenida conserva la ductilidad del asfalto convencional y que a una velocidad de 5 cm por minuto, en una temperatura de 25°C se puede romper a 150 cm de tensión.

Punto de inflamación, identifica la temperatura máxima a la cual el asfalto modificado puede ser manipulado sin peligro de inflamarse. El resultado del ensayo es 295°C, indica que al modificarse se gana el margen de seguridad en el manipuleo, ya que se pasó de 288°C que es el margen del asfalto convencional, a este nuevo rango.

A fin de disponer de la información suficiente y confiable, se realizaron 15 ensayos al asfalto convencional (realizado por Petroperú) que muestran en el anexo N° 02 y 46 ensayos a la mezcla modificada, expuestos en el punto 4.1.3 del presente Capítulo; tales resultados han permitido elaborar la tabla N° 19 comparativa siguiente:

Tabla N° 19: Resultados comparativos de ensayos a asfalto convencional y modificado

ENSAYOS	ASFALTO CONVENCIONAL				ASFALTO MODIFICADO			
	ESPECIFICACIÓN		RESULTADOS	% de Variación	ESPECIFICACIÓN		RESULTADOS	% de Variación
	min	max			min	max		
Penetración a 25°C,100g,5s,mm	120	150	135 (1), (2)	12.5%	90	-	92	2.2%
Punto de Inflamación Cleveland, Copa abierta, °C	218	-	288 (1)	32.1%	232	-	295	27.2%
Ductilidad a 25°C, 5cm/min, cm.	100	-	>150 (1), (2)	50.0%	N.C.	N.C.	>150	
Recuperación Elástica por Torsión a 25°C,10cm; %	N.C.	N.C.			60%	-	58%	-3.3%
Recuperación Elástica por Ductilometro a 25°C ; %	N.C.	N.C.			60%*		88%	46.7%
Punto de Ablandamiento de Materiales Bituminosos, Método Anillo y Bola	38	-	44°C (2)	15.8%	N.C.	N.C.	64°C	
Análisis del Residuo de la Prueba de la película delgada (RTFO), Pérdida de Masa por Calentamiento	N.C.	N.C.			N.C.	N.C.	0.67%	
Separación del Asfalto Modificado después del RTFO	N.C.	N.C.			N.C.	N.C.	Si cumple	
Penetración a 4°C,200 ó 60g, dmm	42+	-	47 (1)	11.9%	20	-	30mm	50.0%
Recuperación Elástica por Ductilometro a 5°C ; %	N.C.	N.C.			50%*	-	64%	28.0%

N.C.: no considera

(1): Ensayos realizados por Petroperú

(2): Ensayos realizados por Laboratorios INGGEOS SAC.

(*) : Por Recomendación Normas Internacionales.

Fuente: Reporte de Ensayos, elaboración propia

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- A. La modificación del asfalto convencional con Elvaloy® 4170 y Ácido Polifosfórico; mejoran sus propiedades físico – mecánicas como se ha demostrado con los diversos ensayos realizados y que en forma específica, se expresan en los resultados comparativos siguientes:

El ensayo de penetración al asfalto convencional arrojó un PEN de 135mm y el modificado un PEN de 92mm; que cumple cuando se compara con la normatividad nacional vigente.

El ensayo de punto de ablandamiento – Método de anillo y bola, aumenta con la modificación practicada de 44°C a 64°C. Al no estar considerado en la normatividad nacional de asfaltos modificados, el resultado de este ensayo se compara con las normas internacionales vigentes que considera un mínimo de 50°C.

El ensayo de recuperación elástica por torsión, dio un resultado de 58% que se encuentra dentro del rango recomendado por el fabricante, que fija límites de 40% y 60%.

El ensayo de recuperación elástica por ductilometro a 25°C, dio un resultado de 88%; superando al rango mínimo establecido en normas internacionales ASTM D6084 que fija un rango mínimo de 60%.

El ensayo de recuperación elástica por ductilometro a 5°C, dio un resultado de 64%; superando al rango mínimo establecido en normas internacionales ASTM D6084 que fija un rango mínimo de 50%.

El ensayo de ductilidad ,dio un resultado de 150cm; superando el rango mínimo de 100cm establecido en normas internacionales ASTM D113 – AASHTO T51 – MTC E306.

El ensayo de pérdida de masa por calentamiento (RTFO), dio un resultado de 0.67%, lo que indica una perdida mínima de masa, originada por la volatilización de los componentes más ligeros al modificarse el asfalto.

El ensayo de separación de asfalto después del RTFO, dio como resultados 62°C y 63°C; asegurando de esta manera que la separación de materiales de la mezcla se encuentra muy por encima de las temperaturas que se presentan en el tramo de estudio.

- B. El asfalto elegido PEN 120-150 es altamente susceptible a la temperatura, esto significa que presenta cambios prematuros en su estructura, debido a la variación de temperaturas de climas que oscilan entre 9.0 y 32.7°C característicos de la zona en que se ubica la vía; por lo que, la modificación lo convierte en un material con habilidades que lo hace resistente a una deformación permanente.

- C. La mezcla modificada óptima de la investigación quedó constituida por 1.3 % de polímero Elvaloy® 4170, 0.08 % de ácido polifosfórico (catalizador) en el peso del asfalto convencional.

5.2. RECOMENDACIONES

- A. Por constituir la presente investigación un esfuerzo basado en ensayos en laboratorio, resulta necesario que las entidades o instituciones responsables de la construcción y mantenimiento de vías en el país, lleven a la práctica estos resultados; es decir, confirmarlos mediante una fase de experimentación, con la construcción de un tramo de carpeta asfáltica en la vía; a fin de comprobar en obra, las bondades con que mejora las propiedades de la mezcla obtenida en laboratorio y poder realizar los ajustes que sean necesarios.

- B. Para los investigadores interesados en realizar futuras trabajos sobre asfaltos modificados con Elvaloy® 4170 y ácido polifosfórico, concentren sus propuestas para pisos altitudinales diferentes al de la vía elegida.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Montalvo, M. 1997 Proyecto de Carreteras en Zonas Andinas”. Memorias del I Congreso Nacional del Asfalto. Asociación Peruana de Caminos, Lima.
2. Meléndez José 2002. Influencia de la Temperatura en el Deterioro de Carpeta Asfáltica en Zonas de Altura. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Ingeniería, Lima.
3. Menéndez Rafael 2005. Pavimentos Asfáltico en Zonas de Altura. Tesis de Maestría Universidad Nacional de Ingeniería, Lima
4. Tonda Mauricio. 2007 Asfaltos Modificados con Polímeros, Argentina
5. A.Chiman, L.Sanabria, L.Hernandez, L.Chiman. Evaluación de las Propiedades de Asfaltos Modificados con Polímeros Activados. Corporación para la Investigación y Desarrollo en Asfaltos en el Sector de Transporte e Industrial Corasfaltos.
6. J.Agnusdei, O.Iosco. Durabilidad de Mezclas Asfáltica Preparadas con Ligante Modificados con Polímeros. Comisión de Investigaciones Científicas. Lemit. Buenos Aires, Argentina.
7. Consorcio Vial CONALVIAS; 2012. “Estudio: Servicio de Conservación por Niveles de Servicio de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca Ruta N° PE 08 (Km 0+000 a 176+000), Chilote – Contumazá Ruta PE 1 NF (Km 0+000 al 40+000) y Chicama – Casacas Ruta N° PE N° 1NF (Km 0+000 al 69+ 900) ”, Volumen 1: Actualización de Inventario Vial Calificado e Informe Técnico de la Situación Inicial”
8. Consorcio Vial CPS – HOB. 2006. “Estudio Definitivo de Mantenimiento Periódico de la Carretera Ciudad de Dios – Cajamarca”.

PAGINAS WEB

- 1) www.colciencias.gob.co
- 2) www.asphaltinstitute.org
- 3) www.cpasfalto.org
- 4) www.styrelf.com.es

ANEXOS

Anexo 1.- Especificaciones Técnicas



Advertise with
Data sheets for over 62,000 metals, plastics, ceramics, and composites.
HOME • SEARCH • TOOLS • SUPPLIERS • FOLDERS • ABOUT US •

Searches: [Advanced](#) | [Material Type](#) | [Property](#) | [Composition](#) | [Trade Name](#) | [Manufacturer](#)

Free CD with 300 multiphysics presentations!

Dupont™ Elvaloy® 4170 Reactive Ethylene Terpolymer (RE)

-  [Printer friendly version](#)
-  [Download to Excel \(requires Excel and Windows\)](#)
-  [Export data to your CAD/FEA program](#)

Material Notes:

A reactive ethylene terpolymer (RET) that can be used to modify the properties of asphalt binder used in pavi

Elvoy® 4170 is the most chemically reactive of the terpolymers manufactured by DuPont for use with asphalt used with a wide range of asphalts, at mix levels as low as 1-2%.

Resulting polymer modified asphalt (PMA) is very stable, and can be stored for extended periods.

Availability: Globally

Information provided by DuPont.

Physical Properties	Metric	English	
Density	0.94 g/cc	0.034 lb/in ³	A
Bulk Density	0.577 g/cc	0.0208 lb/in ³	
Melt Flow	5 - 11 g/10 min	5 - 11 g/10 min	AS
Thermal Properties			
Melting Point	72 °C	162 °F	AS

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a cc requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conv We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that yo disclaimer and terms of use regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entere



Outsource FEA from your desktop
www.testmydesign.com

1-818-225-8520 ext.110
TestMyDesign.com lowers costs and speeds the design process as your FEA expert!



807471 Ácido polifosfórico

para síntesis

Para preguntas en general por favor contacte
a nuestro Servicio de Atención al Cliente:

Merck Peruana S.A.
Av. Los Frutales 220 - Ate
64293 Lima
Perú
Teléfono: +51 6187500
Fax: +51 3410483

05 febrero 2014

Número de producto	Embalaje	Cant./Env.	Precio
8074710100	Frasco, plástico	100 ml	S/. 91.11
8074710500	Frasco, plástico	500 ml	S/. 160.35
8074712500	Frasco, plástico	2.5 l	S/. 548.64

Los precios están sujetos a cambios sin notificación.

Información sobre producto

Synonyms	PPA
Fórmula químico	$\text{HO}[\text{P}(\text{OH})(\text{O})\text{O}]_n\text{H}$
Número HS	2809 20 00
Número CE	232-417-0
Número CAS	8017-16-1

Datos químicos y físicos

Solubilidad en agua	(20 °C) soluble, Hidrólisis
Punto de fusión	-20 °C
Densidad	2.06 g/cm ³ (20 °C)
Valor de pH	(H ₂ O, 20 °C) ácido, Hidrólisis
Punto de ebullición	530 °C (1013 hPa)
Presión de vapor	2 hPa (20 °C)

Información de seguridad de acuerdo a GHS

Hazard Statement(s)	H314: Provoca quemaduras graves en la piel y lesiones oculares graves. H290: Puede ser corrosivo para los metales.
Precautionary Statement(s)	P280: Llevar guantes/ prendas/ gafas/ máscara de protección. P301 + P330 + P331: EN CASO DE INGESTIÓN: Enjuagarse la boca. NO provocar el vómito. P305 + P351 + P338: EN CASO DE CONTACTO CON LOS OJOS: Aclarar cuidadosamente con agua durante varios minutos. Quitar las lentes de contacto, si lleva y resulta fácil. Seguir aclarando. P309 + P310: EN CASO DE exposición o malestar: Llamar inmediatamente a un CENTRO DE INFORMACION TOXICOLOGICA o a un médico.
Signal Word	Peligro
Hazard Pictogram(s)	
Clase de almacenamiento	8B Materiales corrosivos peligrosos, no combustibles
WGK	WGK 1 contamina ligeramente el agua
Disposal	12 Los ácidos inorgánicos y sus anhídridos, según el caso, se diluyen o respectivamente se hidrolizan previamente, añadiéndolos bajo agitación, cuidadosamente, en agua con hielo. Seguidamente se neutraliza con solución de hidróxido sódico (art. 105587) (guantes, campana extractora). Antes del vertido en la categoría D controlar el valor del pH con tiras indicadoras universales (art. 109535). El ácido sulfúrico fumante (óleum) se gotea cuidadosamente en ácido sulfúrico al 40 % (art. 109286), bajo buena agitación. Tener siempre cantidades suficientes de hielo a mano a efectos de refrigeración exterior. Después de enfriar, el ácido sulfúrico altamente concentrado obtenido se somete, como se indica arriba, a su tratamiento ulterior. Análogamente al ácido sulfúrico fumante (óleum)/ácido sulfúrico pueden gotearse otros anhídridos en sus correspondientes ácidos. Los gases ácidos (p. ej. halógenos de hidrógeno, cloro, fosgeno, dióxido de azufre) se pueden pasar por una solución de sosa cáustica diluida y después de la neutralización se eliminan en la categoría D.

Información de seguridad

Frase R	R 34 Provoca quemaduras.
Frase S	S 26-36/37/39-45 En caso de contacto con los ojos, lávense inmediata y abundantemente con agua y acídase a un médico. Úsense indumentaria y guantes adecuados y protección para los ojos/la cara. En caso de accidente o malestar, acídase inmediatamente al médico (si es posible, muéstresele la etiqueta).
Características de peligrosidad	corrosivo
Hazard Symbol	 Corrosive

Información de transporte

Clasificación (Transporte terrestre) ADR, RID	UN 3264 Ätzender saurer anorganischer flüssiger Stoff, n.a.g.(POLYPHOSPHORSAEURE), 8, III
Clasificación (Transporte marítimo) IMDG-Code	UN 3264 CORROSIVE LIQUID, ACIDIC, INORGANIC, N.O.S.(POLYPHOSPHORIC ACID), 8, III, Segregation Group: 1 (Acids)
Clasificación (Transporte aéreo) IATA-DGR	UN 3264 CORROSIVE LIQUID, ACIDIC, INORGANIC, N.O.S.(POLYPHOSPHORIC ACID), 8, III



**PETRÓLEOS DEL PERÚ - PETROPERÚ
S.A.**

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASFALTO PETROPERÚ

CLASE DE PRODUCTO ASFALTO SÓLIDO		Fecha efectiva: Noviembre 2007		
TIPO DE PRODUCTO CEMENTO ASFÁLTICO		Reemplaza edición de: 1 de Julio de 2003		
NOMBRE COMERCIAL PETROPERÚ ASFALTO SÓLIDO 120/150 PEN				
NOMBRE ALTERNATIVO C.A. 120/150 PEN				
CÓDIGO DE PRODUCTO: 520 – 08		CÓDIGO DE SEGURIDAD: CÓDIGO NFPA: 0, 1, 0 Salud (0). Incendio (1). Reactividad		
USO: OBRAS VIALES		CÓDIGO DE TRANSPORTE: CÓDIGO NACIONES UNIDAS: UN 1999		
ENSAYOS	ESPECIFICACIONES (a)		MÉTODO	
	MÍN.	MÁX.	ASTM	AASHTO
PENETRACIÓN a 25°C, 100 g, 5 s, 0.1mm	120	150	D-5-06e1	T-49
VOLATILIDAD Punto de inflamación Cleveland, copa abierta, °C	218		D-92-05a	T-48
Gravedad específica a 15.6/15.6°C	Reportar		D-70-03	T-228
DUCTILIDAD a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113-99	T-51
SOLUBILIDAD EN TRICLOROETILENO, % masa	99.0		D-2042-01	T-44
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA				
Prueba de calentamiento sobre película fina, 3.2 mm, 163°C, 5 horas:			D-1754-97(2002)	T-179
Pérdida por calentamiento, % masa		1.3		
Penetración retenida, % del original	42+		D-5-06e1	T-49
Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	100		D-113-99	T-51
Índice de susceptibilidad térmica	-1.0	+1.0		Francés RLB
FLUIDEZ				
Viscosidad cinemática a 135°C, cSt	140		D-2170-01a(2006)	T-201
ADHERENCIA				
Revestimiento-desprendimiento, mezcla agregado-bitumen, %	Reportar		D-3625-96(2005)	
REQUERIMIENTO GENERAL:	El cemento asfáltico deberá ser homogéneo, libre de agua, y no Deberá formar espuma al ser calentado a 175°C.			
OBSERVACIONES:				
(a) En concordancia con a Norma Técnica Peruana NTP 321.051 y con los estándares ASTM D 946-82(2005) y AASHTO M-20.				

PETROPERÚ ... ¡MEJORANDO LA CALIDAD DE VIDA!

Anexo 2.- Resultados de Ensayos Exploratorios



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL
PLACA DE CISTERNA : Z18-719 / A7P-989 GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : Y1-624 / Y1-9000 NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.0%
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN
MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO
MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO
MUESTRA DE LABORATORIO
MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	86	85	85		
			86	86	85		
			85	85	86		
PROMEDIOS			86	85	85	85 mm.	90

Observacion: con 1.2% no cumple con la especificacion.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO
JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING CIVIL. CIP 43989



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL	
PLACA DE CISTERNA : ZI8-719 / A7P-989	GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : YI-624 / YI-9000	NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136	

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO	
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150	
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.1%	
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %	

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN
MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO
MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO
MUESTRA DE LABORATORIO
MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	88	87	87		
			87	88	87		
			87	88	87		
PROMEDIOS			87	88	87	87 mm.	90

Observacion: con 1.2% no cumple con la especificacion.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO
JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL CIP 43999



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Walter E. Ibáñez Maldonado EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION
--

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL	
PLACA DE CISTERNA : ZI8-719 / A7P-989	GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : YI-624 / YI-9000	NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136	

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO	
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150	
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.2%	
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %	

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr).	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO MUESTRA DE LABORATORIO MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C
--

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr).	MUESTRA	MUESTRA	MUESTRA	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	88	89	88		
			89	88	89		
			89	88	89		
PROMEDIOS			89	88	89	89 mm.	90

Observacion: con 1.2% no cumple con la especificacion.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS · CONCRETOS · ASFALTO

Juan Jesús Ventura Roque

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL CIP 43999



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA : ZI8-719 / A7P-989 GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : YI-624 / YI-9000 NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO

TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.3%
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO MUESTRA DE LABORATORIO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
3 de marzo de 2013	5 seg	100	93	92	92		
			93	92	93		
			92	92	93		
PROMEDIOS			93	92	93	92 mm.	90

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL CIP 43999



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL	
PLACA DE CISTERNA : Z18-719 / A7P-989	GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : Y1-624 / Y1-9000	NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136	

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO	
TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150	
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.4%	
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %	

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN
MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO
MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO
MUESTRA DE LABORATORIO
MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
3 de marzo de 2013	5 seg	100	94	94	93		
			95	94	94		
			94	95	94		
PROMEDIOS			94	94	94	94 mm.	90

Observacion: con 1.4%, cumple con la especificacion.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO
JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz. "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores
Teléfono 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621
E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA : ZI8-719 / A7P-989 GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : YI-624 / YI-9000 NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO

TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.5
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO MUESTRA DE LABORATORIO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr.)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
3 de marzo de 2013	5 seg	100	96	96	96		
			96	96	97		
			96	96	97		
PROMEDIOS			96	96	97	96 mm.	90

Observacion: con 1.4%, cumple con la especificacion.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores
Teléfono: 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621
E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE LOS CEMENTOS ASFALTICOS

MTC E 304 - ASTM D 5 - AASHTO T 49 - M-MMP-4-05-006/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA : ZI8-719 / A7P-989 GALONES RECIBIDOS : 7177.8
PLACA DEL TRACTOR : YI-624 / YI-9000 NUMERO DE LOTE : 332B
PENETRACION : 136

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO

TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150
MODIFICADOR : ELVALOY = 1.6%
CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr).	MUESTRA			PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Min - Max. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	135	135	136		
			136	136	135		
			136	135	136		
PROMEDIOS			136	135	136	135 mm.	120-150

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO MUESTRA DE LABORATORIO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr).	MUESTRA			PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (mm).
			1	2	3		
3 de marzo de 2013	5 seg	100	97	97	98		
			97	97	98		
			98	97	97		
PROMEDIOS			97	97	98	97 mm.	90

Observacion: con 1.4%, cumple con la especificacion.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz. "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores
Teléfono: 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621
E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com

Comprobación



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PUNTO DE ABLANDAMIENTO DE MATERIALES BITUMINOSOS METODO ANILO Y BOLA

ASTM D 36 – AASHTO T 53 - MTC E 307 (M-MMP-4-05-009/00 SCT)
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

Placas de cisterna	Z18-719 / A7P-989	Galones Recibidos	7177.8
Placas del tracto	YI-624 / YI-9000	Numero de Lote	332B
Punto de Ablandamiento	44 °C	Fecha de Ensayo	01 de marzo 2013

INFORMACION ASFALTO MODIFICADO

Tipo de Asfalto	: PEN 120/150
Modificador	: ELVALOY = 1.3%
Catalizador	: ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

DATOS DE ENSAYO - ASFALTO MODIFICADO

Hora de Moldeo a T° ambiente	09:30:00 a.m.
Tiempo de enfriamiento - Reposo 30 min	10:00:00 a.m.
Ingreso a Congeladora 5 °C - 15 min	10:15:00 a.m.
Hora de colocacion de esferas en muestra aprox. 15 seg.	10:15:15 a.m.
Hora de colocacion del ensayo en la estufa a 415°C (5°C/min)	10:15:45 a.m.

	ESFERA Nº 1	ESFERA Nº 2	DIFERENCIA Nº1 A Nº2 (± 2.2°C)	OBSERVACION
Hora de Inicio del Ensayo	10:15:45 a.m.	10:15:45 a.m.		
Temperatura de Agua en vaso al inicio del ensayo	5 °C	5 °C		
Hora de Final del Ensayo	10:30:45 a.m.	10:15:45 a.m.		
Temperatura de Agua en vaso al final del ensayo	63.2 °C	64 °C	0.8	SI CUMPLE
PROMEDIO (ESPEC. MIM. 50°C)	64 °C			SI CUMPLE



NOTA: EN EL PUNTO DE REBLANDECIMIENTO EL RESULTADO ES EL PROMEDIO DE TEMPERATURA DE CAIDA DE AMBAS ESFERAS

*** EN ESTE CASO NO SE TOMA LA DIFERENCIA DE CAIDA DE AMBAS ESFERAS

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO
JUAN JESÚS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL - CIP 43999



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Walter E. Ibáñez Maldonado

EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

DETERMINACION DE RECUPERACION ELASTICA POR TORSION

MTC E 320 - NLT/329/91 - M-MMP-4-05-024/02 SCT

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA :	ZI8-719 / A7P-989	GALONES RECIBIDOS :	7177.8
PLACA DEL TRACTOR :	YI-624 / YI-9000	NUMERO DE LOTE :	332B
RECUPERACION ELASTICA :	---	FECHA DE ENSAYO :	01 de Marzo del 2013

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO

TIPO DE ASFALTO :	PEN 120/150
MODIFICADOR :	ELVALOY = 1.3%
CATALIZADOR :	ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

DATOS DE ENSAYO

Temperatura de Agua en Baño María	25 °c	ESPEC. MIN.
Temperatura del Asfalto Modificado, durante 90 min. en baño maría	25 °c	
Lectura Inicial de Indicador	100 mm.	
Tiempo de reposo de muestra después de girado a 0 ° C	30 min.	
Lectura Final de Indicador	58 mm.	
Recuperación Elástica por Torsión	58.0 %	---

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

Juan Jesús Ventura Roque

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL. CIP 43999



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

RECUPERACION ELASTICA POR DUCTILOMETRO

ASTM D-6084 - M-MMP-4-05-026/02

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA	: Z18-719 / A7P-989	GALONES RECIBIDOS	: 7177.8
PLACA DEL TRACTOR	: Y1-624 / Y1-9000	NUMERO DE LOTE	: 332B
RECUPERACION ELASTICA	: ---	Fecha de Ensayo	: 10 de Marzo del 2013

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO

Tipo de Asfalto	: PEN 120/150	Tiempo de Corrido.	: 02 Minutos
Modificador	: ELVALOY = 1.3%	Tiempo de Reposo en Baño María	: 90 Minutos
Catalizador	: ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %	Duracion del ensayo	: 192 Minutos
Tiempo de Enfriado	: 40 Minutos		
Tiempo de Lectura	: 60 Minutos		

DATOS DE ENSAYO A 25°C

	1	2	
Hora de Moldeo a T° ambiente (PEN a 130°C)	8:23:00	8:24:00	
Tiempo de enfriado - Reposo 40 min (a T° ambiente)	9:03:00	9:04:00	
Ingreso a baño maría - Reposo 90 min	10:33:00	10:34:00	
Hora de colocación y corrido del ensayo 5cm/min (10cm)	10:35:00	10:36:00	
Hora de cortado	10:37:00	10:38:00	
Hora lectura final de recuperación a 60 min.	11:37:00	11:38:00	
Temperatura de Agua en Ductilómetro	25 °c	25 °c	ESPEC. MIN.
Temperatura de Asfalto Modificado, durante 40 min. en baño maría	25 °c	25 °c	
Recorrido Inicial de muestra en ductilómetro (5cm/min)	10 cm	10 cm	
Tiempo de reposo de muestra después de corte	60 min	60 min	
Distancia de recuperación de muestra después de 60 min	1.2 cm	1.3 cm	
Cálculo de Recuperación Elástica	88 %	87 %	
PROMEDIO TOTAL (%)	88%		

DATOS DE ENSAYO A 5°C

	1	2	
Hora de Moldeo a T° ambiente (PEN a 130°C)	14:20:00	14:21:00	
Tiempo de enfriado - Reposo 40 min (T° ambiente)	15:00:00	15:01:00	
Ingreso a baño maría - Reposo 90 min	16:30:00	16:31:00	
Hora de colocación y corrido del ensayo 5cm/min (10cm)	16:32:00	16:33:00	
Hora de cortado	16:34:00	16:35:00	
Hora lectura final de recuperación a 60 min	17:34:00	17:35:00	
Temperatura del Agua en ductilómetro	5 °c	5 °c	ESPEC. MIN.
Temperatura del Asfalto Modificado, durante 40 min. en baño maría	5 °c	5 °c	
Recorrido Inicial de muestra en ductilómetro 5cm/min	10 cm	10 cm	
Tiempo de reposo de muestra después de corte	60 min	60 min	
	3.6 cm	3.7 cm	
Cálculo de Recuperación Elástica	64 %	63 %	
PROMEDIO TOTAL (%)	64%		

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL. CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz. "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores
Teléfono: 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621
E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Walter E. Ibáñez Maldonado

EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

DUCTILIDAD DEL CEMENTO ASFALTICO

MTC E 306 - ASTM D 113 - AASHTO T 51 - M-MMP-4-05-011/00 SCT

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA : ZI8-719 / A7P-989 GALONES RECIBIDOS : 7177.8

PLACA DEL TRACTOR : YI-624 / YI-9000 NUMERO DE LOTE : 332B

INFORMACION DEL ASFALTO MODIFICADO

TIPO DE ASFALTO : PEN 120/150

MODIFICADOR : ELVALOY = 1.3%

CATALIZADOR : ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

CEMENTO ASFALTICO 120 -150 VIRGEN MUESTRA TOMADA DE PLANTA DE ASFALTO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25 +/- 5°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (cm).
1 de Marzo de 2013	5 cn/min	150	150	>150 cm.	100

CEMENTO ASFALTICO 120-150 MODIFICADO EN LABORTAORIO

MUESTRA DE LABORATORIO

MUESTRAS ENSAYADAS A 25 +/- 5°C

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	MUESTRA 1	MUESTRA 2	PROMEDIO TOTAL	ESPECIFICACION Minima. (cm).
1 de Marzo de 2013	5 cn/min	150	150	>150 cm.	100

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

Juan Jesús Ventura Roque

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL, CIP 43999



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA Walter E. Ibáñez Maldonado EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION
--

PUNTO DE INFLAMACION Y DE LLAMA COPA ABIERTA DE CLEVELAND MTC E 303 - 2000 ASTM D 92 - AASTHO T 48 - (M-MMP-4-05-007/00 SCT)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

Placas de cisterna	ZI8-719 / A7P-989	Galones Recibidos	7177.8
Placas del tracto	YI-624 / YI-9000	Numero de Lote	332B
Punto de Inflamacion	288 °C	Fecha de en sayo	02 de marzo del 2013

INFORMACION ASFALTO MODIFICADO

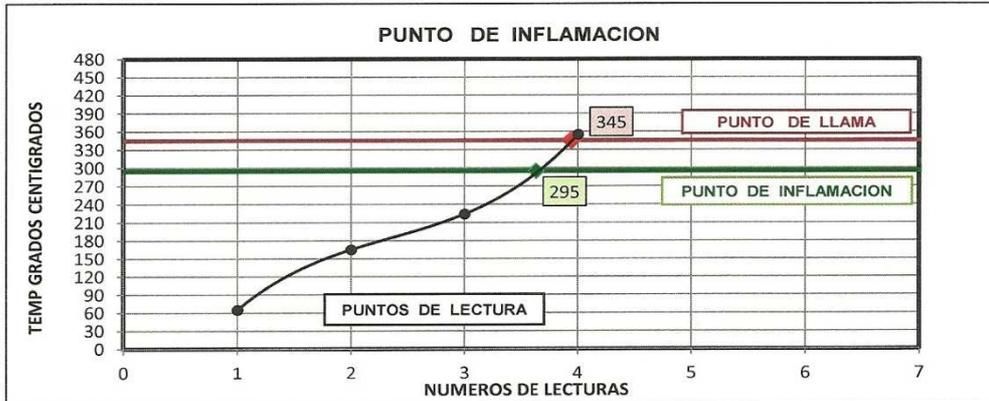
Tipo de Asfalto	PEN 120/150
Modificador	ELVALOY = 1.3%
Catalizador	ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %



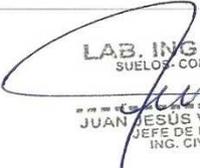
DATOS DE ENSAYO- ASFALTO MODIFICADO

Temperatura de Estufa de 14°C a 17°C por minuto - Aprox 60°C debajo de punto de inflamacion probable

DATOS	NUMEROS DE LECTURAS	NUMEROS DE LECTURAS	TEMPERATURA ° C	Esp. Min.
Hora de Inicio del Ensayo	1	4:12:00	65	
1 ^{era} lectura a 10min	2	4:17:00	165	
2 ^{da} lectura a 20min	3	4:22:00	224	
3 ^{era} lectura a 30min	4	4:27:00	355	
PUNTO DE INFLAMACION		4:25:00	295	218
PUNTO DE LLAMA		4:28:00	345	



Observacion :


LAB. INGGEOS S.A.C.
 SUELOS · CONCRETOS · ASFALTO
JUAN JESÚS VENTURA ROQUE
 JEFE DE LABORATORIO
 ING. CIVIL. CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz. "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores
 Teléfono: 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621
 E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com



LAB. INGGEOS S.A.C

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

Walter E. Ibáñez Maldonado

EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

ANALISIS DEL RESIDUO DE LA PRUEBA DE LA PELICULA DELGADA (RTFO)

PERDIDA DE MASA POR CALENTAMIENTO

(NORMA M-MMP-4-05-010/02 SCT)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

PLACA DE CISTERNA	ZI8-624 / A7P-989	GALONES RECIBIDOS	7177.8
PLACA DEL TRACTOR	YI-624 / YI-9000	NUMERO DE LOTE	332B
PERDIDA DE MASA POR CALENTAMIENTO	0.90%		

INFORMACION ASFALTO MODIFICADO

Tipo de Asfalto	PEN 120/150
Modificador	ELVALOY = 1.3%
Catalizador	ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

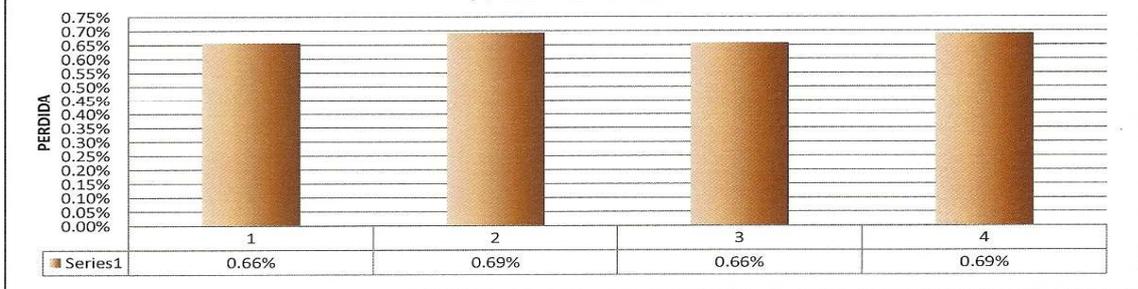
INFORMACION DEL ENSAYO

TEMPERATURA HORNO RTFO	163°C	PRESION DE AIRE	50 PSI
TEMPERATURA DE LAS TARAS	163°C	PESO DE LA MUESTRA	35 GRAMOS
DURACION DEL ENSAYO	85 min	Fecha de Ensayo	15 de Marzo del 2013
HORA DE ENTRADA ENSAYO	15:22 pm		
HORA DE SALIDA ENSAYO	16:47 pm		

DATOS DEL ENSAYO

DATOS	IDENTIFICACION				Promedio
NUMERO DE ENSAYO	1	2	3	4	
PESO DE LA TARA A 163°C	208.78 g	208.89 g	205.91 g	205.69 g	
PESO INICIAL ASFALTO	35.25 g	34.90 g	35.26 g	35 g	
TARA + PESO INICIAL ASFALTO	244.03 g	243.79 g	241.17 g	240.69 g	
TARA + PESO FINAL ASFALTO	243.8 g	243.55 g	240.94 g	240.45 g	
PESO FINAL DE ASFALTO	35.02 g	34.66 g	35.03 g	34.8 g	
% DE PERDIDA	0.66%	0.69%	0.66%	0.69%	0.67 %

% DE PERDIDA



observaciones

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL. CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz. "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores

Teléfono: 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621

E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

ENSAYO DE SERARACION DEL ASFALTO MODIFICADO

MTC E 307 (M-MMP-4-05-022/02 SCT)

LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS

INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

Placas de cisterna	ZI8-719 / A7P-989	Galones Recibidos	7177.8
Placas del tracto	YI-624 / YI-9000	Numero de Lote	332B

INFORMACION ASFALTO MODIFICADO

Tipo de Asfalto	: PEN 120/150
Modificador	: ELVALOY = 1.3%
Catalizador	: ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %

DATOS DE ENSAYO - DESPUES DEL R.T.F.O

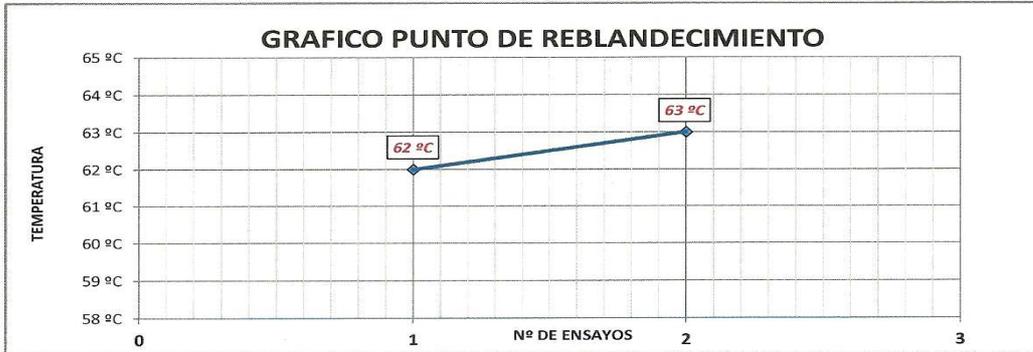
PASO N° 1: ENSAYO DE SERARACION DEL ASFALTO MODIFICADO

Hora y Fecha de Moldeo a medio ambiente (50 gr)	10:11:00 a.m.	18/03/2013
Tiempo de enfriamiento de muestra- Aprox 60 min	11:11:00 a.m.	
Ingreso a Horno a 163 °C por 48 Horas	11:13:00 a.m.	
Salida de Horno Pasadas las 48 Horas	11:13:00 a.m.	20/03/2013
Hora de Ingreso de muestra al congelador por 4 horas a 5°C	11:13:30 a.m.	
Hora de Salida de muestra del congelador a 5°C	03:13:30 p.m.	
Tiempo de calentamiento en horno a 163 °C 30 min - Aprox	03:43:30 p.m.	

PASO N° 2: PUNTO DE REBLANDECIMIENTO

Hora de Moldeo a medio ambiente	03:45:30 p.m.	20/03/2013
Tiempo de Curado o enfriamiento - Reposo 30 min	04:15:30 p.m.	
Ingreso a Congeladora 5 °C - 15 min	04:30:30 p.m.	
Hora de colocacion de esferas en muestra Aprox 15 seg	04:30:45 p.m.	
Hora de colocacion del ensayo en la estufa 415° - 5°C/min	04:31:00 p.m.	

	ESFERA N° 1	ESFERA N° 2	DIFERENCIA M1 A M2 ± 2.2 °C	OBSEVACION
Hora de Inicio del Ensayo	04:31:00 p.m.	04:31:00 p.m.		
Temperatura de Agua en vaso al inicio del ensayo	5 °C	5 °C		
Hora de Final del Ensayo	04:53:00 p.m.	04:53:30 p.m.		
Temperatura de Agua en vaso al final del ensayo	62 °C	63 °C	1	SI CUMPLE



NOTA: EN ESTE ENSAYO SE DETERMINA LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DE CAIDA DE CADA ESFERA EN EL ENSAYO DE PUNTO DE REBLANDECIMIENTO.

LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

Juan Jesús Ventura Roque
JUAN JESÚS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL. CIP 43999

Avenida Alfredo Bambaren Mz. "B-7" Lote "19" Villa San Luis Pamplona Alta San Juan de Miraflores
Teléfono: 285-3739 / 285-5971 Nextel: 124*6621
E-mail: lab_inggeos_sac@hotmail.com



LAB. INGGEOS S.A.C.

Laboratorio de mecánica de suelos, concreto, asfalto y ensayos especiales. Estudio de suelos para pavimentaciones, edificaciones, suministro de equipos para laboratorio e ingeniería.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA
Walter E. Ibáñez Maldonado
EPG - INGENIERIA / INGENIERIA Y GERENCIA DE LA CONSTRUCCION

PENETRACION DE MATERIALES ASFALTICOS DESPUES DEL HORNO RTFO

MTC E 304 - 2000
ASTM D 5 - AASHTO T 49 - (M-MMP-4-05-006/00 SCT)
LABORATORIO MECANICA DE SUELOS CONCRETOS Y PAVIMENTOS



INFORMACION ASFALTO CONVENCIONAL

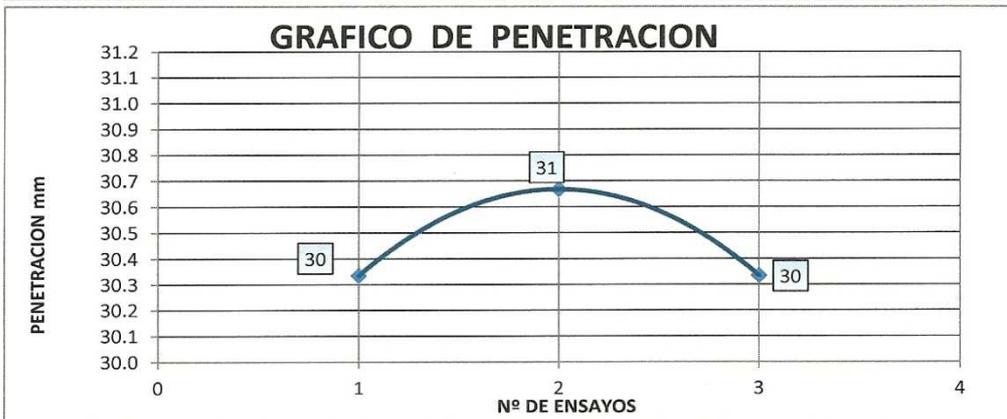
Placas de cisterna	ZI8-719 / A7P-989	Galones Recibidos	7177.8
Placas del tracto	YI-624 / YI-9000	Numero de Lote	332B
Penetracion	47 mm.		

INFORMACION ASFALTO MODIFICADO

Tipo de Asfalto	PEN 120/150
Modificador	ELVALOY = 1.3%
Catalizador	ACIDO POLIFOSFORICO 0.08 %
Fecha de Ensayo	20 de Marzo del 2013

PENETRACION A 4°C - DESPUES DEL HORNO RTFO

FECHA DE ENSAYO	TIEMPO DE EJECUCION DE ENSAYO	CARGA (Gr)	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
20 de Marzo del 2013	60 seg	200	30	31	30
			31	31	30
			30	30	31
PROMEDIOS			30	31	30
PROMEDIO TOTAL			30 mm.		



LAB. INGGEOS S.A.C.
SUELOS - CONCRETOS - ASFALTO

JUAN JESUS VENTURA ROQUE
JEFE DE LABORATORIO
ING. CIVIL. CIP 43999