UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Efecto de la adición de poliuretano termoplástico granulado en las propiedades de deformación elástica de asfaltos de alta consistencia PEN 60-70, Huancayo 2022

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniero Civil

AUTORES:

Chuquillanqui Rios, Carlos Felix (ORCID: 0000-0002-3468-4274)

Quispe Quintana, Francisco Henry (ORCID: 0000-0002-3815-4561)

ASESOR:

Mg. Requis Carbajal, Luis Villar (ORCID: 0000-0002-3816-7047)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño de Infraestructura Vial

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A Dios, ya que gracias a él hemos logrado concluir nuestra carrera así mismo por sostenernos en los momentos más adversos y habernos permitido lograr nuestros objetivos.

A nuestros padres, porque ellos siempre estuvieron a nuestro lado brindándonos su apoyo y sus consejos para hacer de nosotros unas personas de bien.

A nuestros hermanos y familiares por sus palabras y su compañía en cada instancia para lograr este objetivo.

Agradecimiento

En primera instancia damos gracias a Dios, el que en todo momento está con nosotros ayudándonos a aprender de nuestros errores y a no cometerlos otra vez.

Gracias a nuestros padres los cuales nos han proporcionado todo y cada cosa que hemos necesitado, por las enseñanzas que aplico cada día y guiarnos en toda nuestra formación tanto académica como profesional.

Gracias a la UCV, y a la Facultad de Ingeniería Civil por habernos insertado al mundo profesional.

Gracias a mi asesor Mg. Luis Requis Carbajal por brindarnos su gran sabiduría, esforzándose día a día por ayudarnos a llegar al punto en el que nos encontramos

Y un agradecimiento en general a todas las personas que nos brindaron un granito de arena para poder culminar esta investigación.

Índice de contenidos

Pág.

Dedicatoria ii
Agradecimiento iii
Índice de contenidos iv
Índice de tablas vi
Índice de figuras vii
Resumen x
Abstract xi
I. INTRODUCCIÓN 12
II. MARCO TEÓRICO 17
2.1 Antecedentes del problema 17
III. METODOLOGÍA 30
3.1 Tipo y diseño de investigación 30
3.2 Variables y operacionalización 31
3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis 32
3.3.1 Población 32
3.3.2 Muestra 32
3.3.3 Muestreo 32
3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos 33
3.4.1 Técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos 33
3.4.2 Instrumentos de recolección de datos 33
3.5 Procedimientos 33
3.1 Método de análisis de datos 46
3.2 Aspectos éticos 46
IV. RESULTADOS 47
4.1 Análisis de resultados 47
V. DISCUSIÓN 86
VI. CONCLUSIONES 88
VII. RECOMENDACIONES 89
REFERENCIAS 90
ANEXOS 94

Índice de tablas

Pág.

Tabla 1. Operacionalización de variables 31
Tabla 2. Granulometría de grava chancada ½” 62
Tabla 3. Granulometría de la arena natural 63
Tabla 4. Granulometría de la arena procesada 64
Tabla 5. Granulometría del Filler 65
Tabla 6. Granulometría del poliuretano termoplástico 66
Tabla 7. Granulometría de la mezcla de agregados 68
Tabla 8. Cuadro de descriptivos – Ductilidad (cm) 73
Tabla 9. Prueba de normalidad – Ductilidad (cm) 74
Tabla 10. Correlaciones - Ductilidad (cm) 75
Tabla 11. Cuadro de descriptivos – Recuperación elástica (%) 77
Tabla 12. Prueba de normalidad – Recuperación elástica (%) 78
Tabla 13. Correlaciones - Recuperación elástica (%) 79
Tabla 14. Cuadro de descriptivos – Fluencia (mm) 81
Tabla 15. Prueba de normalidad – Fluencia (mm) 82
Tabla 16. Correlaciones - Fluencia (mm) 83
Tabla 17. Toma de decisión 85

Índice de figuras

		Pág.
Figura 1.	Evolución del tráfico 2011-2020 (miles de vehículos).	12
Figura 2.	Falla de ahuellamiento distrito de Cajas.	13
Figura 3.	Falla de ahuellamiento anexo de Hualahoyo - El Tambo	13
Figura 4.	Comportamiento real del Asfalto.	23
Figura 5.	Productos y Temperaturas Típicas de Destilación.	24
Figura 6.	Productos y temperaturas típicas de destilación	24
Figura 7.	Comportamiento de moléculas de elastómeros al ser tensionadas	26
Figura 8.	Comportamiento de entrecruzamiento de polímeros termoplásticos	27
Figura 9.	Muestra de asfalto PEN 60-70 llevado al horno.	34
Figura 10.	Asfalto PEN 60-70 vertido en el molde de Ductilidad.	35
Figura 11.	Tres moldes de asfalto PEN 60-70 para el ensayo de ductilidad.	35
Figura 12.	Enrasado de los moldes.	36
Figura 13.	Muestras colocadas en el ductilómetro	36
Figura 14.	Muestras ensayadas en el ductilómetro	37
Figura 15.	Muestra en el horno.	38
Figura 16.	Vertido de la muestra de asfalto al molde	38
Figura 17.	Muestras sumergidas en el baño maría.	39
Figura 18.	Enrasado del molde.	39
Figura 19.	Desmoldado de la muestra	40
Figura 20.	Ensayo de ductilidad hasta 20cm.	40
Figura 21.	Granulometría de los agregados	42
Figura 22.	Análisis Granulométrico.	42
Figura 23.	Pesado del agregado.	43
Figura 24.	Acondicionamiento de los accesorios	43
Figura 25.	Mezcla del agregado y el asfalto	44
Figura 26.	Compactado de la mezcla	44
Figura 27.	Desencofrado de las briquetas	45
Figura 28.	Acondicionamientos de las muestras en baño maría	45
Figura 29.	Ensayo Marshall	46
Figura 30.	Ductilidad asfalto PEN 60-70 virgen muestra1	47
Figura 31.	Ductilidad asfalto PEN 60-70 virgen muestra 2.	48

Figura 32. Ductilidad asfalto PEN 60-70 virgen muestra 3. 48
Figura 33. Ductilidad del asfalto con adición del 1% del poliuretano muestra 1 49
Figura 34. Ductilidad del asfalto con adición del 1% del poliuretano muestra 2. 49
Figura 35. Ductilidad del asfalto con adición del 1% del poliuretano muestra 3 50
Figura 36. Ductilidad del asfalto con adición del 5% del poliuretano muestra 1 50
Figura 37. Ductilidad del asfalto con adición del 5% del poliuretano muestra 2 51
Figura 38. Ductilidad del asfalto con adición del 5% del poliuretano muestra 3 51
Figura 39. Ductilidad del asfalto con adición del 10% del poliuretano muestra 1 52
Figura 40. Ductilidad del asfalto con adición del 10% del poliuretano muestra 2 52
Figura 41. Ductilidad del asfalto con adición del 10% del poliuretano muestra 3 53
Figura 42. Resumen de ductilidad vs adición de poliuretano 54
Figura 43. Recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 muestra. 55
Figura 44. Recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 muestra 2. 55
Figura 45. Recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 muestra 3. 56
Figura 46. Recuperación elástica del asfalto con adición de 1% de poliuretano muestra. 56
Figura 47. Recuperación elástica del asfalto con adición de 1% de poliuretano muestra 2. 57
Figura 48. Recuperación elástica del asfalto con adición del 1% de poliuretano muestra 3. 57
Figura 49. Recuperación elástica del asfalto con adición de 5% de poliuretano muestra 1. 58
Figura 50. Recuperación elástica del asfalto con adición de 5% de poliuretano muestra 2. 58
Figura 51. Recuperación elástica del asfalto con adición de 5% de poliuretano muestra 3. 59
Figura 52. Recuperación elástica del asfalto con adición de 10% de poliuretano muestra 1. 59
Figura 53. Recuperación elástica del asfalto con adición de 10% de poliuretano muestra 2 60
Figura 54. Recuperación elástica del asfalto con adición de 10% de poliuretano muestra 3. 60
Figura 55. Resumen de recuperación elástica vs adición de poliuretano 61

Figura 56. Curva Granulométrica. 63
Figura 57. Curva Granulométrica de la arena natural. 64
Figura 58. Curva granulométrica de la arena procesada 65
Figura 59. Curva Granulométrica del Filler 66
Figura 60. Curva Granulométrica del poliuretano termoplástico 67
Figura 61. Curva granulométrica 68
Figura 62. Fluencia de la mezcla asfáltica con asfalto virgen PEN 60-70 69
Figura 63. Fluencia de la mezcla asfáltica con adición del 1% del poliuretano 70
Figura 64. Fluencia de la mezcla asfáltica con adición del 5% del poliuretano 70
Figura 65. Fluencia de la mezcla asfáltica con adición del 10% del poliuretano 71
Figura 66. Resumen de la fluencia vs adición de poliuretano 71
Figura 67. Diagrama de caja - Ductilidad (cm) 75
Figura 68. Diagrama de dispersión - Ductilidad (cm) 76
Figura 69. Diagrama de caja - Recuperación elástica (%) 79
Figura 70. Diagrama de dispersión - Recuperación elástica (%) 80
Figura 71. Diagrama de caja - Fluencia (mm) 83
Figura 72. Diagrama de dispersión - Fluencia (mm). 84

Resumen

El incremento del volumen de tránsito y las temperaturas extremas a las que son sometidas las vías construidas con pavimento flexible convencional, tienden a producir fallas (ahuellamiento y fisuramiento térmico) ocasionando daños irreversibles en la carpeta asfáltica reduciendo así su tiempo de servicio.

La presente investigación tiene como objetivo determinar en qué medida el poliuretano termoplástico afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70. Es de enfoque cuantitativo, de tipo aplicada, de nivel correlacional y diseño cuasi experimental. La población estuvo constituida por 54 briquetas de mezcla asfáltica. La técnica que se aplico fue la observación directa de los ensayos (Ductilidad, recuperación elástica y fluencia) con porcentajes de adición, de 0%,1%,5% y 10% de poliuretano termoplástico, teniendo como instrumento la ficha técnica y las normas del MTC. Los datos obtenidos se procesaron mediante el software SPSS para verificar el nivel de correlación entre los porcentajes de adición de poliuretano termoplástico y la variación de las propiedades de deformación elástica tanto del asfalto como de la mezcla asfáltica. El uso del asfalto modificado con la incorporación de poliuretano termoplástico (TPU), En lo referente a la ductilidad se obtuvo una relación negativa al aumentar el porcentaje de adición de TPU, respecto a la recuperación elástica hay tendencia positiva, y por último para la fluencia presenta un crecimiento en la curva hasta un 5% de adición seguido de un decrecimiento para un porcentaje de 10% de adicción.

Mostrando así efectos que evidencian la mejora de sus propiedades físicas y mecánicas de deformación elástica, que contribuyen a una disminución significativa en los problemas de ahuellamiento y fisuramiento térmico.

Palabras clave: poliuretano termoplástico, asfalto PEN 60-70, deformación elástica.

Abstract

The increase in traffic volume and the extreme temperatures to which roads built with conventional flexible pavement are subjected tend to produce failures (rutting and thermal cracking) causing irreversible damage to the asphalt layer, thus reducing its service life.

The present research aims to determine to what extent thermoplastic polyurethane affects the elastic deformation properties of high consistency PEN 60-70 asphalt. It is a quantitative approach, applied, correlational and quasi-experimental design. The population consisted of 54 asphalt mix briquettes. The technique applied was the direct observation of the tests (ductility, elastic recovery and creep) with addition percentages of 0%, 1%, 5% and 10% of thermoplastic polyurethane, using the technical data sheet and the MTC standards as instruments. The data obtained were processed using SPSS software to verify the level of correlation between the addition percentages of thermoplastic polyurethane and the variation of the elastic deformation properties of both the asphalt and the asphalt mixture. The use of modified asphalt with the incorporation of thermoplastic polyurethane (TPU), with respect to ductility, a negative relationship was obtained when increasing the percentage of TPU addition, with respect to elastic recovery there is a positive trend, and finally for creep there is a growth in the curve up to 5% of addition followed by a decrease for a percentage of 10% of addition.

Thus showing effects that evidence the improvement of its physical and mechanical properties of elastic deformation, which contribute to a significant decrease in the problems of rutting and thermal cracking.

Keywords: thermoplastic polyurethane, PEN 60-70 asphalt, elastic deformation.

I. INTRODUCCIÓN

Los asfaltos convencionales satisfacen las propiedades mecánicas para condiciones climáticas moderadas y de bajo tránsito vehicular, sin embargo, el desarrollo económico, incremento poblacional, la geometría de las vías andinas y la evolución del volumen de tránsito (figura 1) en la ciudad de Huancayo, así como en las principales ciudades del Perú, evidencian la sobrecarga en la carpeta asfáltica y deterioro del pavimento a corto plazo, por ende se requiere mejorar sus propiedades (físicas y mecánicas) para satisfacer las necesidades de servicio.

Figura 1. *Evolución del tráfico 2011-2020 (miles de vehículos).*

Fuente. DEVIANDES - Gerencia de Regulación y Estudios Económicos - OSITRAN

Los asfaltos que fueron modificados con materiales con propiedades viscoelásticas, como los polímeros u otros no convencionales, han mostrado evidencias en la mejora tanto en sus propiedades como en sus características mecánicas en la resistencia a las deformaciones de tránsito (ahuellamiento y fatiga respectivamente) con respecto al asfalto convencional.

Figura 2. *Falla de ahuellamiento distrito de Cajas.*
Fuente: Propia

Figura 3. *Falla de ahuellamiento anexo de Hualahoyo - El Tambo*
Fuente: Propia.

La investigación tiene una gran importancia debido a que el estudio de la efectividad de la adición de poliuretano termoplástico en la recuperación elástica de asfaltos de alta consistencia, puede mejorar el comportamiento de la carpeta en pista, asegurando una óptima vida útil y ahorro en los costos de mantenimiento de la vía.

La presenta investigación busca obtener mediante la adición de poliuretano termoplástico granulado mejoras en el comportamiento de las propiedades de recuperación elástica de asfaltos de alta consistencia PEN 60-70. Estos fueron determinados mediante los ensayos de ductilidad, recuperación elástica y en ensayo Marshall para las adiciones de poliuretano termoplástico en proporciones de 1%,5% y 10%. El poliuretano termoplástico propuesto en esta investigación fue el obtenido de materiales en desuso que fueron reciclados y obtenidos de planta de zapatillas, previamente tratados y pulverizados a través de técnicas de molido a tamaños trabajables. El producto de este proceso se adiciono al asfalto virgen y luego se sometió a pruebas de ductilidad y recuperación elástica de muestras alteradas a diferentes adiciones de poliuretano en polvo.

Formulación del problema

Se consideró como problema general ¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?, siendo los problemas específicos que caracterizan el problema general, los siguientes; ¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?,¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?,¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la fluencia de las mezclas asfálticas de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?

Justificación

La presente investigación se justifica en lo tecnológico y metodológico, debido a que, en el estudio de la efectividad de la adición de poliuretano termoplástico en la recuperación elástica de asfaltos de alta consistencia, se verifica la mejora del comportamiento de la carpeta en asfáltica, asegurando una vida más larga y un ahorro en los costos de mantenimiento de la vía.

La investigación tiene una gran importancia, ya que al demostrar que el poliuretano termoplástico aporta a las propiedades mecánicas del asfalto y específicamente a la recuperación elástica, se obtiene un aditivo de bajo costo y además que construye al medio ambiente, en cuanto el poliuretano termoplástico se obtiene de material reciclado.

los resultados de esta investigación sirven como punto de partida a nuevas alternativas de aditivos no convencionales para la mejora de las propiedades del asfalto.

Objetivos

El objetivo fue determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022. Siendo los objetivos específicos que caracterizan el

objetivo general, los siguientes; Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022; Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022; Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la fluencia de las mezclas asfálticas de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022.

Hipótesis

Luego de una revisión bibliográfica profunda se planteó como hipótesis general: El poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70. Además, se planteó como hipótesis específicas: El poliuretano termoplástico granulado afecta de forma positiva en la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70; El poliuretano termoplástico granulado afecta de forma positiva en la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70; El poliuretano termoplástico granulado afecta de forma positiva en la fluencia de las mezclas asfálticas de alta consistencia PEN 60-70.

Delimitaciones:

- **Espacial**

  El trabajo de investigación se realizó en la cuidad de Huancayo.

- **Temporal**

  La investigación tuvo una duración de 24 semanas aproximadamente, equivalente a 6 meses, comprendidos entre el mes de octubre de 2021 al mes de abril de 2022.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes del problema

En el contexto internacional, Según Victoria et al. (2015). En su investigación titulada "Uso de asfalto modificado con elastómero para pavimento", que tuvo como objetivo revisar y comparar resultados de investigaciones donde se muestran a los elastómeros más utilizados en la modificación de bitúmenes, así como una comparación de la mejora de propiedades obtenidas con el uso de éstos. Se compilaron y analizaron los resultados de investigaciones en las cuales se usaron una diversidad de polímeros como modificadores de las propiedades de los asfaltos y mezclas asfálticas. Llegando así a concluir que: el uso de polímeros en mezclas asfálticas logra una mejora de las propiedades del asfalto; su uso en pavimento conduce a un mejor desempeño y extiende su vida útil; la aplicación de polímeros en pavimentos aporta a la mezcla propiedades significativas en la reducción de ahuellamiento, aumento de la resistencia a la fractura; disminución de la susceptibilidad térmica y mejoras en cuanto a la permeabilidad, alargando de esta forma su tiempo de vida útil; se observó que los polímeros que tienen mayor compatibilidad con el asfalto son los elastómeros esto debido a sus propiedades elásticas, y el SBS es el polímero que proporciona el mejor rendimiento para las mezclas asfálticas.

Según Forero et al. (2015) En su investigación titulada “Propiedades físicas, reológicas y mecánicas del cemento asfáltico 80/100 modificado en húmedo con adición de corcho", tuvo como objetivo el uso de corcho como material alternativo para modificar las propiedades del asfáltico PEN 80/100 tales como (elasticidad, impermeabilidad, aislante térmico y acústico, resistencia mecánica, compresibilidad, durabilidad, y otras. Para el análisis de esta investigación se realizaron los ensayos de: penetración, ductilidad, ablandamiento, viscosidad rotacional, ensayo RTFO y ensayo Marshall. Se llego a las siguientes conclusiones: para la penetración se observó que el asfalto modificado con un 0.5% de adición se redujo en un 18% y con un 10% de adición disminuyó en 47.03%. Respecto a la ductilidad del asfalto al aumentar el porcentaje de adición la ductilidad mostró una relación negativa (inversa si o lee el pelado). En cuanto a los resultados del ensayo

de ablandamiento y viscosidad a una temperatura de 100 ° C, se observó que al aumentar el contenido de corcho aumenta la temperatura requerida para que el asfalto comience a fluir. Se verificó que adiciones de corcho en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5% mostraron fluencias de 4.15mm, 3.58mm y 4.49mm respectivamente. Por tanto, la variación de esta propiedad es notable respecto al material usado como aditivo modificador. Concluyendo asi que las mezclas asfálticas modificadas con corcho muestran mejores propiedades mecánicas, manifestando mayor capacidad para soportar esfuerzos de tráfico elevado.

Según Medina et al. (2020) En su investigación titulada “Evaluación reológica y mecánica de un aglutinante asfáltico modificado con polímeros”, este trabajo tuvo como objetivo comparar el desempeño de un asfalto convencional y el asfalto modificado con polímeros. Se estudió la variación de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas densas elaboradas con estos aditivos. El asfalto se comparó con el índice convencional y las características dinámicas obtenidas utilizando un reómetro dinámico de corte (DSR). Obteniendo así las curvas maestras de módulo dinámico |G*| y del ángulo de fase (δ). Las propiedades estudiadas en esta investigación son: daño húmedo inducido y fluencia estática. Los resultados muestran que la adición de polímero tiene un efecto positivo sobre las propiedades analíticas del asfalto y la mezcla asfáltica, principalmente en términos de recuperación elástica y reducción de la deformación permanente.

Según Moreno y Calvo (2018) en la investigación denominada “Estudio mecánico del asfalto modificado con polímeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado” que tuvo como objetivo llegar a analizar el comportamiento mecánico y físico del asfalto modificado con adición de caucho y cuero proveniente de botas de uso militar. Para esta investigación se realizó la caracterización del material del mismo modo el análisis de las propiedades de rigidez, fluidez y estabilidad. Se elaboraron muestras con adiciones de 1%,2%,4% y 8% de caucho y cuero como aditivos modificadores. Posterior a ello se establecieron las siguientes combinaciones para el asfalto: 25% caucho y 75% cuero; 100% caucho y 0% cuero. Luego de la realización de los ensayos a la mezcla asfáltica se obtuvo la proporción optima que garantiza el adecuado comportamiento de la mezcla asfáltica. Se llegó a concluir que Al incrementar el porcentaje de caucho militar se observó un

incremento en la rigidez incrementándose de esta forma el esfuerzo que soporta la mezcla. Así mismo un aumento en la estabilidad y flujo. Estos resultados nos permiten aseverar qué la adición de caucho y cuero de uso militar mejora las propiedades mecánicas de la carpeta asfáltica.

En el contexto nacional, Según Ibáñez (2015). En su investigación titulada "Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto: contribución para el tramo de la carretera Chilete – Cajamarca", Al encontrar deterioros en la carpeta asfáltica de la carretera Chilete – Cajamarca. Se propuso como objetivo mejorar las propiedades de la carpeta mediante el uso de asfalto PEN 120/150 combinado con polímero Elvaloy ® 4170 y ácido polifosfórico. Considerando el intemperismo y las cargas de servicio debido al volumen de tránsito vehicular que experimenta la carretera Chilete-Cajamarca, La investigación se inició con los ensayos de penetración y ablandamiento para caracterizar el asfalto convencional y el resultado mostró un PEN de 135mm y 44 °C; seguidamente se buscó encontrar la combinación ideal de dosis entre el betún y el polímero seleccionado, de modo que la mezcla exploratoria tuvó: 1.0%, 1.1%, 1.2%, 1.3%, 1.4%, 1.5% y 1.6%, en Todos los casos se incorporaron ácido polifosfórico al 0.08%; se realizó prueba de penetración en cada mezcla, y los resultados se compararon con los parámetros especificados en las normas. Se encontró que 1.3% del PEN fue de 92 mm, el cual excedió la especificación mínima especificada en el estándar nacional (90 mm); Posteriormente, esta decisión fue confirmada mediante datos obtenidos de pruebas físico- mecánicas; siendo a 64°C el reblandecimiento, 58 % de recuperación elástica torsional y extensómetro (88% 25 °C y 50% a 5 °C), ductilidad (150 mm), pérdida de masa por transferencia de calor 0,67% y aislamiento de asfalto luego de RTFO (conforme);comprobando así que el uso de esta mezcla puede mejorar el rendimiento del asfalto convencional.

Según Salcedo (2008) en su investigación titulada "Experiencia de modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS en Obra ", tuvo como objetivo mejorar las propiedades mecánicas de resistencia a las deformaciones causadas por factores de servicio y climáticos.

Se encontró que el punto de ablandamiento medio del bitumen modificado fue de 70°C, y del bitumen convencional PEN 60-70 fue de 50 °C. esta diferencia de 20°C indica que el punto de ablandamiento se ha incrementado en más de un 40%, lo que muestra que la mezcla asfáltica que utiliza asfalto modificado con polímero SBS tiene mayor resistencia a la deformación permanente o formación de surcos que la mezcla que utiliza asfalto convencional. La tasa de recuperación elástica por torsión promedio del asfalto modificado producido es del 80%, mientras que la tasa de recuperación elástica por torsión promedio del asfalto convencional PEN 60-70 comúnmente utilizado en esta área es del 8-13%. Esto indica que la mezcla de asfalto modificado con polímero SBS tiene un mejor rendimiento a la fatiga que la mezcla de asfalto convencional. en comparación con la preparación de asfalto convencional, el costo adicional de m^3 de asfalto de mezcla en caliente que contiene asfalto modificado con polímero SBS es de aproximadamente 30-40%. los expertos estiman que su uso en la preparación de mezclas de asfalto para pavimentación puede aumentar la vida útil de la carpeta asfáltica llegando a triplicarla.

Según Estrada (2017). En la investigación titulada “Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 Plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70 -28”. Esta investigación tuvo como propósito establecer el comportamiento de las mezclas asfálticas respecto a la resistencia a la deformación permanente y la resistencia a la fatiga, para ello se realizaron ensayos como: Hamburg Wheel Tracker para determinar la susceptibilidad a la deformación permanente o ahuellamiento y ensayos de fatiga de viga en flexión.

Se uso mezcla asfáltica PEN 85/100 Plus usado de parámetro de investigación, se analizó el comportamiento mecánico además del rendimiento de las dos mezclas de asfalto. Considerando que la zona de Cusco está acostumbrada a utilizar mezcla asfáltica tradicional y mezcla asfáltica PEN 85/100, se utilizó la mezcla asfáltica tradicional PEN 85/100 Plus como mezcla estándar, y una mezcla asfáltica modificada con polímero SBS PG 70 -28, clasificada según el nivel de rendimiento (PG) recomendado por el método Superpave para uso en climas fríos. Se pudo comprobar que el asfalto modificado con SBS PG 70 -28 mostró 3 244 490 ciclos a aplicaciones de carga, por otro lado, el asfalto PEN 85/100 Plus, presentó

186 223 ciclos o aplicaciones de carga, evidenciando mejoras en la resistencia a la fatiga por parte del asfalto modificado. Al modificar el asfalto con polímeros SBS PG 70 -28 se obtuvo un ligero incremento en el flujo 14.10 mm, respecto a 14.00mm del asfalto convencional.

Según Saavedra y Ypanaque (2018) En el estudio titulado “Influencia del polipropileno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto asfáltico por el método Marshall - 2018", el objetivo principal del trabajo fue determinar la influencia del polipropileno en las propiedades del asfalto PEN 60/70 tomando como referencia los procedimientos y especificaciones de las normas EG-2013 y EM-2016. Al comparar los resultados obtenidos, el flujo de la mezcla asfáltica modificada con polipropileno fue ligeramente inferior a la del asfáltico PEN 60/70, lo que demuestra que además de aportar elasticidad a la mezcla, también aporta rigidez contribuyendo a si a la disminución de la deformación permanente. También se determinó que la estabilidad de la mezcla asfáltica convencional fue de 789,00 kg, mientras que la estabilidad de la mezcla de polipropileno modificado con polímero fue de 1292,71 kg, una diferencia de 61,03%. En conclusión, la mezcla asfáltica modificada tiene la capacidad de resistir el desplazamiento y la deformación debido a cargas considerables y permanentes. Por lo tanto, agregar polímero de polipropileno a la mezcla asfáltica tradicional mejora significativamente sus propiedades físicas y mecánicas, reduciendo así las fallas comunes del pavimento flexible causadas por la influencia del clima y la carga del tráfico. Bases teóricas

Asfalto

Según Ninaya et al. (2006). El asfalto es un material clásico usado como aglutinante o impermeabilizante de color oscuro que a temperatura ambiente lo obtenemos en estado de sólido a semisólido y al elevar su temperatura permite la adherencia de los agregados durante la mezcla y brindándole otras propiedades ideales en la construcción de pavimentos asfálticos.

Recuperación elástica

Según Avellan (2007), en su investigación titulada " Asfaltos modificados con polímeros" señala que la recuperación elástica de un espécimen bituminoso se obtiene a partir de la tensión recobrada, luego de estirar considerablemente el espécimen de muestra (distancia, velocidad y temperatura normada)

El ensayo de recuperación elástica permite verificar si se ha añadido al asfalto un material que le proporcione una característica elastomérica significativa. No es necesario determinar ni el tipo ni la cantidad de material elastomérico añadido.

Ductilidad

Según el Manual de ensayo de materiales de MTC (2016). La ductilidad de un material bituminoso se mide por la distancia máxima de elongación antes de romperse, cuando los dos extremos de un espécimen son separados a velocidad y temperatura normada.

Propiedades mecánicas del Asfalto

Según Ninaya et al. (2006), el asfalto presenta un comportamiento de modo tal que su comportamiento de rigidez es función de la temperatura y el tiempo que se aplique la carga. A partir de ello podemos mencionar que al aumentar la temperatura su rigidez aumenta y al disminuir la temperatura su rigidez disminuye, además si el tiempo de duración de la carga es rápida su rigidez aumenta y si el tiempo de duración de la carga es lenta su rigidez disminuye.

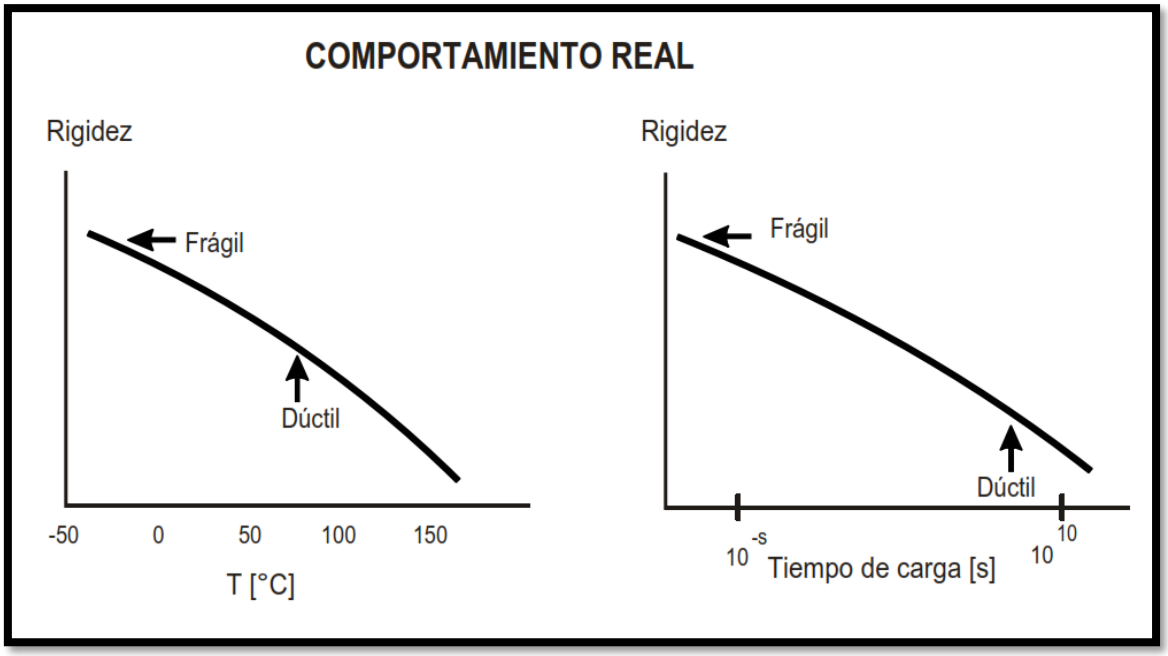


Figura 4. *Comportamiento real del asfalto.*
Fuente: Diseño moderno de pavimentos - Ninaya y Ordoñez, 2006, p. 48.

Producción del asfalto

"Si se tuviese en un depósito alcohol y agua y éste se llevase a calentar, a 72ºC aprox. El alcohol comenzaría a evaporarse. Cuando la temperatura alcance los 100ºC el agua se evaporaría. De manera similar se refina el petróleo" (Ninaya y Ordoñez, 2006 p. 44).

Según Ninaya & Ordóñez (2006), el asfalto de obtiene del refinado del petróleo en unidades de destilación primaria, el mecanismo de funcionamiento y obtención consiste que al variar e incrementar la temperatura del crudo se obtiene solventes, así como la gasolina, kerosene, diésel y así cada vez más densos de modo tal que luego de cierto tiempo se obtendrá el asfalto. Además, es necesario mencionar que al combinar el asfalto con algún solvente obtendremos los llamados asfaltos diluidos, quien a su vez al combinarlo con gasolina, querosene o diésel hablamos de asfalto de curado rápido (RC), medio (MC) y lento (SC) respectivamente. Sin embargo, si el asfalto se combina con agua y un agente emulsificante hablamos de asfaltos emulsificador.

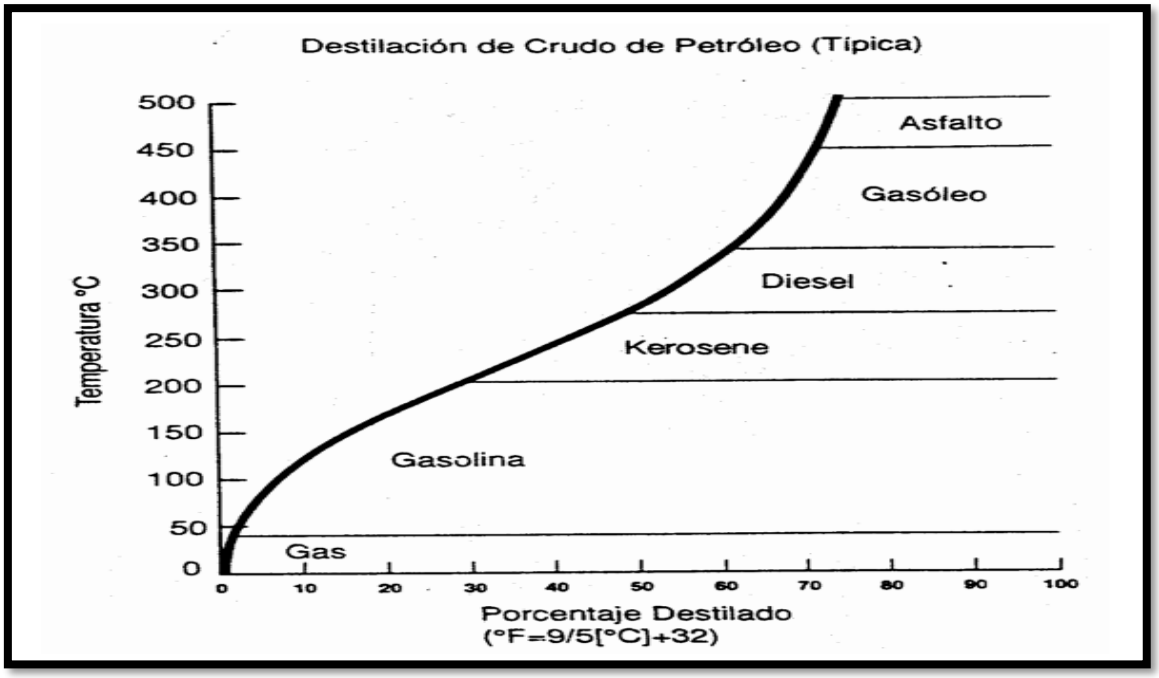


Figura 5. *Productos y temperaturas típicas de testilación.*
Fuente: Diseño moderno de pavimentos - Ninaya y Ordoñez, 2006, p. 45.

"Tanto en el caso de asfaltos diluidos como de asfaltos emulsificados, el objetivo es darle trabajabilidad al cemento asfáltico" (Ninaya y otros, 2006 pág. 45)

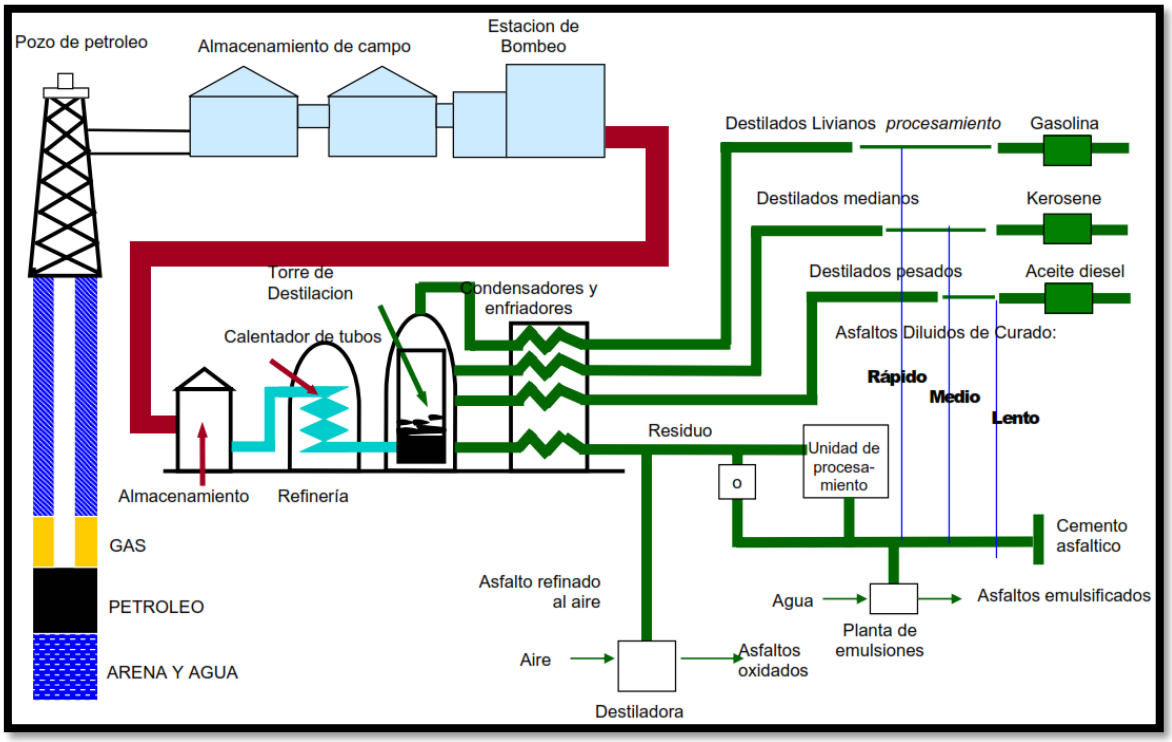


Figura 6. *Productos y temperaturas típicas de destilación*
Fuente: Diseño moderno de pavimentos - Ninaya y Ordoñez, 2006, p. 46.

Polímeros

“Los polímeros son materiales que se encuentran conformados de la unión de cadenas de moléculas que poseen pesos moleculares promedio que van de 10,000 a más de un millón de g/mol y que se componen al juntar varios meros o unidades por medio de un enlace químico para conformar moléculas enormes conocidas como macromoléculas”. (Askeland, et al, 2016)

Clasificación de los polímeros

Los polímeros se clasifican de acuerdo a su comportamiento tanto mecánico como su comportamiento térmico, en los siguientes:

Polímeros termoplásticos

“Están formados de cadenas largas que se producen al unir monómeros; por lo general, se comportan de manera plástica y dúctil. Las cadenas pueden o no estar ramificadas. Las cadenas individuales están entrelazadas. Entre los átomos de cadenas diferentes existen enlaces de Van Der Waals relativamente débiles. Esto se asemeja a algunos árboles agrupados. Los árboles pueden o no tener ramas, cada uno de ellos es independiente y no tiene contacto con ningún otro” concluye (Askeland, y otros, 2016 p. 573).

Una particularidad de los polímeros termoplásticos es que sus cadenas pueden desunirse al recibir esfuerzos de tensión, pueden ser cristalinos o amorfos y son procesados mediante el calentamiento a temperaturas elevadas, así también pueden ser reutilizados. (Askeland & Wright, 2016)

Los polímeros termoestables

“Están constituidos por cadenas largas (lineales o ramificadas) de moléculas fuertemente unidas por enlaces cruzados y entrelazados para formar estructuras tridimensionales de red. Los polímeros de red o termoestables se parecen a un manojo de hilos que están tejidos entre sí en varios sitios y no sólo enmarañados. Cada hilo puede tener otros hilos laterales unidos a él” refiere (Askeland, y otros, 2016 p. 573)

Los polímeros termoestables tienen la característica de poseer más fuerza, sin embargo, tienden a ser más frágiles que los termoplásticos, así también al someterlos a calentamiento tienden a descomponerse y no llegan a fundirse, y una desventaja es que es difícil poder llegar a reutilizarlos. (Askeland & Wright, 2016)

Los elastómeros

Son polímeros de procedencia natural o sintética que poseen una capacidad de deformación mayor a 200% (Askeland & wright, 2016)

Son altamente elásticos, esta característica los hace idóneos para su uso en distintas industrias, soportan estiramientos prolongados sin perder su forma original, estos polímeros se usan en forma de mezcla para que así puedan mejorar las propiedades físicas y mecánicas que tienen en su forma inicial.

Entre los polímeros de este grupo se pueden nombrar los siguientes:

- Polisobutileno
- Polibutadieno
- Polisopreno (caucho natural)
- Poliuretanos

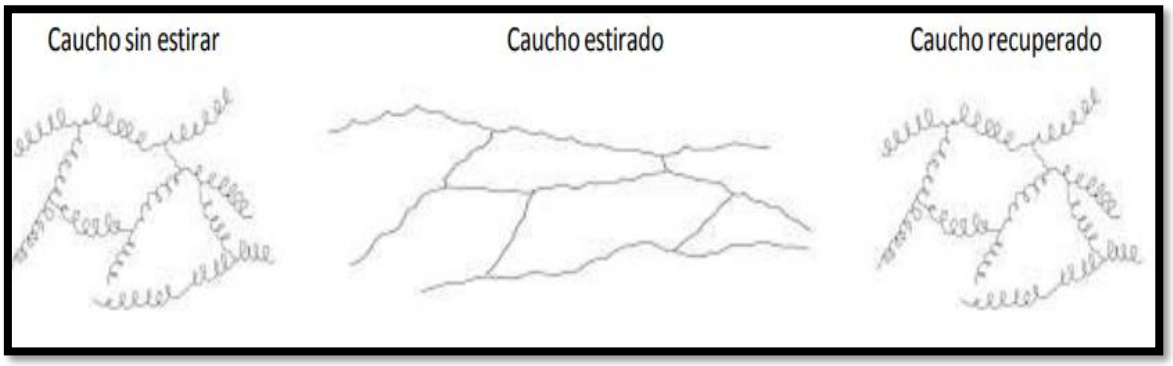


Figura 7. *Comportamiento de moléculas de elastómeros al ser tensionadas*
Fuente: Study, analisys and classification of thermoplastic elastomers - Juárez et al., 2012, p. 3.

Se puede observar en la (Fig.7) como un elastómero cuando es sometido a fuerzas de tracción sus moléculas tienden a alinearse y buscan una forma ordenada, mientras que al dejar de ejercer dicha fuerza vuelven a su forma natural con sus moléculas en desorden.

Los elastómeros termoplásticos

Son polímeros formados usualmente por la mezcla de (caucho y plástico) esta unión hace que reúnan las características de los termoplásticos en cuanto a su facilidad de procesamiento, y de los elastómeros en cuanto a su comportamiento elástico. (Askeland & Wright, 2016)

“La diferencia más resaltante que se puede apreciar entre los elastómeros reticulares (termoestables) y los elastómeros termoplásticos es el nivel de entrecruzamiento que se dan entre sus estructuras” según señala (Juárez, Balart, Ferrándiz & García, 2012)

El entrecruzamiento dentro de los polímeros, es un factor determinante de tipo estructural que contribuye a la capacidad elástica de dicho material. En polímeros termoestables los entrecruzamientos están conformados de “enlaces covalentes que se forman en el proceso de vulcanización”. Mientras que en los termoplásticos los entrecruzamientos se forman a partir de dipolos débiles o enlaces por puente de hidrogeno. (Juárez, Balart, Ferrándiz, & García, 2012)

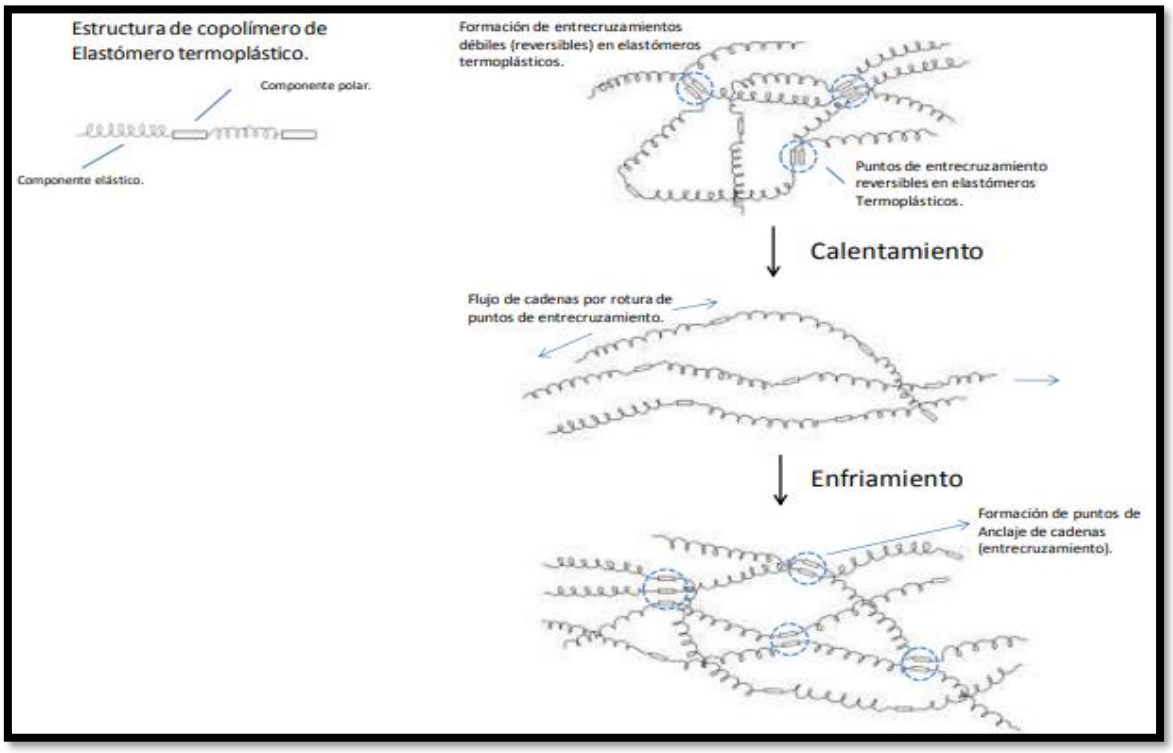


Figura 8*. Comportamiento de entrecruzamiento de polímeros termoplásticos*
Fuente: Study, analisys and classification of thermoplastic elastomers - Juárez et al., 2012, p. 5.

Los elastómeros termoplásticos deben cumplir con las siguientes características:

- Son materiales que por su naturaleza plástica pueden ser recicladas con facilidad.
- Tienen la capacidad de retomar su estado original después de haber sido estirada de forma moderada.
- Se pueden procesar en forma de colada a temperaturas elevadas.

Clasificación de los elastómeros termoplásticos

Este tipo de polímeros se pueden clasificar en varias familias entre ellas tenemos:

- Estirénicos (SBCs o TPE-S)
- Olefínicos (TPOs o TPE-O)
- Vulcanizados termoplásticos (TPVs o TPE-V)
- Poliuretano termoplástico (TPUs o TPE-U)
- Copoliésteres (COPEs o TPE-E)
- Copoliamidas (COPAs o TPE-A)

Elastómeros termoplásticos estirénicos

Los elastómeros termoplásticos estirénicos (SBC: styrene butadiene copolymer) son copolimeros formados sobre la base de estireno y butadieno, que se usaron por vez primera como una alternativa para reemplazar a los cauchos termoestables según señala (Juárez, Balart, Ferrándiz, & García, 2012)

Entre sus principales características se tienen:

- Compresión a temperatura ambiente.
- Alta Resistencia a la rotura.
- Translúcida.
- Alta capacidad elástica.
- Antideslizante.

- Niveles bajos de dureza.

Elastómeros termoplásticos olefínicos (TPOS o TPE-O)

Los elastómeros termoplásticos olefínicos as poliolefinas termoplásticas (TPO o TPE - O) son mezclas formadas de PP con caucho, principalmente de caucho etileno-propileno (EPR: styrene - propylene rubber).

Entre sus principales características se tienen:

- Optima apariencia superficial.
- Alta capacidad elástica.
- Carece de plastificante.
- Alta Resistencia a la rotura.
- Optima compatibilidad con la pintura.

Elastómeros termoplásticos poliuretanos (TPUS o TPE-U)

Los elastómeros termoplásticos poliuretanos (TPUs o TPE-U) son polímeros obtenidos de forma artificial por reacción de diisocianatos con polioles (reacción de adición a dobles enlaces), este tipo de polímeros mediante la gran variedad de combinaciones que pueden generarse, hacen que posea muchas aplicaciones en la industria. Tales como:

- Elaboración de textiles.
- Fabricación de plantas de zapatillas.
- Modelamiento de partes automotrices.
- Aditivos en el sector construcción.

III. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y diseño de investigación

Método de investigación

La metodología que se usó en el trabajo es el método hipotético deductivo debido a que consideramos como punto de partida la hipótesis que indica que la adición del poliuretano termoplástico mejora las propiedades de deformación elástica y se busca verificar la veracidad de la misma. (Rodríguez y otros, 2017).

Enfoque de Investigación

El trabajo que se presenta a continuación es de enfoque cuantitativo debido a que la hipótesis se verifica mediante los datos obtenidos a partir de la experimentación (Borja, 2016).

Tipo de Investigación

Es de tipo aplicada debido a que se usan normas y procesos sistemáticos a través de los cuales se busca cumplir los objetivos y dar solución a los problemas planteados (Borja, 2016).

Nivel de Investigación

El nivel es correlacional debido a que se busca determinar cómo las variables se relacionan; porcentaje de adición de poliuretano termoplástico y su efecto en las propiedades de deformación elástica de asfaltos. (Hernández y otros, 2010)

Diseño de Investigación

La presente tesis se desarrolla mediante un diseño cuasi experimental debido a que se manipula de forma intensional VI (poliuretano termoplástico) en los porcentajes especificados, para medir el efecto en la VD (propiedades de deformación elástica del asfalto). (Hernández y otros, 2010)

3.2 Variables y operacionalización

- **Variable Independiente**

  - ✓ Poliuretano Termoplástico

- **Variable Dependiente**

  - ✓ Propiedades de deformación elástica (ductilidad, recuperación elástica y fluencia).

Tabla 1. *Operacionalización de variables*

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA DE MEDICIÓN
V1: Poliuretano Termoplástico	El poliuretano termoplástico (TPU) es un elastómero que tiene como característica principal su alta flexibilidad y durabilidad	El poliuretano termoplástico es sometido a ensayos de caracterización granulométrica, para posteriormente ser añadidos a la mezcla asfáltica en dosificaciones porcentuales de masa.	Granulometría	• Distribución en mm de partículas de agregados • Distribución en mm de partículas de TPU • Porcentaje de retenidos y pasantes	• Razón
			1% 5% 10%	• Contenido en gramos de poliuretano como parte de la mezcla (poliuretano termoplástico – asfalto)	
V2: Propiedades	La ductilidad, recuperación elástica y fluencia son propiedades que definen la deformación elástica de asfaltos que	Las propiedades de deformación elástica se analizan mediante los ensayos de ductilidad (tipo A y tipo B) y la fluencia por el	• Ductilidad	• Máxima longitud en cm que se tracciona hasta la rotura.	
			• Recuperación elástica	• Variación porcentual de longitudes	

de Deformación elástica	se entiende como la tendencia de recuperación de su forma luego que dejen de actuar sobre él cargas externas.	método Marshall.		iniciales y finales	• Razón
			• Fluencia	• máxima resistencia a la deformación a una constante de carga • medida de la máxima longitud deformada en mm durante el ensayo de estabilidad	

Nota: Fuente propia.

3.3 Población, muestra, muestreo, unidad de análisis

3.3.1 Población

Para Behar, (2008) refiere que: “son pocas las ocasiones en la cuales se puede tener una población medible por lo que seleccionaremos un subgrupo que tenga similares características a la población” (p.51).

En esta investigación se eligió como población a un conjunto de asfaltos de alta consistencia de la refinería la pampilla usados en Huancayo, para los ensayos de ductilidad y recuperación elástica, en cambio para el ensayo Marshall el cual va determinar la fluencia se tomó como población un conjunto de especímenes.

3.3.2 Muestra

Como señala de Behar, (2008) “la muestra es un grupo de elementos tomados de la población que debe tener similares características que esta” (p.51). La muestra en este estudio fue de 54 especímenes.

3.3.3 Muestreo

Como señala de Behar, (2008) “en el muestreo intencionado el investigador selecciona como muestra los elementos que a su juicio son representativos” (p.53). Para esta investigación se recurrió a la técnica de muestreo intencionado en la que se consideró parámetros de acuerdo a investigaciones previas.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

3.4.1 Técnicas, instrumentos y fuentes de recolección de datos, validez y confiabilidad

La investigación se orienta en analizar los datos obtenidos en laboratorio de los ensayos de ductilidad, recuperación elástica del asfalto y fluencia de la mezcla asfáltica validados por los ensayos estipulados en el manual de ensayo de materiales del Ministerio de Transportes y Comunicaciones MTC, los cuales son nombrados a continuación:

- MTC E204 Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos.
- MTC E304 Ductilidad de los materiales bituminosos.
- MTC E504 Resistencia de mezclas bituminosas empleando el aparato Marshall.
- MTC E 301 muestreo de materiales bituminosos.
- MTC E 501 toma de muestras de mezclas asfálticas para pavimentos.

3.4.2 Instrumentos de recolección de datos

Los datos recopilados de los ensayos fueron sistematizados mediante formatos y fichas certificadas por el laboratorio.

3.5 Procedimientos

Para la presente investigación se realizó un procedimiento ordenado según los objetivos planteados para la recolección de datos, se tomará en cuenta las siguientes normas: norma INV E-702,

Para la realización de la investigación se tuvo como primer paso el ensayo de ductilidad al asfalto PEN 60-70 virgen, posterior a ello se llevó al mismo ensayo el asfalto adicionando el poliuretano termoplástico en cantidades de 1%.,5%. y 10%.

Ensayo de Ductilidad

Este ensayo buscó determinar la ductilidad del cemento asfaltico PEN 60-70 de alta consistencia.

El procedimiento se siguió conforme lo señala el Manual de ensayo de materiales (MTC), en primer lugar se realizó la limpieza de los moldes, luego se untó con un agente desmoldante para que la muestra de cemento asfaltico no se adhiera al molde y en el proceso de desmoldar en el ensayo pueda salir con facilidad y no altere la muestra, se extrajo la muestra con sumo cuidado de no mezclarla con ningún agente que pueda variar sus propiedades, se colocó en el horno a una temperatura que lo mantuvo fluido para posterior a ello verter el asfalto en el molde, se vertió al molde para luego enrazarlo, se dejó reposar por un tiempo de media hora aproximadamente a temperatura ambiente, un vez enfriado se llevó al baño María a una temperatura de 25°C por un tiempo de media hora, luego se extrajo el molde con la muestra para enrazarlo a nivel del molde, teniendo enrazada la muestra se desmoldó con sumo cuidado para llevarlo al Ductilometro, se lecturó el tiempo y longitud máxima alcanzada, el ensayo terminó cuando la muestra llegó a romperse.

Figura 9. Muestra de asfalto PEN 60-70 llevado al horno.
Fuente: Propia.

En la figura 9 se observa el asfalto virgen PEN 60-70 extraído y llevado al horno a una temperatura de 135°C, para que el asfalto llegue a una consistencia fluida para ser vertido a los moldes para el ensayo de ductilidad.

Figura 10. *Asfalto PEN 60-70 vertido en el molde de Ductilidad.*
Fuente: Propia.

En la figura 10 se muestra el vertido del asfalto PEN 60-70 virgen al molde de ductilidad, para que luego sea enrasado y quede a nivel del molde.

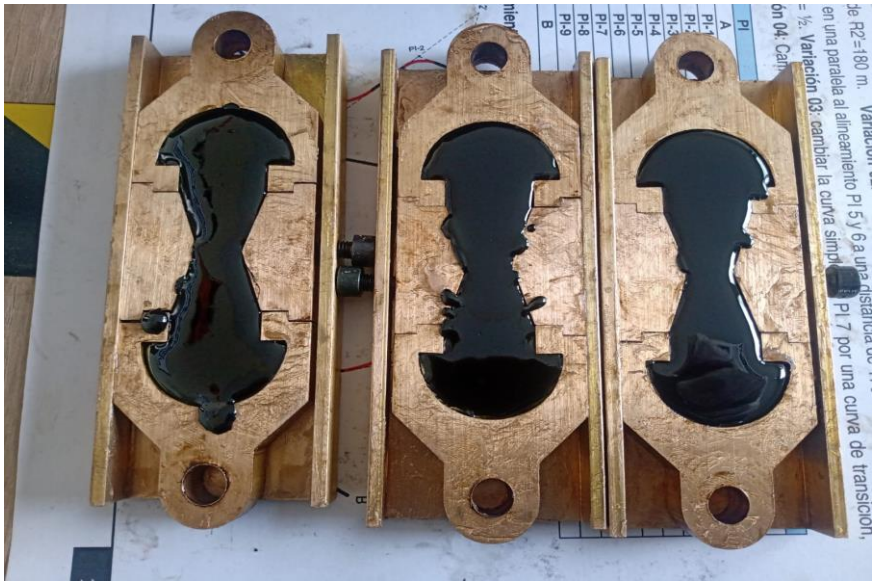


Figura 11. *Tres moldes de asfalto PEN 60-70 para el ensayo de ductilidad.*
Fuente: Propia.

En la figura 11 se muestra los tres moldes de ensayo con el asfalto PEN 60-70 para el ensayo de ductilidad a una temperatura de 25°C.

Figura 12. *Enrasado de los moldes.*
Fuente: Propia.

En la figura 12 se muestra el enrasado de los tres moldes una vez llegado a temperatura de 25°C después del baño maría, este enrasado se realizó con una espátula calentada en una cocina eléctrica.

Figura 13. Muestras colocadas en el ductilómetro
Fuente: Propia.

En la figura 13 se muestra la colocación de las muestras ya enrasadas llevadas al ductilómetro para ser ensayadas a temperatura que se muestra en la figura que es de 25°C.

Figura 14. *Muestras ensayadas en el ductilómetro*
Fuente: Propia.

En la figura 14 se muestra el ensayo de ductilidad con tres muestras de asfalto PEN 60-70 virgen.

Recuperación elástica

Se realizó la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 virgen, para observar su comportamiento para luego adicionar el poliuretano termoplástico en las mismas proporciones que el ensayo anterior.

El objetivo fue determinar la recuperación elástica de la muestra luego de ser cortada durante el ensayo.

El procedimiento se siguió conforme lo señala el Manuel de ensayo de materiales (MTC), se extrajo la muestra de asfalto PEN 60-70 para llevarla al horno a una temperatura de 135° C hasta obtener una consistencia fluida, se llevó al molde vertiendo de un lado hacia el otro para evitar la formación de burbujas de aire en la probeta, se vertió el asfalto hasta que sobrepasó el molde par luego enrazarla, se colocó a baño María a una temperatura de 25°C por un tiempo de media hora, retiró la probeta para ser enrazada con una espátula caliente, a continuación se colocaron las muestras en el ductilómetro, se procedió con el ensayo de recuperación elástica estirando la muestra hasta una longitud de 20cm, se dejó reposar por 5 minutos para luego ser cortada por una tijera en el mismo centro, se dejó que permanezca por un tiempo de 60 minutos.

Figura 15. *Muestra en el horno.*
Fuente: Propia.

En la figura 15 se muestra el asfalto PEN 60-70 calentando en el horno eléctrico hasta que llegó a una consistencia fluida para su vertido en los moldes.

Figura 16. *Vertido de la muestra de asfalto al molde*
Fuente: Propia.

En la figura 16 se muestra el llenado en el molde de recuperación elástica, la muestra de asfalto fue llenada de un lado hacia el otro para que no se formen burbujas al interior del molde.

Figura 17. *Muestras sumergidas en baño maría*.
Fuente: Propia.

En la figura 17 se muestra las probetas que se llevaron a sumergir en baño maría por un tiempo de media hora a una temperatura de 25°C.

Figura 18. *Enrasado del molde.*
Fuente: Propia.

En la figura 18 se muestra el enrasado del molde, luego del baño maría, se calentó la espátula para enrasar las tres muestras, sosteniendo el molde con firmeza para evitar deslizamientos.

Figura 19. *Desmoldado de la muestra*
Fuente: Propia.

En la figura 19 se muestra una de las tres probetas desmoldadas con sumo cuidado para que sufra deformaciones, esta muestra se desmoldó deslizando la base y luego los componentes laterales para ser llevada luego al ductilómetro.

Figura 20. Ensayo de recuperación elástica y probetas estiradas hasta 20cm.
Fuente: Propia.

En la figura 20 se muestra el ensayo de ductilidad hasta llegar a los 20 cm según el método usado en el presente ensayo de recuperación elástica. Posterior a ello se dejo a la muestra durante 60 min para que logre recuperar su longitud inicial y verificar así el porcentaje de recuperación elástica alcanzada en cada acaso.

Ensayo Marshall

Se realizo el diseño de la mezcla asfáltica en caliente para elaborar las briquetas y realizar el ensayo de Marshall

En el presente ensayo se determinó el óptimo contenido de asfalto para la mezcla asfáltica en caliente MAC 2 procediendo de acuerdo a lo establecido.

Se realizo el análisis granulométrico de agregados tamizando la muestra. Conociendo los valores porcentuales de los pasantes, se verificó que la granulometría se encuentre dentro de curvas superior e inferior usados como parámetros.

Cada probeta de ensayo fue de 1250g y fueron elaborados haciendo uso del cemento asfaltico PEN 60-70. Posterior a la granulometría se pesaron los agregados que se encuentran dentro de los parámetros solicitados y juntamente con el cemento asfaltico PEN 60-70 fueron llevados al horno hasta que alcancen temperaturas comprendidas entre 150°C y 160°C, luego se procedió a mezclar del ligante asfaltico con los agregados hasta homogenizarlo.

Procediendo con la compactación de la mezcla ya hecha a temperatura especificada, se sacó los accesorios del horno hacia el pedestal, donde se colocó el papel filtro en la base para evitar su adhesión, luego se coloca el molde y la mezcla con cuidado de no desperdiciar, una vez llenado la mezcla se achura a 25 golpes los cuales se da unos 15 golpes a los lados y 10 al centro con una varilla especificada por norma. Se voltea la provecha y se coloca de nuevo un papel filtro para compactarlo a 75 golpes en cada cara con pisón de carga normada, y se deja enfriar a temperatura ambiente.

Pasado un tiempo prudencial donde las probetas se dejaron a temperatura de ambiente, se procederá a desencofrar con una gata hidráulica, teniendo el orden establecido de las muestras de almacenado, mezclado y compactado. Se lleva al baño maría a una temperatura de 60°C durante 30 minutos, las muestras deben estar en orden para proceder colocarlas en la mordaza de Marshall. Se procede a la toma de datos de la prensa una vez colocado con el dial para ver

su deformación, el presente ensayo nos permite conocer el flujo.

Finalmente se analizaron los resultados obtenidos en laboratorio, y sus efectos en las propiedades de deformación elástica.

Figura 21*. Granulometría de los agregados*
Fuente: Propia.

En la figura 21 se muestra los tamices para la elaboración de la granulometría de agregados obtenidos de la planta chancadora de Matahuasi.

Figura 22. *Análisis Granulométrico*.
Fuente: Propia

En la figura 22 se muestra el análisis granulométrico para el agregado grueso de ½´, arena triturada y la arena zarandeada para posteriormente hallar la curva entre los límites.

Figura 23. *Pesado del agregado.*
Fuente: Propia.

En la figura 23 se muestra el pesado del agregado para el acondicionamiento y preparado de la briqueta, donde los agregados serán llevados al horno a una temperatura de 150°C aproximadamente.

Figura 24*. Acondicionamiento de los accesorios*
Fuente: Propia

En la figura 24 se muestra los accesorios en el horno siendo acondicionados a una temperatura de 150°C a 160°C por un tiempo de media hora, los accesorios son: el molde, la base y el cabezal.

Figura 25. *Mezcla del agregado y el asfalto*
Fuente: Propia

En la figura 25 se muestra la mezcla acondicionada, que contiene los agregados y asfalto, la mezcla debe estar a una temperatura de 160°C.

Figura 26*. Compactado de la mezcla*
Fuente: Propia.

En la figura 26 se presenta la mezcla vertida en el molde para luego ser compactado, esta compactación será de 75 golpes por cada cara, antes de ser compactado se pone un papel filtro para que la mezcla no llegue adherirse a la base.

Figura 27*. Desencofrado de las briquetas*
Fuente: Propia.

En la figura 27 se muestra la briqueta la cual se extrajo del molde con una gata hidráulica, se observa el papel filtro el cual se dejó e la base para evitar la adhesión.

Figura 28. Acondicionamientos de las muestras en baño maría
Fuente: Propia.

En la figura 28 se muestra el acondicionamiento de las briquetas en el baño maría por un tiempo de 30 minutos a una temperatura de 60°C.

Figura 29. *Ensayo Marshall*
Fuente: Propia

En la figura 29 se muestra la prensa Marshall ensayando la briqueta mostrada que se lectura en kilogramos siendo la otra lectura del dial.

3.1 Método de análisis de datos

Se determinó la evaluación y el análisis de datos mediante el uso de programas que facilitaron el procesamiento tales como:

- EXCEL. Programa para procesar datos
- SPSS. Programa para el análisis de datos estadísticos.

3.2 Aspectos éticos

En esta investigación se busca la veracidad de los resultados, respetando la propiedad intelectual, responsabilidad y ética. Los datos obtenidos en laboratorio son verídicos.

IV. RESULTADOS

4.1 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos en los ensayos de ductilidad, ensayo de recuperación elástica y por último el ensayo Marshall para ver la fluencia de las mezclas asfálticas. Se realizaron con adiciones de poliuretano termoplástico en proporciones de 1%, 5% y 10% al asfalto PEN 60-70, estas proporciones se dieron en relación al peso del asfalto y de la mezcla asfáltica.

Ensayo de ductilidad

Para este ensayo se tuvo que determinar cómo afecta la adición del poliuretano granulado a la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70, la norma INV E-702-13 describe el procedimiento para desarrollar el ensayo, este ensayo se realizó con una muestra virgen del asfalto PEN 60-70, luego se desarrolló con adiciones de 1%,5% y 10% de poliuretano granulado.

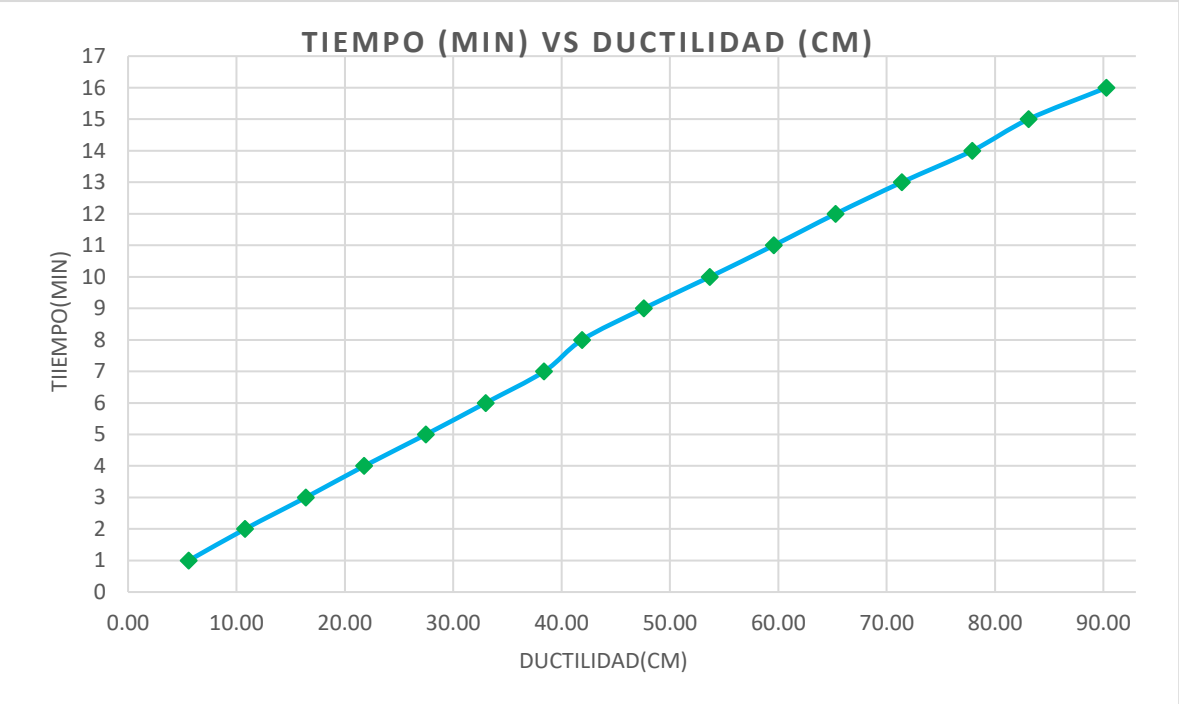


Figura 30. *Ductilidad asfalto PEN 60-70 virgen muestra1*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 30 se presenta la ductilidad del asfalto PEN 60-70 virgen de la primera muestra en la cual se aprecia una ductilidad de 91.20cm.

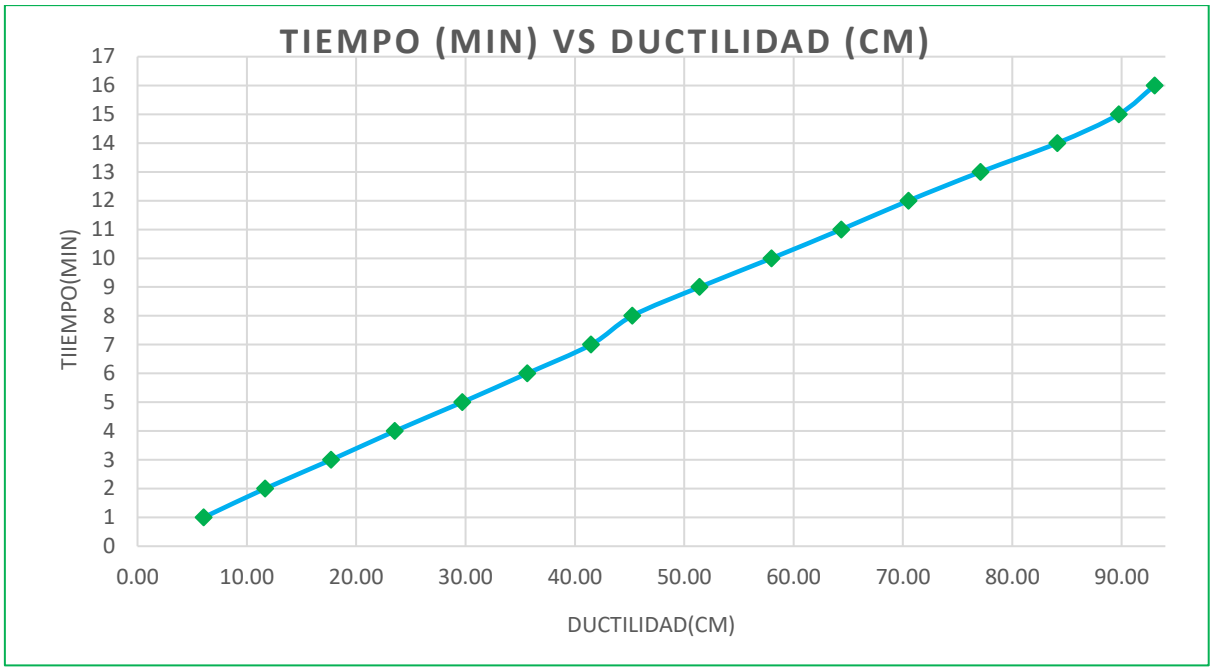


Figura 31. *Ductilidad asfalto PEN 60-70 virgen muestra 2.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 31 se presenta la ductilidad del asfalto PEN 60-70 virgen de la segunda muestra, obteniendo una ductilidad de 93.02cm.

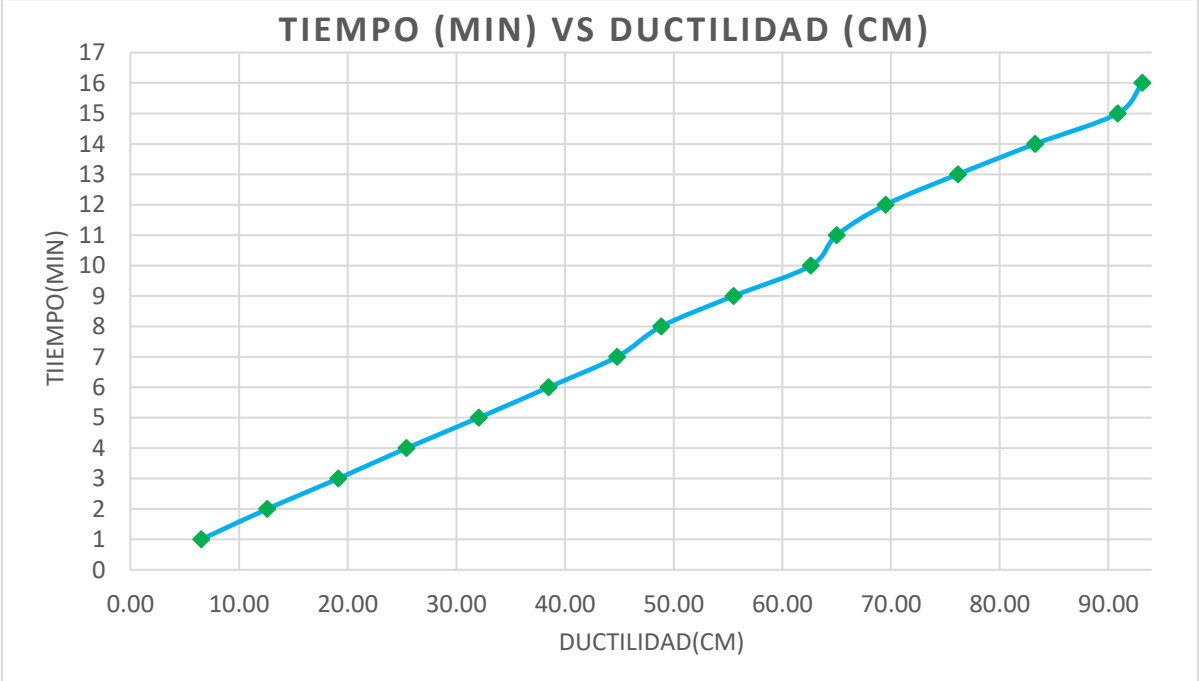


Figura 32. *Ductilidad asfalto PEN 60-70 virgen muestra 3.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 32 se presenta la ductilidad del asfalto PEN 60-70 virgen de la tercera muestra, obteniendo una ductilidad de 93.14cm.

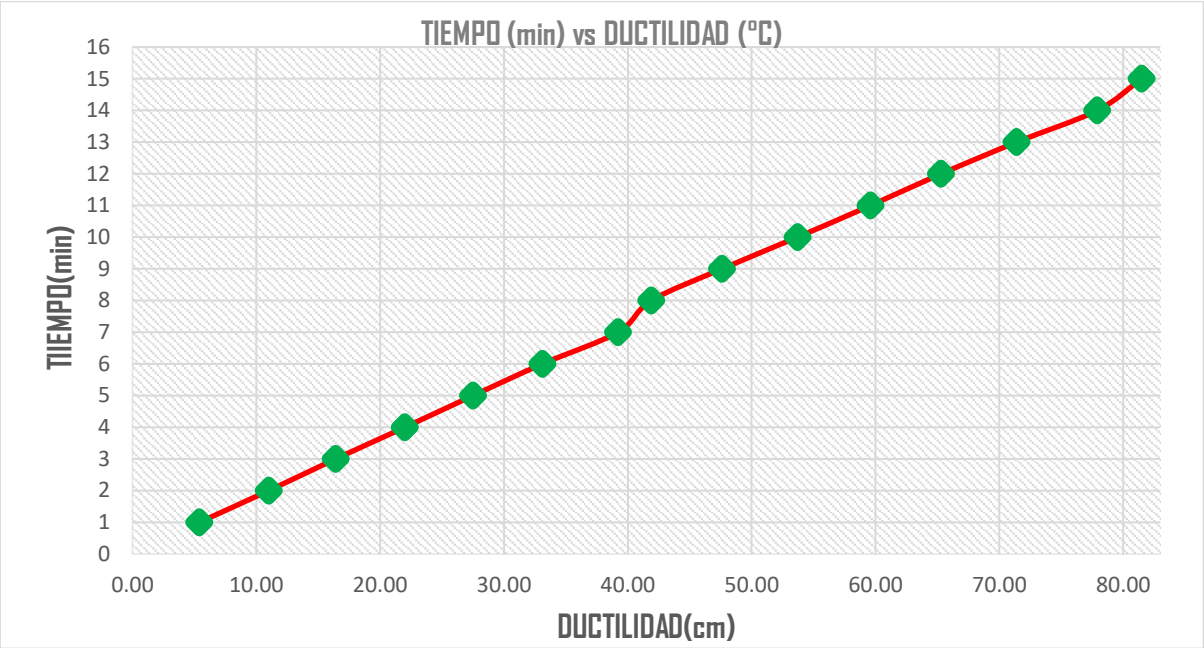


Figura 33. *Ductilidad del asfalto con adición del 1% del poliuretano muestra 1*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 33 se presenta la primera muestra del ensayo de ductilidad del asfalto PEN 60-70 con adición de 1% de poliuretano termoplástico la ductilidad obtenida fue 81.50cm.

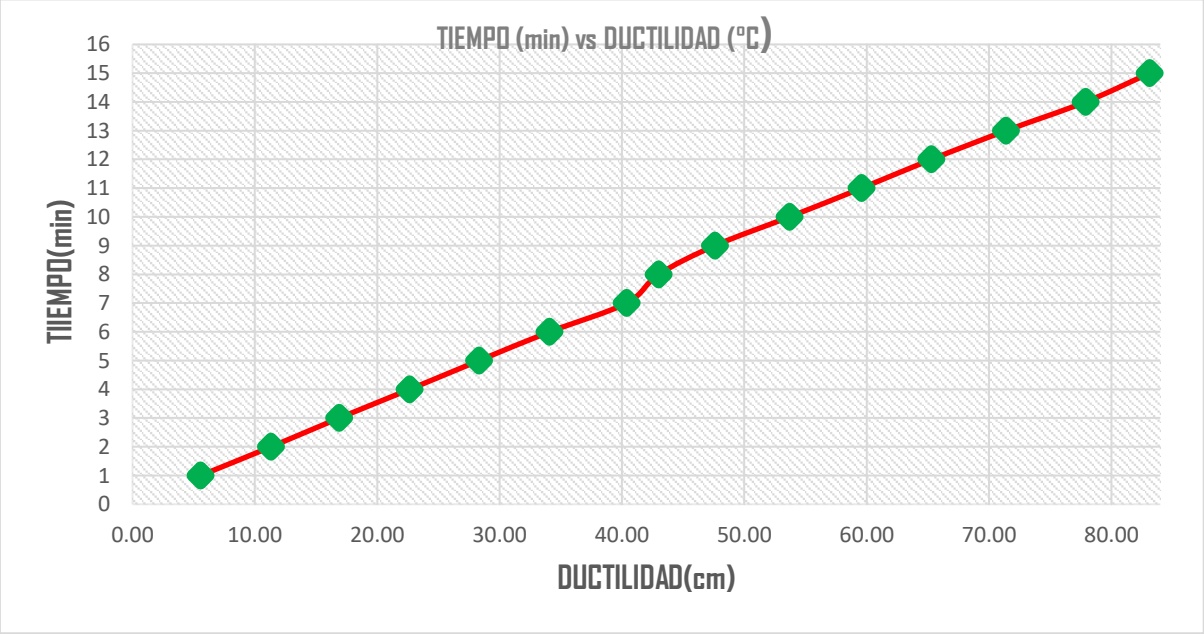


Figura 34. *Ductilidad del asfalto con adición del 1% del poliuretano muestra 2.*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 34 se presenta la ductilidad del asfalto PEN 60-70 con adición de 1% de poliuretano termoplástico la ductilidad obtenida fue 83. 13cm.

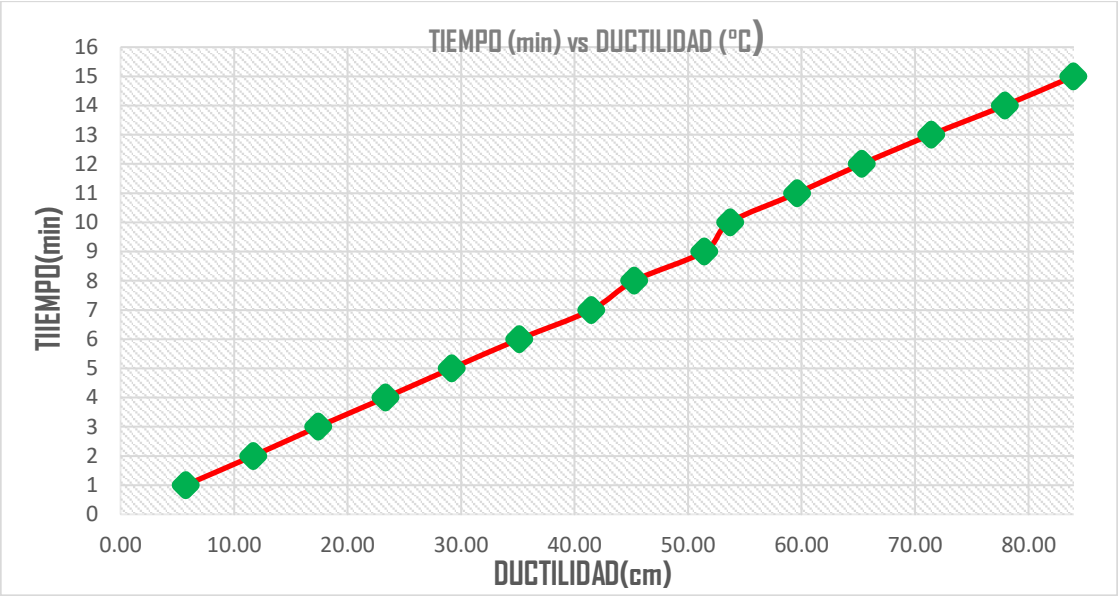


Figura 35. *Ductilidad del asfalto con adición del 1% del poliuretano muestra 3*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 35 se presenta la tercera muestra del ensayo de ductilidad del asfalto PEN 60-70 con adición de 1% de poliuretano termoplástico la ductilidad obtenida fue 83.95cm.

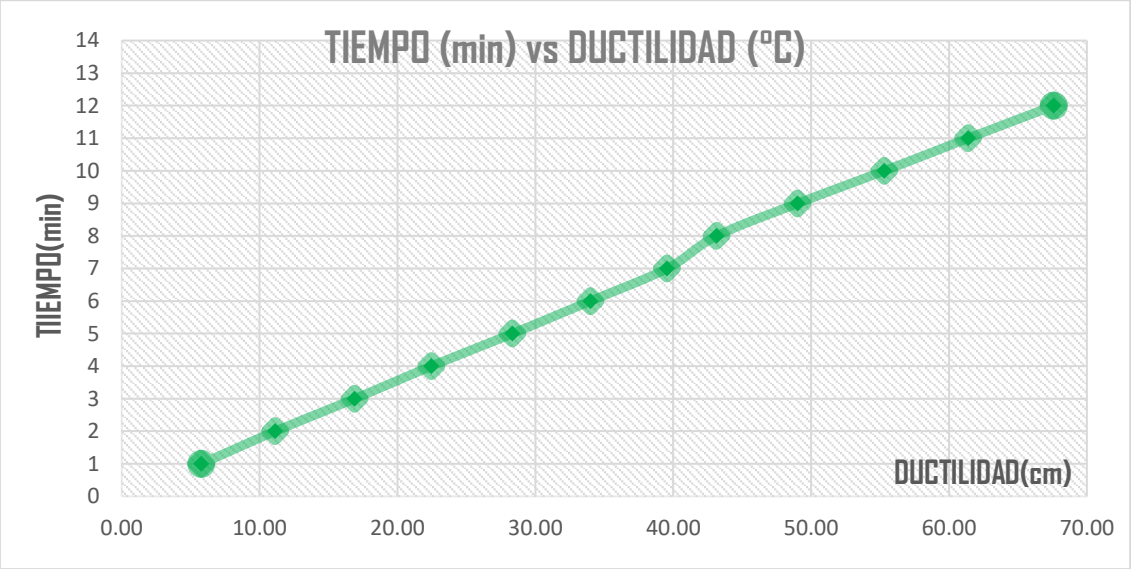


Figura 36*. Ductilidad del asfalto con adición del 5% del poliuretano muestra 1*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 36 se presenta la ductilidad de la primera muestra del asfalto PEN 60-70 con adición del 5% de poliuretano termoplástico, por lo que en comparación con el asfalto virgen se observa una disminución de la ductilidad, obteniendo una ductilidad de 67.60cm.

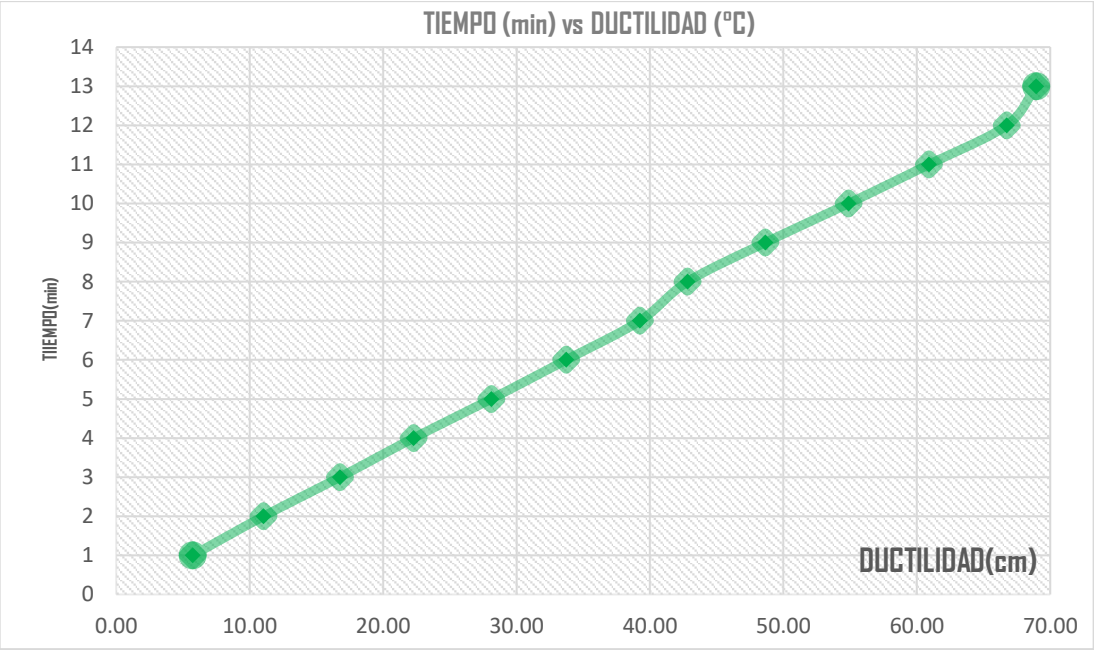


Figura 37. *Ductilidad del asfalto con adición del 5% del poliuretano muestra 2*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 37 se presenta la ductilidad de la segunda muestra del asfalto PEN 60-70 con adición del 5% de poliuretano termoplástico, igual a 68.95cm.

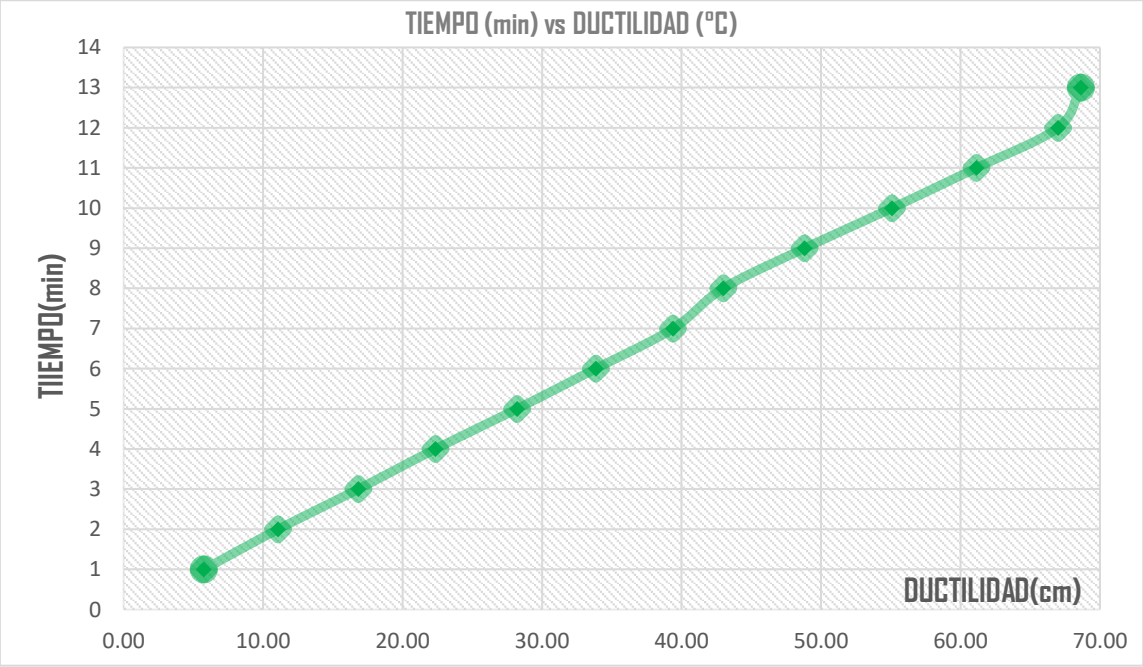


Figura 38. *Ductilidad del asfalto con adición del 5% del poliuretano muestra 3*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 38 se presenta la ductilidad de la tercera muestra del asfalto PEN 60-70 con adición de 5% de poliuretano termoplástico,en la que se obtuvo 68.63cm.

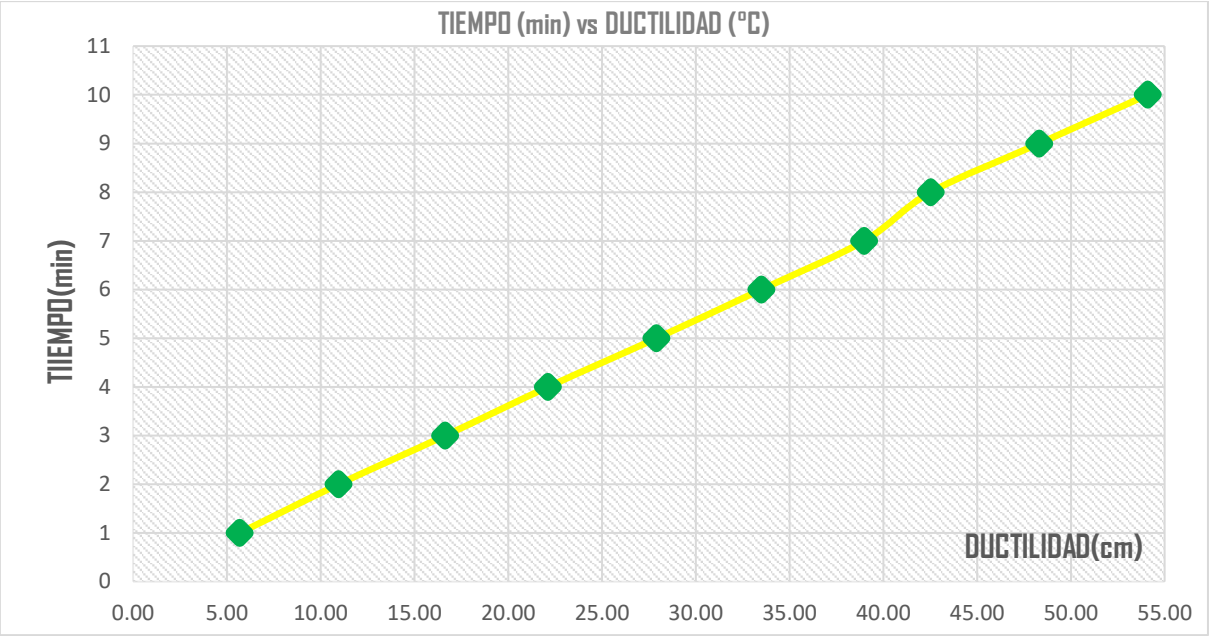


Figura 39. *Ductilidad del asfalto con adición del 10% del poliuretano muestra 1*

Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 39 se presenta la ductilidad del asfalto PEN 60-70 con adición del 10% de poliuretano termoplástico se aprecia que la ductilidad se redujo no solo en comparación con el asfalto virgen sino también con los demás porcentajes de adiciones, la ductilidad para esta muestra fue de 54.10cm.

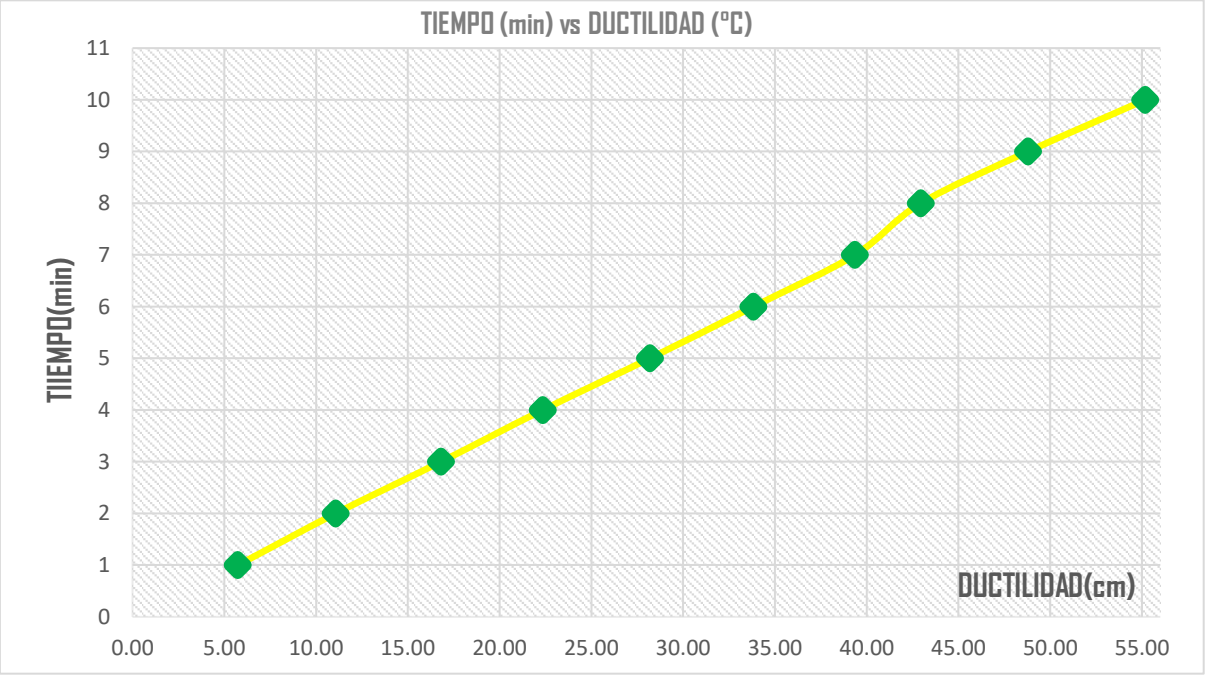


Figura 40. *Ductilidad del asfalto con adición del 10% del poliuretano muestra 2.*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 40 se presenta la ductilidad de la segunda muestra del asfalto PEN 60-70 con adición del 10% de poliuretano termoplástico, la ductilidad para esta muestra fue de 55.18cm.

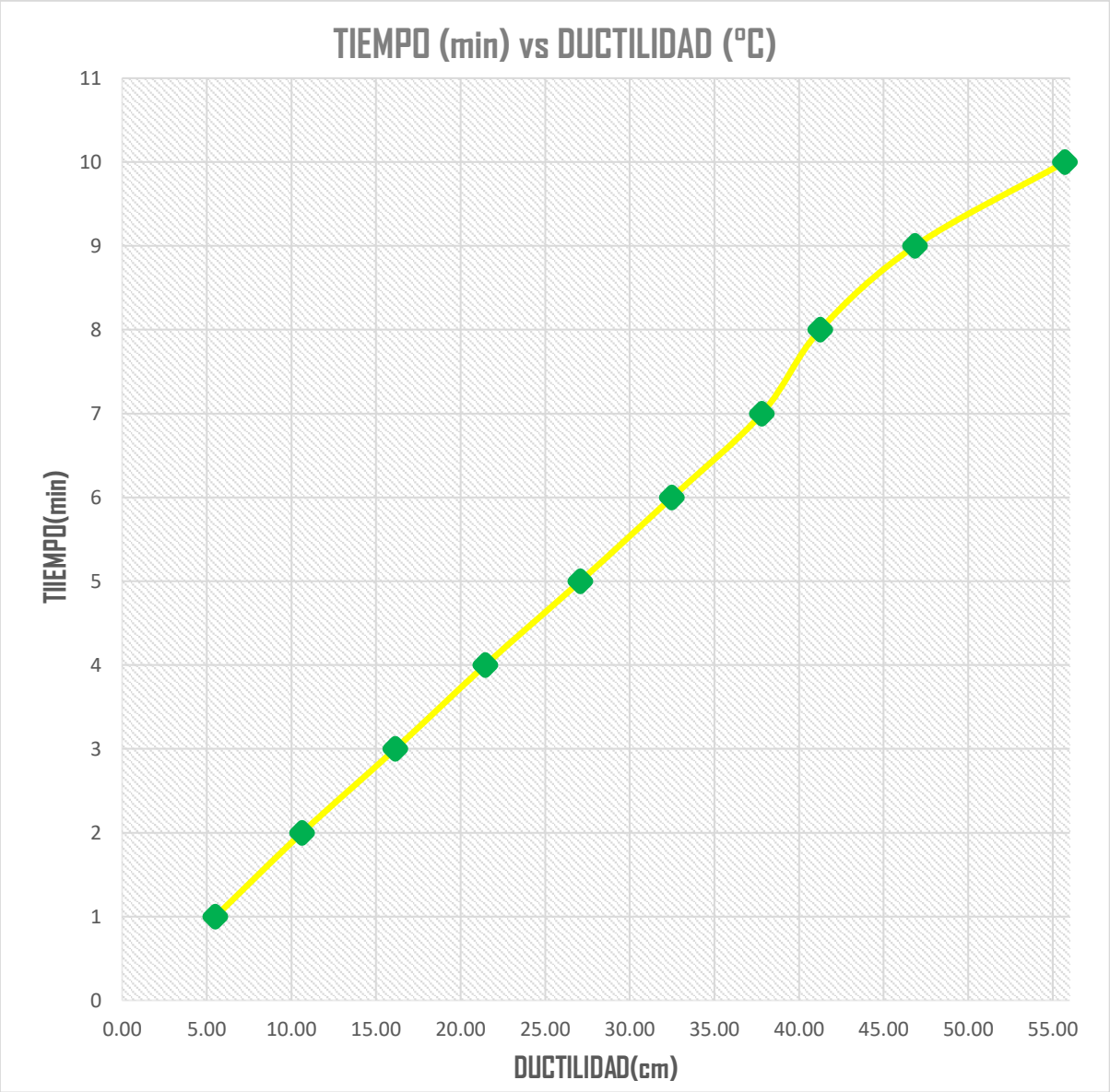


Figura 41. *Ductilidad del asfalto con adición del 10% del poliuretano muestra 3*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 41 se presenta la ductilidad de la tercera muestra del asfalto PEN 60-70 con adición del 10% de poliuretano termoplástico demostrando que la ductilidad se redujo no solo en comparación con el asfalto virgen sino también con los demás porcentajes de adiciones, la ductilidad para esta muestra fue de 55.72cm.

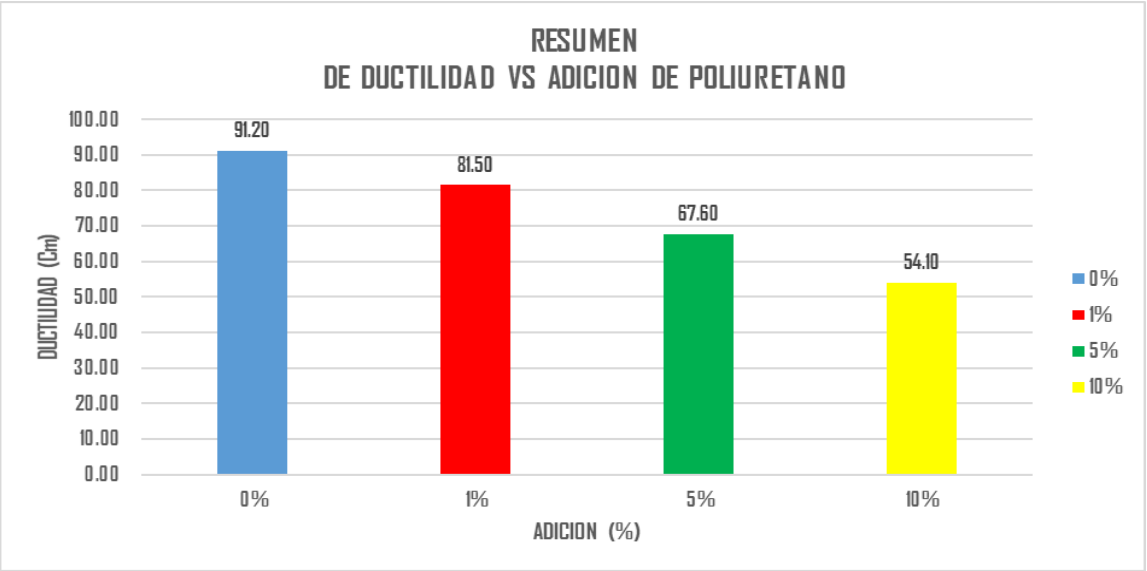


Figura 42. *Resumen de ductilidad vs adición de poliuretano*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 42 se puede apreciar el resumen de los resultados en promedio de los ensayos realizados los cuales se sometieron al ensayo de ductilidad, el primero muestra el asfalto virgen PEN 60-70 y los demás con adiciones de 1%, 5% y 10% de poliuretano termoplástico, se realizó el ensayo con un asfalto PEN 60-70 virgen en la que se obtuvo una ductilidad de 91.20cm, con la adición del poliuretano granulado se muestra que la ductilidad va disminuyendo a medida que el porcentaje de adición de poliuretano termoplástico se incrementa por lo que este aditivo afecto a las propiedades físicas del asfalto.

Ensayo de recuperación elástica

Para este ensayo se tuvo como objetivo determinar cómo afecta la adición del poliuretano termoplástico granulado a la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70, Para este ensayo se recurrió a la norma INV E-742-13 en la que se describe el procedimiento para desarrollar dicho ensayo, este análisis se realizó con una muestra virgen del asfalto PEN 60-70, luego se desarrolló con adiciones de 1%, 5% y 10% de poliuretano termoplástico granulado.

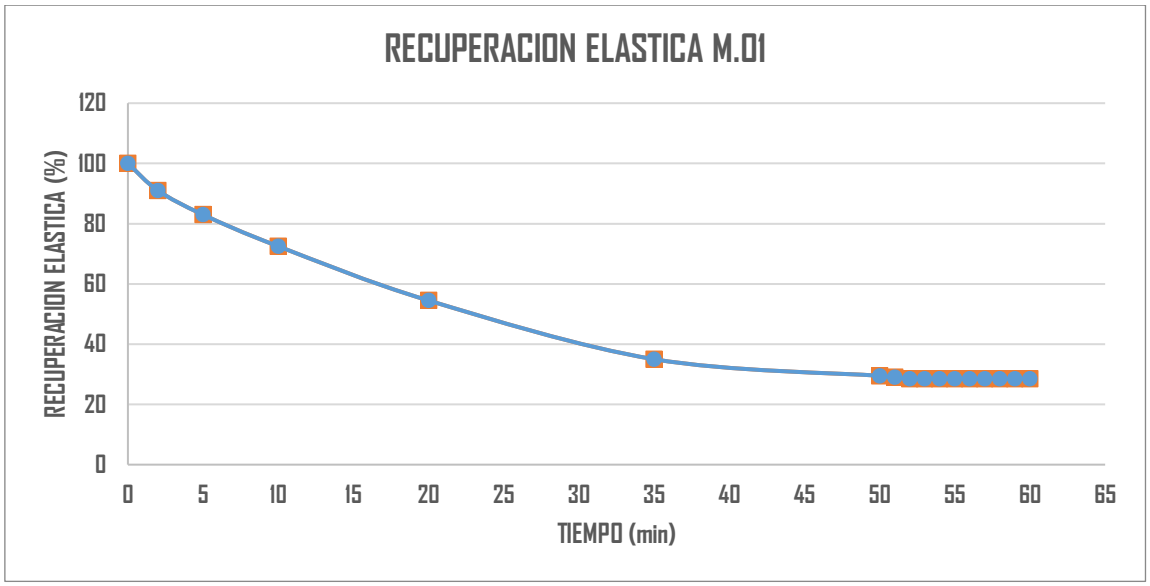


Figura 43. *Recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 muestra.*

Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 43 se presenta la recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70, los ensayos de ductilidad se realizaron con tres muestras, la recuperación elástica que se muestra corresponde a la primera muestra.

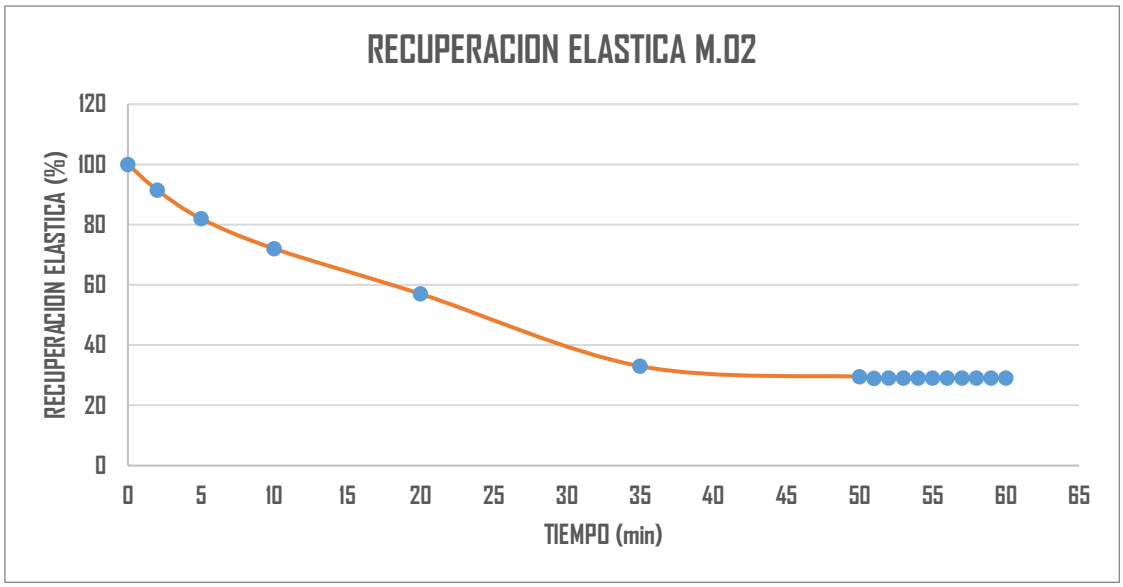


Figura 44. *Recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 muestra 2.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 44 se presenta la recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70, los ensayos de ductilidad se realizaron con tres muestras, la recuperación elástica que se muestra corresponde a la segunda muestra.

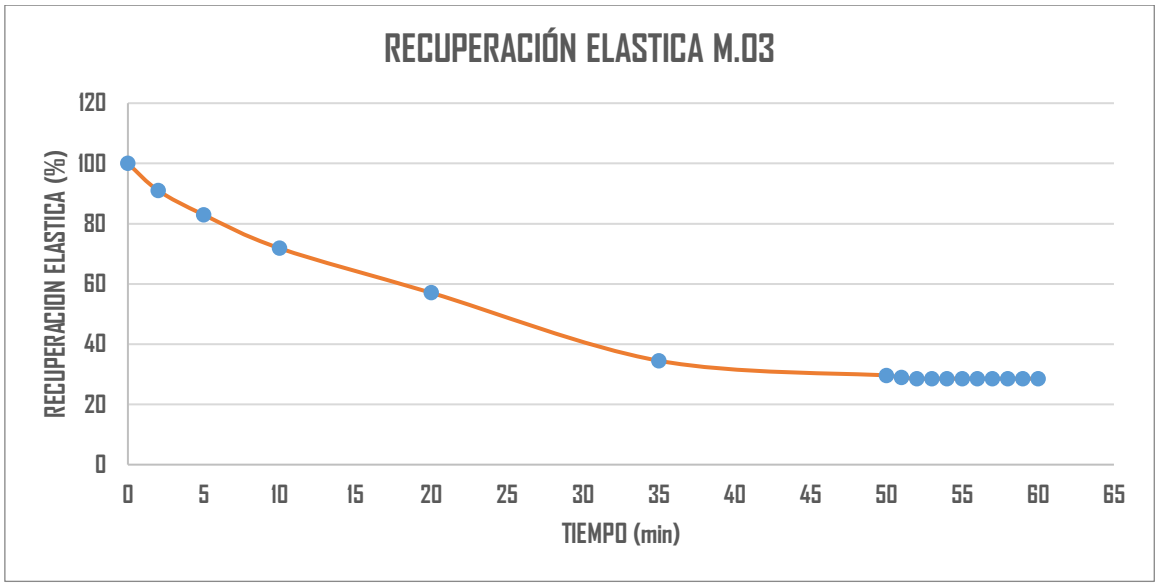


Figura 45. *Recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 muestra 3.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 45 se presenta la recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70, los ensayos de ductilidad se realizaron con tres muestras, la recuperación elástica que se muestra corresponde a la tercera muestra.

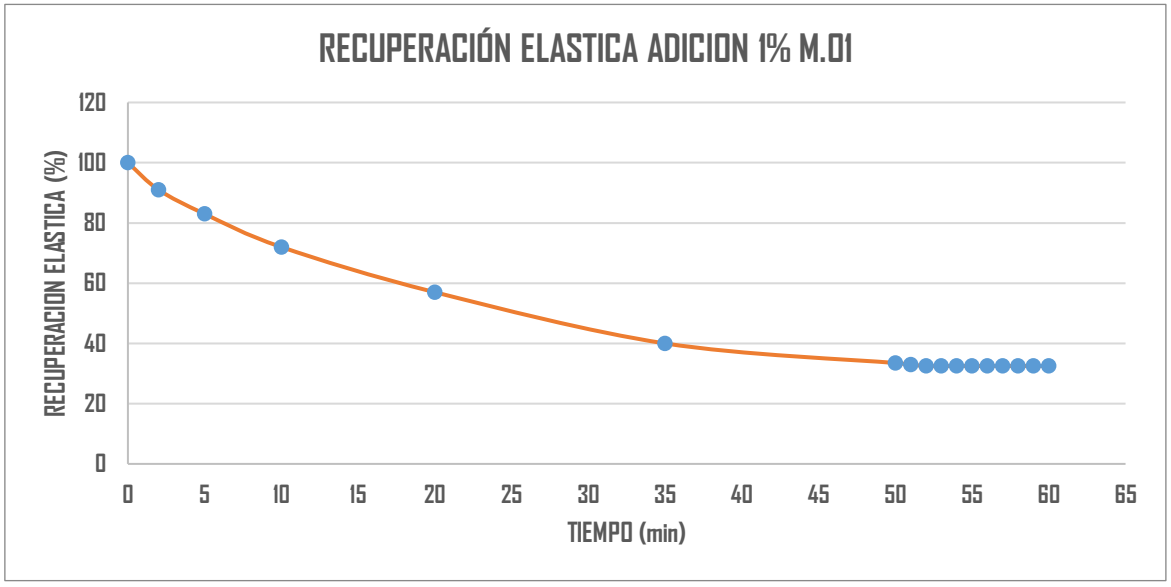


Figura 46. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 1% de poliuretano muestra.*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 46 se presenta la recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 con el 1% de adición de poliuretano, los ensayos se realizaron con tres muestras, la recuperación elástica que se muestra corresponde a la primera muestra.

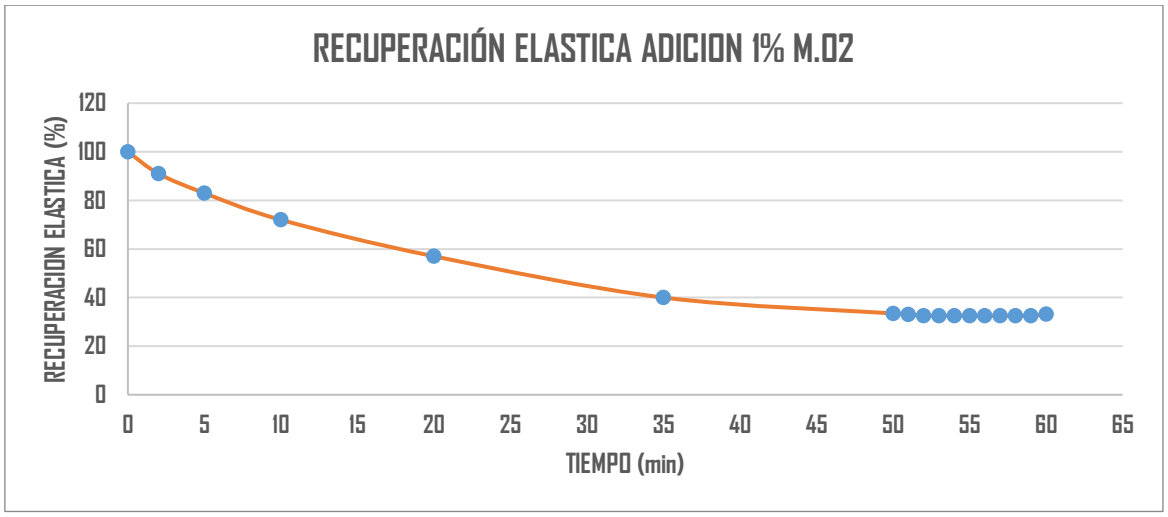


Figura 47. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 1% de poliuretano muestra 2.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 47 se presenta la recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 con el 1% de adición de poliuretano, los ensayos se realizaron con tres muestras, la recuperación elástica que se muestra corresponde a la segunda muestra.

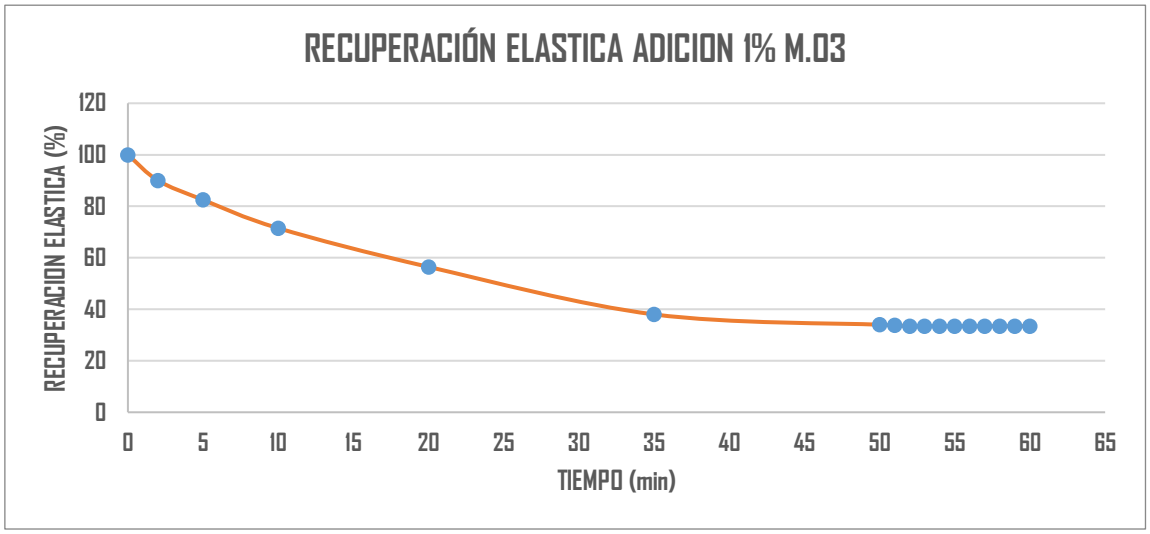


Figura 48*. Recuperación elástica del asfalto con adición del 1% de poliuretano muestra 3.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 48 se presenta la recuperación elástica del asfalto virgen PEN 60-70 con el 1% de adición de poliuretano, los ensayos de recuperación elástica se realizaron con tres muestras, la recuperación elástica que se muestra corresponde a la tercera muestra.

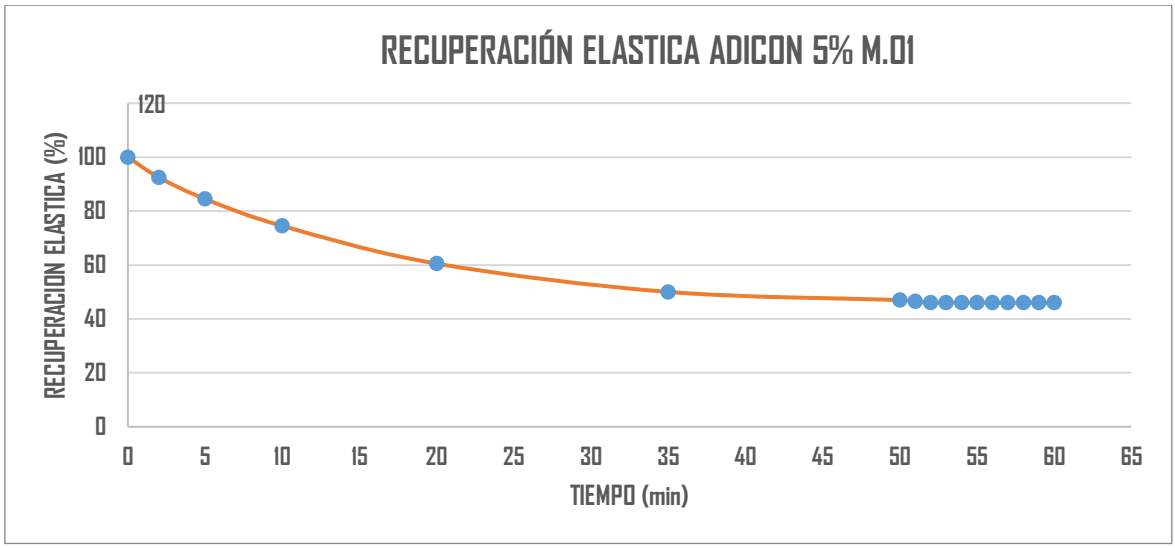


Figura 49. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 5% de poliuretano muestra 1.*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 49 se presenta la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 con adición del 5% de poliuretano termoplástico, el grafico muestra el ensayo correspondiente a la muestra 1.

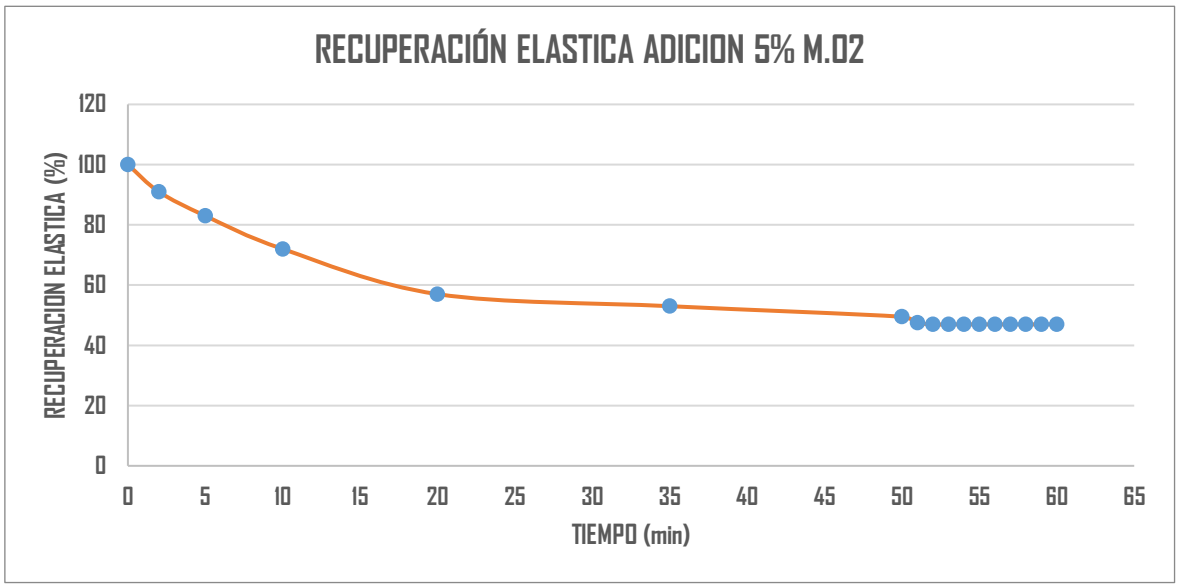


Figura 50. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 5% de poliuretano muestra 2.*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 50 se presenta la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 con adición del 5% de poliuretano termoplástico, el grafico muestra el ensayo correspondiente a la segunda muestra.

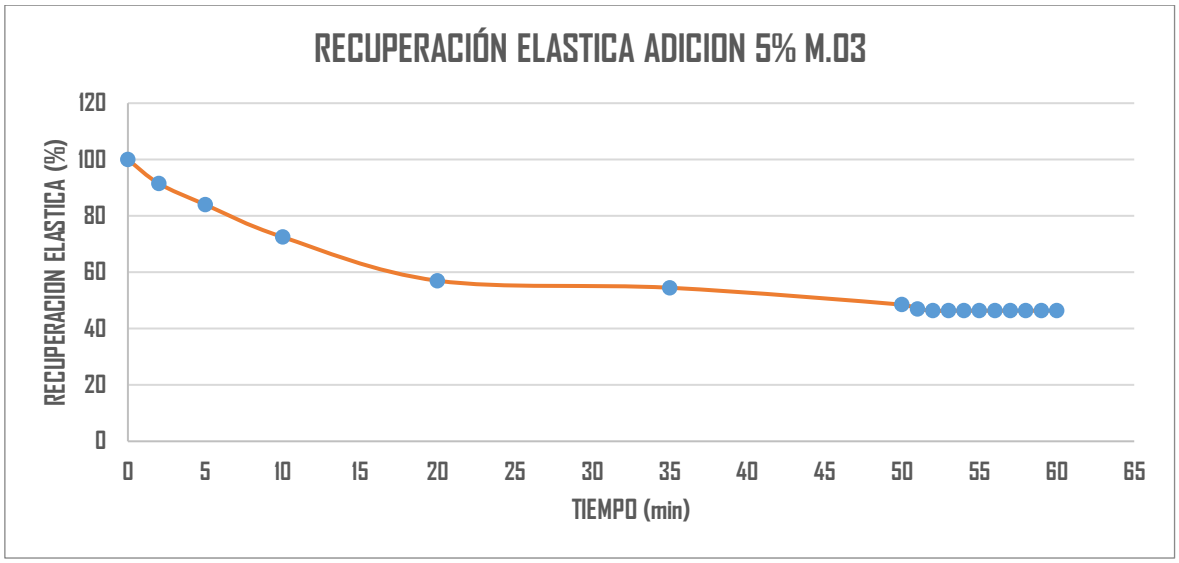


Figura 51. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 5% de poliuretano muestra 3.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 51 se presenta la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 con adición del 5% de poliuretano termoplástico, los ensayos de recuperación elástica se realizaron con tres muestras, el grafico muestra el ensayo de la tercera muestra.

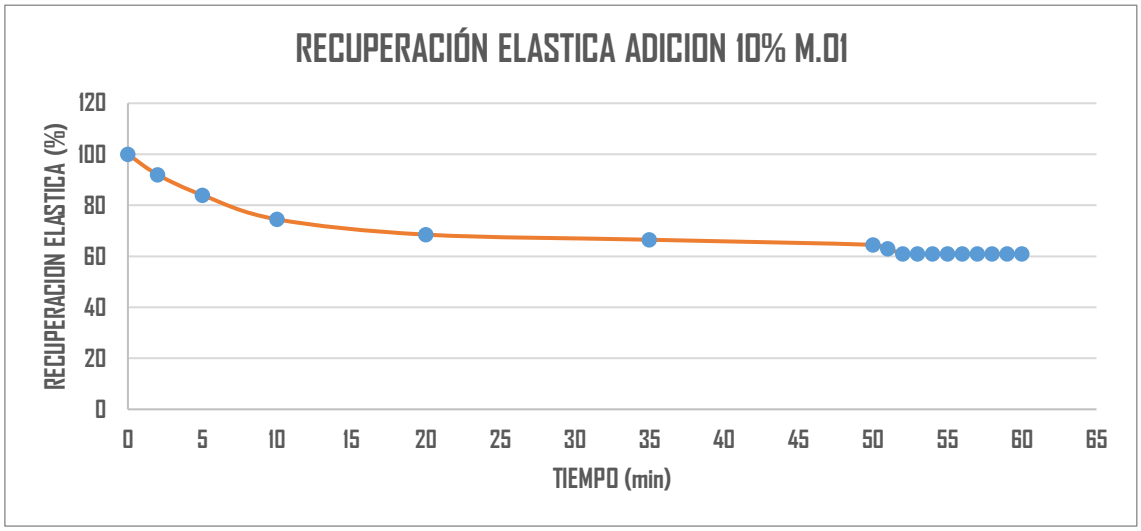


Figura 52. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 10% de poliuretano muestra 1.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 52 se presenta la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 con adición del 10% de poliuretano termoplástico, los ensayos de recuperación elástica se realizaron con tres muestras, el grafico presenta el ensayo de la muestra 1.

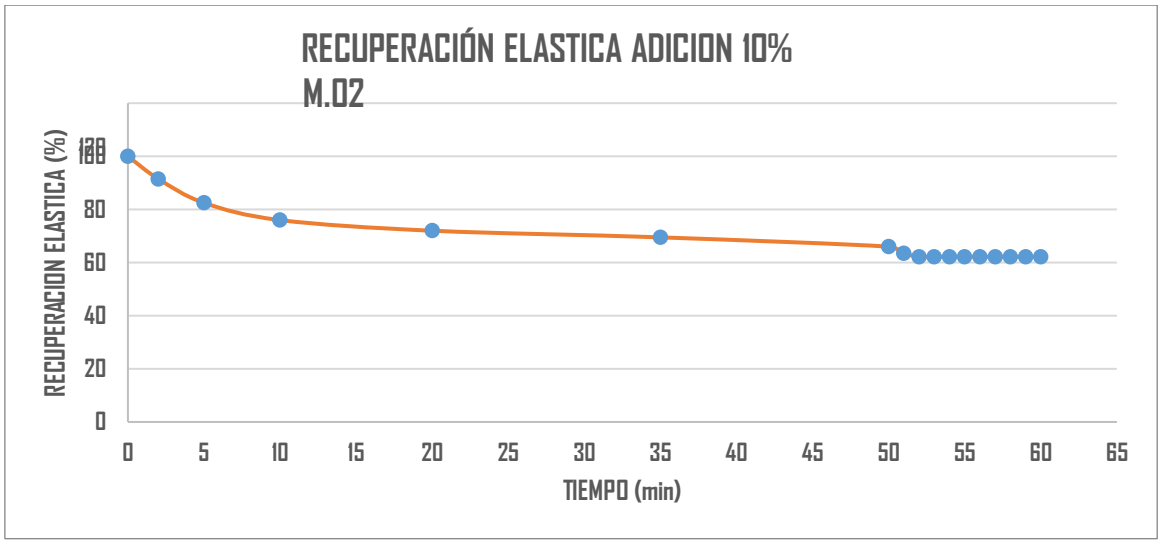


Figura 53. *Recuperación elástica del asfalto con adición de 10% de poliuretano muestra 2*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 53 se presenta la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 con adición del 10% de poliuretano termoplástico, los ensayos de recuperación elástica se realizaron con tres muestras, el grafico presenta el ensayo de la muestra 2.

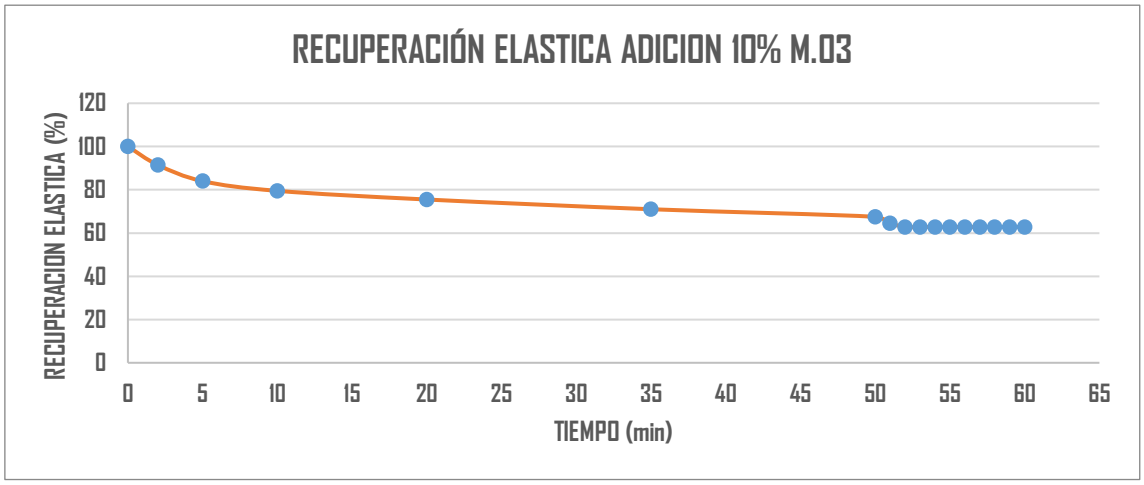


Figura 54*.* *Recuperación elástica del asfalto con adición de 10% de poliuretano muestra 3.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 54 se presenta la recuperación elástica del asfalto PEN 60-70 con adición del 10% de poliuretano termoplástico, los ensayos de recuperación elástica se realizaron con tres muestras, el grafico presenta el ensayo de la tercera muestra.

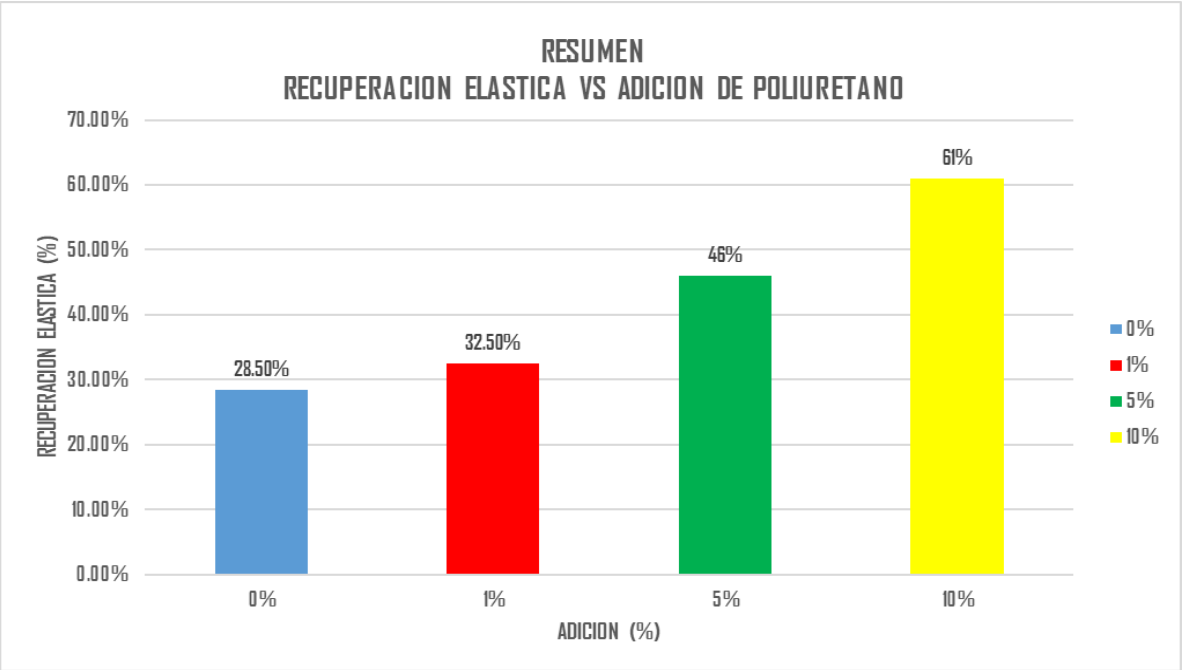


Figura 55. *Resumen de recuperación elástica vs adición de poliuretano*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En el grafico se puede apreciar el resumen de los resultados de cuatro muestras después de ser sometidas al ensayo de recuperación elástica con las adiciones de 1%, 5% y 10% de poliuretano granulado, se realizó el ensayo con un asfalto PEN 60-70 virgen los cuales nos dieron una recuperación elástica de 28.50%, con la adición del poliuretano granulado se muestra que la recuperación elástica va aumentando según el porcentaje de adición demostrando que afecta en las propiedades físicas del asfalto.

Fluencia de mezclas asfálticas en caliente empleando el equipo Marshall

La fluencia registró la deformación que marca el dial de deformación en el instante de la falla, para registrar estos datos se trabajó con tres briquetas con el asfalto PEN 60-70 virgen, y para observar el efecto del poliuretano termoplástico se adiciono este en proporciones de 1%, 5% y 10%.

Para ello se diseñó la mezcla asfáltica en caliente para adicionar el poliuretano termoplástico.

Análisis granulométrico

Agregado Grueso Chancado ½”

Para analizar el agregado de la cantera se realizó la granulometría del agregado grueso chancado de 1/2”.

Tabla 2. *Granulometría de grava chancada ½”*

GRAVA CHANCADA TM 1/2"					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	mm				
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	951.30	31.71	31.71	68.29
tm - 3/8"	9.525	785.20	26.17	57.88	42.12
tm - N°4	4.750	1107.90	36.93	94.81	5.19
tm - N°8	2.550	65.79	2.19	97.01	2.99
tm - N°10	2.000	46.30	1.54	98.55	1.45
tm - N°16	1.185	13.32	0.44	98.99	1.01
tm - N°30	0.600	8.30	0.28	99.27	0.73
tm - N°40	0.425	5.23	0.17	99.44	0.56
tm - N°50	0.295	2.16	0.07	99.52	0.48
tm - N°80	0.175	4.11	0.14	99.65	0.35
tm - N°100	0.148	2.93	0.10	99.75	0.25
tm - N°200	0.072	3.10	0.10	99.85	0.15
< tm - N°200		4.36	0.15	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		3000.00	gr		

Nota: Elaboración Propia

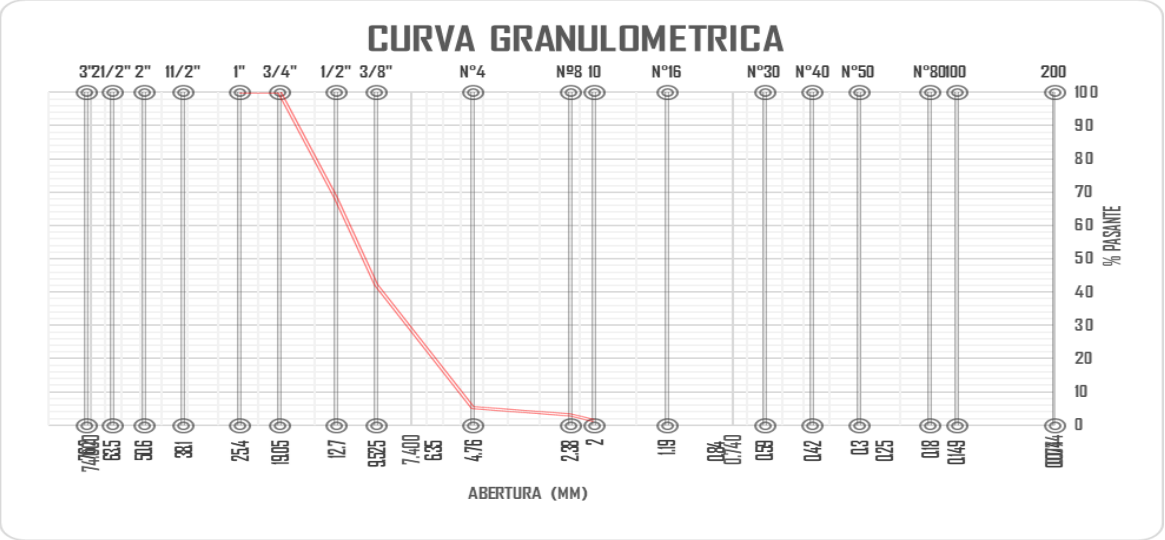


Figura 56. *Curva Granulométrica.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 56 se muestra la curva granulométrica después de realizado el ensayo de granulometría, la muestra que se utilizo fue la grava chancada de 1/2" con un peso de 3000gr.

Tabla 3. *Granulometría de la arena natural*

ARENA NATURAL					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	301.67	20.11	20.11	79.89
tm - N°8	2.550	197.70	13.18	33.29	66.71
tm - N°10	2.000	116.70	7.78	41.07	58.93
tm - N°16	1.185	127.79	8.52	49.59	50.41
tm - N°30	0.600	251.87	16.73	66.32	33.68
tm - N°40	0.425	72.45	4.83	71.15	28.85
tm - N°50	0.295	191.47	12.76	83.92	16.08
tm - N°80	0.175	41.31	2.75	86.67	13.33
tm - N°100	0.148	35.73	2.38	89.05	10.95
tm - N°200	0.072	55.35	3.69	92.74	7.26
< tm - N°200		108.83	7.26	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		

Nota: Elaboración Propia

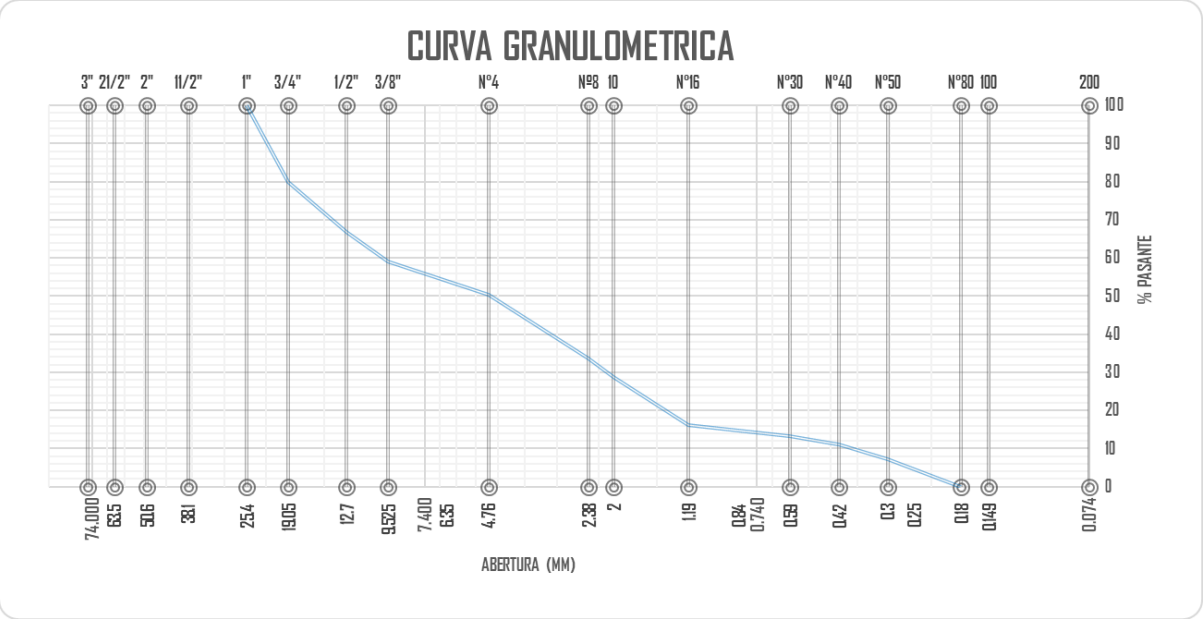


Figura 57. *Curva Granulométrica de la arena natural.*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 57 se muestra la curva granulométrica de la arena natural obtenida de la cantera, el análisis granulométrico se realizó con un peso de 1500gr.

Tabla 4. *Granulometría de la arena procesada*

ARENA PROCESADA					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	132.31	8.82	8.82	91.18
tm - N°8	2.550	299.17	19.94	28.76	71.24
tm - N°10	2.000	27.17	1.81	30.58	69.42
tm - N°16	1.185	338.36	22.56	53.13	46.87
tm - N°30	0.600	109.27	7.28	60.42	39.58
tm - N°40	0.425	74.89	4.99	65.41	34.59
tm - N°50	0.295	142.56	9.50	74.91	25.09
tm - N°80	0.175	78.27	5.22	80.13	19.87
tm - N°100	0.148	73.55	4.90	85.03	14.97
tm - N°200	0.072	83.67	5.58	90.61	9.39
< tm - N°200		140.81	9.39	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		

Nota: Elaboración Propia

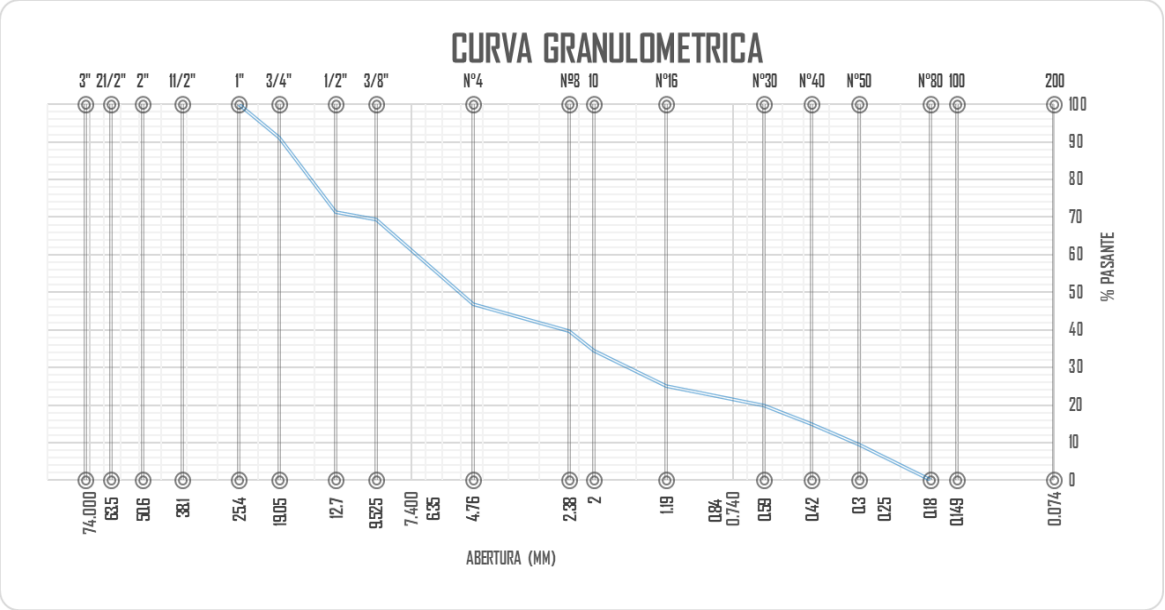


Figura 58. *Curva granulométrica de la arena procesada*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 58 se muestra la curva granulométrica de la arena procesada en la que se analizó un peso de 1500gr.

Tabla 5. *Granulometría del Filler*

FILLER					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS
tm - 2 1/2"	63.550	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS
tm - 2"	50.800	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00

tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°200	0.072	150.00	75.00	75.00	25.00
< tm - N°200		50.00	25.00	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		200.00	gr		

Nota: Elaboración propia

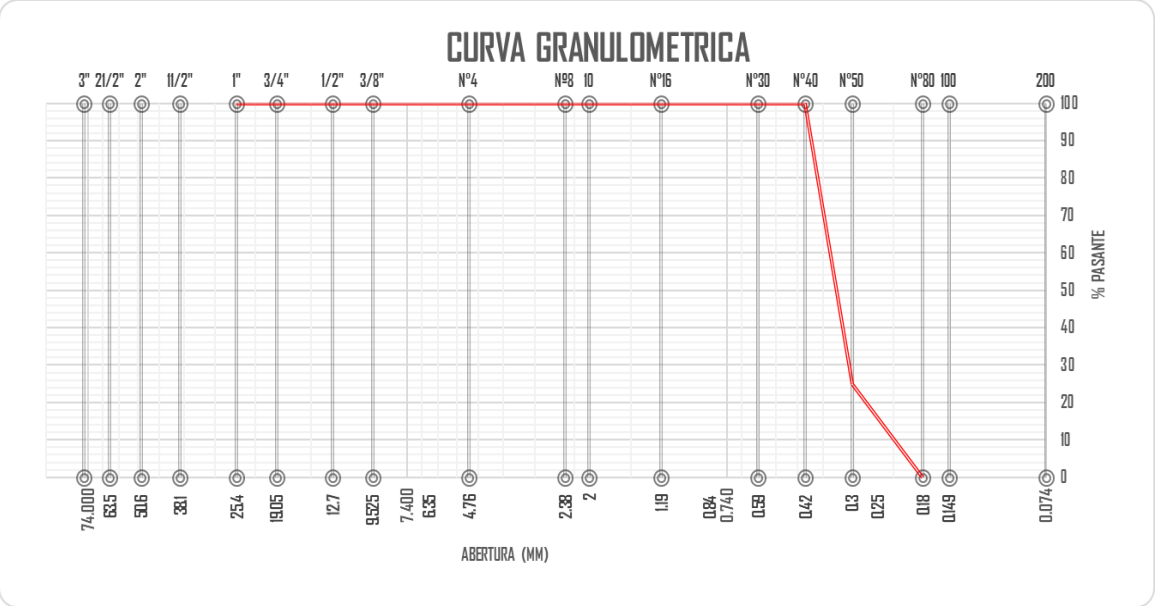


Figura 59. *Curva Granulométrica del Filler*
Fuente Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 59 se muestra la curva granulométrica del filler a utilizar con un peso de 500gr. Donde el pasante fue de la malla N°50 hasta la n°80.

Tabla 6. *Granulometría del poliuretano termoplástico*

POLIURETANO TERMOPLASTICO					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS
tm - 2 1/2"	63.550	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS

tm - 2"	50.800	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS	NS - 002TPS
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	180.00	36.00	36.00	64.00
tm - N°200	0.072	270.00	54.00	90.00	10.00
< tm - N°200		50.00	10.00	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		500.00	gr		

Nota: Elaboración propia

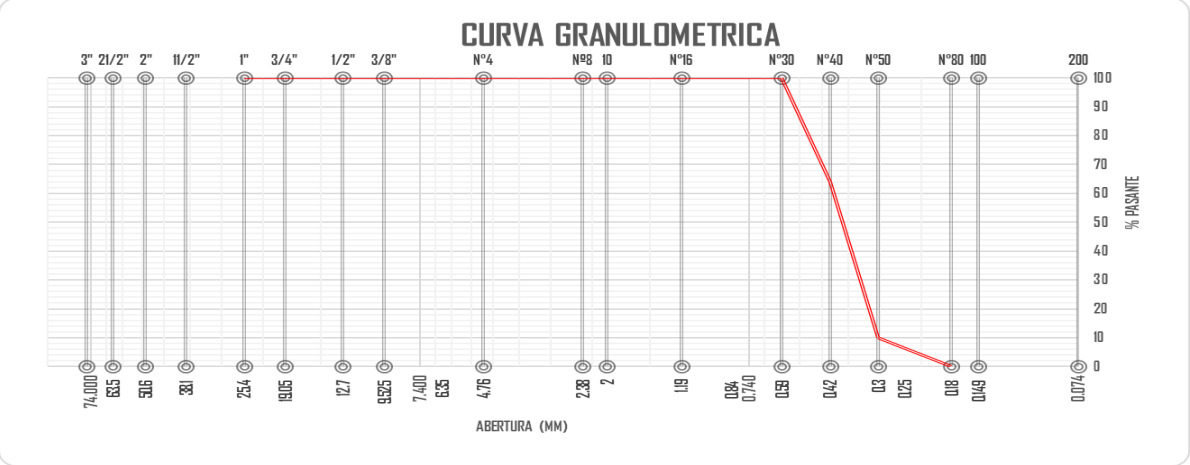


Figura 60. *Curva Granulométrica del poliuretano termoplástico*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 60 se muestra la curva granulométrica del ensayo de granulometría del poliuretano termoplástico granulado el cual se trabajó con un peso de 500 gr.

***Tabla 7**. Granulometría de la mezcla de agregados*

Malla Tamiz	C mm.	Porcentajes pasantes (%)	Especificaciones			Observaciones	
Agregados		*MEZCLA*	MAC - 2			Tamaño máximo	3/4"
			MTC				
Proporciones		100.0%				Curva Ideal	
1"	25.400						differencia
3/4"	19.050	**100.0**	**100**		**100**	100.0	100.0
1/2"	12.700	**90.2**	**80**	-	**100**	90.0	90.2
3/8"	9.525	**82.1**	**70**	-	**88**	79.0	82.1
Nº 4	4.760	**61.1**	**51**	-	**68**	58.0	61.1
Nº 8	2.360	49.2					49.2
Nº 10	2.000	**45.6**	**38**	-	**52**	45.0	45.6
Nº 16	1.180	34.9					
Nº 30	0.600	26.9					26.9
Nº 40	0.420	**23.5**	**17**	-	**28**	22.5	23.5
Nº 50	0.300	16.1					16.1
Nº 80	0.180	**13.3**	**8**	-	**17**	12.5	13.3
Nº 100	0.150	10.8					10.8
Nº 200	0.074	**7.7**	**4**	-	**8**	6.0	7.7
pasa		0.0					0.0

Nota: Elaboración propia

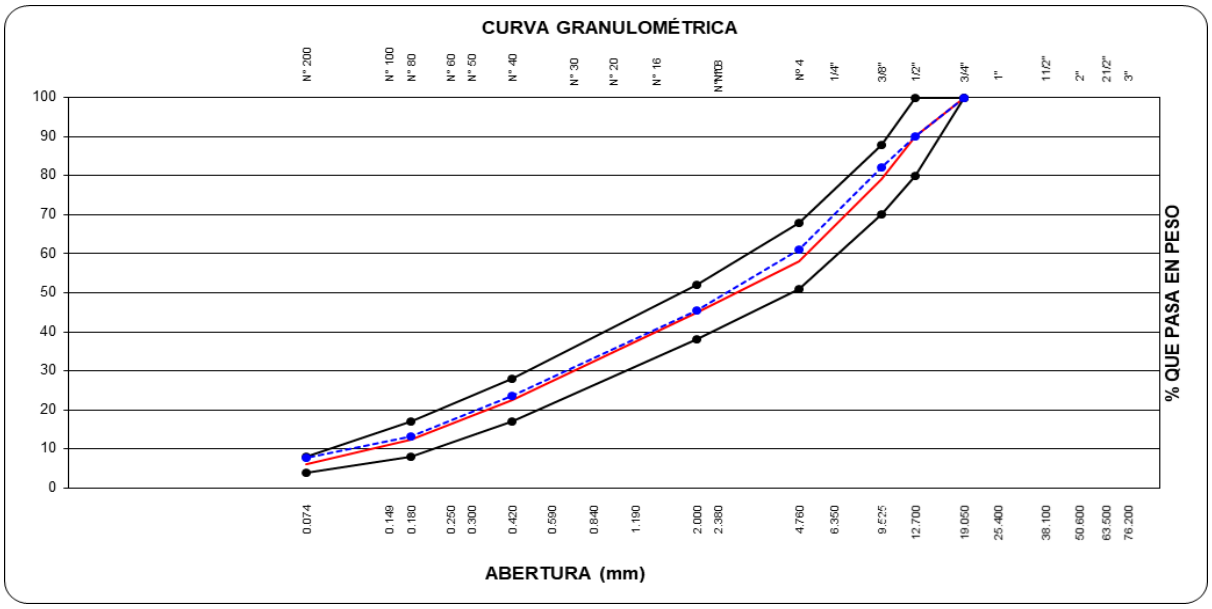


***Figura 61.** Curva granulométrica*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento.

En la figura 61 se muestra los porcentajes de mezcla obtenidos en la tabla anterior se presenta la curva granulométrica resultante, donde se observan los

límites establecidos por el MAC 2 en las líneas de color negro además se tiene también la curva ideal de referencia de color rojo obtenida a partir de los promedios de los límites establecidos. finalmente se presenta la curva resultante de color azul que presentan un comportamiento ideal en los tamices de clasificaron gruesa, pero en los tamices de clasificación final se observa un porcentaje de finos muy bajo muy cercano al límite inferior requerido cumpliendo con las especificaciones del MAC 2, y predispuesto para la obtención de los pesos requeridos en la elaboración de briquetas

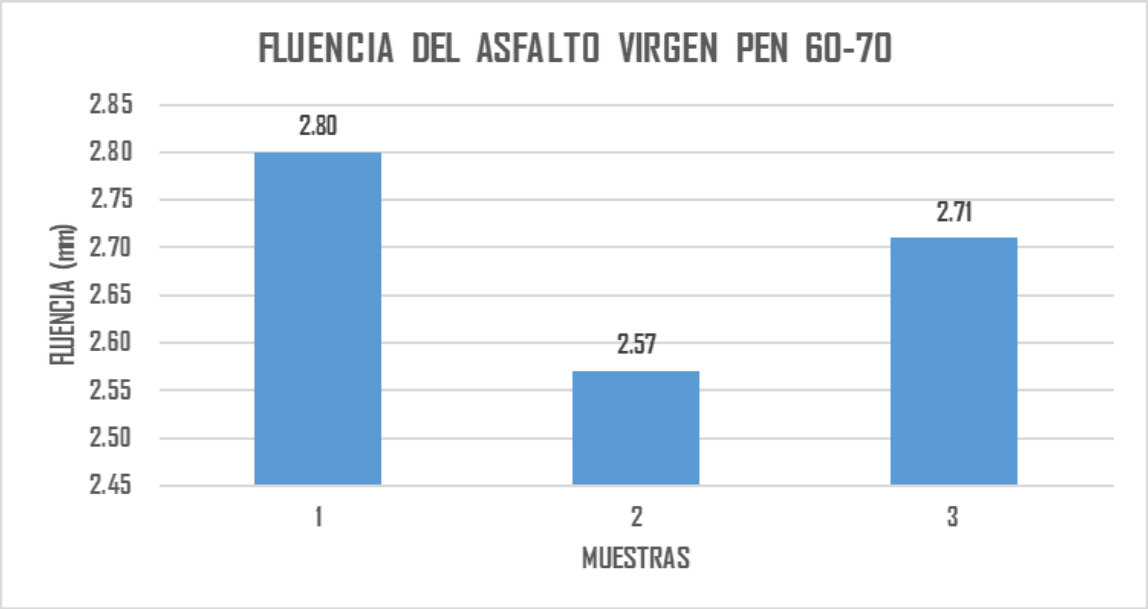


Figura 62. *Fluencia de la mezcla asfáltica con asfalto virgen PEN 60-70*

Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 62 se muestra los resultados después de realizado el ensayo Marshall, este resultado es de la fluencia de las briquetas con un asfalto virgen PEN 60-70.

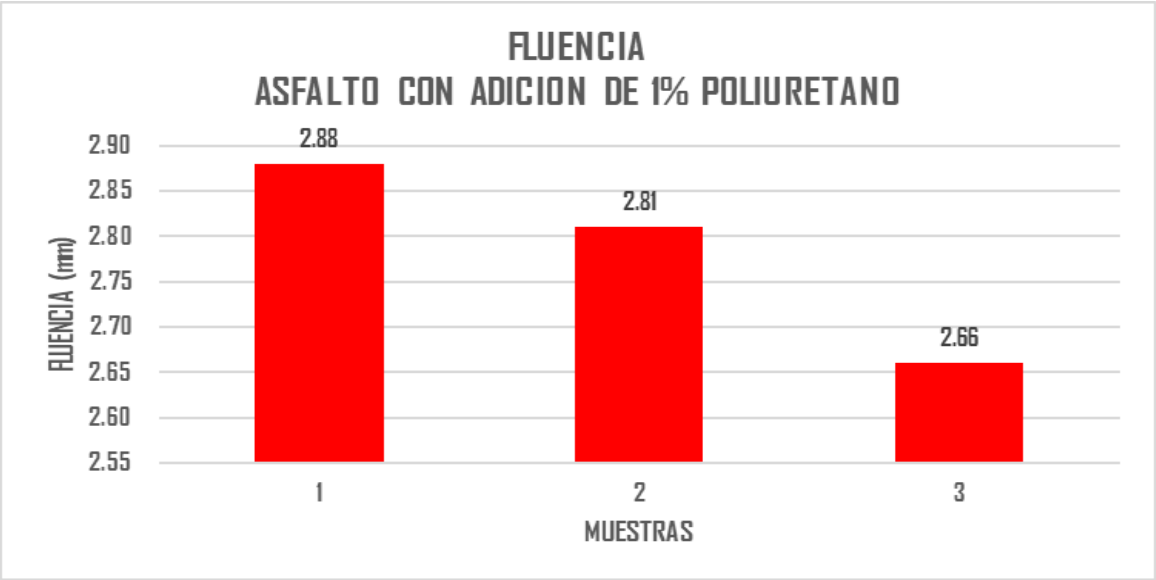


Figura 63. *Fluencia de la mezcla asfáltica con adición del 1% del poliuretano*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 63 se muestra los resultados después de realizado el ensayo Marshall, este resultado corresponde a la fluencia de las briquetas con adición de poliuretano termoplástico de 1%.

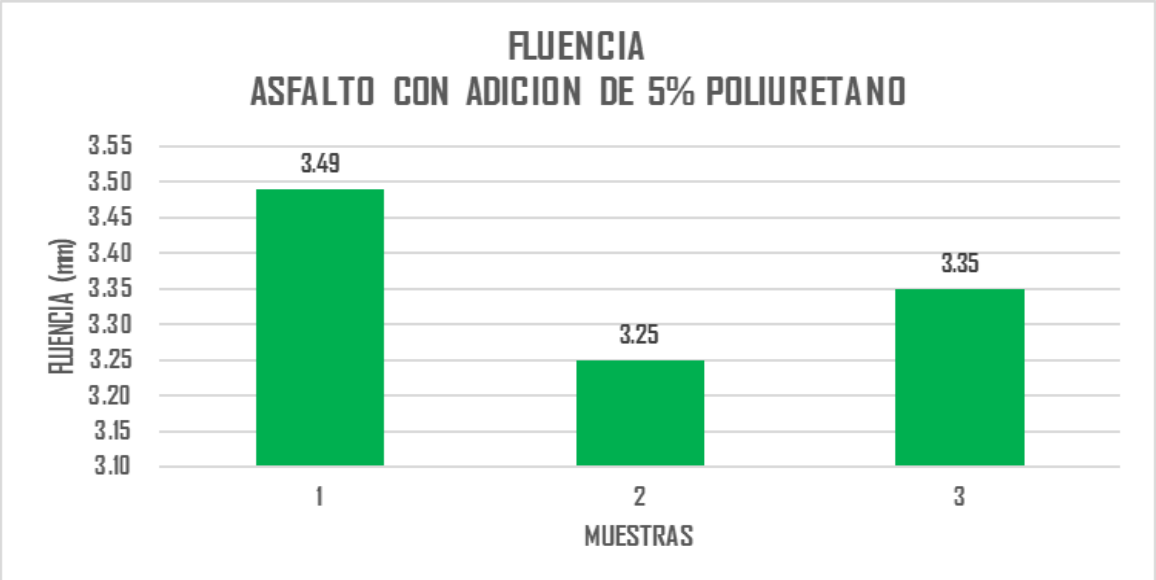


Figura 64. *Fluencia de la mezcla asfáltica con adición del 5% del poliuretano*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 64 se muestra los resultados después de realizado el ensayo Marshall, este resultado corresponde a la fluencia de las briquetas con adición de poliuretano del 5%.

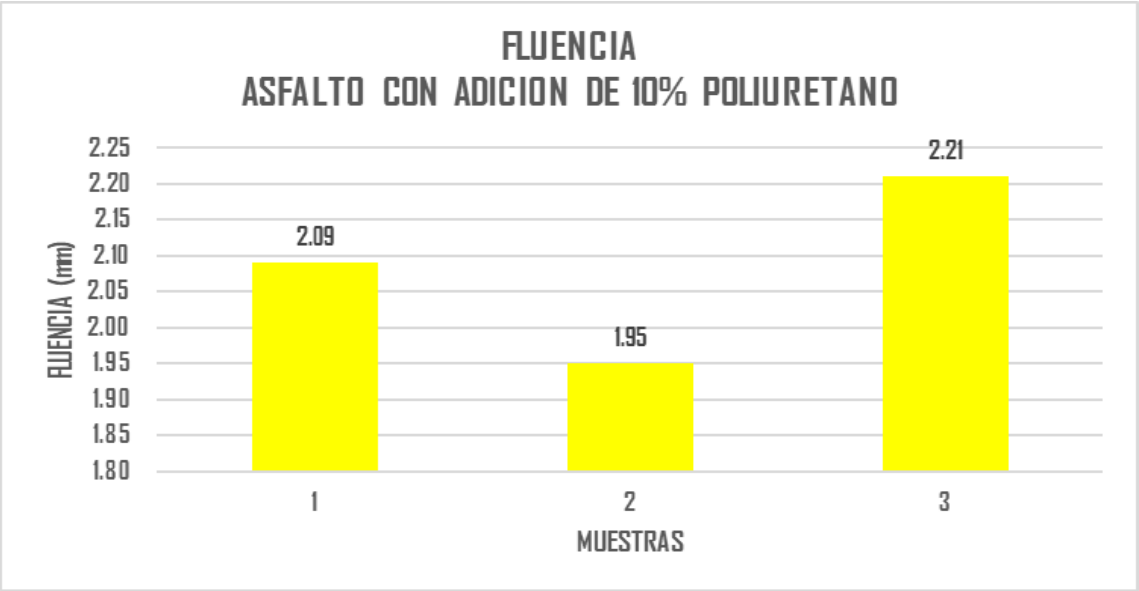


Figura 65. *Fluencia de la mezcla asfáltica con adición del 10% del poliuretano*
Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura 65 se muestra los resultados después de realizado el ensayo Marshall, este resultado corresponde a la fluencia de las briquetas con adición de poliuretano del 10%.

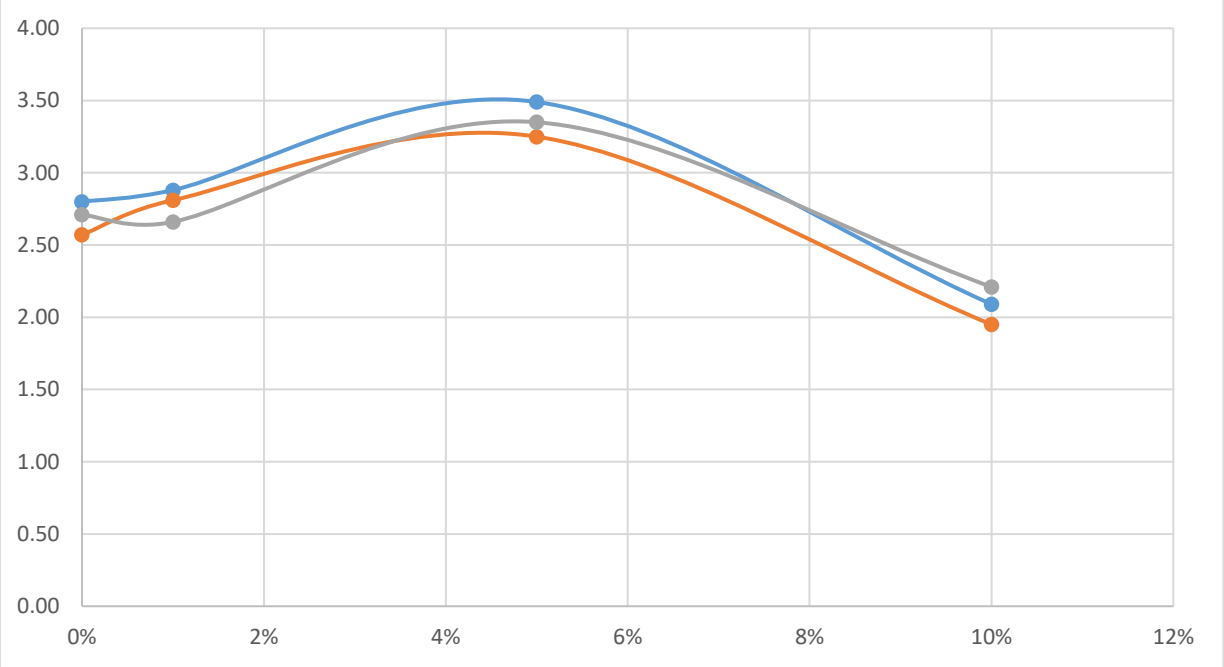


Figura 66. *Resumen de la fluencia vs adición de poliuretano*

Fuente: Laboratorio de suelos concreto y pavimento

En la figura se puede apreciar el resumen del ensayo Marshall y una de sus propiedades mecánicas mostradas es la fluencia de la mezcla asfáltica que se

ensayó, el ensayo se realizó con mezcla asfáltica PEN 60-70 sin adición de poliuretano granulado para observar su fluencia, luego se adiciono los porcentajes de 1%, 5% y 10% de poliuretano granulado, donde se aprecia que los límites de la fluencia son de 2mm a 3.5mm, la mezcla asfáltica sin adición está en la fluencia optima, con la adición del 1% se observa la fluencia aumenta no en gran medida, con la adición del 5% tiene una fluencia más cercana al límite superior pero se encuentra entre los límites, lo que ya casi no ocurre con la adición del 10% que su fluencia disminuye hasta el límite inferior de 2mm.

Análisis Estadístico de los ensayos

Ductilidad (cm)

Descriptivos

Para el análisis de la ductilidad ante la variación de adición de poliuretano, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del porcentaje de poliuretano adicionado en el ensayo de ductilidad realizado.

***Tabla 8**. Cuadro de descriptivos – Ductilidad (cm)*

Descriptivos					
Adición de poliuretano(%)				Estadístico	Desv. Error
Ductilidad (cm)	0%	Media		92,4533	,62762
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	89,7529	
			Límite superior	95,1538	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		93,0200	
		Varianza		1,182	
		Desv. Desviación		1,08708	
		Mínimo		91,20	
		Máximo		93,14	
		Rango		1,94	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-1,708	1,225
		Curtosis		.	.
	1%	Media		82,8600	,72002
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	79,7620	
			Límite superior	85,9580	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		83,1300	
		Varianza		1,555	
		Desv. Desviación		1,24712	
		Mínimo		81,50	
		Máximo		83,95	
		Rango		2,45	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,929	1,225
		Curtosis		.	.
	5%	Media		68,3933	,40728
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	66,6409	
			Límite superior	70,1457	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		68,6300	
		Varianza		,498	
		Desv. Desviación		,70543	
		Mínimo		67,60	
		Máximo		68,95	
		Rango		1,35	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-1,340	1,225
		Curtosis		.	.
	10%	Media		55,0000	,47624
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	52,9509	
			Límite superior	57,0491	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		55,1800	
		Varianza		,680	
		Desv. Desviación		,82486	
		Mínimo		54,10	
		Máximo		55,72	
		Rango		1,62	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,935	1,225
		Curtosis		.	.

Nota: Elaboración propia

Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de ductilidad ante la variación de adición de poliuretano donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de la ductilidad provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de la ductilidad no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

***Tabla 9**. Prueba de normalidad – Ductilidad (cm)*

	Adición de poliuretano (%)	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Ductilidad (cm)	0%	,366	3	.	,796	3	,105
	1%	,252	3	.	,965	3	,640
	5%	,298	3	.	,916	3	,437
	10%	,253	3	.	,964	3	,637

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de ductilidad al variar el porcentaje de poliuretano provienen de una distribución normal.

Diagrama de caja

El diagrama de caja, se presentará los rangos de la dispersión en la varianza de los datos recolectados para la ductilidad ante la variación de adición de poliuretano, por lo tanto, el diagrama verifica y constata si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.

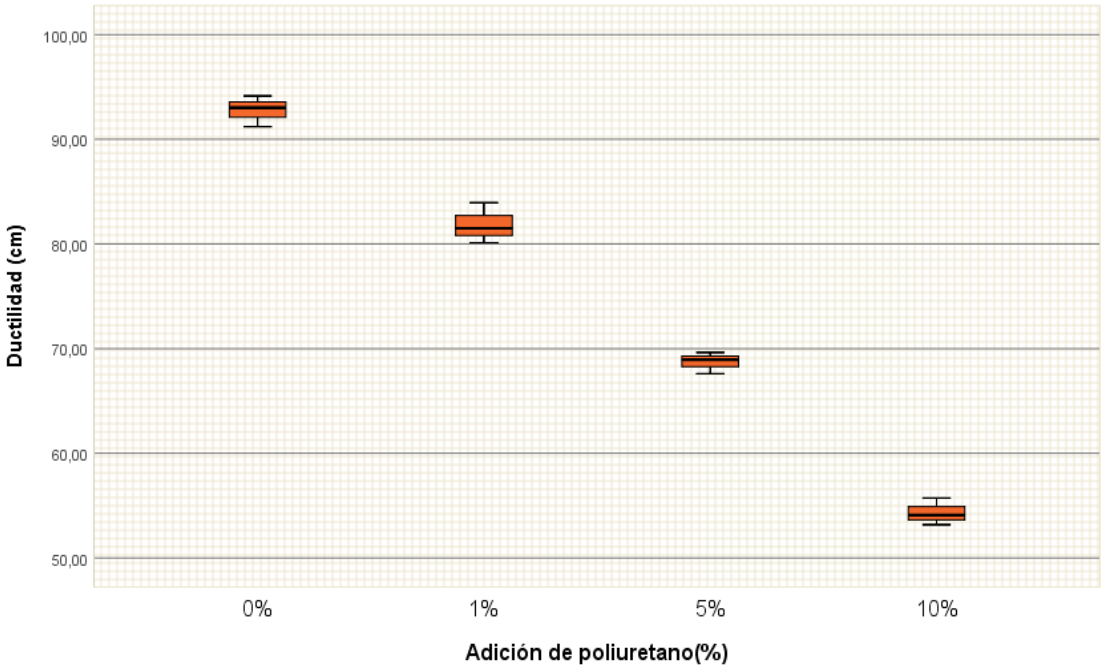


Figura 67. *Diagrama de caja - Ductilidad (cm)*

Fuente: Elaboración propia

Correlación

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de ductilidad se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de -0.980 que representa una correlación negativa perfecta para un análisis de ductilidad (cm) ante la variación de adición de poliuretano.

Tabla 10. *Correlaciones - Ductilidad (cm)*

		Adición de poliuretano (%)	Ductilidad (cm)
Adición de poliuretano (%)	**Correlación de Pearson**	1	-,980**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
Ductilidad (cm)	**Correlación de Pearson**	-,980**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota: Elaboración Propia

Diagrama de dispersión

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de ductilidad ante la variación de adición de poliuretano donde se encuentra una tendencia positiva con un R2=0.997 en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.

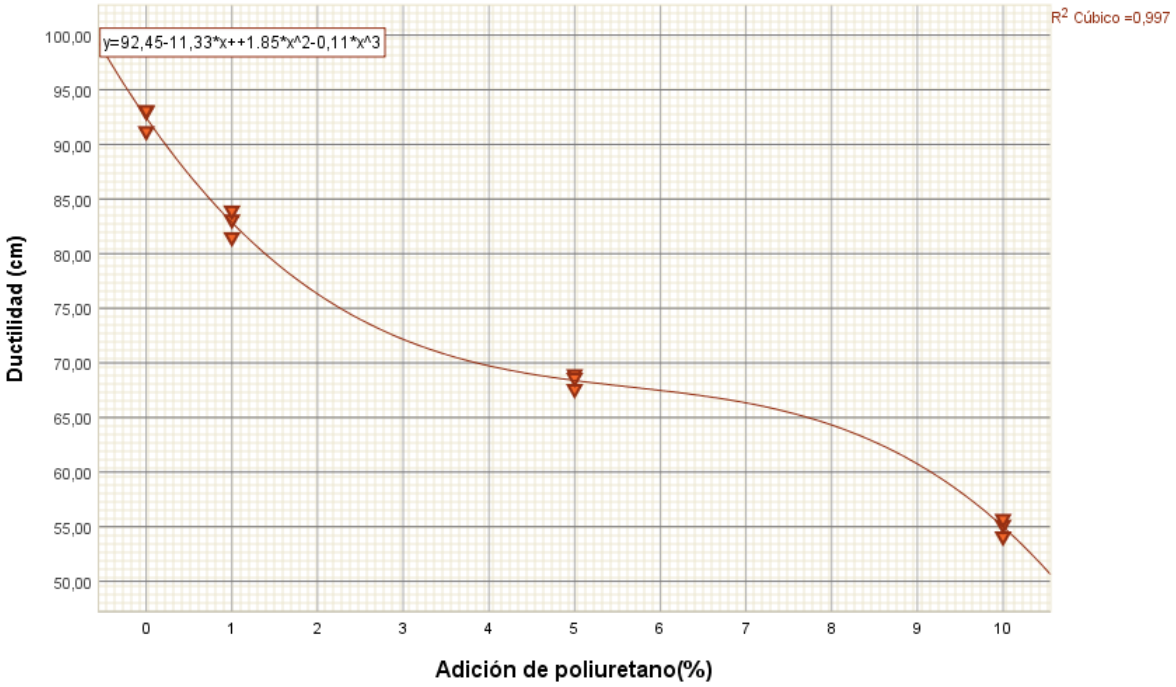


Figura 68. *Diagrama de dispersión - Ductilidad (cm)*
Fuente: Elaboración propia

Recuperación elástica (%)

Descriptivos

Para el análisis de la recuperación elástica ante la variación de adición de poliuretano, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del porcentaje de poliuretano adicionado en el ensayo de recuperación elástica realizado.

Tabla 11. *Cuadro de descriptivos – Recuperación elástica (%)*

Descriptivos

Adición de poliuretano(%)				Estadístico	Desv. Error
Recuperación elástica (%)	0%	Media		28,7100	,18083
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	27,9319	
			Límite superior	29,4881	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		28,5600	
		Varianza		,098	
		Desv. Desviación		,31321	
		Mínimo		28,50	
		Máximo		29,07	
		Rango		,57	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		1,661	1,225
		Curtosis		.	.
	1%	Media		33,0433	,28789
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	31,8047	
			Límite superior	34,2820	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		33,1500	
		Varianza		,249	
		Desv. Desviación		,49863	
		Mínimo		32,50	
		Máximo		33,48	
		Rango		,98	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,919	1,225
		Curtosis		.	.
	5%	Media		46,4333	,26692
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	45,2849	
			Límite superior	47,5818	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		46,3800	
		Varianza		,214	
		Desv. Desviación		,46231	
		Mínimo		46,00	
		Máximo		46,92	
		Rango		,92	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		,512	1,225
		Curtosis		.	.
	10%	Media		62,0167	,53797
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	59,7020	
			Límite superior	64,3314	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		62,2200	
		Varianza		,868	
		Desv. Desviación		,93179	
		Mínimo		61,00	
		Máximo		62,83	
		Rango		1,83	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,935	1,225
		Curtosis		.	.

Nota: Elaboración Propia

Prueba de normalidad

La tabla siguiente presenta la prueba de normalidad para el valor de recuperación elástica ante la variación de adición de poliuretano donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de la recuperación elástica provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de la recuperación elástica no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 12. *Prueba de normalidad – Recuperación elástica (%)*

Pruebas de normalidad

	Adición de poliuretano (%)	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Recuperación elástica (%)	0%	,351	3	.	,828	3	,183
	1%	,251	3	.	,966	3	,644
	5%	,213	3	.	,990	3	,809
	10%	,253	3	.	,964	3	,637

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración Propia

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de recuperación elástica al variar el porcentaje de poliuretano provienen de una distribución normal.

Diagrama de caja

El diagrama de caja, presentará los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para la recuperación elástica ante la variación de adición de poliuretano, por lo tanto, el diagrama constata y verifica si los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.

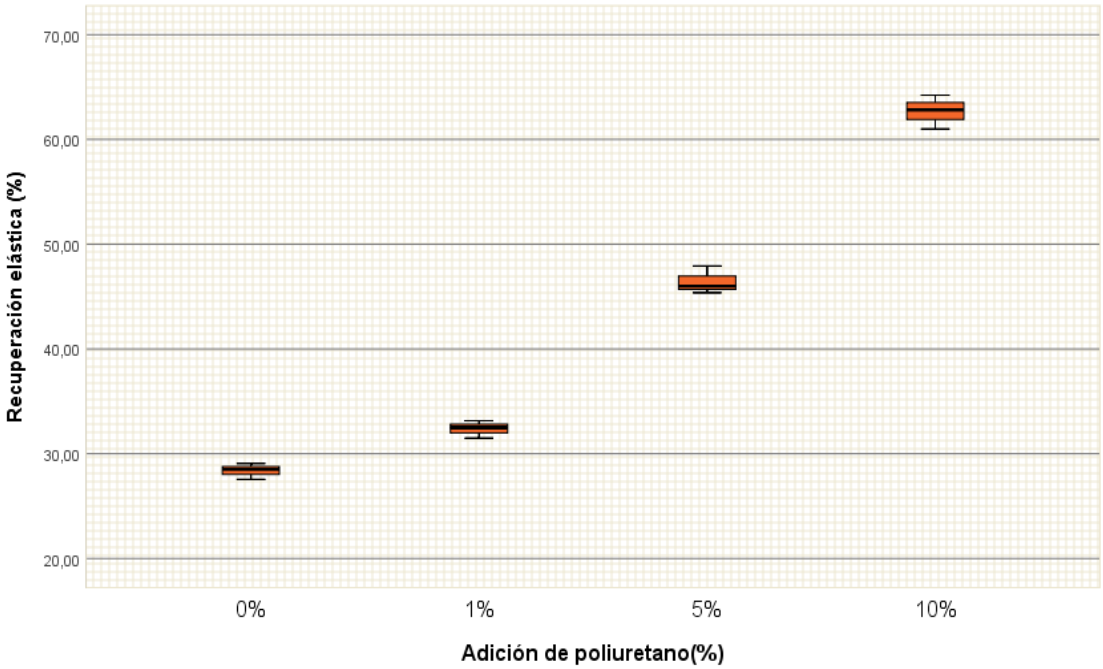


Figura 69. *Diagrama de caja - Recuperación elástica (%)*
Fuente: Elaboración propia

Correlación

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de recuperación elástica se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de 0.999 que representa una correlación positiva perfecta para un análisis de recuperación elástica (%) ante la variación de adición de poliuretano.

Tabla 13. *Correlaciones - Recuperación elástica (%)*

		Adición de poliuretano (%)	Recuperación elástica (%)
Adición de poliuretano (%)	**Correlación de Pearson**	1	,999**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	12	12
Recuperación elástica (%)	**Correlación de Pearson**	,999**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	12	12

**. La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Nota: Elaboración Propia

Diagrama de dispersión

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de recuperación elástica ante la variación de adición de poliuretano donde se encuentra una tendencia positiva con un R2=0.999 en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.

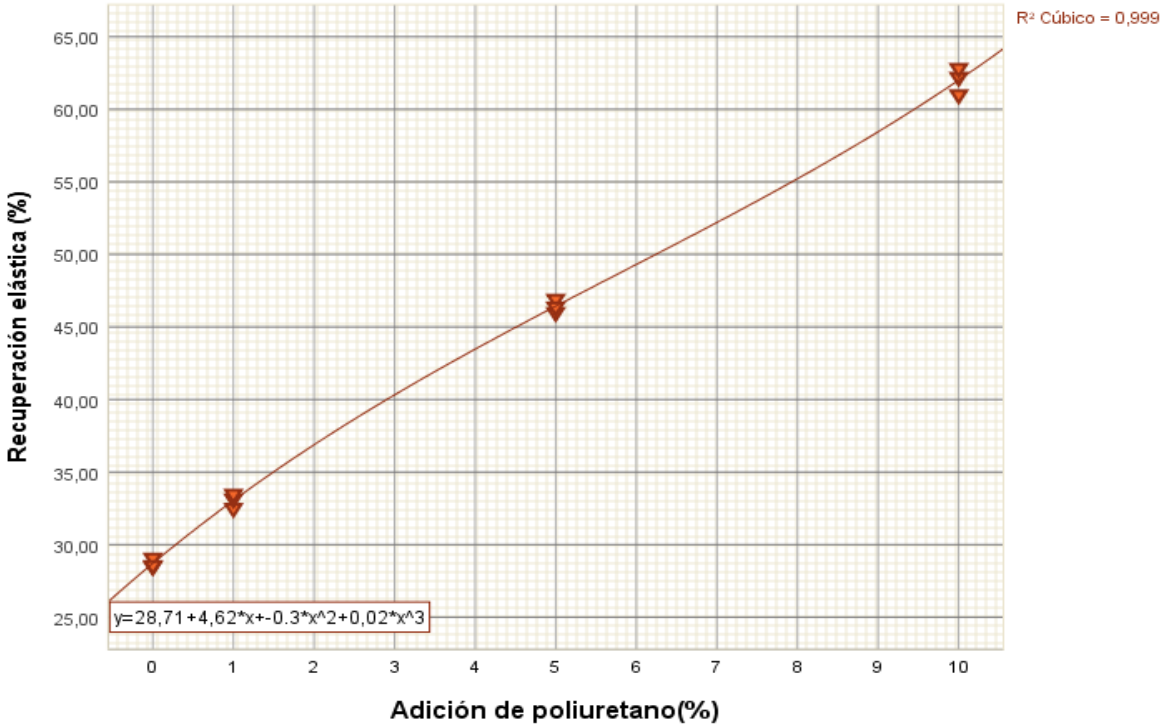


Figura 70. *Diagrama de dispersión - Recuperación elástica (%)*
Fuente: Elaboración propia

Fluencia (mm)

Descriptivos

Para el análisis de la fluencia ante la variación de adición de poliuretano, se presenta en la siguiente tabla los datos estadísticos descriptivos correspondientes a la variación del porcentaje de poliuretano adicionado en el ensayo de fluencia realizado.

Tabla 14. *Cuadro de descriptivos – Fluencia (mm)*

Descriptivos

Adición de poliuretano(%)				Estadístico	Desv. Error
Fluencia (mm)	0%	Media		2,6933	,06692
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,4054	
			Límite superior	2,9813	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		2,7100	
		Varianza		,013	
		Desv. Desviación		,11590	
		Mínimo		2,57	
		Máximo		2,80	
		Rango		,23	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,634	1,225
		Curtosis		.	.
	1%	Media		2,7833	,06489
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2,5041	
			Límite superior	3,0625	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		2,8100	
		Varianza		,013	
		Desv. Desviación		,11240	
		Mínimo		2,66	
		Máximo		2,88	
		Rango		,22	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-1,008	1,225
		Curtosis		.	.
	5%	Media		3,3633	,06960
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,0639	
			Límite superior	3,6628	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		3,3500	
		Varianza		,015	
		Desv. Desviación		,12055	
		Mínimo		3,25	
		Máximo		3,49	
		Rango		,24	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		,492	1,225
		Curtosis		.	.
	10%	Media		2,0833	,07513
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1,7601	
			Límite superior	2,4066	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		2,0900	
		Varianza		,017	
		Desv. Desviación		,13013	
		Mínimo		1,95	
		Máximo		2,21	
		Rango		,26	
		Rango intercuartil		.	
		Asimetría		-,230	1,225
		Curtosis		.	.

Nota: Elaboración Propia

Prueba de normalidad

En la siguiente tabla se presenta la prueba de normalidad para el valor de fluencia ante la variación de adición de poliuretano donde se somete a prueba las siguientes hipótesis:

Ho: Los datos de la fluencia provienen de una distribución normal.

H1: Los datos de la fluencia no provienen de una distribución normal.

Para una confiabilidad del análisis estadístico al 95% de nivel de confianza.

Tabla 15. *Prueba de normalidad – Fluencia (mm)*

Pruebas de normalidad

	Adición de poliuretano (%)	Kolmogorov-Smirnov[a]			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Fluencia (mm)	0%	,224	3	.	,984	3	,762
	1%	,260	3	.	,958	3	,605
	5%	,211	3	.	,991	3	,817
	10%	,187	3	.	,998	3	,915

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración Propia

Encontrando una base de datos paramétrica al encontrar significancias mayores a 0.05, donde se acepta la hipótesis nula, por lo que se interpreta que los valores de fluencia al variar el porcentaje de poliuretano provienen de una distribución normal.

Diagrama de caja

El diagrama de caja, se presentarán los rangos de dispersión en la varianza de los datos recolectados para la fluencia ante la variación de adición de poliuretano, por lo tanto, se constató y se verificó con estos diagramas los datos se encuentran dentro del rango de dispersión.

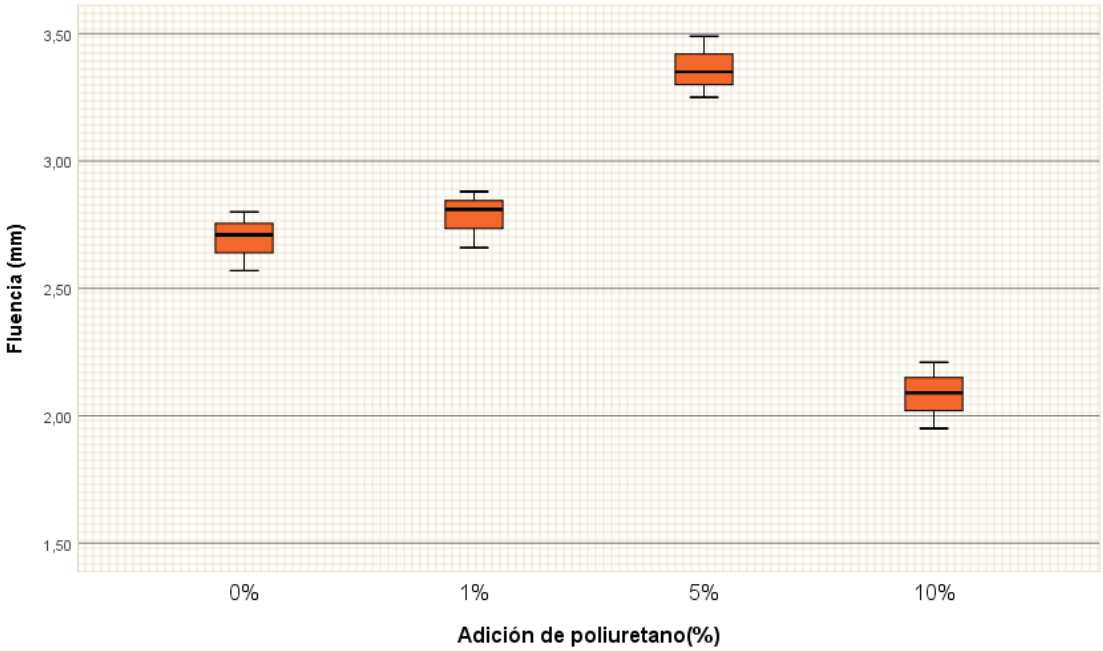


Figura 71. *Diagrama de caja - Fluencia (mm)*
Fuente: Elaboración propia

Correlación

A partir de una distribución de datos paramétrica para el valor de fluencia se analiza la correlación bivariada por Pearson, donde se encuentra un coeficiente de -0.745 que representa una correlación negativa considerable para un análisis de fluencia (mm) ante la variación de adición de poliuretano.

Tabla 16. *Correlaciones - Fluencia (mm)*

		Adición de poliuretano (%)	Fluencia (mm)
Adición de poliuretano (%)	**Correlación de Pearson**	1	-,745
	Sig. (bilateral)		,015
	N	12	12
Fluencia (mm)	**Correlación de Pearson**	-,745	1
	Sig. (bilateral)	,015	
	N	12	12

Nota: Elaboración Propia

Diagrama de dispersión

Por último, se presenta en la figura siguiente, el comportamiento del valor de fluencia ante la variación de adición de poliuretano donde se encuentra una tendencia positiva con un R^2=0.955 en el que se considera un valor con una confiabilidad muy alta para la proyección de datos respecto de la ecuación de ajuste resultante.

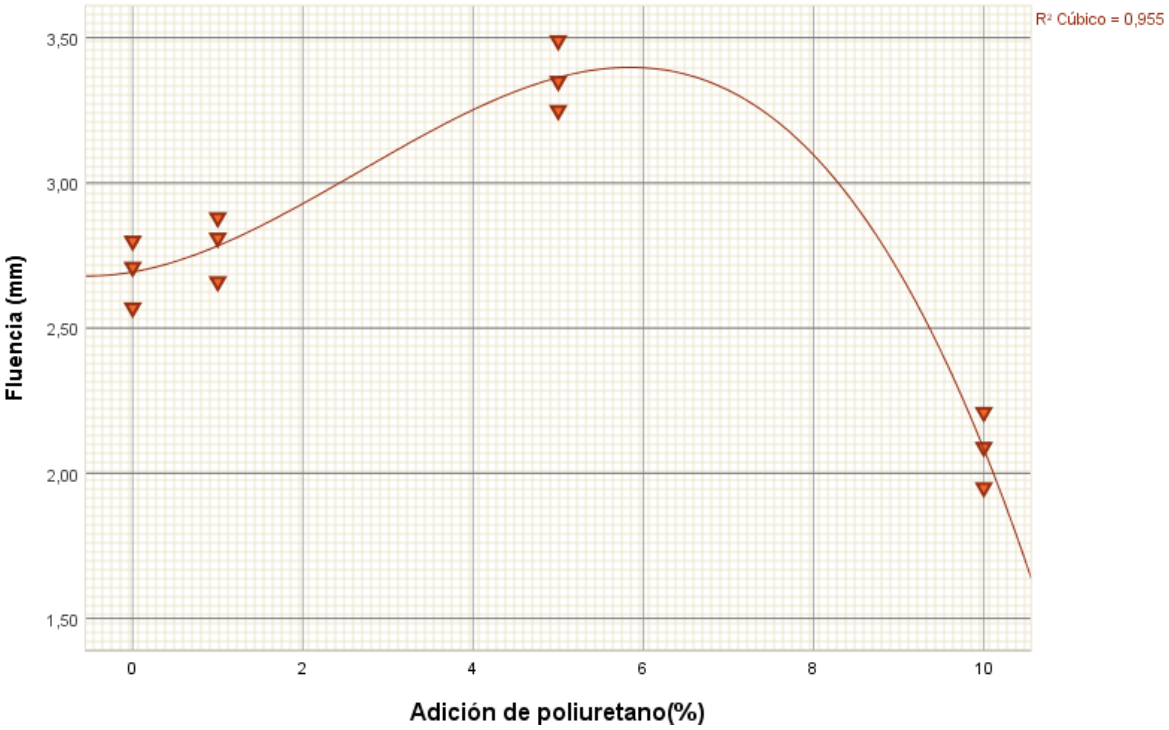


Figura 72. *Diagrama de dispersión - Fluencia (mm).*
Fuente: Elaboración propia

Toma de Decisión:

Ho: El poliuretano termoplástico granulado no afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70 .

H1: El poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70.

Para cada análisis se obtuvieron los siguientes niveles de correlación:

Tabla 17. *Toma de decisión*

Propiedades de deformación elástica	Correlación de Pearson "r"	Nivel de significancia "sig"	Nivel de correlación
Ductilidad -TPU	-0.980	0.0001	Correlación negativa muy fuerte
Recuperación elástica -TPU	0.999	0.0001	Correlación positiva muy fuerte
Fluencia -TPU	-0.745	0.015	Correlación negativa considerable

Por lo que al tener niveles de correlación mayores a 0.50 rechazamos la hipótesis nula y aceptamos la hipótesis alterna: El poliuretano termoplástico granulado afecta significativamente las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70

V. DISCUSIÓN

Con respecto al ensayo de **ductilidad**, los resultados de la investigación son los siguientes: se utilizó un asfalto PEN 60-70 como muestra patrón, luego se le adicionó porcentajes de poliuretano termoplástico granulado en proporciones de 1%, 5% y 10% obteniendo respectivamente ductilidades de 81.50cm, 67.60cm y 54.10cm, verificando así que al incrementar el porcentaje de poliuretano termoplástico la ductilidad del asfalto disminuyó. Se comparó con Saavedra, R. y Ypanaque, R. (2018), quien también trabajo con asfalto PEN 60-70 e incorporó adiciones de polipropileno en porcentajes de 3%, 5% y de 8% obteniendo ductilidades de 26cm, 19.5cm y 65.5cm respectivamente. También se comparó con Forero,J. et al.(2015), quien utilizó un asfalto 80-100, el cual modificó con corcho y sus adiciones en porcentajes fueron de 0.5%, 1%, 5% y 10% para los cuales se obtuvieron ductilidades de 68cm, 51.4cm, 17.6cm y 11.5cm respectivamente. Donde se puede observar que a mayor adición no necesariamente de poliuretano sino de otros materiales usados como aditivos, la ductilidad disminuye con excepción del polipropileno incorporado a un porcentaje del 8% donde la ductilidad aumenta.

Referente al ensayo de **recuperación elástica**, se obtuvieron los siguientes resultados, se utilizó un asfalto PEN 60-70 como muestra patrón, luego se le adicionó porcentajes de poliuretano termoplástico granulado en proporciones de 1%, 5% y 10% obteniendo respectivamente una recuperación elástica de 32.50%, 46% y 61% respectivamente. Comprobando así que al incrementar el porcentaje de poliuretano termoplástico la recuperación elástica del asfalto tuvo un aumento significativo. Se comparó con Saavedra, R. y Ypanaque, R. (2018), quien también trabajo con asfalto PEN 60-70 e incorporó adiciones de polipropileno en porcentajes de 3%, 5% y de 8% obteniendo una recuperación elástica de 7.5%, 8% y 10% respectivamente. Verificando así que, al incrementar el porcentaje de adición de polipropileno y poliuretano termoplástico, se tiene una tendencia positiva.

Para el último ensayo realizado por el “Método Marshall” el cual proporciona la **fluencia** de la mezcla asfáltica se observó que para la adición de poliuretano termoplástico en: 1% el flujo en promedio que presentó fue de 2.78mm, para un 5%

el flujo fue de 3.36mm y para el 10% fue de 2.08mm. Así mismo para Saavedra, R. y Ypanaque, R. (2018), el cual trabajó con asfalto PEN 60-70 e incorporó adiciones de polipropileno en porcentajes de 3%, 5% y de 8% obtuvo fluencias en promedio de 3.13mm, 2.97mm y 2.93mm respectivamente. Sin embargo, para Forero,J. et al.(2015), quien utilizo un asfalto 80-100, el cual modificó con adiciones de corcho en porcentajes de 0.5%, 1% y 1.5% para los cuales la fluencia obtenida fue de 4.15mm, 3.58mm y 4.49mm respectivamente. Por tanto, la variación de esta propiedad es notable respecto al material usado como aditivo modificador. En la presente investigación se observó un incremento en la fluencia seguido de un descenso considerable, lo que no ocurre para Saavedra, R. y Ypanaque, R. (2018), el cual sólo presenta en el descenso en la fluencia, y por último para Forero,J. et al.(2015), presenta un descenso seguido de un incremento diferenciado en la fluencia.

VI. CONCLUSIONES

1. Se concluye que el poliuretano termoplástico tiene efectos significativos en las propiedades de deformación elástica (ductilidad, recuperación elástica y fluencia) ya que al incrementar el porcentaje de adición de poliuretano termoplástico se observó un descenso en la ductilidad, un incremento porcentual en la recuperación elástica, y un crecimiento en la fluencia para un 5% de adición, así como un descenso para un 10% de adición de poliuretano termoplástico granulado.

2. Se determinó que la adición de poliuretano termoplástico granulado tiene un efecto negativo en la ductilidad del asfalto de alta consistencia PEN 60-70. Obteniendo para la muestra patrón un valor de 91.20cm que al incrementarse el porcentaje de adición en 1%, 5% y 10% se obtuvo valores de 81.50cm, 67.60cm y 54.10cm de ductilidad.

3. Se determinó que la adición de poliuretano termoplástico granulado tiene un efecto positivo en la recuperación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70. Obteniendo para la muestra patrón un valor de 28.50% que al incrementarse el porcentaje de adición en 1%, 5% y 10% se obtuvo valores de 32.50%, 46.00% y 61.00% de recuperación elástica.

4. Se determinó que la fluencia de la mezcla asfáltica estuvo dentro de un rango de 2.00mm hasta 3.50mm, por lo que para el asfalto PEN 60-70 patrón se obtuvo un valor de 2.69mm verificando que dicho valor se encuentra en el rango aceptado, de modo que para las adiciones de poliuretano termoplástico granulado de 1% se obtuvo un valor de 2.78mm muy cercano al valor de fluencia del asfalto patrón y estando dentro del rango, para la adición del 5% se obtuvo una tendencia positiva dando un valor de fluencia de 3.36mm muy cercano al límite superior, y para la última adición del 10% se obtuvo una tendencia negativa dando un valor de 2.08mm cercano a límite inferior del rango de fluencia.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de TPU como aditivo para mejorar las propiedades de deformación elástica (recuperación elástica y fluencia) de la mezcla asfáltica en un rango de adición comprendido entre 3% y 6%

2. Se recomendaría hacer el ensayo de recuperación elástica torsional para el asfalto PEN 60-70 con las adiciones que se realizaron en esta investigación para así poder comprobar, si los valores obtenidos son distantes o cercanos.

3. Se recomienda tener como punto de partida para el diseño de concreto asfáltico modificado con TPU, los valores obtenidos en esta investigación.

4. Es recomendable para investigaciones futuras tener en cuenta la fluencia porcentajes muy cercanos al 1% de adición de poliuretano termoplástico granular, por lo que se vio dieron valores muy cercanos al asfalto PEN 60-70 patrón.

5. Se recomienda seguir investigando utilizando el poliuretano termoplástico granulado para diferentes tipos de asfaltos como PEN 80-100, PEN 120-150 y ver como la adición modifica las propiedades físicas y mecánicas.

REFERENCIAS

AASHTO. (s.f.). *American Association of State Highway and Transportation Officials.*

AGUILAR, D. (2019). *Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y Superpave.* Arequipa,Perú: Universidad Nacional de San Agustín.

ALCURI, G. (2018). *Los elastómeros en la construcción: aplicaciones y valorización medioambiental.* Uruguay,Montevideo: Facultad de Ingeniería-Universidad de Montevideo.

ASKELAND, D. & WRIGHT, W. (2016). *The Science and Engineering of Materials.* México, D.F.: Cengage Learning Editores, S.A.

AVELLAN, M. (2007). *Asfaltos modificados con polÍmeros.* Guatemala: Facultad de Ingeniería-Escuela de Ingenieria Civil- Universidad de San Carlos de Guatemala.

BALBIN, M. (2020). *Influencia de la mezcla asfáltica modificada con polímeros en zonas cálidas de perú.* Lima - Perú: Universidad Ricardo Palma, Facultad de Ingeniería.

BERNAL, J. (2015). *Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento asfáltico 80/100 modificado por vía húmeda con adición de corcho.* bogota - colombia: Universidad la Gran Colombia.

BORJA, M. (2016). *Metodología de la investigación científica.* Perú -Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.

CARAHUATAY, R. (2015). *Determinación del comportamiento estructural del pavimento flexible, mediante analisis deflectometrico.* Cajamarca.

CARRASCO, S. (2005). *Metología de la investigación científica.* Lima: Univerisdad Mayor de San Marcos.

CCANTO, G. (2010). *Metodología de la Investigación Científica en Ingeniería civil.*

CHI COB, M., & Tuyub, O. (2015). Análisis de las propiedades físicas y eléctricas en compuestos a base de emulsiones asfálticas con elastómeros y partículas conductoras. *19*(3).

CONTINENTAL, U. (2017). *Manual de Pavimentos.* Huancayo,Perú: Universidad

Continental.

DANIELLA, C. (2016). *Evaluación del efecto del envejecimiento del cemento asfáltico 80-100.* Barranquilla: Universidad Libre-Barranquilla.

ECURED. (12 de 11 de 2019). Obtenido de https://www.ecured.cu/EcuRed:Enciclopedia_cubana

ESCALANTE, V. (2017). *Estudio y analisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional pen 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polimero tipo sbs pg 70 -28.* Cusco – Perú: Universidad Andina del Cuzco.

ESTRADA, V. (2017). *Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 plus y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70 -28.* Cusco,Perú: Universidad Andina del Cusco.

FLORES, M., ORTIZ , M., & Cruz, A. (2020). Recuperación elástica. *Ingenio y Conciencia Boletín Científico de la Escuela Superior Ciudad Sahagún, 7*(14), 52-57.

FORERO, J., GARCÍA, J., & MARTÍNEZ, M. (2015). *Propiedades físicas, reológicas y mecánicas de un cemento.* Bogotá D.C: Universidad La Gran Colombia facultad de Ingeniería Civil.

GUTIERREZ, W. (1994). *Índice de Condición del Pavimento. Método de Evaluación de Pavimentos Asfálticos.* Conferencia.

HAYDEE, A. (2000). *Aseguramiento de la calidad de mezclas bituminosas mediante la aplicación del ensayo de tracción indirecta en el control de su ejecución.* Barcelona, España: Universitat Politécnica de Catalunya.

HERNÁNDEZ, R., FERNÁNDEZ, C., & BAPTISTA, M. (2010). *Metología de la Investigación.* México DF: Mc Graw Hill / Interamericana editores, S.A. de C.V.

HIGUERA, C. (2011). *Nociones sobre metodos de diseño de estructuras de pavimentos para carreteras.* Bocayá.

HIGUERA, C. H., NOVA, D., & RAMÍREZ, E. (2013). *Comportamiento estructural de un pavimento flexible,esfuerzos-deformaciones y deflexiones.* colombia: l sprit ingeniux.

HUANG, Y. (2004). *Pavement Analysis and Design.* Estados Unidos - Kentucky: Pearson Prentice hall.

HURTADO, J. (2010). *Metodologia de la investigacion.* Venezuela: Quirón.

IBÁÑEZ, W. (2015). *Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto: contribución para el tramo de la carretera Chilete – Cajamarca.* Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

INVIAS. (2021). *Normas INV.* Colombia:Ministerio de Transportes.

JESÙS, V. M. (2017). *Aplicación de caucho reciclado en un diseño de mezcla asfaltica para el transito vehicular de la avenida trapiche-comas (remanso) 2017.* lima-perù: Universidad Cesar Vallejo.

JUÁREZ VARÓN, D., Balart Gimeno, R., Ferrándiz Bou, S., & García Sanoguera, D. (2012). *Study,Analisys and classification of thermoplastic elastomers.* Valencia,España: Universidad Politécnica de Valencia.

L. MEDINA, M. M. (2019). *Evaluación reológica y mecánica de un aglutinante asfáltico modificado por polímeros.* Brasília, Brasil: Universidad de Brasília.

LOAYZA, O., RODRÍGUEZ, E., & SALAZAR, J. (2017). *Comparación de los métodos de contenido de asfalto de mezcla asfáltica en caliente*.

MALDONADO, W. (2015). *Uso de polímeros en un nuevo diseño para mejorar las propiedades físico – mecánicas del asfalto: contribución para el tramo de la carretera chilete – cajamarca.* Cajamarca, Perú: Universidad Nacional de Cajamarca escuela de postgrado.

MEDINA , L., MUNIZ DE FARIAS , M., & RECAREY, C. (2020). *Rheological and mechanical evaluation of a polymer modified asphalt binder*. *35*(2).

MORENO, L., CALVO, D. (2014). *Estudio mecánico del asfalto modificado con polimeros y cueros que son utilizados en la elaboración del calzado.* L'esprit Ingénieux, 2014, vol. 5, n° 1. - Colombia: Universidad Santo Tomas.

AGUDELO, S. (2019). *Estudio comparativo del envejecimiento a largo plazo de una mezcla con asfalto modificado con grano de caucho reciclado.* Bogotá D.C., Colombia: Universidad Catolica de Colombia.

MONTERO, T. (2019). *El envejecimiento en mezclas asfálticas.* Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTech: PT carretera .

MTC. (2016). *Manual de ensayo de materiales.* Lima.

MUÑOZ, J. (2017). *Efecto de los agregados en el envejecimiento de la mezcla asfáltica.* santiago de cali: Pontificia Universidad Javeriana - Cali.

NINAYA, S., & ORDÓÑEZ, A. (2006). *Diseño moderno de pavimentos.* Lima:

Facultad de Ingeniería Civil. Instituto de Investigaciones.

REYES, A. (2003). *Diseño racional de pavimentos.* Bogotá.

RICA, U. D., VILLEGAS, AGUIAR, LORIA , & NAVAS. (2012). Métodos modernos de incorporación polimérica en matrices asfálticas. *1*.

RODRÍGUEZ, A., & PÉREZ, A. (2017). *Métodos científicos de indagación y de construcción del conocimiento.* Bogota,Colombia: Universidad EAN.

SAAVEDRA, R., & YPANAQUE, R. (2018). *Influencia del polipropileno en las propiedades físicas y mecánicas del concreto asfáltico por el método Marshall - 2018.* Chimbote – Perú: Universidad Cesar Vallejo.

SALAZAR, J. (2011). *Guía para la realización de ensayos y clasificación de asfaltos, emulsiones asfálticas y asfaltos rebajados según el Reglamento Técnico Centroamericano (RTCA 75.01.22:047).* Reglamento Técnico Centroamericano RTCA 75.01.22:047.

SALCEDO, C. (2008). *Experiencia de modificación de cemento asfáltico con polímeros SBS en obra.* Lima Perú: Universidad de Piura.

TAFUR, D. (2014). *Evaluación de La Influencia de la granulometría en el desempeño de las mezclas asfálticas en caliente.* Jaén-Cajamarca-Perú: Universidad Nacional de Cajamarca.

TAMAYO, M. (2003). *El proceso de la investigacion cinetifica.* Mexico: limusa, S.A. de C.V. grupo noriega editores.

VICTORIA, C.,ORTIZ,J.,AVALOS,F.,CASTAÑEDA,A. (2014). *Modificación de asfalto con elastómeros para su uso en pavimentos.* Mexico: Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma.

ANEXOS

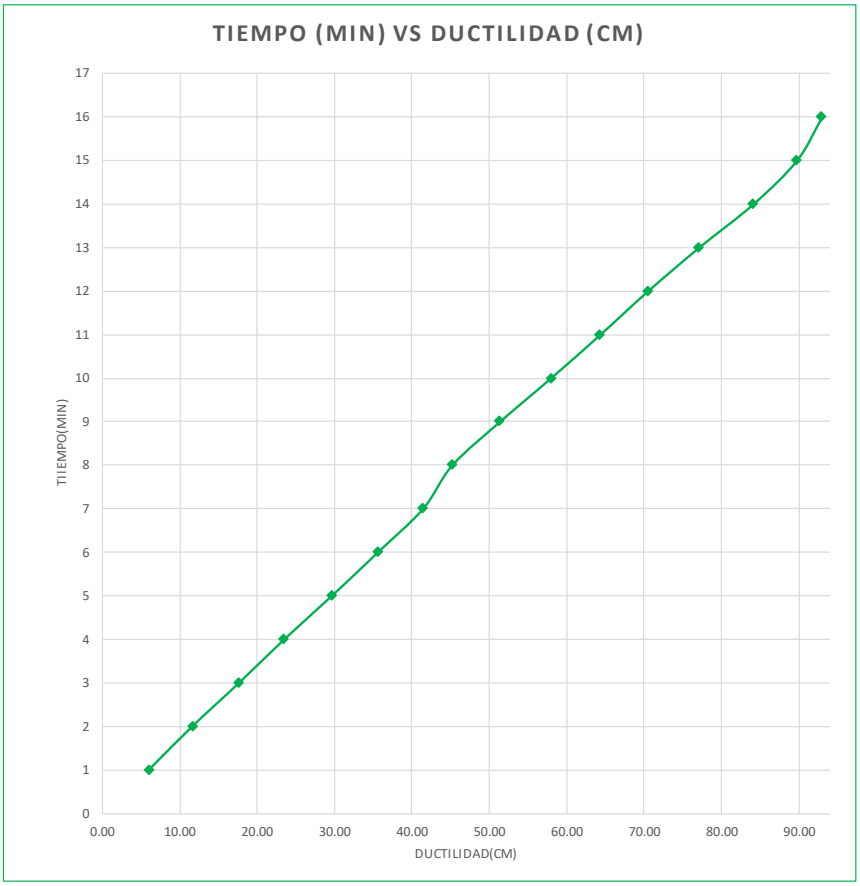
MATRIZ DE CONSISTENCIA

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	MÉTODO
PROBLEMA GENERAL	**OBJETIVO GENERAL**	**HIPÓTESIS GENERAL**				
¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?	Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022.	El poliuretano termoplástico granulado afecta las propiedades de deformación elástica del asfalto de alta consistencia PEN 60-70.	**V1:** Poliuretano Termoplástico	• Granulometría	• Distribución en mm de partículas de agregados • Distribución en mm de partículas de TPU • Porcentaje de retenidos y pasantes	**Método**: Científico Hipotético deductivo. **Tipo:** Aplicada **Nivel de estudio**: Correlacional **Diseño**: Cuasiexperimental **Población:** los asfaltos de alta consistencia de la refinería la pampilla usados en Huancayo. **Muestra:** El número de especímenes fue de 54. **Técnicas de: obtención de datos**: Fuentes primarias: Observación directa Fuentes secundarias: Textos, tesis, formatos de control, fichas. **procesamiento de datos**: Se utilizaron encuestas, análisis de documentos, observación y experimentación en el laboratorio,software.
PROBLEMA ESPECÍFICO	**OBJETIVOS ESPECÍFICOS**	**HIPÓTESIS ESPECÍFICAS**		1% 5% 10%	• Contenido en gramos de poliuretano como parte de la mezcla (poliuretano termoplástico – asfalto)	
¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?	Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022.	El poliuretano termoplástico granulado afecta de forma positiva en la ductilidad de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70.				
¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?	Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022.	El poliuretano termoplástico granulado afecta de forma positiva en la recuperación elástica de los asfaltos de alta consistencia PEN 60-70.	**V2:** Propiedades de Deformación elástica	• Ductilidad	• Máxima longitud en cm que se tracciona hasta la rotura.	
				• Recuperación elástica	• Variación porcentual de longitudes iniciales y finales	
¿En qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la fluencia de las mezclas asfálticas de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022?	Determinar en qué medida el poliuretano termoplástico granulado afecta la fluencia de las mezclas asfálticas de alta consistencia PEN 60-70 – Huancayo 2022.	El poliuretano termoplástico granulado afecta de forma positiva en la fluencia de las mezclas asfálticas de alta consistencia PEN 60-70.		• fluencia	• máxima resistencia a la deformación a una constante de carga • medida de la máxima longitud deformada en mm durante el ensayo de estabilidad	

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1024
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 02 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 SIN ADICION	**FECHA:**	14/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	6.05
2	11.66
3	17.71
4	23.54
5	29.70
6	35.64
7	41.47
8	45.25
9	51.41
10	58.00
11	64.37
12	70.52
13	77.11
14	84.13
15	89.75
16	93.02



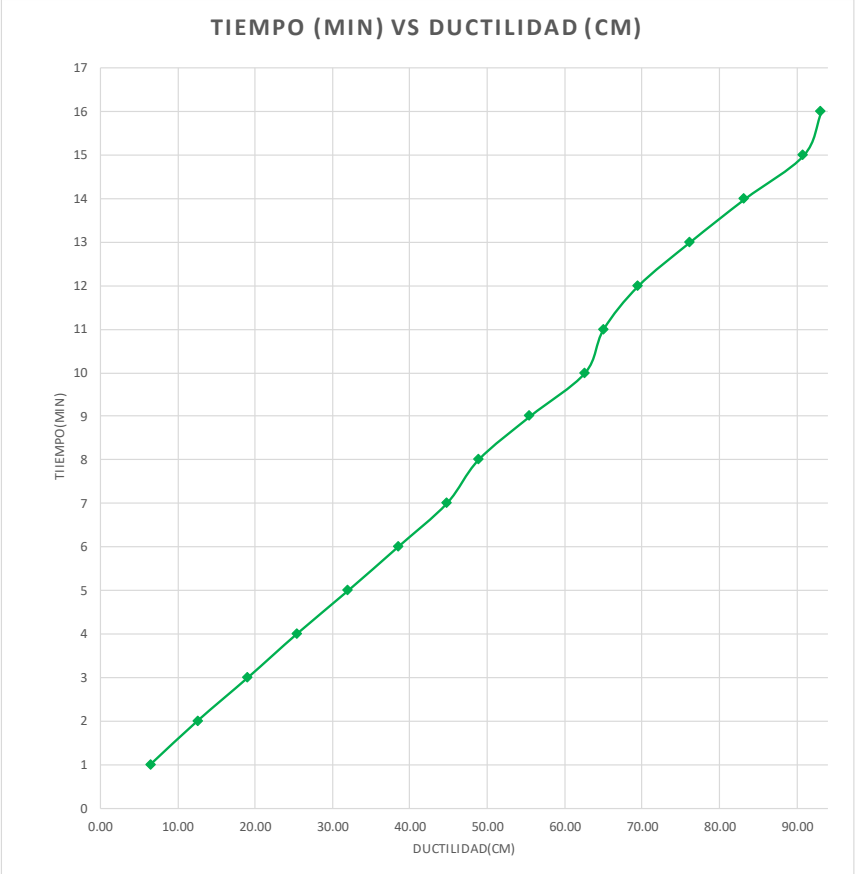
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1023
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 01 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 SIN ADICION	**FECHA:**	14/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	6.53
2	12.60
3	19.13
4	25.43
5	32.08
6	38.49
7	44.79
8	48.87
9	55.52
10	62.64
11	65.02
12	69.52
13	76.17
14	83.28
15	90.86
16	93.14



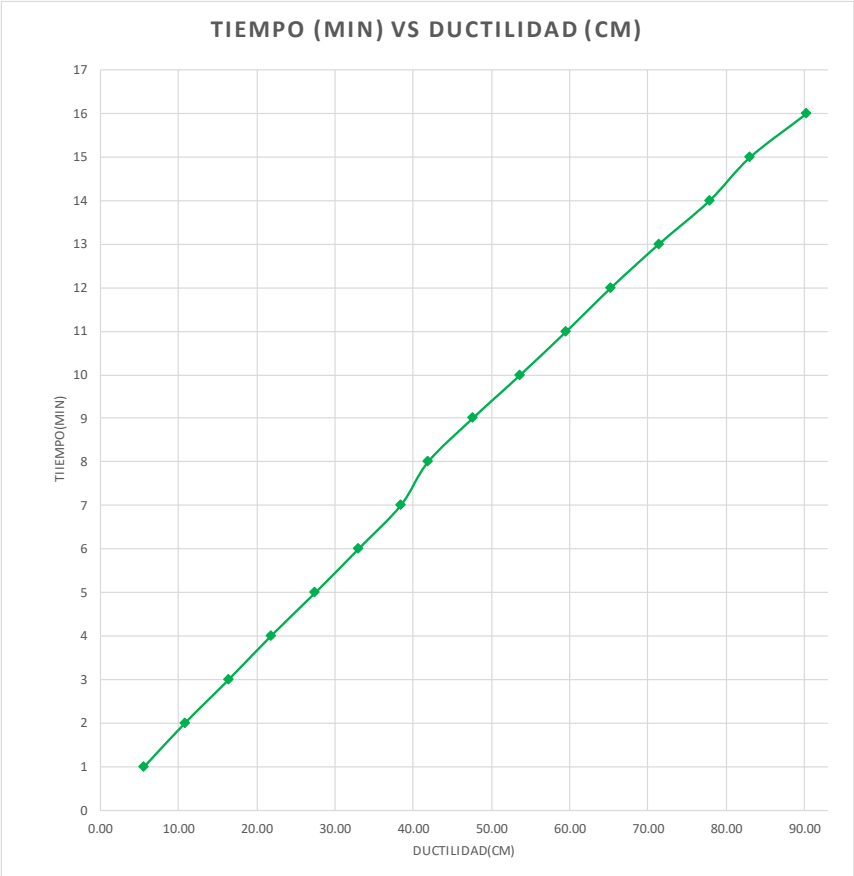
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1025
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 03 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 SIN ADICION	**FECHA:**	14/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.60
2	10.80
3	16.40
4	21.80
5	27.50
6	33.00
7	38.40
8	41.90
9	47.60
10	53.70
11	59.60
12	65.30
13	71.40
14	77.90
15	83.10
16	91.20



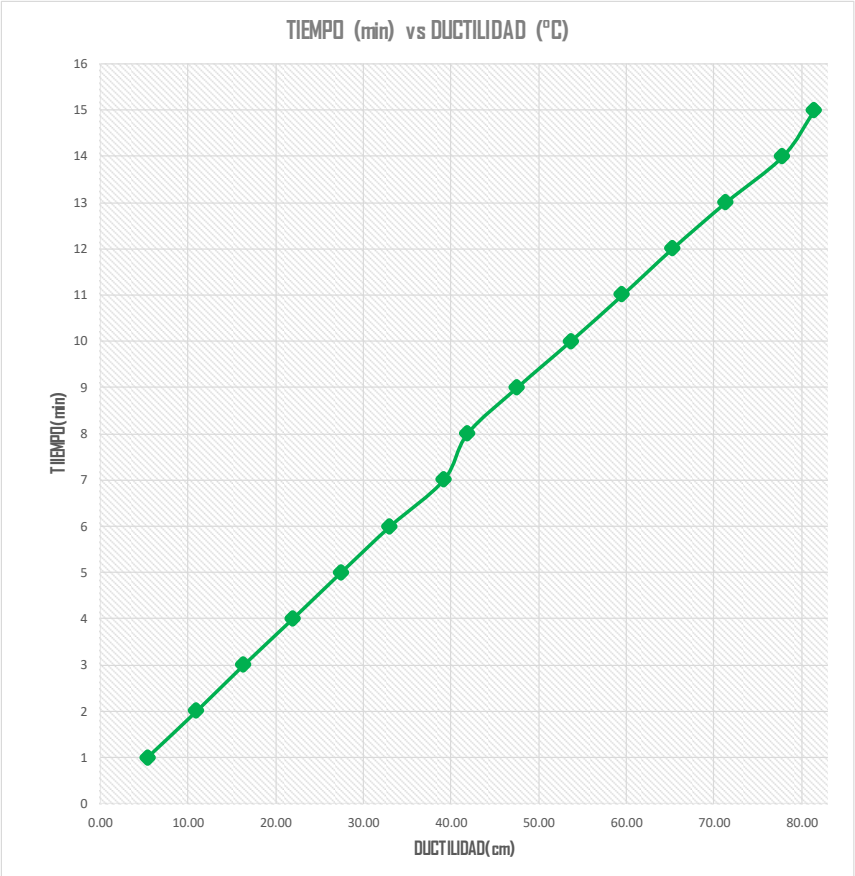
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1026
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 01 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 1% DE POLIURETANO	**FECHA:**	15/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.40
2	11.00
3	16.40
4	22.00
5	27.50
6	33.10
7	39.20
8	41.90
9	47.60
10	53.70
11	59.60
12	65.30
13	71.40
14	77.90
15	81.50
16	



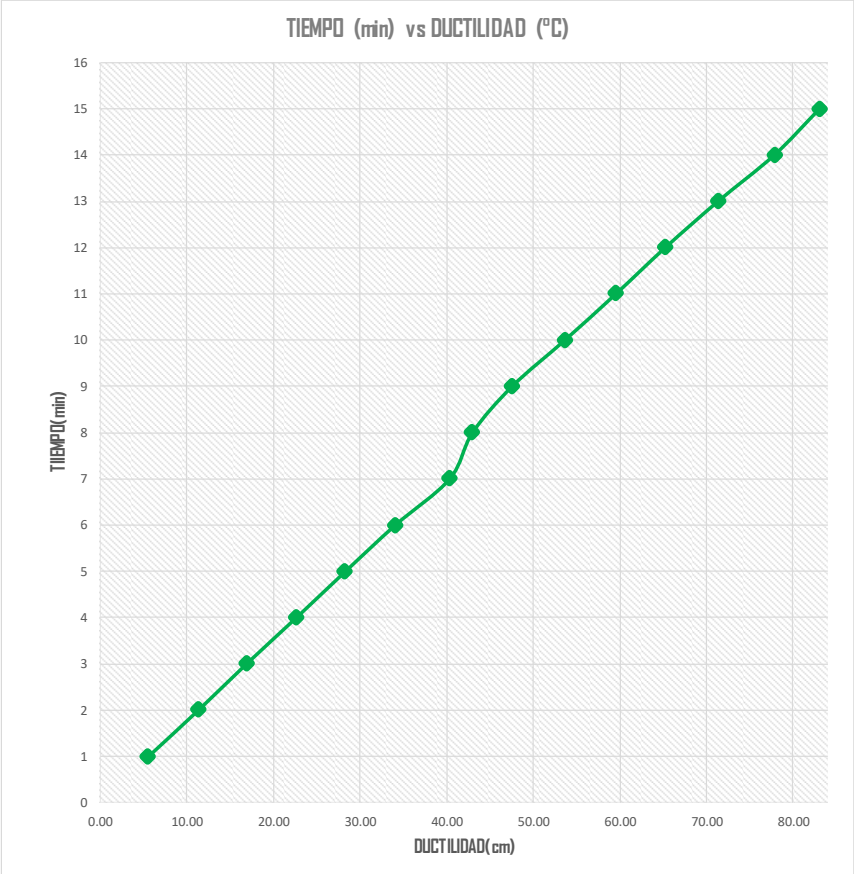
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1027
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 01 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 1% DE POLIURETANO	**FECHA:**	15/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.56
2	11.33
3	16.89
4	22.66
5	28.33
6	34.09
7	40.38
8	43.01
9	47.60
10	53.70
11	59.60
12	65.30
13	71.40
14	77.90
15	83.13
16	



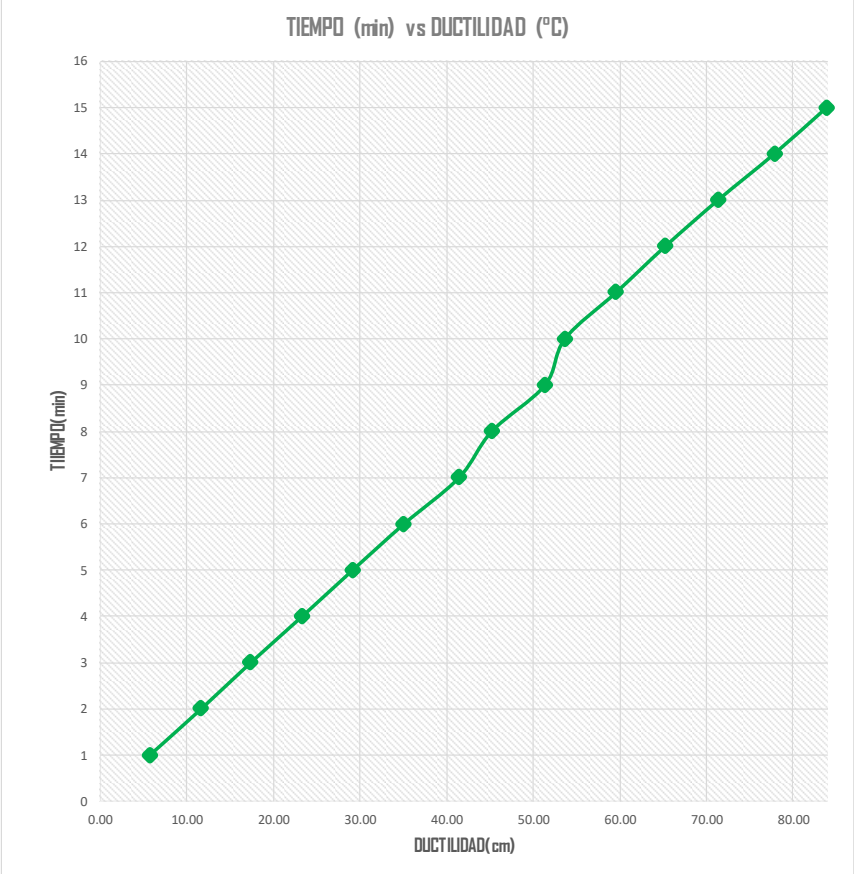
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1028
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 01 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 1% DE POLIURETANO	**FECHA:**	15/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.73
2	11.67
3	17.40
4	23.34
5	29.17
6	35.12
7	41.47
8	45.25
9	51.41
10	53.70
11	59.60
12	65.30
13	71.40
14	77.90
15	83.95
16	



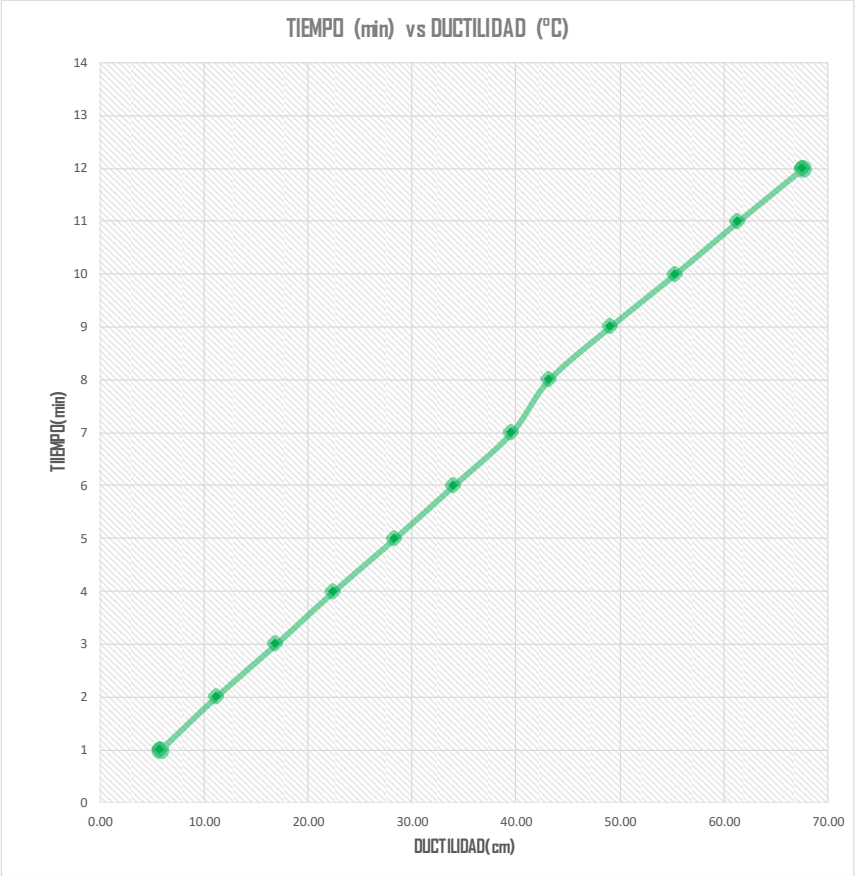
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1029
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 01 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 5% DE POLIURETANO	**FECHA:**	16/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.77
2	11.12
3	16.89
4	22.45
5	28.33
6	33.99
7	39.55
8	43.16
9	49.03
10	55.31
11	61.39
12	67.60
13	
14	
15	
16	



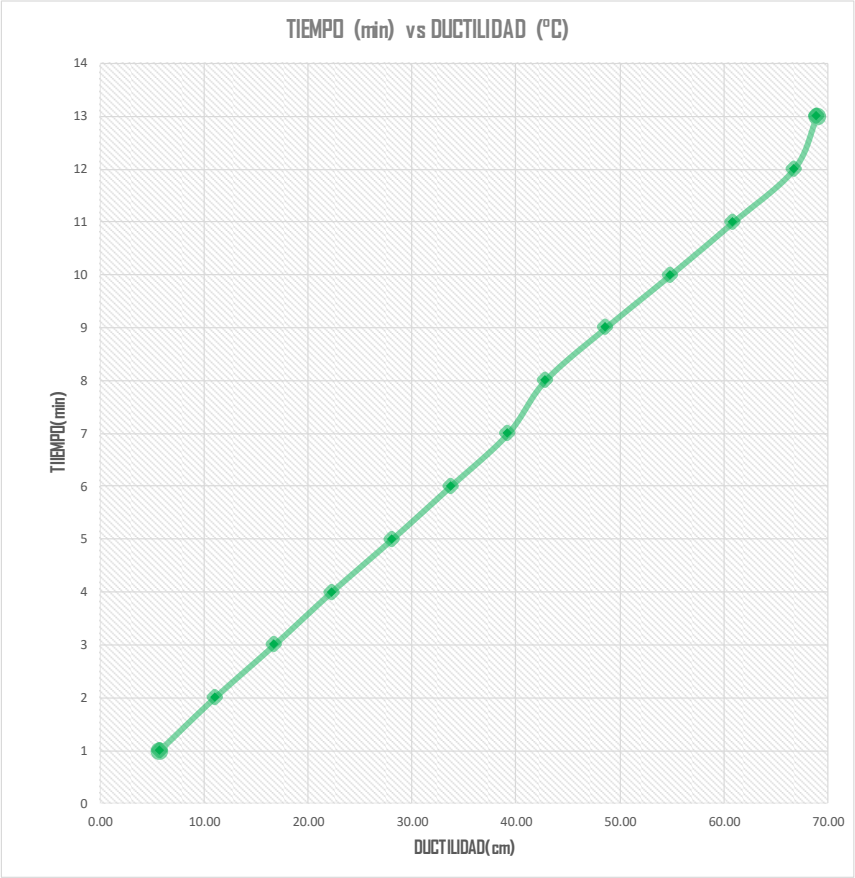
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1030
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRA 02 CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 5% DE POLIURETANO	**FECHA:**	16/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.72
2	11.04
3	16.76
4	22.28
5	28.11
6	33.73
7	39.24
8	42.82
9	48.65
10	54.88
11	60.91
12	66.74
13	68.95
14	
15	
16	



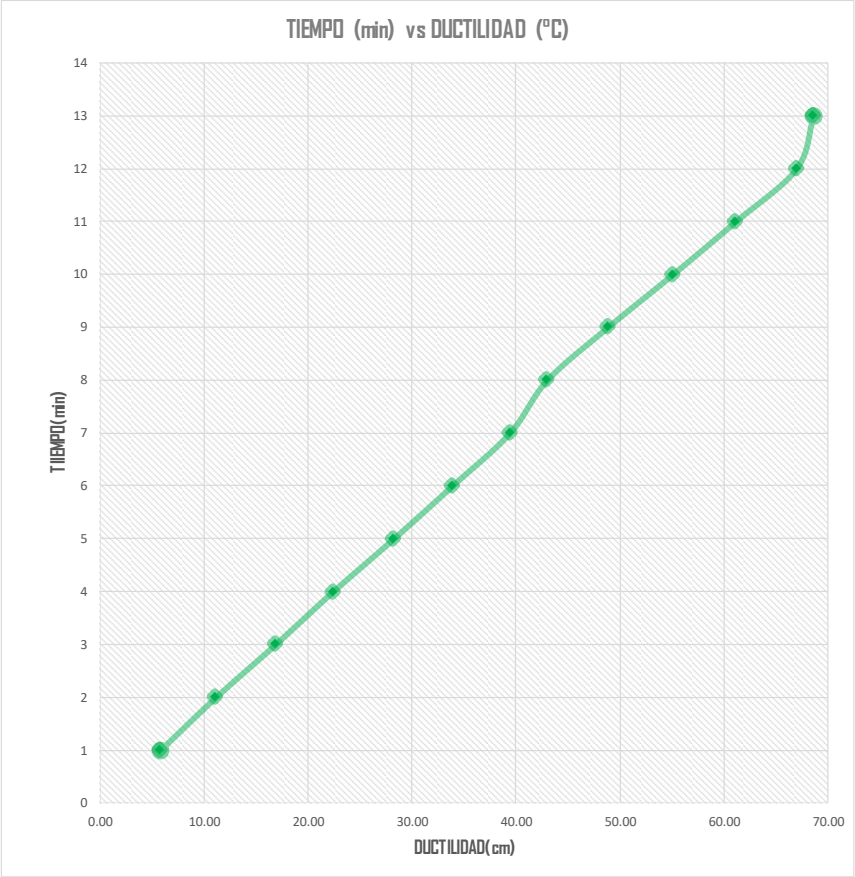
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1031
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**19°C**
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 5% DE POLIURETANO	**FECHA:**	16/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.75
2	11.08
3	16.83
4	22.37
5	28.22
6	33.86
7	39.40
8	42.99
9	48.84
10	55.10
11	61.15
12	67.00
13	68.63
14	
15	
16	



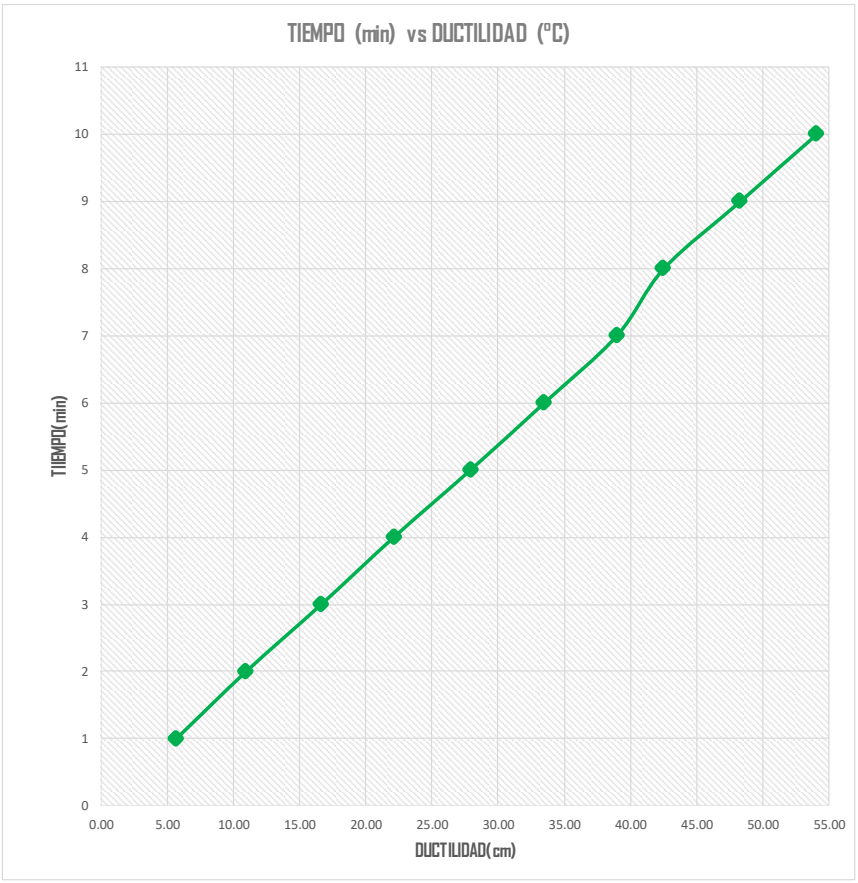
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1032
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**20°C**
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 10% DE POLIURETANO	**FECHA:**	16/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.68
2	10.96
3	16.65
4	22.13
5	27.91
6	33.50
7	38.98
8	42.53
9	48.31
10	54.10
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	



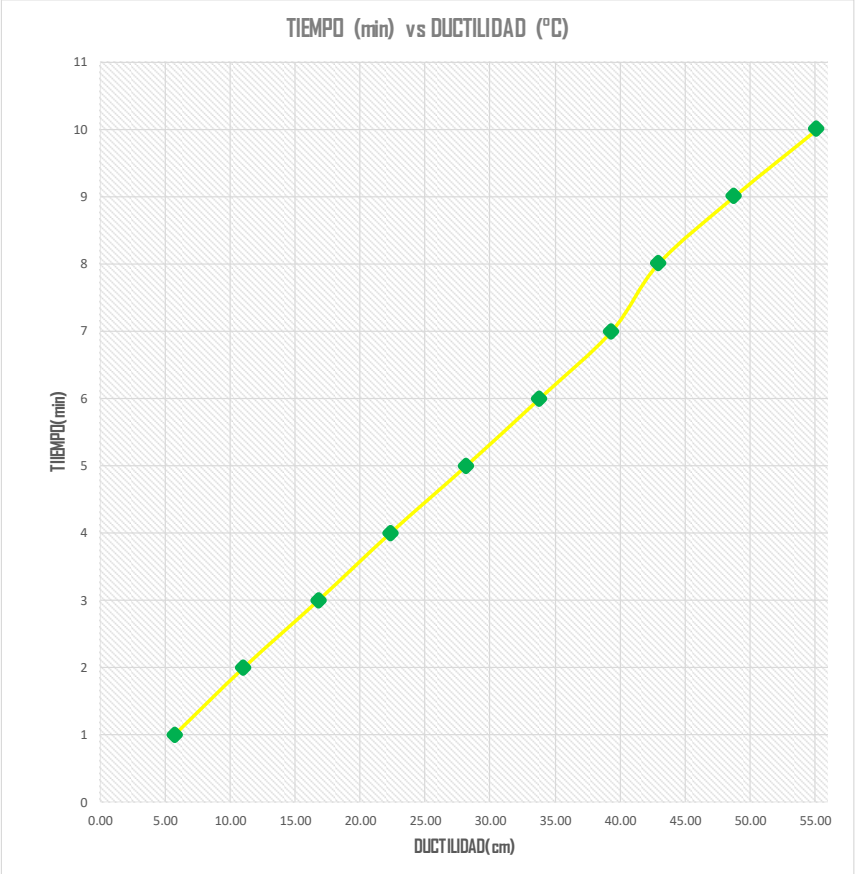
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1033
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**20°C**
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 10% DE POLIURETANO	**FECHA:**	16/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.74
2	11.07
3	16.81
4	22.35
5	28.19
6	33.83
7	39.37
8	42.95
9	48.80
10	55.18
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	



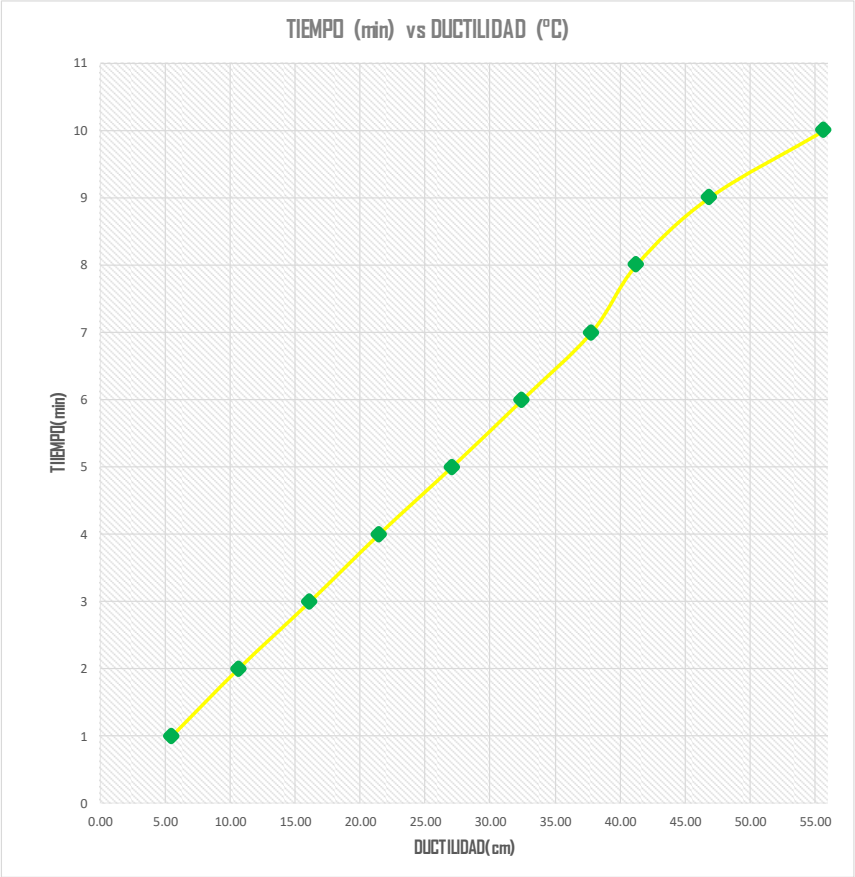
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1034
MATERIAL:	**CEMENTO ASFALTICO 60-70**	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	**21°C**
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION DE 10% DE POLIURETANO	**FECHA:**	17/02/2022

TIEMPO (min)	DUCTILIDAD (cm)
1	5.51
2	10.63
3	16.15
4	21.46
5	27.08
6	32.49
7	37.81
8	41.25
9	46.86
10	55.72
11	
12	
13	
14	
15	
16	
17	
18	
19	
20	
21	
22	
23	
24	
25	
26	
27	
28	
29	



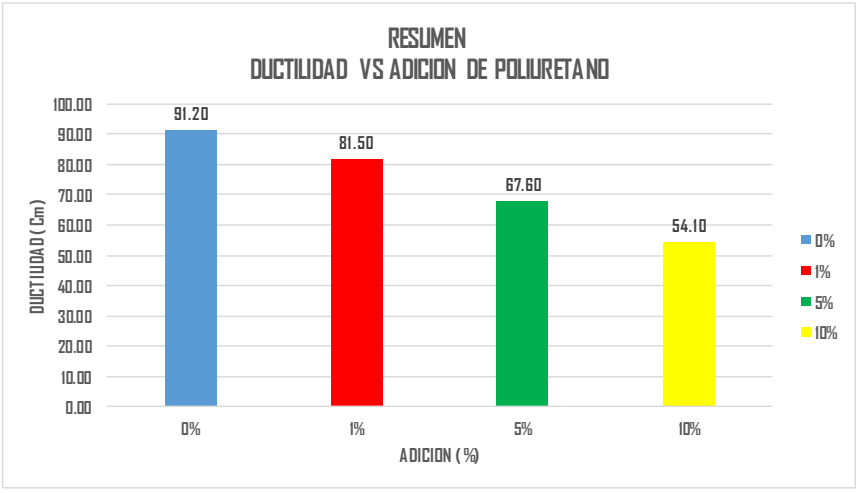
Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO:	ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021		
CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1035
MATERIAL:	CEMENTO ASFALTICO 60-70	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	20°C
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION Y CON ADICIONES DE 1%,5% Y 10%	**FECHA:**	**14/02/2022**

ADICION (%)	DUCTILIDAD (Cm)
0%	91.20
1%	81.50
5%	67.60
10%	54.10



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1036

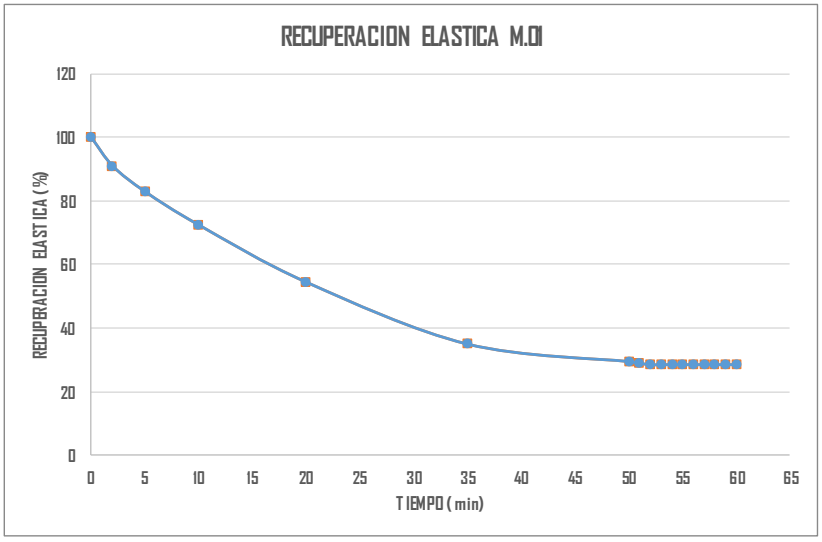
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 SIN ADICION

FECHA: 6/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91
5	83
10	72.5
20	54.5
35	35
50	29.5
51	29
52	28.5
53	28.5
54	28.5
55	28.5
56	28.5
57	28.5
58	28.5
59	28.5
60	28.5



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1037

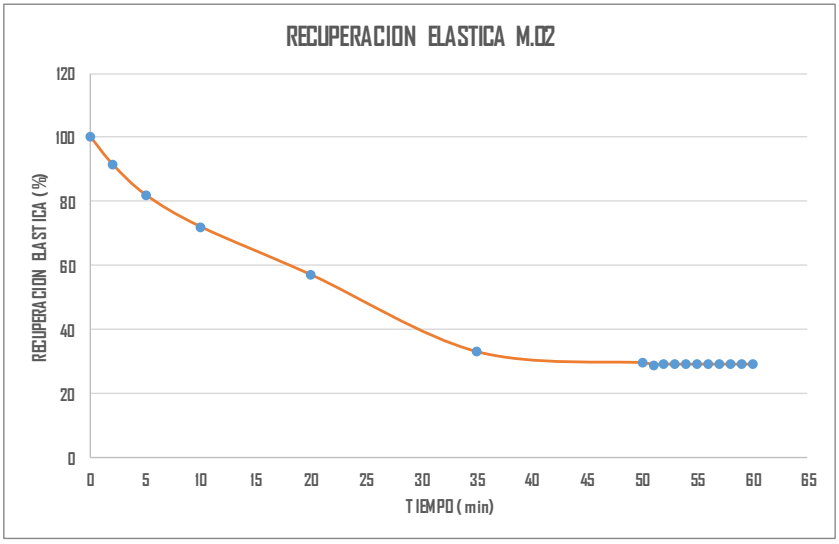
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 SIN ADICION

FECHA: 6/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91.5
5	82
10	72
20	57
35	33
50	29.5
51	29
52	29.05
53	29.05
54	29.05
55	29.05
56	29.05
57	29.05
58	29.05
59	29.05
60	29.05



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1038

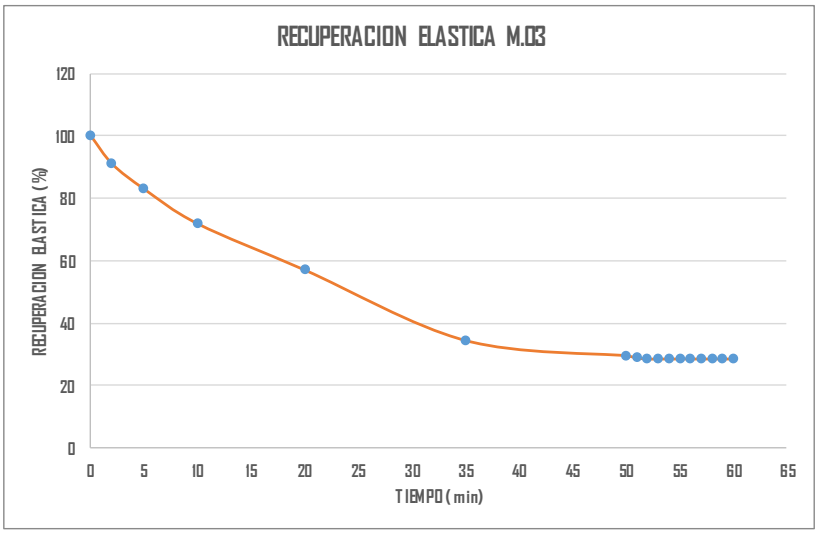
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 SIN ADICION

FECHA: 6/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91
5	82.95
10	71.85
20	57.05
35	34.5
50	29.6
51	28.9
52	28.55
53	28.55
54	28.55
55	28.55
56	28.55
57	28.55
58	28.55
59	28.55
60	28.55



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1039

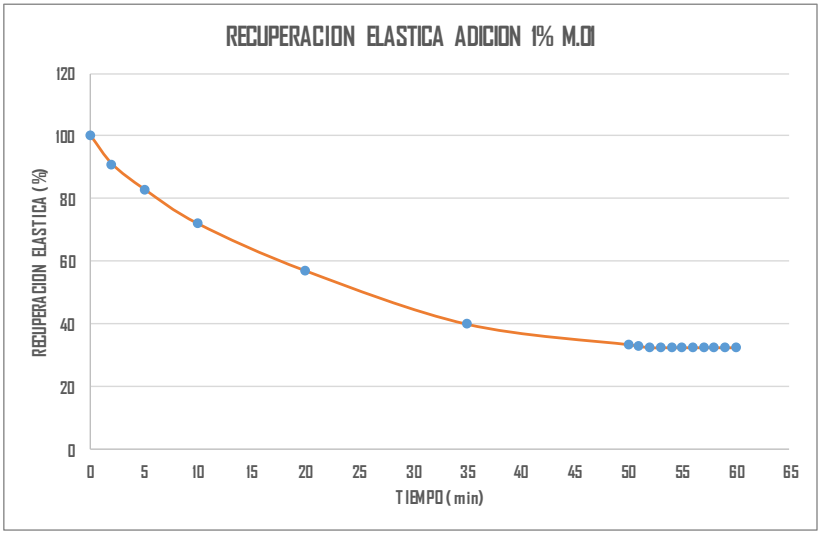
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 1% DE POLIURETANO

FECHA: 7/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91
5	83
10	72
20	57
35	40
50	33.5
51	33
52	32.5
53	32.5
54	32.5
55	32.5
56	32.5
57	32.5
58	32.5
59	32.5
60	32.5



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1040

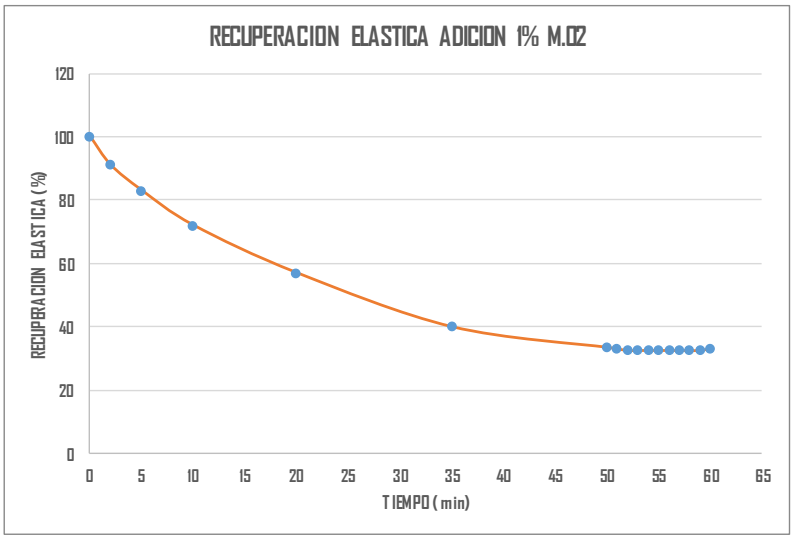
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 1% DE POLIURETANO

FECHA: 7/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91
5	83
10	72
20	57
35	40
50	33.5
51	33
52	32.5
53	32.5
54	32.5
55	32.5
56	32.5
57	32.5
58	32.5
59	32.5
60	33.15



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1041

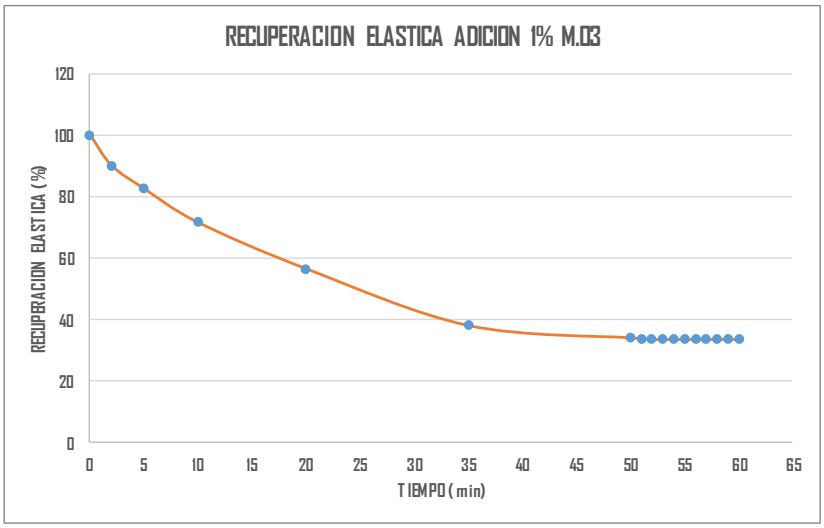
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 1% DE POLIURETANO

FECHA: 7/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	90
5	82.5
10	71.5
20	56.45
35	38
50	34
51	33.75
52	33.45
53	33.45
54	33.45
55	33.45
56	33.45
57	33.45
58	33.45
59	33.45
60	33.45



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1042

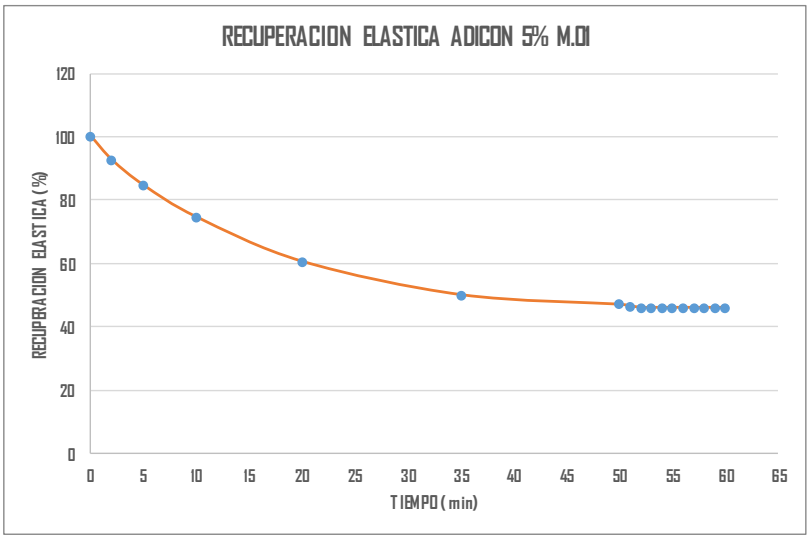
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 5% DE POLIURETANO

FECHA: 7/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	92.5
5	84.5
10	74.5
20	60.5
35	50
50	47
51	46.5
52	46
53	46
54	46
55	46
56	46
57	46
58	46
59	46
60	46



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1043

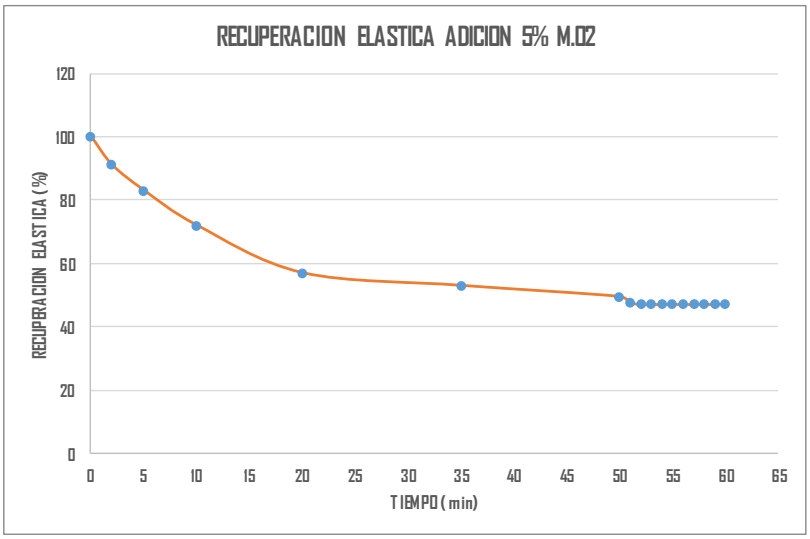
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 5% DE POLIURETANO

FECHA: 7/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91
5	83
10	72
20	57
35	53
50	49.5
51	47.5
52	46.95
53	46.95
54	46.95
55	46.95
56	46.95
57	46.95
58	46.95
59	46.95
60	46.95



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1044

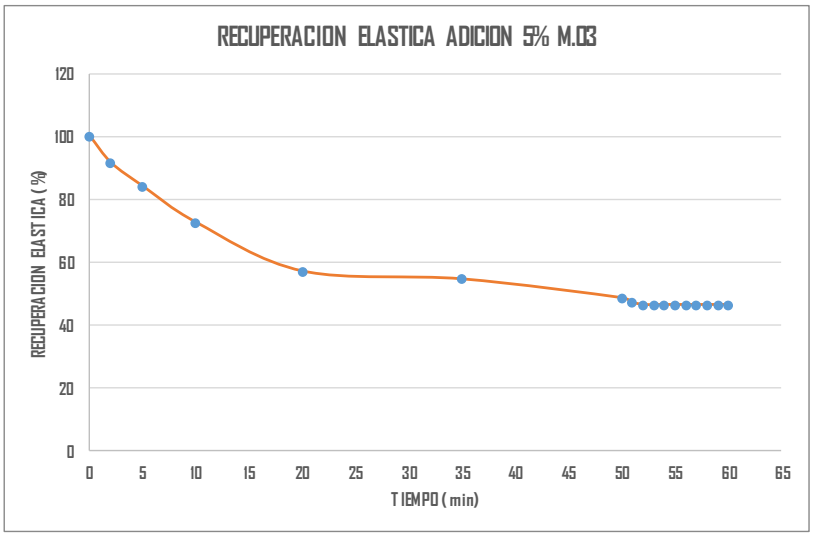
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 5% DE POLIURETANO

FECHA: 7/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91.5
5	84
10	72.5
20	57
35	54.5
50	48.5
51	47
52	46.35
53	46.35
54	46.35
55	46.35
56	46.35
57	46.35
58	46.35
59	46.35
60	46.35



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1045

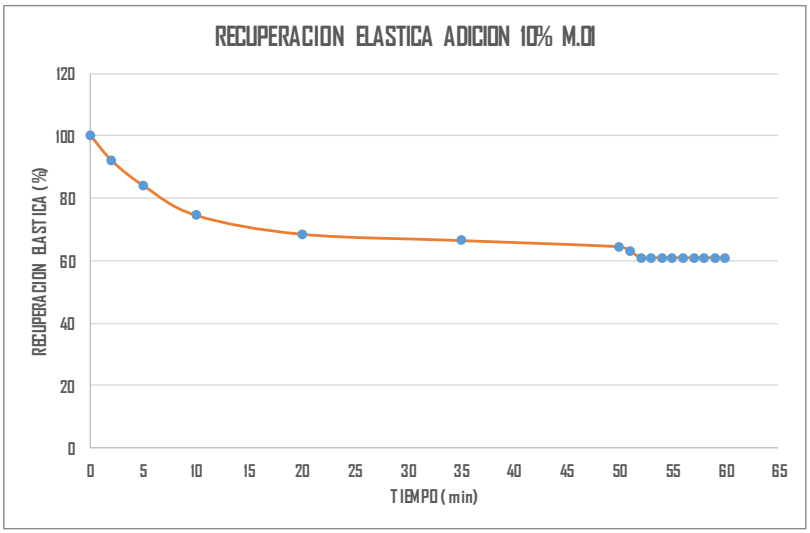
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 10% DE POLIURETANO

FECHA: 8/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	92
5	84
10	74.5
20	68.5
35	66.5
50	64.5
51	63
52	61
53	61
54	61
55	61
56	61
57	61
58	61
59	61
60	61



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1046

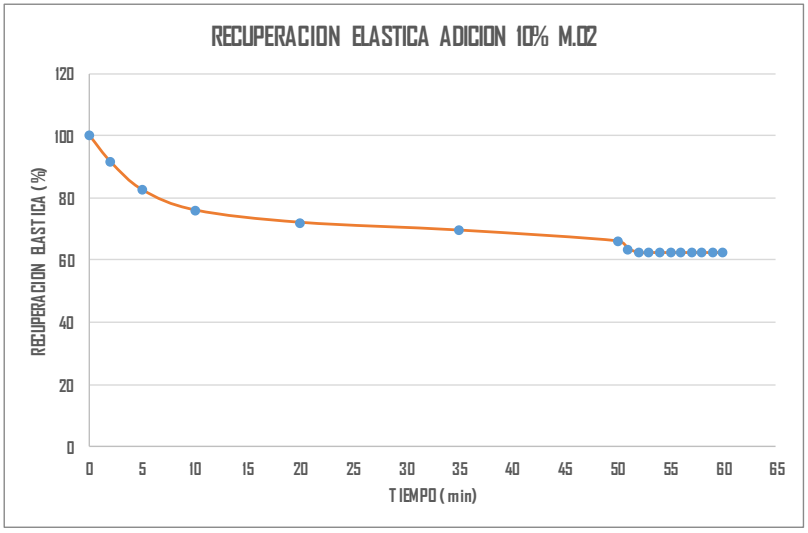
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 10% DE POLIURETANO

FECHA: 8/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91.5
5	82.5
10	76
20	72
35	69.5
50	66
51	63.5
52	62.2
53	62.2
54	62.2
55	62.2
56	62.2
57	62.2
58	62.2
59	62.2
60	62.2



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1047

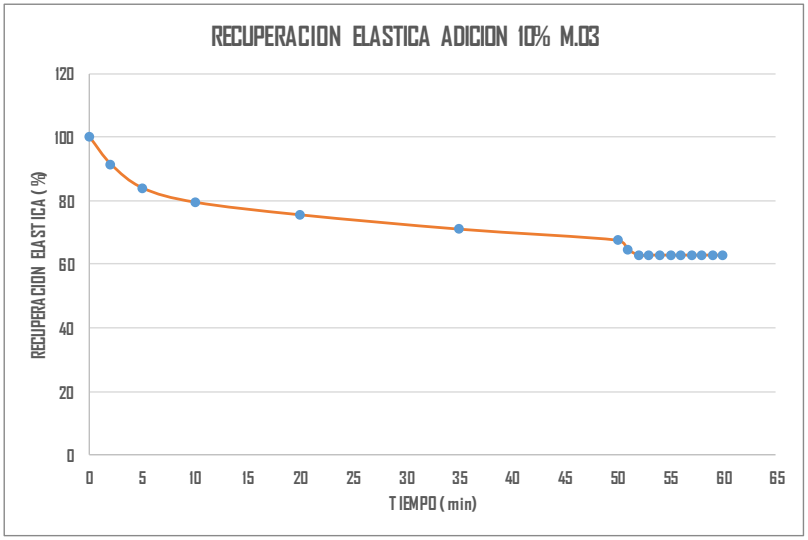
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO PEN 60-70 CON ADICION del 10% DE POLIURETANO

FECHA: 8/12/2021

TIEMPO (min)	%
0	100
2	91.5
5	84
10	79.5
20	75.5
35	71
50	67.5
51	64.5
52	62.8
53	62.8
54	62.8
55	62.8
56	62.8
57	62.8
58	62.8
59	62.8
60	62.8



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA CONSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1048

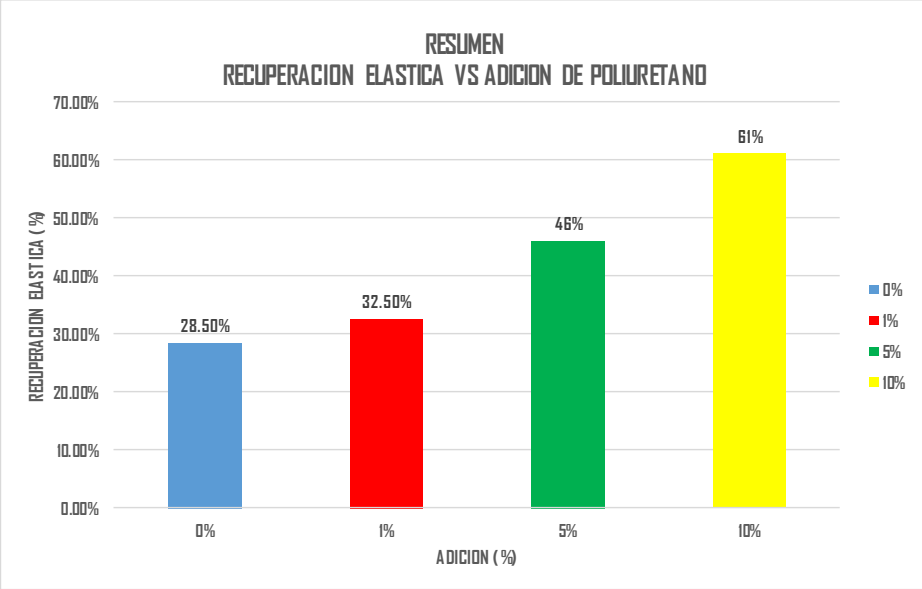
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION Y CON ADICIONES DE 1%,5% Y 10%

FECHA: 8/12/2021

ADICION (%)	RECUPERACION ELASTICA (%)
0%	28.50
1%	32.50
5%	46.00
10%	61.00



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE: Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1049

MATERIAL: AGREGADO GRUESOS Y FINOS

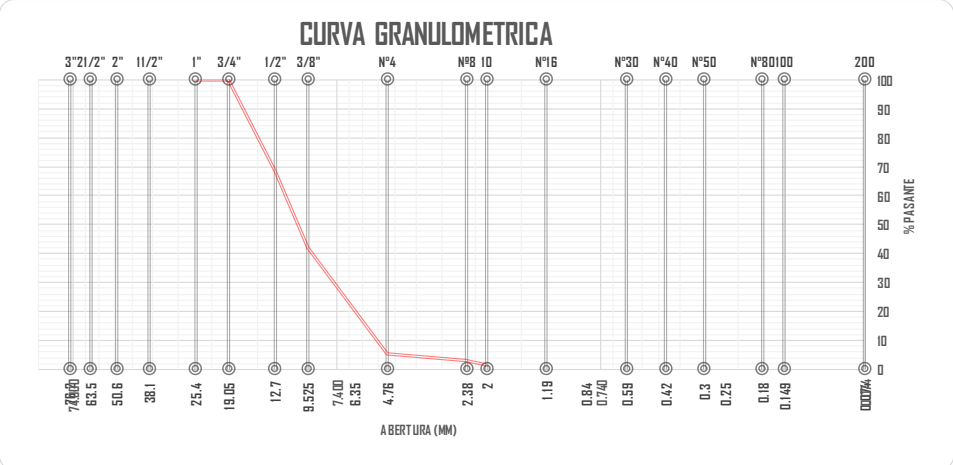
TEMPERATURA AMBIENTE: 19°C

MUESTRA: GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FECHA: 9/12/2021

ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

GRAVA CHANCADA TM 1/2"					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulad**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	951.30	31.71	31.71	68.29
tm - 3/8"	9.525	785.20	26.17	57.88	42.12
tm - N°4	4.750	1107.90	36.93	94.81	5.19
tm - N°8	2.550	65.79	2.19	97.01	2.99
tm - N°10	2.000	46.30	1.54	98.55	1.45
tm - N°16	1.185	13.32	0.44	98.99	1.01
tm - N°30	0.600	8.30	0.28	99.27	0.73
tm - N°40	0.425	5.23	0.17	99.44	0.56
tm - N°50	0.295	2.16	0.07	99.52	0.48
tm - N°80	0.175	4.11	0.14	99.65	0.35
tm - N°100	0.148	2.93	0.10	99.75	0.25
tm - N°200	0.072	3.10	0.10	99.85	0.15
< tm - N°200		4.36	0.15	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		3000.00	gr		



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Ponta
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE: Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1050

MATERIAL: AGREGADO GRUESOS Y FINOS

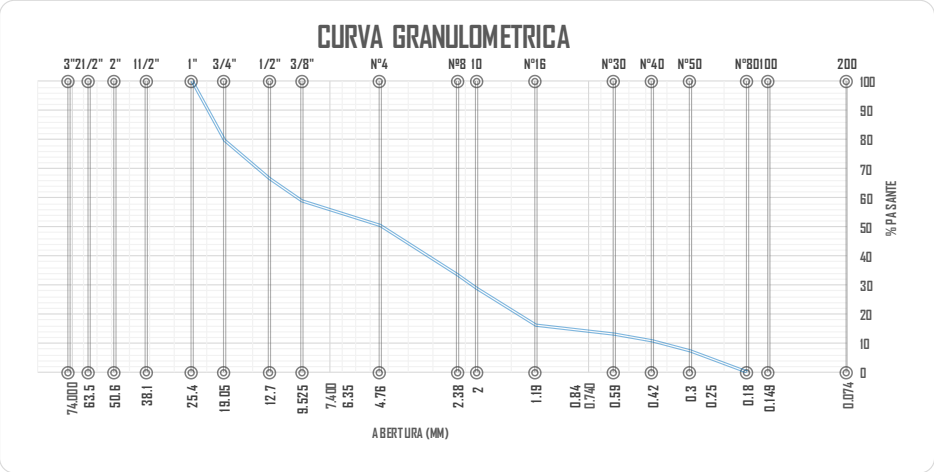
TEMPERATURA AMBIENTE: 19°C

MUESTRA: GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FECHA: 9/12/2021

ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

ARENA NATURAL					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten.**	**% Reten.**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	301.67	20.11	20.11	79.89
tm - N°8	2.550	197.70	13.18	33.29	66.71
tm - N°10	2.000	116.50	7.77	41.06	58.94
tm - N°16	1.185	127.79	8.52	49.58	50.42
tm - N°30	0.600	251.20	16.75	66.32	33.68
tm - N°40	0.425	72.45	4.83	71.15	28.85
tm - N°50	0.295	191.47	12.76	83.92	16.08
tm - N°80	0.175	41.31	2.75	86.67	13.33
tm - N°100	0.148	35.73	2.38	89.05	10.95
tm - N°200	0.072	55.35	3.69	92.74	7.26
< tm - N°200		108.83	7.26	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE: Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1051

MATERIAL: AGREGADO GRUESOS Y FINOS

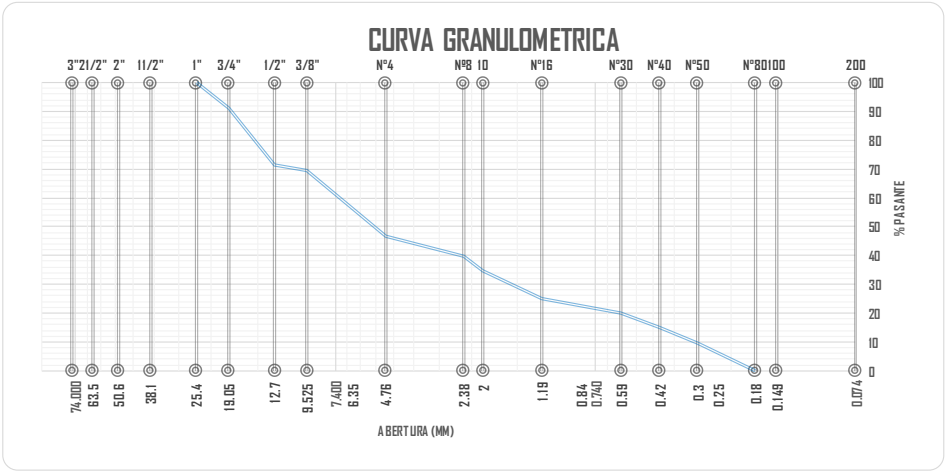
TEMPERATURA AMBIENTE: 19°C

MUESTRA: GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FECHA: 10/12/2021

ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

ARENA PROCESADA					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten.**	**% Reten.**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	132.31	8.82	8.82	91.18
tm - N°8	2.550	299.17	19.94	28.77	71.23
tm - N°10	2.000	27.17	1.81	30.58	69.42
tm - N°16	1.185	338.36	22.56	53.13	46.87
tm - N°30	0.600	109.27	7.28	60.42	39.58
tm - N°40	0.425	74.86	4.99	65.41	34.59
tm - N°50	0.295	142.56	9.50	74.91	25.09
tm - N°80	0.175	78.27	5.22	80.13	19.87
tm - N°100	0.148	73.55	4.90	85.03	14.97
tm - N°200	0.072	83.67	5.58	90.61	9.39
< tm - N°200		140.81	9.39	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE: Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1052

MATERIAL: AGREGADO GRUESOS Y FINOS

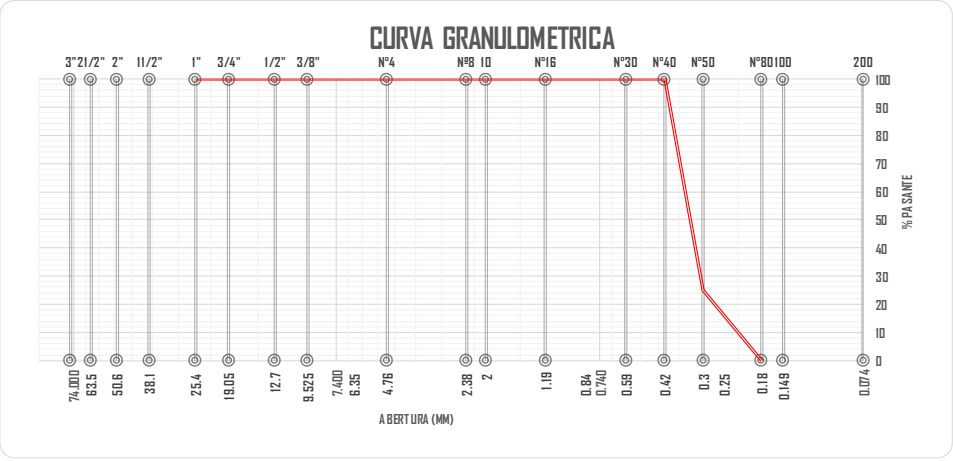
TEMPERATURA AMBIENTE: 19°C

MUESTRA: GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FECHA: 10/12/2021

ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FILLER					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148		0.00	0.00	100.00
tm - N°200	0.072	150.00	75.00	75.00	25.00
< tm - N°200		50.00	25.00	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		200.00	gr		



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE: Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1053

MATERIAL: AGREGADO GRUESOS Y FINOS

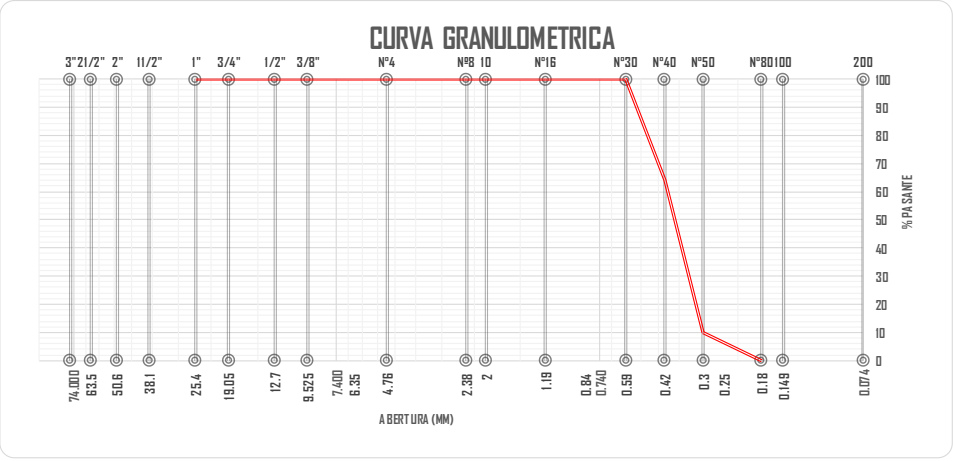
TEMPERATURA AMBIENTE: 19°C

MUESTRA: GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

FECHA: 10/12/2021

ANALISIS GRANULOMETRIA DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS

POLIURETANO TERMOPLASTICO					
Malla		**Peso (gr)**	**% Reten. Parcial**	**% Reten. Acumulado**	**% Pasante**
Tamiz	**mm**				
tm - 3"	76.200				
tm - 2 1/2"	63.550				
tm - 2"	50.800				
tm - 1 1/2"	38.110	0.00	0.00	0.00	0.00
tm - 1"	25.405	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - 3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°8	2.550	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°10	2.000	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°16	1.185	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°30	0.600	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°40	0.425	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°50	0.295	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°80	0.175	0.00	0.00	0.00	100.00
tm - N°100	0.148	180.00	36.00	36.00	64.00
tm - N°200	0.072	270.00	54.00	90.00	10.00
< tm - N°200		50.00	10.00	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		500.00	gr		



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1054

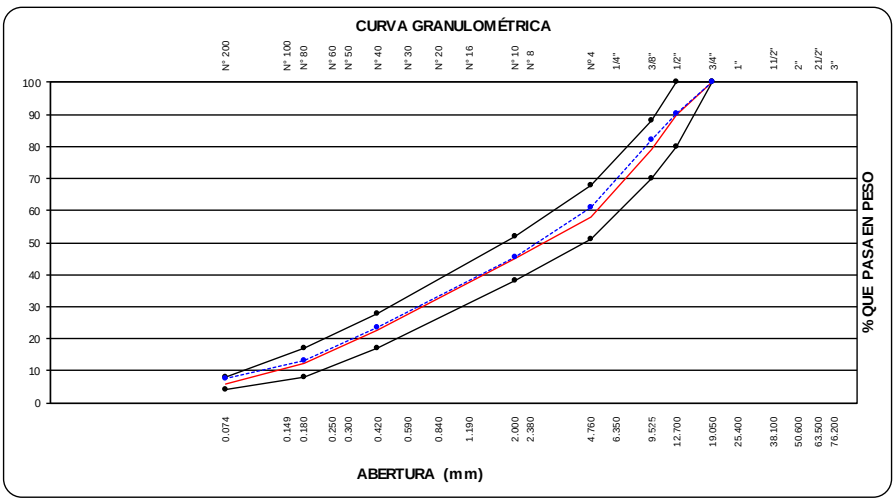
MATERIAL: AGREGADO GRUESOS Y FINOS

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA:

FECHA: 11/12/2021

Malla		Porcentajes pasantes (%)						Especificaciones
Tamiz	mm.							MAC - 2
Agregados		PIEDRAS		ARENAS			MEZCLA	MTC
		piedra 3/4" CRUSHING	piedra 1/2" CRUSHING	Arena Procesada La Gloria	Arena Chancada Crushing	filler		
Proporciones		3/4"	1/2"	NATURAL	CHANCADA	filler	100%	
		0%	20%	38%	35%	7%		
1"	25.4	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00		
3/4"	19.05	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	100 - 100
1/2"	12.7	0.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.0	80 - 100
3/8"	9.525	0.00	3.30	100.00	100.00	100.00	80.7	70 - 88
Nº 4	4.76	0.00	1.00	86.05	59.60	100.00	60.8	51 - 68
Nº 8	2.36	0.00	0.30	66.85	27.95	100.00	42.2	
Nº 10	2	0.00	0.00	61.10	22.90	100.00	38.2	38 - 52
Nº 16	1.18	0.00	0.00	42.10	12.30	100.00	27.3	
Nº 30	0.6	0.00	0.00	31.50	9.05	100.00	22.1	
Nº 40	0.42	0.00	0.00	22.85	7.20	100.00	18.2	17 - 28
Nº 50	0.3	0.00	0.00	11.30	3.40	100.00	12.5	
Nº 80	0.18	0.00	0.00	4.25	0.35	100.00	8.7	8 - 17
Nº 100	0.15	0.00	0.00	3.50	0.20	100.00	8.4	
Nº 200	0.074	0.00	0.00	0.65	0.05	50.00	3.8	4 - 8
pasa		0.00	0.00	13.00	1.00	0.00	5.3	



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

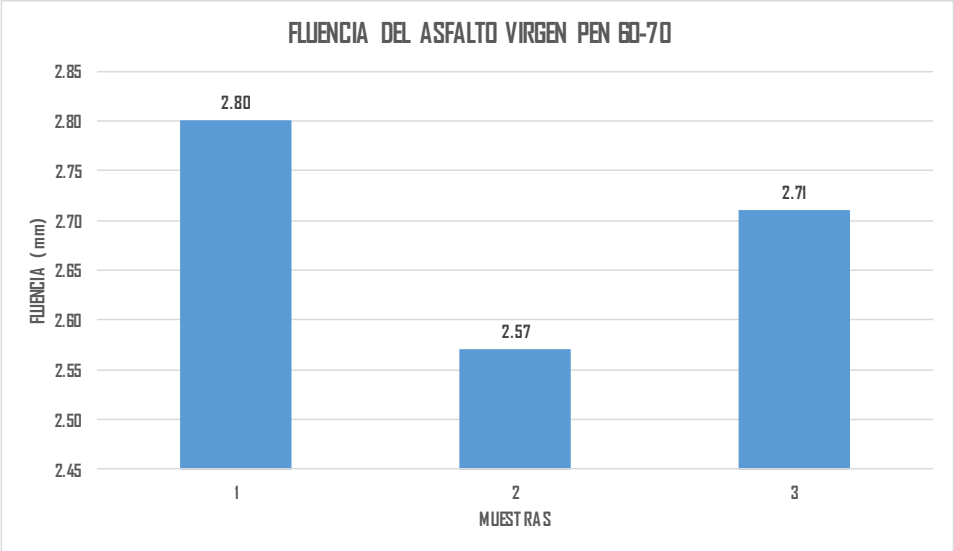
Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1055
MATERIAL:	CEMENTO ASFALTICO 60-70	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	20°C
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION	**FECHA:**	11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03
ADICION (%)	0		
FLUENCIA (mm)	2.80	2.57	2.71



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

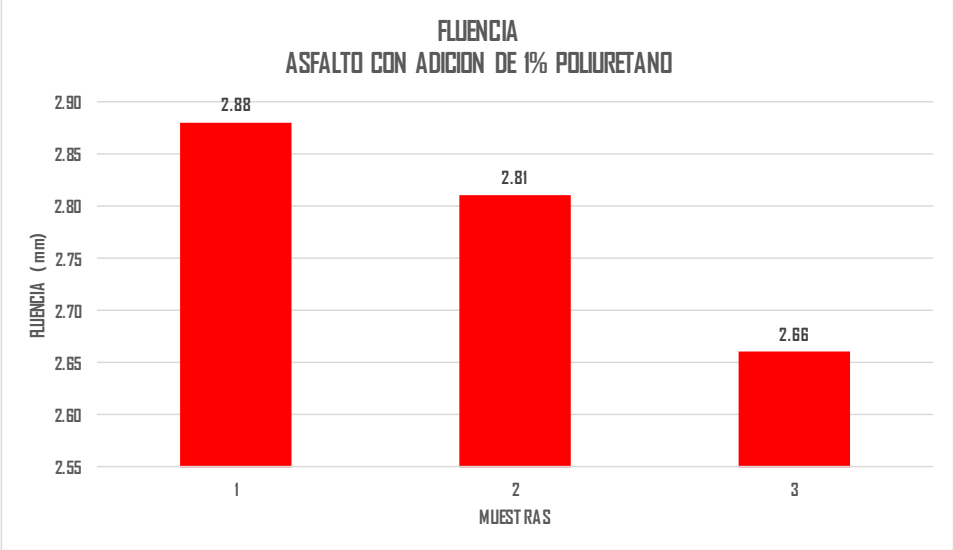
Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1056
MATERIAL:	CEMENTO ASFALTICO 60-70	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	20°C
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 CON ADICION DEL 1% DE POLIURETANO	**FECHA:**	11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03
ADICION (%)	1		
FLUENCIA (mm)	2.88	2.81	2.66



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

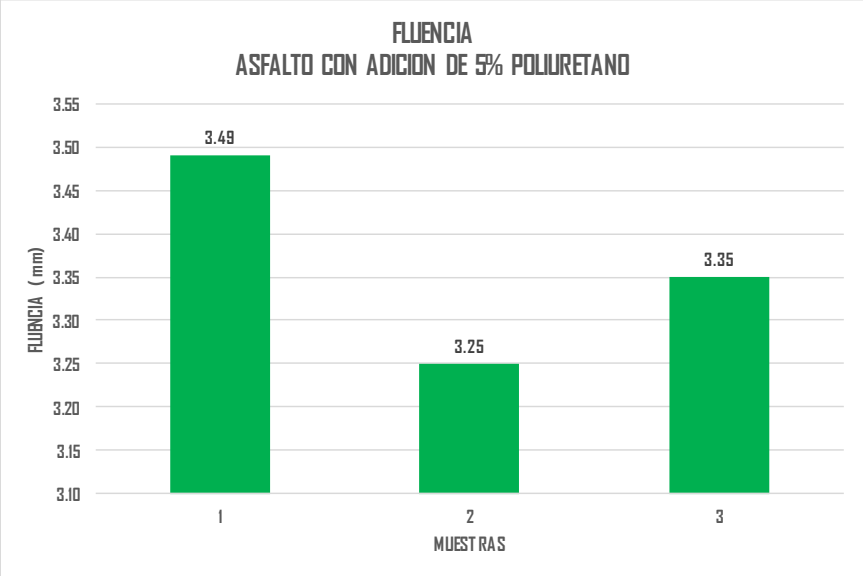
Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1057
MATERIAL:	CEMENTO ASFALTICO 60-70	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	20°C
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 CON ADICION DEL 1% DE POLIURETANO	**FECHA:**	11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03
ADICION (%)	5		
FLUENCIA (mm)	3.49	3.25	3.35



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

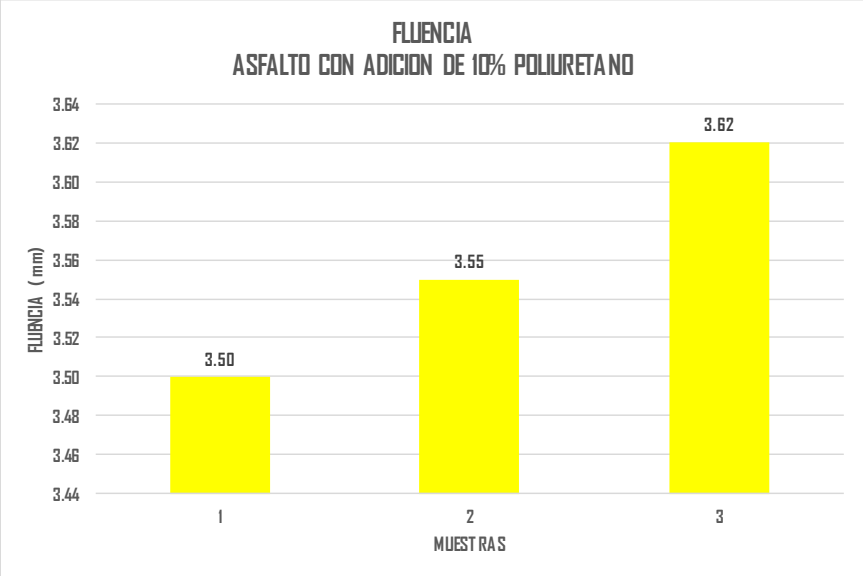
Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE	Bach. Quispe Quintana Francisco Henry Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix	**CERTIFICADO:**	2021-1058
MATERIAL:	CEMENTO ASFALTICO 60-70	**TEMPERATURA AMBIENTE:**	20°C
MUESTRA:	MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 CON ADICION DEL 1% DE POLIURETANO	**FECHA:**	11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03
ADICION (%)	5		
FLUENCIA (mm)	3.50	3.55	3.62



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1059

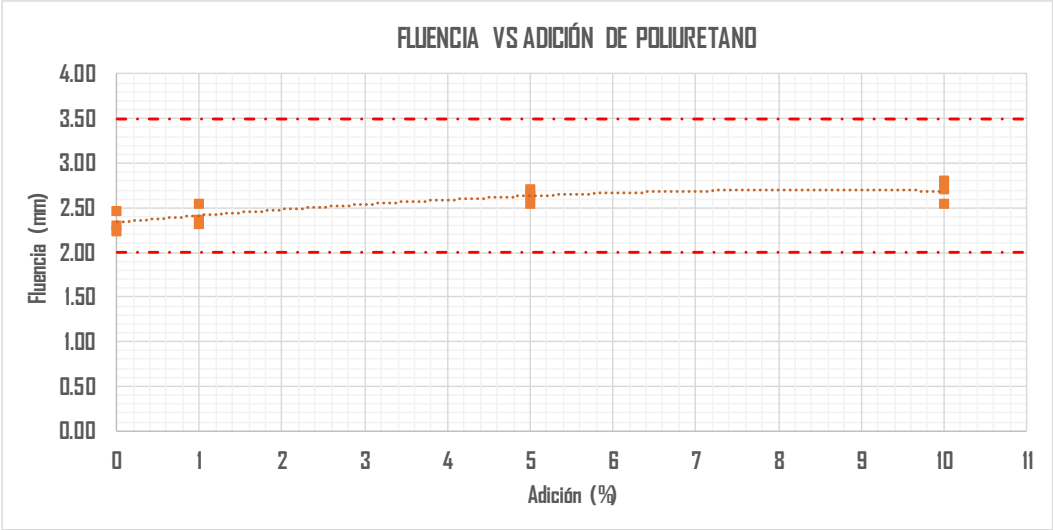
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION Y CON ADICION DEL 1%, 5% Y 10% DE

FECHA: 11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03	Briq.- 04
ADICION (%)	0	1	5	10
FLUENCIA (mm)	2.31	2.47	2.59	2.61



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1060

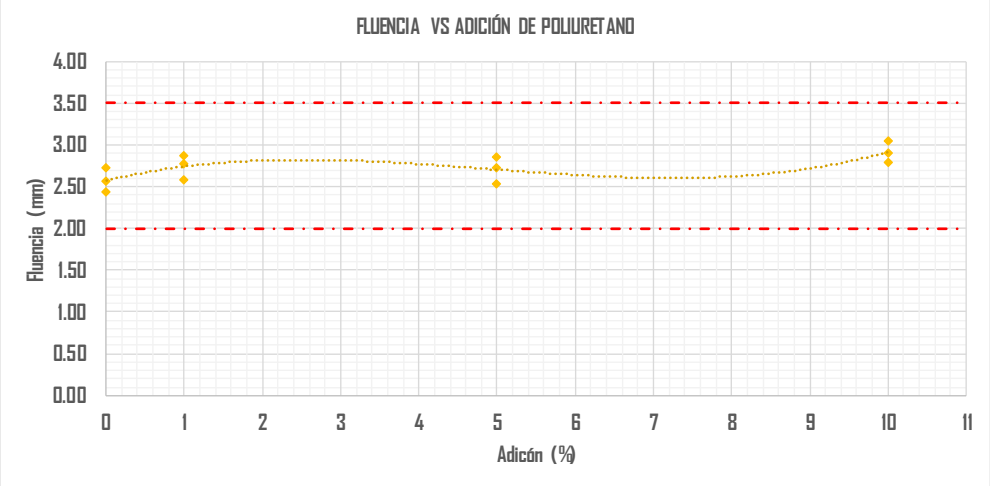
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION Y CON ADICION DEL 1%, 5% Y 10% DE

FECHA: 11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03	Briq.- 04
ADICION (%)	0	1	5	10
FLUENCIA (mm)	2.53	2.75	2.68	2.86



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L.

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1060

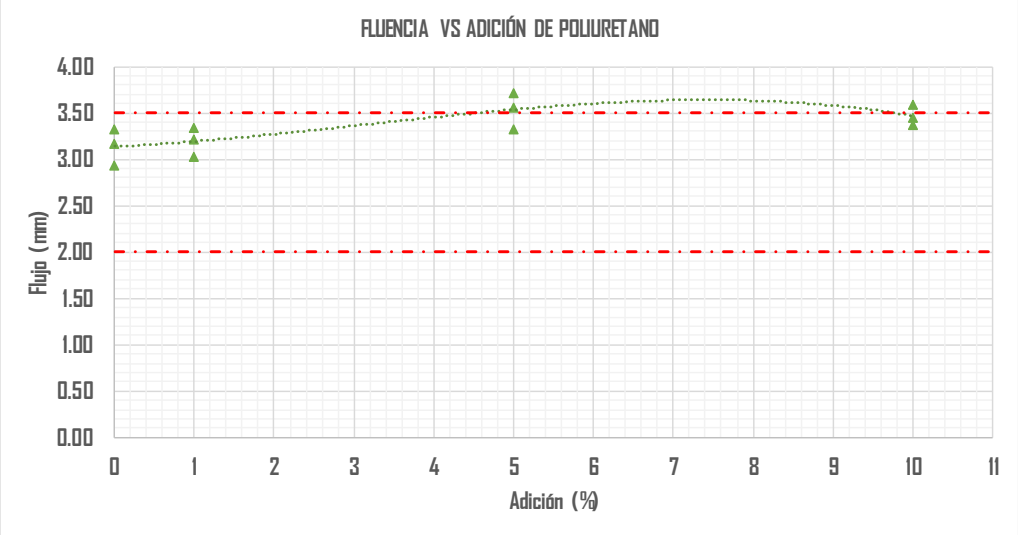
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION Y CON ADICION DEL 1%, 5% Y 10% DE

FECHA: 11/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03	Briq.- 04
ADICION (%)	0	1	5	10
FLUENCIA (mm)	2.53	2.75	2.68	2.86



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TECNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

PROYECTO: ADICIÓN DE POLIURETANO TERMOPLÁSTICO GRANULADO EN LA RECUPERACIÓN ELÁSTICA DE ASFALTOS DE ALTA COSISTENCIA PEN 60-70, HUANCAYO 2021

CLIENTE Bach. Quispe Quintana Francisco Henry
Bach. Chuquillanqui Rios Carlos Felix

CERTIFICADO: 2021-1061

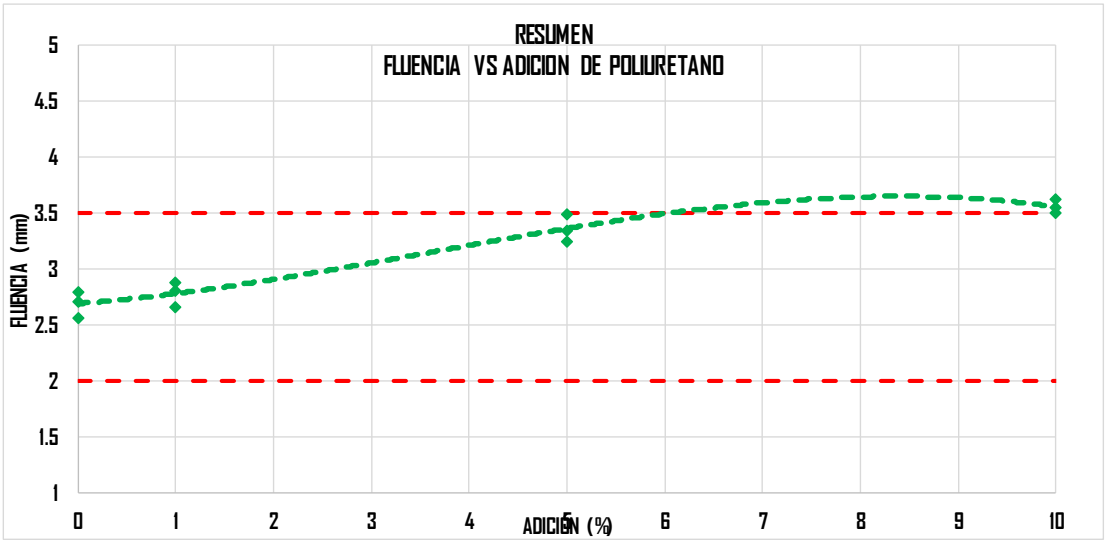
MATERIAL: CEMENTO ASFALTICO 60-70

TEMPERATURA AMBIENTE: 20°C

MUESTRA: MUESTRAS CEMENTO ASFALTICO 60-70 SIN ADICION Y CON ADICIONES DE 1%,5% Y 10%

FECHA: 3/12/2021

	Briq.- 01	Briq.- 02	Briq.- 03	Briq.- 04	Briq.- 05	Briq.- 06	Briq.- 07	Briq.- 08	Briq.- 09	Briq.- 13	Briq.- 14	Briq.- 15
ADICION (%)	0			1			5			10		
FLUENCIA (mm)	2.80	2.57	2.71	2.88	2.81	2.66	3.49	3.25	3.35	3.50	3.55	3.62



Juan Ernesto Tejada Diaz
JEFE DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

Julio Adrian Rojas Poma
TÉCNICO DE LABORATORIO
COLDFIX E.I.R.L

PANEL FOTOGRÁFICO

Anexo 1 *Problemas de ahuellamiento (Distrito de Cajas)*

Anexo 2 *Problemas de ahuellamiento (Anexo de Hualahoyo- El Tambo)*

Anexo 3 *Fisuras o agrietamiento longitudinal (Distrito de Cajas)*

Anexo 4: *Selección de cantera Matahuasi*

Anexo 5: *selección agregados (planta chancadora de Matahuasi)*

Anexo 6: *Extracción del cemento asfaltico para el ensayo de ductilidad*

Anexo 7: *Acondicionamiento del asfalto PEN 60-70 para el ensayo de ductilidad*

Anexo 8: *Aplicación del material desmoldante*

Anexo 9: *Vertido del asfalto PEN 60-70 a los moldes*

Anexo 10: *Reposo de las tres muestras por un tiempo de media hora a temperatura ambiente.*

Anexo 11: *Baño María a 25°C de las tres muestras por un tiempo de media hora*

Anexo 12: *Enrasado de las tres muestras con la espátula calentado de una cocina eléctrica.*

Anexo 13: *Se acondiciona en el baño maría por un tiempo de 90 minutos para llegar a temperatura.*

Anexo 14: *Remoción de la base y las partes laterales del molde*

Anexo 15: *Colocación de las muestras en el ductilómetro.*

Anexo 16: *Ensayo de ductilidad.*

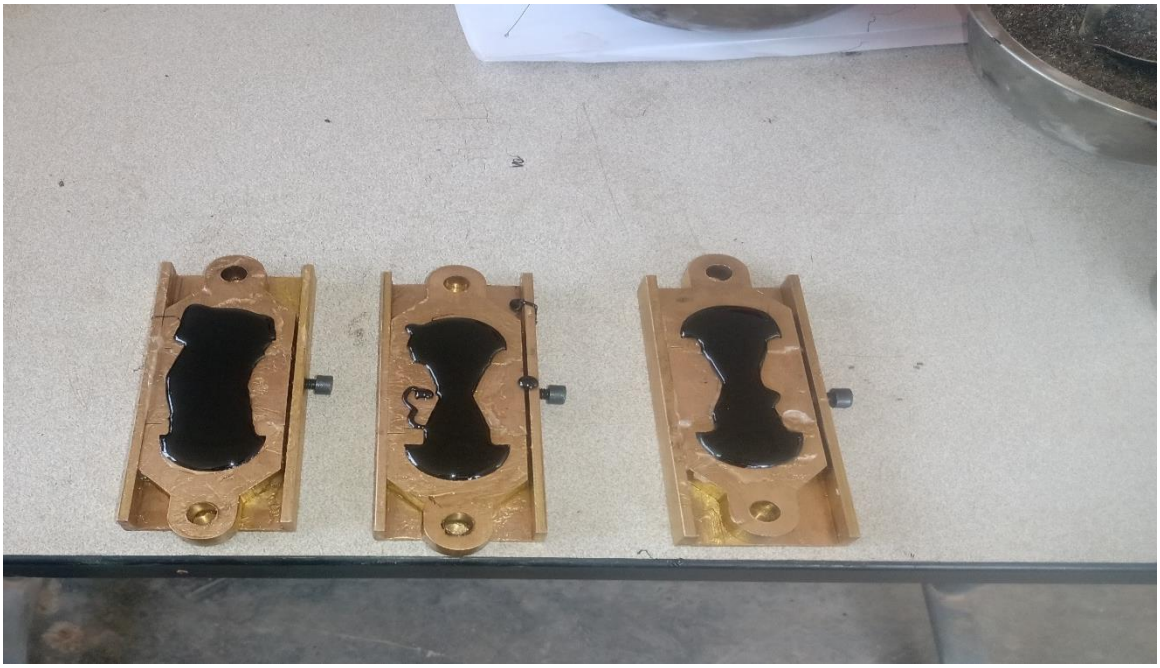
Anexo 17: *Mezcla y pesado del poliuretano termoplástico granulado según el porcentaje de adición del polímero de 1% sobre el peso del ligante asfaltico para el ensayo de ductilidad*

Anexo 18: *Mezcla del poliuretano termoplástico granulado al 1% del peso del ligante asfaltico para el ensayo de ductilidad*

Anexo 19: *Aplicación del material desmoldante en los moldes de ductilidad.*

Anexo 20 : *Vertido de muestra del cemento asfaltico con del poliuretano termoplástico granulado al 1% del peso del ligante asfaltico al molde para el ensayo de ductilidad*

Anexo 21: *Acondicionamiento de la muestra del cemento asfaltico con 1% de poliuretano termoplástico granulado del peso del ligante asfaltico a temperatura ambiente por 30 min*



Anexo 22: *Baño María de la muestra del cemento asfalto con 1% de poliuretano termoplástico granulado del peso del ligante asfaltico al molde para el ensayo de ductilidad*

Anexo 23: *Ensayo de ductilidad de la muestra del cemento asfalto con 1% de poliuretano termoplástico granulado*

Anexo 24: *Extracción del cemento asfaltico para el ensayo de recuperación elástica*

Anexo 25: *Acondicionamiento del asfalto PEN 60-70 para el ensayo de recuperación elástica*

Anexo 26: *Aplicación del material desmoldante*

Anexo 27: *Vertido del asfalto PEN 60-70 a los moldes*

Anexo 28: *Reposo de las tres muestras por un tiempo de media hora a temperatura ambiente.*

Anexo 29: *Baño María a 25°C de las tres muestras por un tiempo de media hora*

Anexo 30: *Enrasado de las tres muestras con la espátula calentado de una cocina eléctrica.*

Anexo 31: *Se acondiciona en el baño maría por un tiempo de 90 minutos para llegar a temperatura.*

Anexo 32: *Remoción de la base y las partes laterales del molde*

Anexo 33: *Colocación de las muestras en el ductilómetro.*

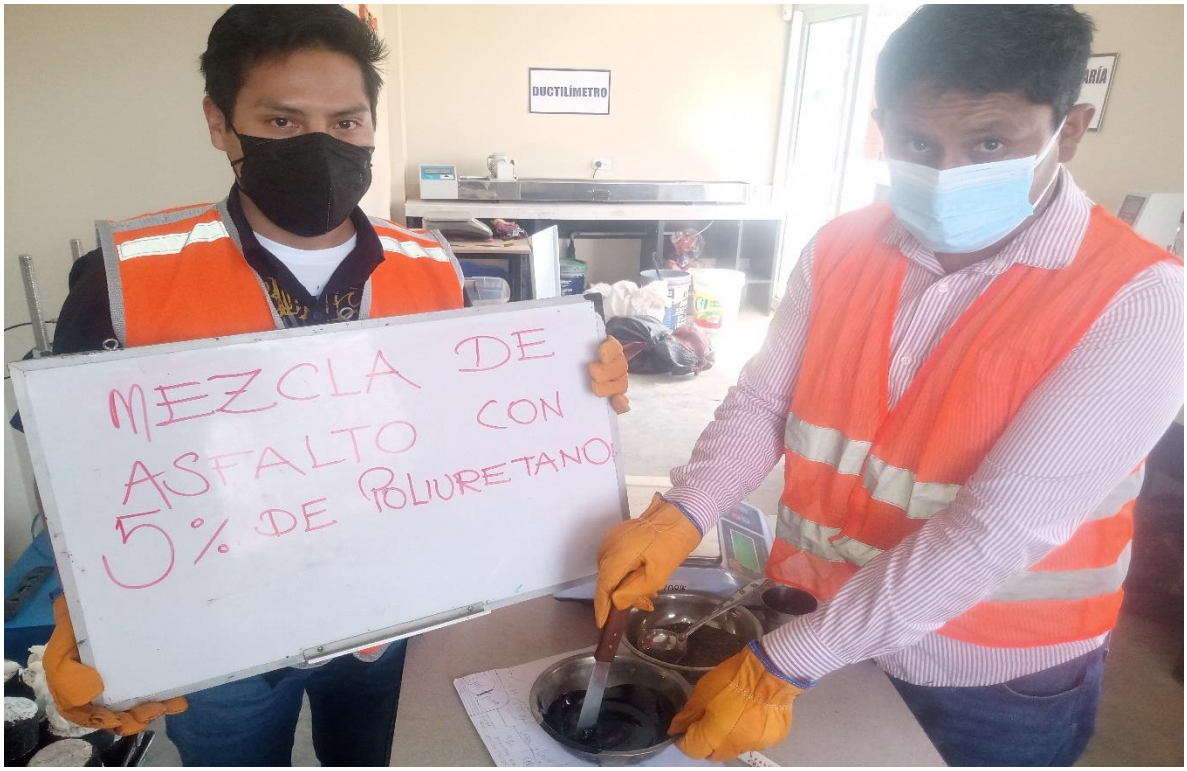
Anexo 34: *Ensayo de ductilidad hasta los 20 cm.*

Anexo 35: *Corte en la mitad de las muestras*

Anexo 36: *Ensayo de recuperación elástica.*

Anexo 37: *Mezcla y pesado del poliuretano termoplástico granulado según el porcentaje de adición del polímero de 5% sobre el peso del ligante asfaltico para el ensayo de recuperación elástica*

Anexo 38: *Mezcla del poliuretano termoplástico granulado al 1% del peso del ligante asfaltico para el ensayo de recuperación elástica*



Anexo 39: *Aplicación del material desmoldante en los moldes de recuperación elástica.*

Anexo 40: *Vertido de muestra del cemento asfaltico con del poliuretano termoplástico granulado al 5% del peso del ligante asfaltico al molde para el ensayo de recuperación elástica*

Anexo 41: *Acondicionamiento de la muestra del cemento asfaltico con 5% de poliuretano termoplástico granulado del peso del ligante asfaltico a temperatura ambiente por 30 min*

Anexo 42: *Baño María de la muestra del cemento asfalto con 5% de poliuretano termoplástico granulado del peso del ligante asfaltico al molde para el ensayo de recuperación elástica*

Anexo 43: *Ensayo de ductilidad hasta los 20 cm. de la muestra del cemento asfalto con 5% de poliuretano termoplástico granulado*

Anexo 44: *Ensayo de recuperación elástica de la muestra del cemento asfalto con 5% de poliuretano termoplástico granulado*

Anexo 45: *secado de agregados natural agregado chancada piedra 1/2*

Anexo 46: *serie de tamices para el análisis granulométrico*

Anexo *47*: peso de los agregados natural agregado chancada piedra ½

Anexo 48: *tamizado de los agregados natural agregado chancada piedra 1/2*

Anexo 49: *peso del tamizado por malla de los agregados*

Anexo 50: *obtención de la muestra de asfalto 85-100 para el ensayo*

Anexo 51: *filler cemento portland*

Anexo 52: *pesado de los agregados combinados por tanteo*

Anexo 53: *Acondicionamiento del agregado combinado a una temperatura de 130°C a 150°C*

Anexo 54: *mezcla de los agregados con el asfalto 85-100 a una temperatura de 150°C-160°C por los tiempos establecidos de mezcla.*

Anexo 55: *habilitación del pedestal de compactación con el molde y el papel filtro*

Anexo 56: *se coloca el papel filtro en el fondo de la base del molde de la briqueta para evitar que la mezcla se pegue a la base del molde*

Anexo *57*: llenamos la mezcla asfáltica en caliente almacenada por tiempos sobre el molde con el papel filtro

Anexo 58: se compacta la mezcla asfáltica con el martillo de compactación con 75 golpes

Anexo *59*: el compactado debe ser a 90° para garantizar una homogénea altura de la briqueta.

Anexo 60: se voltea la briqueta compactada por 75 golpes

RICO
CADO

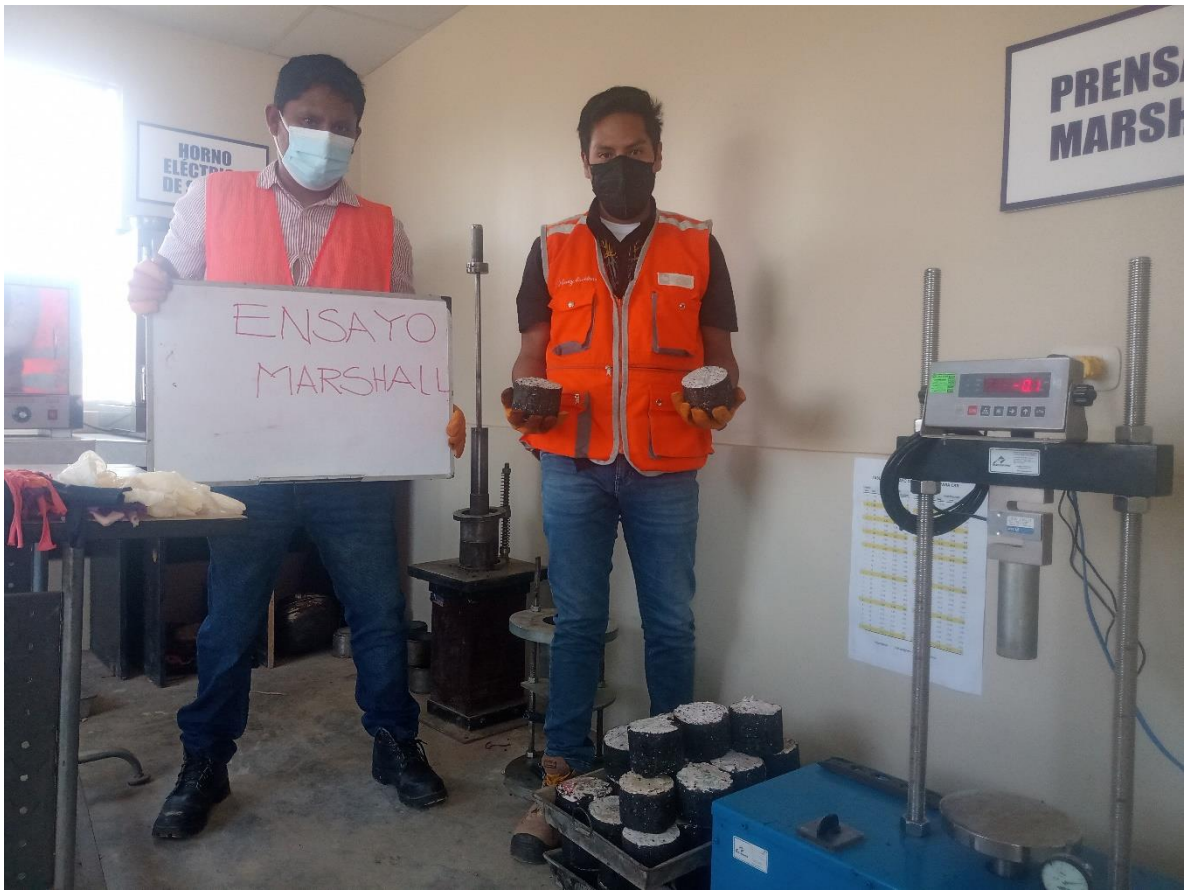
Anexo *61*: se deja enfriar la briqueta a temperatura dé ambiente por 24 horas

Anexo 62: se *desencofra la briqueta con la ayuda de la prensa hidráulica*

Anexo 63: *dejamos reposar las briquetas por 30 minutos a baño maría*

Anexo 64: *la briqueta se coloca sobre la mordaza y ajustamos ala briqueta con la prensa.*

Anexo 65: la mordaza con la briqueta colocamos en la prensa Marshall.

Anexo *66*: se completa el ensayo con el dial que mide las deformaciones de las briquetas

Anexo 67: *registra los datos para la fluencia de la briqueta*