

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

Tesis

**Optimización de las propiedades mecánicas y el
espumado de mezclas asfálticas semicalientes
aplicando distintos tipos de filler, Huancayo 2021**

Sergio Augusto Flores Quincho

Para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil

Huancayo, 2021

Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

ASESOR

Ing. Eduardo Manuel Yarango Serrano

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios por permitirme tener y disfrutar a mi familia, gracias a mi familia por apoyarme en cada decisión y proyecto, gracias a la vida porque cada día me demuestra lo hermosa que es la vida y lo justa que puede llegar a ser; gracias a mi querida familia por permitirme cumplir con excelencia en el desarrollo de esta tesis. Gracias por creer en mí y gracias a Dios por permitirme vivir y disfrutar de cada día.

La vida es hermosa, y una de las principales características de esta hermosura es que la podemos compartir y disfrutar con quienes amamos, podemos ayudar y guiar a muchas personas si ellas lo permiten, pero también podemos ser ayudados y guiados durante nuestra vida; por esto mismo, mediante este agradecimiento de tesis, quiero exaltar la labor de todos mis amigos, todos aquellos que estuvieron presente durante la realización y el desarrollo de esta tesis, gracias a aquellos que con respeto y decencia realizaron aportes a está, gracias a todos.

Puedo afirmar que durante todo este tiempo pude disfrutar de cada momento, que cada investigación, proceso y proyectos que se realizaron dentro de esta, lo disfruté mucho, y no fue porque simplemente me dispuse a que así fuera, fue porque mis amigos siempre estuvieron ahí, fue porque la vida misma me demuestra que de las cosas y actos que yo realicé, serán los mismos que harán conmigo.

Siembra una buena y sincera amistad, y muy probablemente el tiempo te permitirá disfrutar de una agradable cosecha.

No ha sido sencillo el camino hasta ahora, pero gracias a sus aportes, a su amor, a su inmensa bondad y apoyo, lo complicado de lograr esta meta se ha notado menos. Les agradezco, y hago presente mi gran afecto hacia ustedes, mi hermosa familia a mi Mamá, mi tía Hilda y mi tío Mario.

DEDICATORIA

A quien en vida fue mi tío Eduardo Quincho Yachachi por haberme forjado como la persona que soy en la actualidad; mucho de mis logros se los debo a usted por guiar cada uno de mis pasos y desde cielo me sigues guiando en los peldaños de la vida. Por eso te doy mi trabajo en ofrenda por tu paciencia y amor que me brindaste siempre con mucho cariño papá Eduardo.

ÍNDICE

PORTADA.....	1
ASESOR.....	ii
AGRADECIMIENTO.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
ÍNDICE.....	v
LISTA DE TABLAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT.....	xvi
INTRODUCCIÓN.....	xvii
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO.....	18
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	18
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	21
1.2.1. PROBLEMA GENERAL.....	21
1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS.....	21
1.3. OBJETIVO GENERAL.....	21
1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	22
1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA.....	22
1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA.....	22
1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA.....	22
1.4.4. IMPORTANCIA.....	22
1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	23
1.5.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL.....	23
1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL.....	23
1.5.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL.....	23

1.6.	HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES.....	23
1.6.1.	HIPÓTESIS GENERAL.....	23
1.6.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	23
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO		25
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	25
2.1.1.	ANTECEDENTES NACIONALES	25
2.1.2.	ANTECEDENTES INTERNACIONALES.....	28
2.2.	BASES TEÓRICAS	31
2.2.1.	MEZCLA ASFÁLTICA.....	31
2.2.2.	MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES.....	34
2.2.2.1.	Ventajas de emplear mezclas asfálticas semicalientes:.....	35
2.2.2.2.	Beneficios de producción:.....	36
2.2.2.3.	Características de fricción superficial	37
2.2.3.	ESPUMADO ASFÁLTICO	38
2.2.3.1.	Sistema LEA (Low Energy Asphalt).....	39
2.2.3.2.	Ventajas del empleo de espumado asfáltico	40
2.2.3.3.	Características del espumado asfáltico	40
2.2.4.	Filler mineral.....	41
2.2.4.1.	Tipos de filler.....	42
2.3.	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS.....	46
CAPÍTULO III METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		48
3.1.	MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN	48
3.1.1.	MÉTODO DE INVESTIGACIÓN.....	48
3.1.2.	NIVEL.....	48
3.1.3.	TIPO.....	49
3.2.	DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	49

3.3.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	50
3.3.1.	POBLACIÓN	50
3.3.2.	MUESTRA.....	50
3.3.3.	MUESTREO.....	50
3.4.	TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	51
3.5.	INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS	51
3.6.	VARIABLES.....	51
3.6.1.	VARIABLE INDEPENDIENTE	51
3.6.2.	VARIABLE DEPENDIENTE.....	51
3.7.	OPERACIONALIZACIÓN	52
	CAPÍTULO IV RESULTADOS.....	53
4.1.	APLICACIÓN DEL SISTEMA LEA	53
4.1.1.	RAZÓN DE EXPANSIÓN	54
4.1.2.	VIDA MEDIA	61
4.1.3.	ÍNDICE DE ESPUMACIÓN.....	68
4.1.4.	PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL FILLER.....	73
4.2.	MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES.....	75
4.2.1.	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS PARA MAC-2.....	75
4.2.2.	COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	82
4.2.3.	RESULTADOS EN EL ENSAYO DE MARSHALL	86
4.3.	OE1 – GRADO DE EXPANSIÓN	114
4.3.1.	ÓPTIMO CONTENIDO DE AGUA PARA ESPUMACIÓN.....	114
4.4.	OE2– ESTABILIDAD EN LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE 119	
4.5.	OE3–FLUJO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE.....	121
4.6.	OEG–PROPIEDADES ANTE DISTINTOS TIPOS DE FILLER	122

4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	128
4.7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	130
4.7.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS	142
CONCLUSIONES	144
RECOMENDACIONES.....	147
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
ANEXOS	152
ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO.....	153
ANEXO 2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS	167
ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA	185

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de texturas de pavimento	37
Tabla 2. Operacionalización de la variable.....	52
Tabla 3. Razón de expansión - PEN 85-100 sin filler.....	55
Tabla 4. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de zeolita	55
Tabla 5. Razón de expansión - PEN 85-100+1% de cal hidratada.....	56
Tabla 6. Razón de expansión - PEN 85-100+1% de cemento.....	57
Tabla 7. Vida media - PEN 85-100 sin filler.....	62
Tabla 8. Vida media - PEN 85-100 + 1% de zeolita	62
Tabla 9. Vida media - PEN 85-100+1% de cal hidratada.....	63
Tabla 10. Razón de expansión - PEN 85-100+1% de cemento.....	64
Tabla 11. Cuadro resumen de Índice de espumación.....	72
Tabla 12. Peso específico y absorción - Zeolita.....	73
Tabla 13. Peso específico y absorción – Cal hidratada	73
Tabla 14. Peso específico y absorción - Cemento	74
Tabla 15. Granulometría de arena procesada.....	75
Tabla 16. Granulometría de arena natural.....	77
Tabla 17. Granulometría de piedra de ½”.....	78
Tabla 18. Mezcla teórica de agregados para MAC - 2	80
Tabla 19. Especificaciones para combinación teórica MAC - 2	81
Tabla 20. Combinación de agregados para elaboración de briquetas – Zeolita	83
Tabla 21. Combinación de agregados para elaboración de briquetas – Cal hidratada	84
Tabla 22. Combinación de agregados para elaboración de briquetas – Cemento	85

Tabla 23. Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% a 5.00% de ligante asfáltico PEN 85-100 - ZEOLITA	88
Tabla 24. Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% a 6.50% de ligante asfáltico PEN 85-100 - ZEOLITA	89
Tabla 25. Cuadro resumen de propiedades mecánicas para el Óptimo Contenido de Asfalto Espumado - Zeolita.....	95
Tabla 26. Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% a 5.00% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CAL HIDRATADA	97
Tabla 27. Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% a 6.50% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CAL HIDRATADA	98
Tabla 28. Cuadro resumen de propiedades mecánicas para el Óptimo Contenido de Asfalto Espumado – Cal hidratada	104
Tabla 29. Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% a 5.00% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CEMENTO	106
Tabla 30. Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% a 6.50% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CEMENTO	107
Tabla 31. Cuadro resumen de propiedades mecánicas para el Óptimo Contenido de Asfalto Espumado – Cemento	113
Tabla 32. Cuadro resumen de condiciones óptimas de espumación.....	118
Tabla 33. Resumen de resultados de Estabilidad (kg) por tipo de filler	119
Tabla 34. Resumen de resultados de Flujo (mm) por tipo de filler.....	121
Tabla 35. Estabilidad (kg) ante la variación de temperaturas (T°)	123
Tabla 36. Flujo (mm) ante la variación de temperaturas (T°).....	126
Tabla 37. Cuadro descriptivo de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	130
Tabla 38. Prueba de normalidad de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	134

Tabla 39. Prueba de correlación de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	135
Tabla 40. Cuadro descriptivo del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	137
Tabla 41. Prueba de normalidad del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	140
Tabla 42. Prueba de correlación del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	141

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Producción de planta asfáltica emitiendo gases contaminantes	20
Figura 2. Problemas de compactación en las vías céntricas por mal clima.....	20
Figura 3. Clasificación de las mezclas asfálticas por su temperatura.....	34
Figura 4. Profundidad de microtextura y macrotextura superficial.....	38
Figura 5. Producción de espumado asfáltico	39
Figura 6. Características del espumado asfáltico.....	41
Figura 7. Modelo de estructura de clinoptilolita	45
Figura 8. Espumado Sistema LEA (Low Energy Asphalt).....	54
Figura 9. Razón de expansión - PEN 85-100 sin filler.....	58
Figura 10. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de zeolita	59
Figura 11. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de cal hidratada.....	60
Figura 12. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de cemento	61
Figura 13. Vida media - PEN 85-100 sin filler	65
Figura 14. Vida media - PEN 85-100 + 1% de zeolita	66
Figura 15. Vida media - PEN 85-100 + 1% de cal hidratada.....	67
Figura 16. Vida media - PEN 85-100 + 1% de cemento	68
Figura 17. Índice de espumación - PEN 85-100 sin filler	69
Figura 18. Índice de espumación - PEN 85-100 + 1% de zeolita.....	70
Figura 19. Índice de espumación - PEN 85-100 + 1% de cal hidratada	71
Figura 20. Índice de espumación - PEN 85-100 + 1% de cemento	72
Figura 21. Granulometría de Arena Procesada – Curva Granulométrica MAC – 2	76
Figura 22. Granulometría de Arena Natural – Curva Granulométrica MAC – 2	78
Figura 23. Granulometría de piedra ½”– Curva Granulométrica MAC – 2.....	79

Figura 24. Curva granulométrica de combinación de agregados por MAC – 02	82
Figura 25. Gráfica de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita.....	90
Figura 26. Gráfica del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita .	91
Figura 27. Gráfica del porcentaje de vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita	92
Figura 28. Gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita.....	93
Figura 29. Gráfica del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita.....	94
Figura 30. Gráfica del peso unitario (gr/cm^3) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita.....	95
Figura 31. Gráfica de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada	99
Figura 32. Gráfica del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada	100
Figura 33. Gráfica del porcentaje de vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada.....	101
Figura 34. Gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada	102
Figura 35. Gráfica del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada.....	103
Figura 36. Gráfica del peso unitario (gr/cm^3) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada.....	104
Figura 37. Gráfica de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento.....	108
Figura 38. Gráfica del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento	109

Figura 39. Gráfica del porcentaje de vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento.....	110
Figura 40. Gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento	111
Figura 41. Gráfica del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento.....	112
Figura 42. Gráfica del peso unitario (gr/cm^3) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento.....	113
Figura 43. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 sin filler	115
Figura 44. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 + 1% de zeolita	116
Figura 45. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 + 1% de cal hidratada	117
Figura 46. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 + 1% de cemento	118
Figura 47. Estabilidad (kg) obtenida por cada tipo de filler	120
Figura 48. Flujo (mm) obtenido por cada tipo de filler	122
Figura 49. Estabilidad (kg) ante la variación de temperatura (T°).....	125
Figura 50. Flujo (mm) ante la variación de temperatura (T°)	128
Figura 51. Gráfica de dispersión de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	136
Figura 52. Gráfica de dispersión del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas	142

RESUMEN

El asfalto espumado permite producir mezclas asfálticas que presentan ventajas ante mezclas convencionales, son una buena alternativa para estabilizar capas estructurales en pavimentos, presentan facilidades de construcción y compatibilidad con variados tipos de agregados, el empleo de un diseño de mezcla asfáltica semicaliente requiere trabajar a temperaturas relativamente bajas en comparación a las temperaturas para diseñar mezclas asfálticas calientes, y el empleo de asfalto espumado y de fillers como la zeolita son un tipo de tecnología que brinda propiedades, dentro de los requerimientos de la norma, a temperaturas bajas requeridas en diseño de mezclas asfálticas semicalientes. Por ello en la presente investigación se tiene por objetivo principal conocer la aplicación de distintos tipos de filler que optimizan las propiedades mecánicas y el espumado de las mezclas asfálticas semicalientes.

Tras realizar los ensayos de asfalto espumado a diferentes temperaturas y con diferentes tipos de filler: zeolita, cal hidratada y cemento, se obtiene el óptimo contenido de agua inyectada y la temperatura de mezclado y espumado con los que se realizó el diseño por el método de Marshall, en estos diseños se emplearon distintos tipos de filler y se determinaron las propiedades mecánicas para obtener el óptimo contenido de asfalto espumado y el tipo de filler que presente mejores resultados. Finalmente, se determinó la menor temperatura para el diseño de mezclas asfálticas semicalientes con el que se mantienen propiedades óptimas de diseño, al realizar una comparación entre los resultados de estabilidad y flujo para una muestra control y las muestras con distintos tipos de filler.

Se concluyó que el asfalto espumado con mejores resultados de expansión y vida media se obtuvo a los 160°C y empleando zeolita, los diseños de mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado al elaborarse con distintos tipos de filler también mostraron como resultados que la estabilidad máxima se obtiene al emplear zeolita como filler y con un óptimo contenido de asfalto de 5.25% el valor de flujo resulta ser menor en comparación con los otros filler. Finalmente se concluyó que se puede reducir la temperatura de mezclado y de espumado a los 130°C obteniéndose en los resultados que los valores de estabilidad son mayores a lo mínimo permitido al emplear zeolita como filler y que los valores de fluidez permanecen dentro de los límites.

Palabras clave: Asfalto espumado, Mezcla asfáltica semicaliente, Zeolita, Estabilidad, Flujo, Propiedades mecánicas.

ABSTRACT

Foamed asphalt makes it possible to produce asphalt mixes that have advantages over conventional mixes, are a good alternative for stabilizing structural layers in pavements, are easy to construct and are compatible with various types of aggregates, The use of a semi-hot asphalt mix design requires working at relatively low temperatures compared to the temperatures for designing hot asphalt mixes, and the use of foamed asphalt and fillers such as zeolite are a type of technology that provides properties, within the requirements of the standard, at low temperatures required in the design of semi-hot asphalt mixes. Therefore, the main objective of this research is to know the application of different types of fillers that optimize the mechanical properties and foaming of semi-hot asphalt mixtures.

After performing the foamed asphalt tests at different temperatures and with different types of filler: zeolite, hydrated lime and cement, the optimum content of injected water and the mixing and foaming temperature were obtained to perform the design by Marshall's method. In these designs, different types of filler were used and the mechanical properties were determined to obtain the optimum content of foamed asphalt and the type of filler with the best results. Finally, the lowest temperature was determined for the design of semi-heated asphalt mixtures with which optimum design properties are maintained, by comparing the stability and flow results for a control sample and the samples with different types of filler.

It was concluded that the foamed asphalt with the best expansion and half-life results was obtained at 160°C and using zeolite, the designs of semi-hot mix asphalt with foamed asphalt when prepared with different types of filler also showed as results that the maximum stability is obtained when using zeolite as filler and with an optimum asphalt content of 5.25% the flow value is lower in comparison with the other fillers. Finally, it was concluded that the mixing and foaming temperature can be reduced to 130°C, obtaining in the results that the stability values are higher than the minimum allowed when using zeolite as filler and that the flow values remain within the limits.

Key words: Foamed bitumen, Semi-hot mix asphalt, Zeolite, Stability, Flow, Mechanical properties.

INTRODUCCIÓN

El concepto de utilizar temperaturas más bajas para producir mezclas asfálticas no es nuevo. El primer intento de producir asfalto con betún espumado por vapor lo llevó a cabo en 1956 el profesor Ladis Csanyi de la Universidad Estatal de Iowa, EE. UU. Desde entonces, la tecnología de espuma se ha utilizado en diferentes países, incluidos EE. UU., Australia y Europa. Durante los últimos veinte años, las ceras se han utilizado como modificadores de la viscosidad en Alemania; inicialmente no se utilizaron para bajar la temperatura, sino para una mejor trabajabilidad del asfalto de masilla y hace solo unos quince años se declaró prioritaria la reducción de las temperaturas de producción y pavimentación. La cera Fischer-Tropsch, la amida de ácido graso y la cera montana se utilizaron como aditivos que cambian la viscosidad en Alemania. Las tecnologías modernas de formación de espuma se introdujeron al mismo tiempo que se iniciaron experimentos con zeolita en Alemania y Shell Bitumen patentó una tecnología de formación de espuma que más tarde se desarrolló como WAM-Foam. Desde entonces, se han introducido en el mercado diferentes principios de espumación nuevos que permiten reducir la temperatura de producción incluso por debajo del punto de ebullición del agua. La tecnología de producción de asfalto de mezcla semicaliente más nueva que implica la modificación química del bitumen se desarrolló en EE. UU. Y se conoce como Evotherm. Le siguieron diferentes modificaciones de la misma tecnología, así como nuevos aditivos químicos de otras empresas. Desde el comienzo del desarrollo de tecnologías de asfalto de mezcla semicaliente modernas, se han llevado a cabo muchos experimentos para establecer los beneficios potenciales del uso de asfalto de mezcla semicaliente y evaluar el rendimiento en comparación con el asfalto de mezcla en caliente tradicional.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las mezclas asfálticas están diseñadas para proporcionar un pavimento con propiedades específicas que deben ser funcionales para quien los emplee, es por ello que siempre se busca economizar en su diseño y, en la última década, que no afecte al medio ambiente cumpliendo con seguir brindando las propiedades y características de un pavimento útil. Sin embargo, hay factores externos que no permiten que los pavimentos se desarrollen completamente, siendo uno de ellos el clima, teniendo así propuestas de estudios para la elaboración de mezclas asfálticas que mantienen sus propiedades mecánicas empleando la tecnología del espumado asfáltico, el cual al ser aplicado puede trabajarse con menores temperaturas el ligante asfáltico, proporciona mejor trabajabilidad y reduce la emisión de gases contaminantes como el CO₂. Esta tecnología que comenzó a ser investigada en Estados Unidos utiliza una cámara de expansión para producir el espumado asfáltico, la cual fue desarrollada por una organización privada, por lo que el empleo de esta cámara de expansión en otros países es muy complicado, cabe resaltar que la idea de esta tecnología esta patentada y el desarrollo del mismo equipo requeriría de una buena inversión. El asfalto espumado se obtiene de la mezcla de agua atomizada con asfalto caliente acompañado de una expansión de 1500 veces el volumen del líquido, es por ello que se emplea un equipo especial que sería la cámara de expansión. (Wirtgen, 2004)

En el país existen estudios del empleo del espumado asfáltico, pero ninguna propuesta de su empleo en la pavimentación de las vías, actualmente el 80% de las vías a nivel nacional se encuentran pavimentadas, y se emplearon pavimentos rígidos y flexibles de mezcla asfáltica caliente en su mayoría. Según la información recolectada por Provías Nacional en el año 2018, el 15.5% de estas vías se encuentran en mal estado, por lo que en esta investigación lo que se propone es que estos tipos de vías de pavimento rígido y flexible, sean diseñados con una mezcla asfáltica semicaliente, ya que resulta más económico, brinda mejor trabajabilidad y mejores propiedades mecánicas. La problemática radica en que no se ha trabajado con la tecnología de espumado asfáltico en mezclas asfálticas semicalientes y existe una necesidad en sectores de climas fríos en los que no se puede trabajar con mezclas asfálticas calientes, por lo que se propone recurrir al sistema LEA (Low Energy Asphalt) el cuál propone una tecnología de espumado asfáltico que aplica a la situación climatología del Perú y reduce la emisión de gases contaminantes en su producción. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2020)

A nivel regional Junín cuenta con un 44.6% de vías pavimentadas, de las cuales el 11% representa las vías pavimentadas a nivel local en Huancayo y sólo el 20% de estas vías se encuentran en buen estado (Provincia de Huancayo, 2012-2021). El estado de las vías en Huancayo en su mayoría se considera regular, debido a que pertenece a la región Sierra en el que el clima es frío, donde se presentan lluvias torrenciales que deterioran las vías, presentando fallas de fisuración, ahuellamiento, entre otros y lamentablemente no se les da un mantenimiento adecuado, y las vías que se encuentran en mal estado se deben a que son vías no registradas, que no se realizaron correctamente por las interrupciones en obra debido a lluvias y también por lo que estas vías no reciben ningún tipo de mantenimiento o restauración, estando expuestos a más fallas por el tráfico concurrente y por la exposición a lluvias. Es conveniente el empleo de mezclas asfálticas semicalientes con la tecnología del espumado asfáltico, sin embargo, no se encuentran investigaciones de la aplicación de este sistema en las vías locales.

Es necesario que se optimicen las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas semicalientes trabajando con la tecnología del espumado asfáltico, empleando el sistema LEA, con los agregados y ligante asfáltico característicos de la región, un diseño de mezcla adecuado para el clima frío de Huancayo y mediante la aplicación de distintos tipos de filler, buscando así obtener un diseño de mezcla asfáltico semicaliente de acuerdo a las necesidades de la región de Huancayo.



Figura 1. Producción de planta asfáltica emitiendo gases contaminantes

Fuente: Construcción Latinoamericana CLA



Figura 2. Problemas de compactación en las vías céntricas por mal clima

Fuente: Municipalidad Provincial de Huancayo

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA GENERAL

¿Cómo optimizar las propiedades mecánicas y el espumado de mezclas asfálticas semicalientes aplicando distintos tipos de filler, Huancayo 2021?

1.2.2. PROBLEMAS ESPECÍFICOS

- ¿Cuál es el grado de expansión generado en el asfalto espumado ante la aplicación de distintos tipos de filler, Huancayo 2021?
- ¿En qué medida los distintos tipos de filler empleados mejoran la estabilidad de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta, Huancayo 2021?
- ¿En qué medida los distintos tipos de filler empleados mejoran el flujo de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta, Huancayo 2021?

1.3. OBJETIVO GENERAL

Conocer la aplicación de los distintos tipos de filler que optimizan las propiedades mecánicas y el espumado de las mezclas asfálticas semicalientes, Huancayo 2021.

1.3.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer el grado de expansión generado en el asfalto espumado ante la aplicación de distintos tipos de filler, Huancayo 2021.
- Determinar la estabilidad en la mezcla asfáltica semicaliente propuesta ante los distintos tipos de filler a emplear, Huancayo 2021.
- Determinar el flujo en la mezcla asfáltica semicaliente propuesta ante los distintos tipos de filler a emplear, Huancayo 2021.

1.4. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

1.4.1. JUSTIFICACIÓN PRÁCTICA

Al producirse las mezclas asfálticas en caliente se genera CO₂, el asfalto tiende a envejecer prematuramente y al momento de emplearlo en pavimentación en algunas ocasiones no llega a cumplir con las especificaciones de la norma, haciendo que el pavimento no presente el comportamiento esperado en el diseño, es por ello que en este estudio se planea brindar una propuesta de diseño asfáltico semicaliente empleando tecnología del espumado de asfalto el cual genera una obra de pavimentación económica, reduce la producción de CO₂ y presenta mejoras en la durabilidad de la mezcla asfáltica.

1.4.2. JUSTIFICACIÓN ECONÓMICA

Este estudio es justificado económicamente al brindar un diseño de mezcla asfáltica que pueda producirse de forma masiva en las plantas asfálticas, ya que se pretende ahorrar en costos de combustible mediante el empleo de tecnología del espumado de asfalto y con distintos tipos de filler.

1.4.3. JUSTIFICACIÓN METODOLÓGICA

Se justifica metodológicamente este estudio al contar con normativas como la del método de Marshall que nos da parámetro para el diseño de una mezcla asfáltica convencional. Para llegar a obtener antecedentes que buscan diseñar mezclas asfálticas semicalientes con diversos métodos se tendrán en cuenta los libros del sistema LEA (Low Energy Asphalt) y para el espumado asfáltico se empleará la metodología del Manual de reciclado en frío Wirtgen.

1.4.4. IMPORTANCIA

La importancia de este estudio es encontrar las posibilidades de pavimentar a menores temperaturas y así mejorar la trabajabilidad, la compactación en campo, reducir las velocidades de enfriamiento y lograr que la compactación de la mezcla asfáltica semicaliente requiera menos esfuerzo ya que necesitaría menos pasadas.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1. DELIMITACIÓN ESPACIAL

Este estudio será desarrollado en la región de Huancayo teniendo en cuenta sus características climáticas en la elaboración de los ensayos, también se empleará el agregado de la zona y un tipo de ligante asfáltico específico para el clima intermedio de la región.

1.5.2. DELIMITACIÓN TEMPORAL

La delimitación temporal de este estudio es de 6 meses aproximadamente, abarcando en un inicio con la elaboración del plan, los ensayos requeridos para la presente investigación, elaboración del borrador de tesis y finalizando con el procesamiento de datos.

1.5.3. DELIMITACIÓN CONCEPTUAL

Este estudio se realizará empleando normativas internacionales, debido a que no existe una tecnología con técnicas de espumado nacionales, por lo que se recurrirá al sistema LEA (Low Energy Asphalt) y se empleará el Manual de reciclado en frío Wirtgen, el cual nos brindará los parámetros que debe cumplir el espumado asfáltico para ser correctamente empleado.

1.6. HIPÓTESIS Y DESCRIPCIÓN DE VARIABLES

1.6.1. HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación de los distintos tipos de filler optimizan las propiedades mecánicas mejorándolas en un 10% y el espumado de las mezclas asfálticas semicalientes aumenta en un 5%, Huancayo 2021.

1.6.2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- De los distintos tipos de filler empleados la zeolita genera 5% de expansión en comparación de los otros, Huancayo 2021.

- De los distintos tipos de filler empleados el cemento portland aumenta la estabilidad en un 10% de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta, Huancayo 2021.
- Los distintos tipos de filler empleados alteran el flujo de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta manteniendo los valores de flujo dentro de los límites indicados en la norma de 2 mm a 3.5 mm, Huancayo 2021.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

2.1.1. ANTECEDENTES NACIONALES

Según (Sosa Enciso, 2018) en su investigación de pregrado que lleva por título: “Propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tibia aplicando aditivo orgánico, Lima - Perú 2018”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad César Vallejo, dentro de sus objetivos principales presenta la evaluación de las propiedades mecánicas en mezclas asfálticas convencionales y en mezclas asfálticas tibias al emplear aditivos orgánicos, y estudiar los parámetros de adherencia, viscosidad y temperatura en las propiedades mecánicas resultantes. Resultando que al evaluar la mezcla asfáltica tibia adicionando 8% de aditivos orgánicos, valor mucho mayor al porcentaje permitido, las propiedades mecánicas no fueron óptimas, ya que la fluencia aumentó y la resistencia se redujo, también se tiene que la adherencia de los agregados mejoró notoriamente, mientras que la viscosidad al trabajarse a 60 °C no mostró tener mejor trabajabilidad, por lo contrario afecta a las propiedades de vacíos de la mezcla asfáltica y por último al trabajar con menos temperatura los ensayos para determinar las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica tibia con aditivo orgánico se obtuvieron buenos resultados. En conclusión, la temperatura es un factor importante al momento de aplicar el aditivo orgánico, ya que a menos temperatura de ensayos los resultados son los mismo que para una mezcla asfáltica convencional, y se comprobó que se emiten menos gases tóxicos y la mezcla es más manejable.

Según (Chuman Aguirre, 2016) en su investigación de pregrado que lleva por título: “Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la

Universidad Peruana Los Andes, dentro de sus objetivos principales presenta el empleo de una planta procesadora para reutilizar un pavimento flexible existente determinando sus propiedades de estabilidad y flujo más adecuadas. Resultando que al emplear residuos del pavimento flexible existente trabajando con el método Marshall y compararlos con un nuevo pavimento con el mismo método, se obtuvieron buenos resultados de estabilidad y de flujo, la resistencia es más alta debido a que el pavimento flexible existente presenta una gravedad específica mayor a la de un nuevo pavimento y la fluencia resultó ser mejor debido a la relación estabilidad/flujo obtenido, la cual resultó mucho mayor a la de un nuevo pavimento. En conclusión, el empleo de pavimento flexible existente en una planta procesadora es viable ya que no afecta las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica caliente.

Según (Flores Gonzales & Rojas Pardo, 2019) en su tesis de pregrado titulada: "Comportamiento de las mezclas asfálticas tibias adicionando tensoactivos y sus beneficios respecto a las mezclas asfálticas en caliente", que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad Ricardo Palma, dentro de sus objetivos principales presenta determinar el comportamiento de mezclas asfálticas tibias al adicionar tensoactivos ante las mezclas asfálticas en caliente. Obteniendo como resultados que al elaborar las mezclas asfálticas tibias no se requirió trabajar con la temperatura que especifica la norma, sino con una menor de 135 °C, haciendo que no se produzcan gases tóxicos y disminuyendo el empleo del combustible y al entrar en la etapa de compactación tampoco se requirió trabajar a altas temperaturas, ya que a 120 °C se obtuvo mejor trabajabilidad de la mezcla para compactarla. En conclusión, elaborar la mezcla asfáltica tibia con tensoactivos evita que se generen olores y gases tóxicos, la temperatura a la que se trabaja es menor por lo que se requiere menos esfuerzo de compactación y se ahorrará en el transporte de la mezcla.

Según (Estrada Escalante, 2017) en su investigación de pregrado que lleva por título: “Estudio y análisis de desempeño de mezcla asfáltica convencional PEN 85/100 PLUS y mezcla asfáltica modificada con polímero tipo SBS PG 70 -28”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad Andina del Cusco, dentro de sus objetivos principales presenta la evaluación de una mezcla asfáltica convencional y una mezcla asfáltica modificada con polímeros para determinar cuál presenta el mejor comportamiento. Como resultados se obtuvieron que, en el ensayo de deformación, empleando la rueda de Hamburgo, la mezcla asfáltica modificada con polímero presentó una resistencia mucho mayor al de una mezcla convencional y que en el ensayo de resistencia a la fatiga se obtuvo diecisiete veces mayor al de una mezcla típica, demostrándose que una mezcla asfáltica modificada con polímeros presenta un excelente comportamiento antes cargas repetidas y excesivas, cabe resaltar que la fluencia fue la misma para ambas mezclas, sin embargo, se debe tener en cuenta que una mezcla asfáltica modificada con polímeros que obtuvo mayor resistencia presente niveles de fluencia típicas significan presentar un buen comportamiento ante cargas pesadas. En conclusión, el empleo de la mezcla asfáltica modificada con polímeros mejora el comportamiento de la carpeta de rodadura, presenta resistencia ante las deformaciones por lo que podrá resistir ahuellamientos generados por los elevados volúmenes de tráfico y por cargas excesivas.

Según (Ccoyllo Huamán, 2019) en su investigación de pregrado que lleva por título: “Método de asfalto espumado para mejorar los factores de diseño de mezclas asfálticas para pavimentos flexibles - Lima”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad Peruana Los Andes, dentro de sus objetivos principales presenta determinar la influencia del empleo de asfalto espumado en los parámetros de diseño de una mezcla asfáltica de pavimento flexible en Lima. Resultando que la aplicación de la espuma asfáltica brinda mejores propiedades de expansión y vida media al pavimento flexible, mejorando también las propiedades estructurales de

estabilidad, fluencia y porcentaje de vacíos en comparación de las mezclas típicas. Al analizar los costos de emplear espuma asfáltica resultó que es más económico su empleo que el de una mezcla asfáltica típica y ya que requiere menor costo de transporte y menor consumo de combustible, también se evitará que se generen gases contaminantes. En conclusión, la aplicación de la espuma asfáltica mejora las propiedades mecánicas de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica de un pavimento flexible, permite economizar en su empleo y evita generar gases que dañen al medio ambiente, cabe resaltar que se debe tener en cuenta que el agregado a emplear cumpla con las especificaciones requeridas de diseño de mezclas asfálticas calientes para que proporcione las propiedades esperadas en un pavimento flexible con espuma asfáltico.

2.1.2. ANTECEDENTES INTERNACIONALES

Según (Rodriguez Rojas & Sanchez Morales, 2016) en su tesis de pregrado titulada: “Desarrollo de una mezcla asfáltica tibia reciclada bajo criterios técnicos y medioambientales”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad Distrital Francisco José De Caldas, dentro de sus objetivos principales presenta el diseño de una mezcla asfáltica tibia mediante el análisis granulométrico de una mezcla en caliente, en el que se sustituirán porcentajes de agregado grueso por escoria de alto horno. Resultando que el empleo de aditivos y de escoria de alto horno en mezclas asfálticas tibias otorga un mejor comportamiento en el calor, por lo que los materiales presentan mejor trabajabilidad y adherencia entre estos, y se reduce la emisión de gases tóxicos. También se obtuvo que el empleo de escoria de alto horno presentó mayor rigidez que la mezcla convencional a pesar de su elevada porosidad por el elevado porcentaje de vacíos que presenta. En conclusión, el empleo de modificadores y de escoria de alto horno en una mezcla asfáltica tibia mejora las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica típica, además de requerir una elaboración de mezclas asfálticas a menores temperaturas y así mejorar la trabajabilidad de la

mezcla, reducir gases contaminantes y mantener una resistencia cercana a la de una mezcla típica.

Según (Lizárraga López, 2019) en su investigación de pregrado que lleva por título: “Mechanical performance of half-warm mix recycled asphalt mixtures containing total rates of reclaimed asphalt pavement for their use in road pavements”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad Politécnica de Madrid, dentro de sus objetivos principales presenta determinar el rendimiento de las propiedades mecánicas de mezclas asfálticas semicalientes empleando betún emulsionado, mediante ensayos en laboratorio y en situ, en comparación de una mezcla asfáltica caliente convencional. Resultando que al emplear escoria de acero se pudieron determinar las propiedades de auto reparación de las mezclas asfálticas mediante el empleo de un horno calentado a distintos grados de temperatura, los valores de resistencia obtenidos para el diseño de mezcla asfáltica con escoria de acero mediante los ensayos de módulo de rigidez son menores en comparación a los valores obtenidos para el diseño de mezcla asfáltica con emulsión bituminosa, sin embargo, el empleo de escoria reduce la emisión de gases contaminantes, se puede trabajar a menores temperaturas. En conclusión, las mezclas asfálticas con escoria de acero presentaron un mejor comportamiento en sus propiedades mecánicas mediante el ensayo de resistencia a tracción, sin embargo, las mezclas asfálticas con betún emulsionado también presenta buenas propiedades mecánicas a comparación de una convencional, por lo que es conveniente el empleo de productos industriales en la obtención de nuevas mezclas asfálticas teniendo en cuenta la temperatura de manejo que ya se demostró es importante para obtener mejores propiedades mecánicas.

Según (Marinkovic, Milovic, & Matic, 2017) en su investigación titulada “Zeolite as additive in warm mix asphalt”, dentro de sus objetivos principales presenta el comportamiento del asfalto en las mezclas asfálticas al emplear zeolita, obteniendo como resultados al variar el porcentaje de empleo de

zeolita y su tipo en una mezcla asfáltica, que en primer lugar las propiedades del ligante asfáltico mejoran, la penetración se reduce, el punto de ablandamiento aumenta y su viscosidad se reduce, por lo que resulta más trabajable. Con respecto al comportamiento de una mezcla asfáltica, se demostró que al emplear zeolita las temperaturas de mezcla permanecen en el rango de temperaturas para una mezcla asfáltica convencional, pero que las temperaturas de compactación disminuyen, infiriendo con los valores resultantes un valor de temperatura con el cuál trabajar una mezcla asfáltica con zeolita y así reducir el consumo de energía y reservarlo para siguientes mezclas. En conclusión, puede emplearse cualquier tipo de zeolita que provienen de industrias, ya que, se puede dar un buen uso a los desechos industriales que se generan por año. Las propiedades del ligante asfáltico mejoran al emplear zeolita, y su empleo en mezclas asfálticas permite reducir la temperatura de compactación, ahorrando en energía y mejorando las propiedades mecánicas de resistencia y fluencia.

Según (Hashim Ahmed, 2018) en su tesis de pregrado titulada: “Desarrollo de tecnología para la construcción de pavimentos desde granulado asfáltico tratado con emulsión bituminosa catiónica, en regiones con climas cálidos”, que fue investigada y estudiada minuciosamente en la Universidad Técnica Estado de Voronezh tiene como objetivo principal determinar las propiedades físicas y mecánicas de las mezclas asfálticas con emulsión de linaza y minerales. Resultando que los parámetros de resistencia mejoran empleando cemento portland como activador de endurecimiento junto a la emulsión, también se encontró que al aumentar las proporciones de emulsión la mezcla reduce la resistencia de la mezcla asfáltica. Propiedades como la adherencia y tiempo de endurecimiento mejoran con el empleo del cemento y la emulsión bituminosa, por lo que si se emplea para reconstrucción de pavimentos en carreteras de baja intensidad se podrá realizar una mezcla con rocas áridas para brindar el aporte necesario en la carretera. En conclusión, depende de los porcentajes de emulsión y cemento a emplear en una mezcla asfáltica para brindar las propiedades de

resistencia y estabilización óptimas que se requieren en un pavimento, ya que, en los ensayos realizados con más porcentaje de estos aditivos de lo recomendado la resistencia disminuye, y al reducir su porcentaje en los ensayos la resistencia y estabilización aumenta significativamente.

Según (Alonso Aenlle, González Lobera, & Moll Martínez, 2017) en su investigación titulada “Mezclas asfálticas de bajo impacto ambiental para la rehabilitación de las carreteras en Cuba”, dentro de sus objetivos principales presenta la propuesta de un diseño de mezclas asfálticas semicalientes que puedan ser producidas a menores temperaturas, en las que se empleará zeolita a porcentajes variados, y un diseño de mezclas asfálticas recicladas con material virgen. Resultando que el empleo de la zeolita en forma de filler aumenta la estabilidad de la mezcla asfáltica semicaliente, en comparación de una mezcla asfáltica típica, el empleo de la zeolita también muestra desventajas ante el agua, evitando que la adherencia entre los materiales sea buena. Respecto a las mezclas recicladas se encontró que al adicionar el material reusado a un 20% con 5% de ligante asfáltico óptimo las propiedades de resistencia resultantes son mejores a las mezclas típicas pero las de fluencia se ven afectadas, y es posible realizar la mezcla a las mismas temperaturas de una mezcla típica al porcentaje de asfalto óptimo hallado. Concluyendo así que los resultados obtenidos para las mezclas asfálticas semicalientes con zeolita y las mezclas recicladas ayudan a encontrar los factores necesarios a aplicar en los diseños para reducir la temperatura de diseño, a disminuir el daño ambiental que se generan en la producción de las mezclas asfálticas o en la reconstrucción de carreteras.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas resultan de la mezcla de cemento asfáltico y áridos, la cual muestra un comportamiento que tiene características combinadas de estos materiales. Por lo tanto, la respuesta de una mezcla asfáltica a una

carga aplicada depende de las propiedades termoplásticas del aglutinante y de las características de tenacidad y enclavamiento del agregado. Cuando se aplica carga a un pavimento, las tensiones principales que se transmiten a la mezcla asfáltica son las de compresión vertical dentro de la capa asfáltica y las de tracción horizontal en la parte inferior de la capa de rodadura. Las mezclas asfálticas deben ser fuertes interiormente y deben resistir los esfuerzos de compresión y cizallamiento para evitar la deformación permanente dentro de la mezcla. Así mismo, la mezcla asfáltica debe tener suficiente tensión de tracción en la base de la capa asfáltica para resistir el agrietamiento por fatiga después de muchas aplicaciones de carga.

La mezcla asfáltica también debe resistir las tensiones térmicas causadas por vacilaciones de temperatura y temperaturas extremadamente fría, debido a que el comportamiento de la mezcla asfáltica como componente estructural del pavimento se logra analizando el comportamiento de la mezcla ante cargas elevadas y temperaturas registradas por laboratorio.

El diseño de una mezcla asfáltica, al igual que el diseño de otros materiales de ingeniería, requiere de una selección y dosificación de materiales constituyentes para obtener las propiedades esperadas en la estructura del pavimento terminado. Los requisitos comunes para cualquier mezcla de asfalto se pueden resumir de la siguiente manera (Asphalt Institute MS-2, 1993):

- Resistencia a la deformación. La mezcla asfáltica obtenida no debe deformarse ni desplazarse ante cargas de tráfico, sobre todo cuando se somete la mezcla a elevadas temperaturas.

- Resistencia a la fatiga. La mezcla no debe presentar fallas de agrietamiento cuando se somete a cargas repetidas durante un período de tiempo.

- Resistencia a los daños inducidos por la humedad. La mezcla debe reaccionar favorablemente ante la humedad para que sus propiedades no se vean afectadas y cumpla con su vida útil.
- Resistencia al agrietamiento por baja temperatura. La mezcla debe resistir las temperaturas frías en las regiones con este tipo de clima.
- Durabilidad: la mezcla debe contener suficiente ligante asfáltico para asegurar un espesor adecuado alrededor de los agregados. La mezcla compactada no debe tener elevados porcentajes de vacíos de aire.
- Trabajabilidad: la mezcla debe poder colocarse y compactarse con un esfuerzo razonable.

Clasificación de mezclas asfálticas según la temperatura:

- Mezclas asfálticas en caliente. Son mezclas asfálticas producidas a temperaturas de 150 °C – 180 °C, ya que la película de asfalto debe cubrir los agregados empleados y obtener una buena adherencia con estos, y al trabajar con este rango de temperatura se asegura obtener una mezcla uniforme de mezcla asfáltica caliente.
- Mezclas asfálticas semicalientes o tibias. Son mezclas asfálticas que mediante distintos tipos de métodos se logra reducir la temperatura para obtener propiedades mecánicas cercanas a las que se obtienen para una mezcla asfáltica caliente, esta temperatura puede estar comprendida entre 120 °C - 140 °C.
- Mezclas asfálticas templadas. Son mezclas asfálticas que se obtienen empleando modificadores en su proceso de mezclado para no llegar a las temperaturas elevadas de mezclas asfálticas en caliente, requiriendo aproximadamente 100 °C de temperatura.

- Mezclas asfálticas en frío. Son mezclas asfálticas elaboradas en el sitio de pavimentación o en planta a temperatura ambiente, como recomendación en su empleo se debe realizar una colocación de la mezcla de forma homogénea.

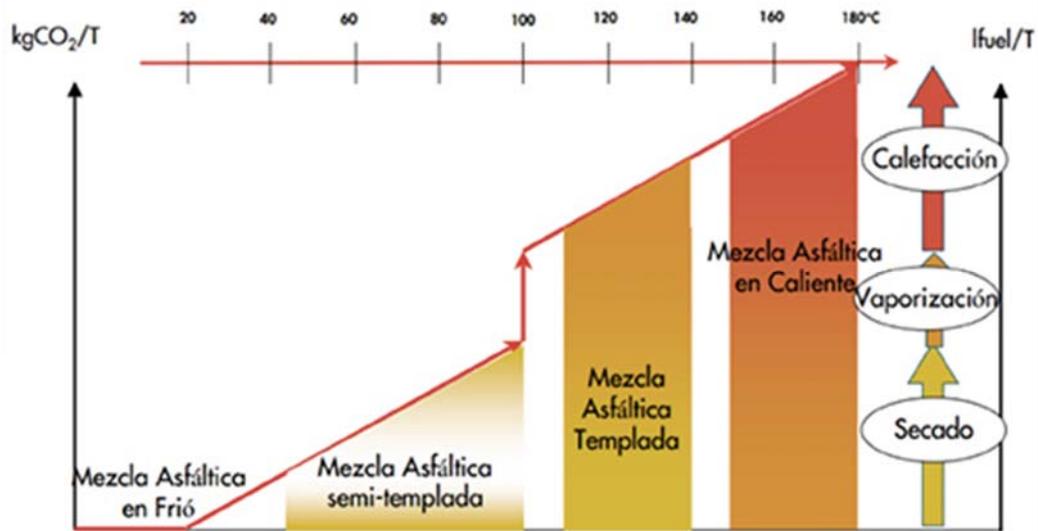


Figura 3. Clasificación de las mezclas asfálticas por su temperatura

Fuente: Libro (Porot, 2008)

2.2.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES

El tipo de mezcla asfáltica semicaliente es una de las mezclas más empleadas en los últimos años en el mundo, debido a que la temperatura de mezclado es baja en comparación de las mezclas asfálticas calientes y porque muestra un importante aporte para no afectar el medio ambiente, reduce el consumo de energía, la explotación de recursos naturales y emisiones de gases producidos por el efecto invernadero, costos de producción y de construcción. Estos aportes han creado conciencia ambiental en el rubro del transporte y de pavimentos, lo que ha incentivado a crear más estrategias que no afecten el medio ambiente y contribuir al desempeño ambiental.

La tecnología de las mezclas asfálticas semicalientes se encargan de fabricar, difundir y compactar a temperaturas de 65°C a 100°C. Este tipo de

tecnología ahorran el consumo de energía en el rango del 25-50% en comparación con las tecnologías de mezclas de reciclaje y mezclas asfálticas en caliente, mientras se reduce la explotación y extracción de recursos renovables y los consumos de combustible; la cantidad de emisiones de gases contaminantes liberadas a la atmósfera como resultado de la disminución de la temperatura de calentamiento y secado de los agregados. Los tipos de tecnologías consisten en aditivos orgánicos, bases acuosas, aditivos químicos y asfaltos espumados. (Zaumanis, 2010)

2.2.2.1. Ventajas de emplear mezclas asfálticas semicalientes:

Las ventajas de reducir la temperatura de elaboración de mezclas asfálticas se agrupan de la siguiente manera según (Oliver Mendoza, 2014):

a. Económicos:

El consumo de energía disminuirá un 30% debido a que el uso de combustible será más bajo al tener esfuerzos más bajos, también al disminuir la temperatura se tendrá menor deterioro de las plantas asfálticas.

b. Ambientales:

Al reducir las temperaturas de mezclado y compactación se redujeron las emisiones de gases de efecto invernadero. Esto también beneficia las condiciones de trabajo de los operarios que ya no estarán en contacto con esos tipos de gases y olores y así mejorará su productividad. Por último, se reduce la emisión de componentes volátiles orgánicos por lo que los trabajadores y operarios estarán en menos riesgo de contacto con estos componentes.

c. Constructivos:

Al trabajar con una mezcla asfáltica semicaliente, y estar en lugares de climas fríos la mezcla asfáltica se puede adaptar y se puede emplear en obra con mayor tiempo de compactación, ya que el descenso de la temperatura de la mezcla no es tan significativo como cuando se emplean mezclas asfálticas calientes. Este tipo de mezclas requiere menos

esfuerzos a menor temperatura, por lo que resulta fácil de compactar y de obtener mezclas de buen desempeño.

d. Comportamiento:

La vida útil del pavimento se mantendrá y en las mejores circunstancias se prolongará debido a que el asfalto tendrá un menor envejecimiento en comparación que las mezclas asfálticas típicas. La viscosidad se reducirá al obtener menores porcentajes de vacíos, evitando así la oxidación que pueda producirse por mantener una densidad óptima.

2.2.2.2. Beneficios de producción:

La tecnología de mezcla de asfalto semi-caliente proporciona temperaturas de producción y compactación más bajas que otras soluciones de pavimentación de asfalto existentes en el mercado del asfalto. En otras palabras, la mezcla ayuda a reducir la viscosidad de los aglutinantes asfálticos, permitiendo que los agregados reciclados se adhieran y se cubran a temperaturas más bajas, se tenga mayor trabajabilidad, resultando en un mayor contenido de pavimento asfáltico reciclado incorporado en nuevas mezclas, menor pavimento, energía de compactación para lograr la densidad de referencia objetivo, menor susceptibilidad térmica, mayor vida útil del pavimento y menor envejecimiento del pavimento asfáltico aglutinante reciclado debido a temperaturas más bajas de producción y compactación, lo que permite que la mezcla sea menos quebradiza y menos rígida mientras evita problemas de agrietamiento por fatiga en gradientes de temperatura bajos.

En este contexto (Chiu, Hsu y Yang, 2008) reportaron una marcada reducción del 23% en el impacto ambiental debido a una reducción en el consumo de energía y el contenido de aglutinante de asfalto requerido para calentar y secar los agregados vírgenes durante la elaboración de la mezcla. Además, las temperaturas de producción y compactación más bajas ofrecen importantes beneficios en términos de reducción de

emisiones, consumo de energía y, por tanto, ahorro económico. Reducir la temperatura de producción ayuda a colocar las plantas de asfalto más cerca de las áreas rurales y evita que las plantas de asfalto se cierren si no cumplen con los estándares de calidad del aire.

2.2.2.3. Características de fricción superficial

La macrotextura se refiere a la textura a gran escala determinada por la forma y el tamaño de las partículas de piedra contenidas en la mezcla de capas superficiales. La macrotextura de la superficie de la carretera proporciona un componente de histéresis de fricción y permite que el agua se drene rápidamente de la superficie de la carretera. Además de este objetivo principal, una macrotextura más alta puede proporcionar mejores vías de escape de agua al reducir el deslizamiento y, por lo tanto, mejorar la fricción de tracción. La medición de la profundidad de la macrotextura de la superficie de la carretera se puede encontrar utilizando la técnica de parcheo volumétrico.

Por este motivo, en la Tabla 1 se muestra cómo la textura del pavimento se dividió en tres rangos en función de la longitud de onda de sus componentes: microtextura, macrotextura y megatextura.

Tabla 1. Clasificación de texturas de pavimento

Texture classification	Relative Wavelengths
Microtexture	$\lambda < 0.5 \text{ mm}$
Macrotexture	$0.5 \text{ mm} < \lambda < 50 \text{ mm}$
Megatexture	$50 \text{ mm} < \lambda < 500 \text{ mm}$
Roughness/Smoothness	$0.5 \text{ m} < \lambda < 50 \text{ m}$

Fuente: (Lizárraga López, 2019)

A continuación, en la figura 2 se muestra la microtextura que se refiere a la textura a escala pequeña en la superficie de una partícula de piedra, la cual está más influenciada tanto por las características de los agregados como por la fuente de agregados, mientras que la macrotextura depende de la textura a gran escala definida por la forma y tamaño de partículas de piedra presentadas en la superficie de la carretera.

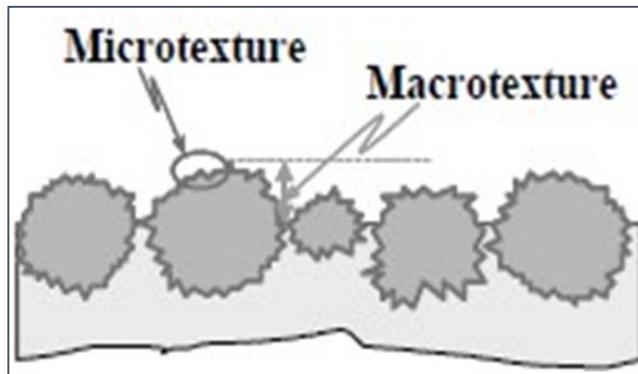


Figura 4. Profundidad de microtextura y macrotextura superficial

Fuente: (Lizárraga López, 2019)

2.2.3. ESPUMADO ASFÁLTICO

El asfalto a temperaturas elevadas se convierte en espumado asfáltico al mezclarlo con un pequeño porcentaje, del 2%, de agua atomizada empleando un equipo especial, este espumado asfáltico se vuelve menos viscoso por lo que su mezcla con los agregados se vuelve más práctico a temperaturas bajas.

Para obtener el espumado asfáltico se debe tener como prioridad el cambio del estado del agua, ya que su cambio de estado influye directamente en el comportamiento del asfalto ante el agua atomizada. Como se explica en el Manual de reciclaje en frío Wirtgen, el asfalto al entrar en contacto con el agua atomizada que pasa por un proceso de cambio de estado (cuando alcanza su punto de hervor) se crea una burbuja de asfalto rellena de vapor de agua, como se muestra en la figura 3.

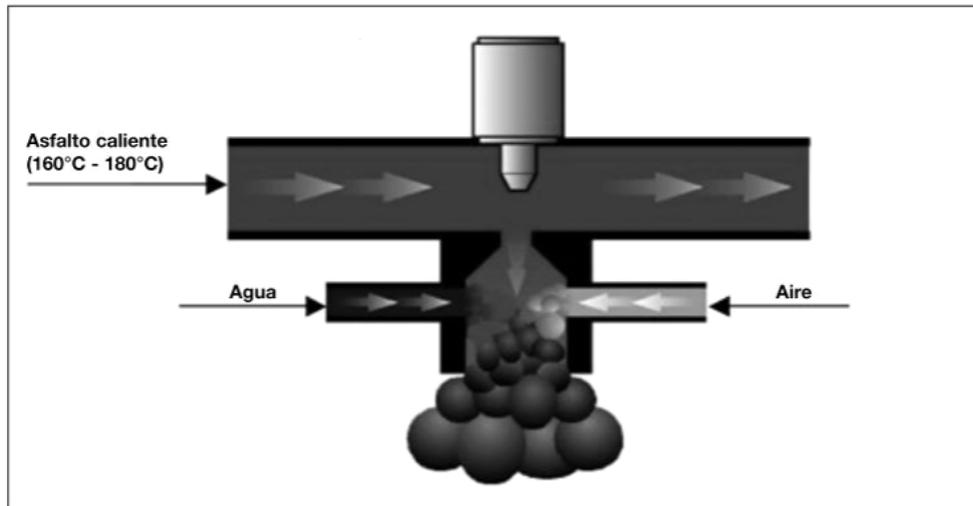


Figura 5. Producción de espumado asfáltico

Fuente: Manual de reciclaje en frío Wirtgen

2.2.3.1. Sistema LEA (Low Energy Asphalt)

Este método, el proceso LEA (Low Energy Asphalt), reduce significativamente el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. La tecnología de pavimentación de baja energía LEA (Low Energy Asphalt) implica la fabricación y aplicación de mezclas asfálticas a temperaturas inferiores a 100 °C. Estas mezclas ofrecen un rendimiento equivalente al de HMA, como el efecto de energía en la mezcla, temperatura y agua en los componentes de la mezcla, ligante asfáltico y agregados. La originalidad del proceso radica en el mejor aprovechamiento de los cambios en el estado del ligante: líquido en caliente y capaz de convertirse en espuma o emulsionar al contacto con el agua. Además, sólo interviene el calentamiento a temperatura moderada de los áridos gruesos; el resto del marco agregado se usa frío y húmedo. Es por eso que este método proporciona un ahorro significativo en la energía al realizar la mezcla y reduce las emisiones de gases resultantes. (Romier, Audeon, Jac, Martineau, & Olard, 2005)

2.2.3.2. Ventajas del empleo de espumado asfáltico

El espumado asfáltico puede ser empleado como estabilizador debido a su buen comportamiento al interactuar con diversos materiales y por las siguientes ventajas:

- a. Aspecto económico: Para obtener el espumado asfáltico se requiere de un ligante asfáltico de PEN estándar y de agua un 2% del ligante asfáltico, por lo que no se requiere un costo adicional de fabricación al de la obtención del ligante asfáltico.
- b. Trabajabilidad: El periodo de trabajabilidad del espumado asfáltico con los agregados a emplear es mayor al de una mezcla típica, por lo que se es manejable a cualquier condición climática. También el empleo del espumado asfáltico hace sencillo el colocado y la compactación de la mezcla, por lo que puede entrar en contacto con las cargas de tráfico de manera inmediata.

Es recomendable emplear algún tipo de filler en un espumado asfáltico para mejorar la capacidad de resistencia ante la humedad y su trabajabilidad.

2.2.3.3. Características del espumado asfáltico

Las características principales del espumado asfáltico, se observan en la figura 4 y son:

- a. Volumen de expansión: Es necesario determinar la razón entre el volumen máximo alcanzado y el volumen del ligante asfáltico sin espuma, para entender el comportamiento que tendrá el espumado asfáltico obtenido en la mezcla asfáltica a emplear.
- b. Vida media: Se toma el tiempo desde el momento en que entra a estado espumado hasta obtener la mitad del máximo volumen determinado.
- c. Estabilidad: Se determina en base al tiempo que le toma a la espuma asfáltica colapsar, ya que, si se observan burbujas grandes significa que se obtiene un mayor descenso de la temperatura lo que hará que

desaparezcan rápido, y si sucede que la presión dentro de la burbuja es alta, resultará en una expansión de la burbuja que se romperá rápido.

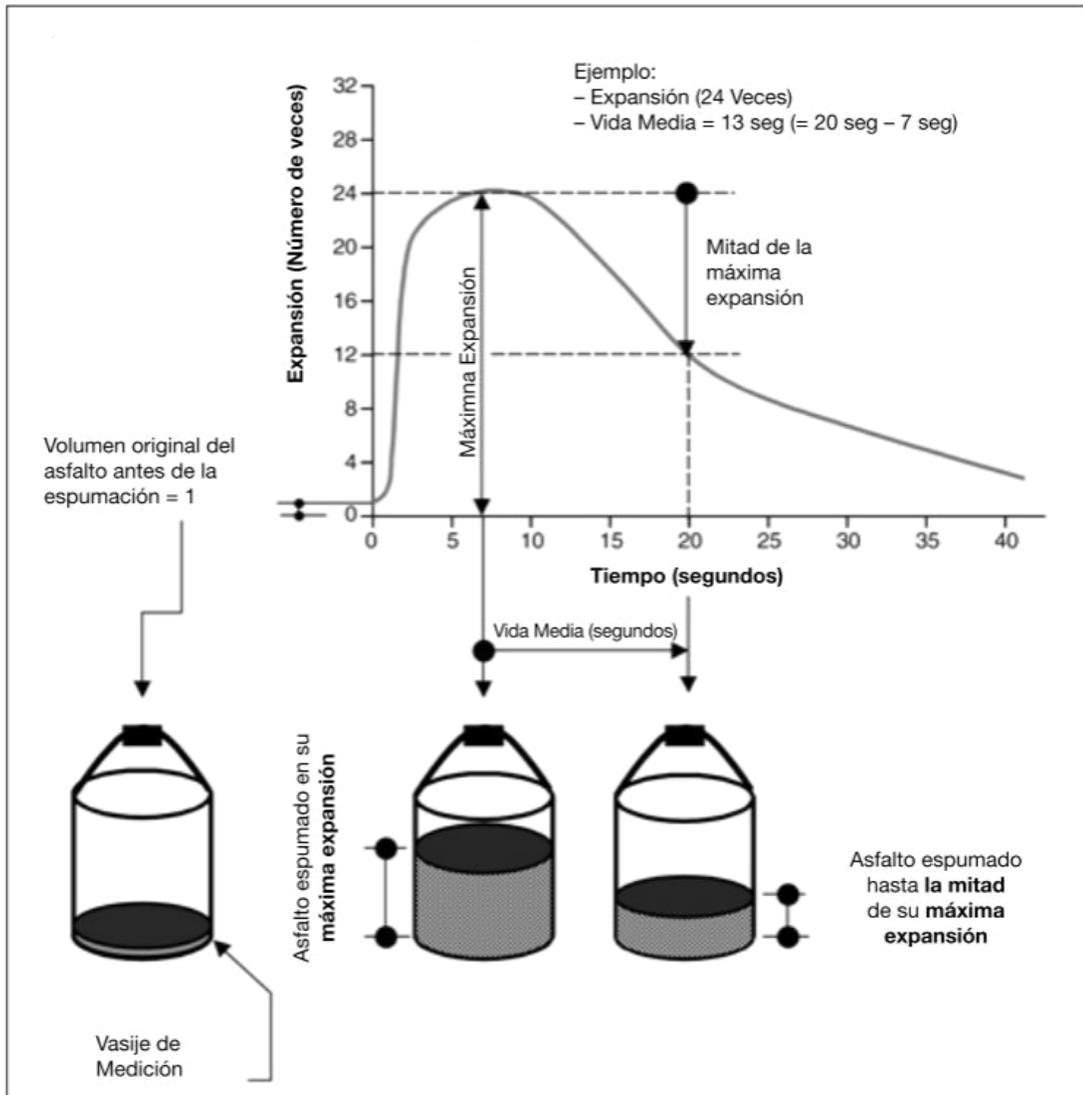


Figura 6. Características del espumado asfáltico

Fuente: Manual de reciclaje en frío (Wirtgen, 2004)

2.2.4. Filler mineral

Se define el filler como un producto mineral finamente dividido, al menos el 65% pasará por un tamiz N° 200. La piedra caliza pulverizada es el relleno

mineral más comúnmente fabricado, aunque se utilizan otros polvos de piedra, sílice, cal hidratada, cemento Portland ordinario y ciertos depósitos naturales de materia mineral finamente dividida.

El polvo de vidrio reciclado es vidrio de desecho convertido en productos utilizables. Los residuos de vidrio se separan por composición química y luego, dependiendo del uso final y las capacidades de procesamiento local, también pueden tener que separarse en diferentes colores. (Bandura, Panek, & Woszuk, 2015)

2.2.4.1. Tipos de filler

Los tipos de filler mayormente empleados son el cemento Portland, piedra caliza molida, lutita molida, tierra arcilla, cal y en los últimos años el empleo de la zeolita está resultando beneficioso en las propiedades de las mezclas asfálticas.

A. Cal hidrata

La cal hidratada se emplea como un modificador del asfalto que amplía la vida útil del pavimento, debido a la reacción de la cal con el árido la cual es positiva ya que refuerza los enlaces entre el betún y los agregados. También la cal hidratada promueve la formación de sales que impiden la entrada del agua al sistema. La cal al reaccionar con el asfalto se dispersa en la mezcla de manera homogénea eliminando partículas no necesarias y brindando más rigidez y resistencia a mayores temperaturas. La cal hidratada no funciona de la misma manera si se trabaja a bajas temperaturas y presenta un comportamiento inerte.

Otra importante característica de la cal hidratada es que ayuda a reducir el envejecimiento del pavimento al retrasar la oxidación de cualquier tipo de betún, haciendo que el pavimento mantenga su flexibilidad y se evite un prematuro agrietamiento por más años de su vida útil.

B. Cemento Portland

Está conformado por caliza, arcilla y yeso, y presenta propiedades provechosas para el rubro de la construcción, siendo este el material más empleado para cualquier tipo de obra, además de su precio económico ante otro tipo de materiales para este rubro. En primer lugar, se produce Clinker, una composición de óxidos metálicos que contienen formas de sulfato de calcio en su proceso. El cemento es empleado como un estabilizador para suelos y como modificador para la elaboración de pavimentos por brindarles resistencia y durabilidad. Las especificaciones de qué tipo de cemento emplear dependen de los diseños de mezcla a realizar para averiguar cuál es el mejor y determinar los porcentajes a emplear, mientras se va reduciendo la presencia de sulfatos que afectan la resistencia a la compresión.

C. Zeolita

Las zeolitas son minerales de aluminosilicatos hidratados de cationes de metales alcalinos y alcalinotérreos que son microporosos y cristalinos. Los tetraedros de dióxido de silicio y alúmina forman una estructura tridimensional abierta en la que las "células" y cavidades dentro de la estructura se encuentran fuera de la estructura de cationes y "agua de zeolita". La estructura celular de la zeolita con cavidades abiertas proporciona grandes superficies internas y externas, que forman la base de su alta reactividad puzolánica, así como su metaestabilidad debido a la carga negativa de la estructura. (Marinkovic, Milovic, & Matic, 2017)

Otra propiedad característica de las zeolitas es la presencia de partículas de agua en su composición, las cuales están unidas de cierta forma específica, a esto se le llama agua de zeolita. Cuando el mineral se calienta a una temperatura de aproximadamente 400 °C, el agua se libera constantemente sin cambiar la estructura de la zeolita. En las tecnologías de asfalto caliente, el agua de zeolita no se libera

completamente debido a la menor temperatura de procesamiento. Sin embargo, la cantidad de agua de zeolita liberada a una determinada temperatura se puede determinar mediante análisis térmico. Por el contrario, cuando un mineral de zeolita está presente en un ambiente húmedo, las partículas de agua también son absorbidas continuamente por su estructura cristalina.

- **Clasificación de las zeolitas:**

Zeolitas Naturales: Las zeolitas se presentan de forma natural en rocas volcánicas que contengan cuarzo y óxido de aluminio, las zeolitas tienen moléculas de agua que pueden interactuar libremente, logrando intercambios iónicos, y al lograr este intercambio la zeolita natural es capaz de liberar agua de manera continua mientras se mantiene una temperatura baja.

Zeolitas Sintéticas: Este tipo de zeolitas se obtienen de hacer variar la composición de las soluciones acuosas a temperaturas de 25 °C y 290 °C, y variando también las condiciones de síntesis, ya que es posible obtener zeolitas sintéticas con variados tipos de composición química o con variadas estructuras.

- **Propiedades de las zeolitas**

Porosidad: Las zeolitas presentan un tipo de estructura microporosa, la cual hace que de manera interna presente una estructura más grande que la superficie externa. Esta propiedad aumenta la capacidad de la zeolita de absorción de moléculas formando capas a medida que aumenta la cantidad de absorción.

Adsorción:

Los átomos que se encuentran en la superficie de la zeolita no tienen fuerzas de cohesión compensadas, como ocurre en los átomos ubicados dentro de un sólido, que es el responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos. A distancias mayores, no

existe una interacción significativa entre una molécula que se acerca a una superficie cercana a cero. A medida que la molécula se acerca a la superficie, la energía del sistema disminuye, ya que las fuerzas de adhesión de los átomos en la superficie comienzan a equilibrarse. A medida que disminuye el tamaño de los poros, hay un aumento significativo en el potencial de adsorción causado por el potencial solapamiento de las paredes de los poros. En consecuencia, para el mismo adsorbato, la interacción con las paredes de los poros es mayor cuanto menor es el tamaño de los poros y, por tanto, mejor es la retención de la molécula adsorbida. En la figura 5 se observa la estructura de una zeolita.

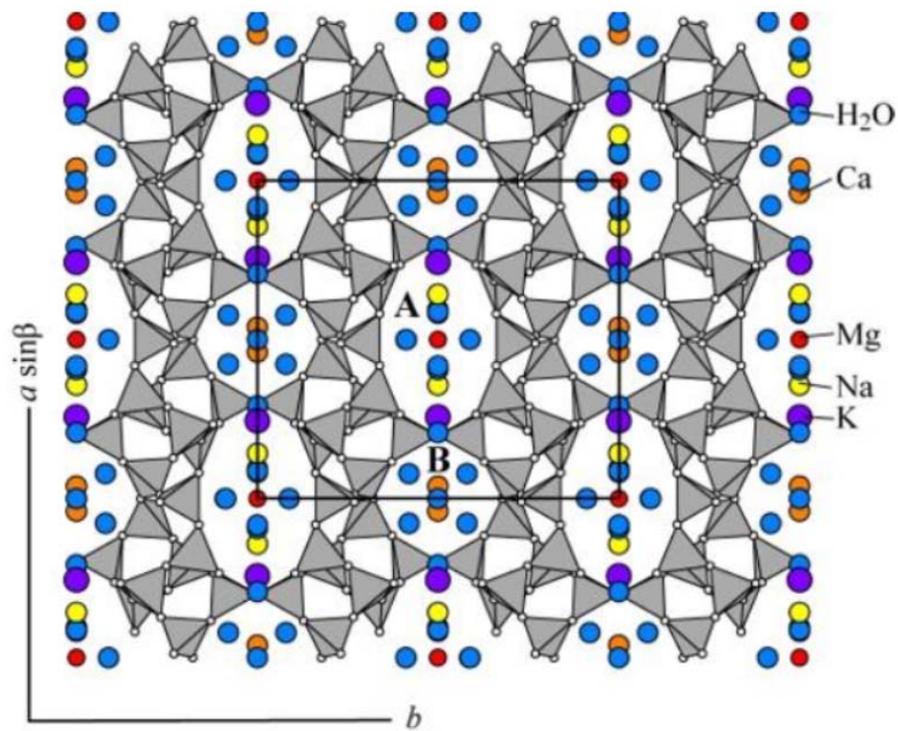


Figura 7. Modelo de estructura de clinoptilolita

Fuente: (Marinkovic, Milovic, & Matic, 2017)

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- Mezclas asfálticas:

Es una capa para la superficie de pavimentos diseñada para resistir cargas, empleando ligante asfáltico, agregados y aditivos que permitan que el diseño obtenido presente las características esperadas en campo y con una textura que depende de la granulometría de los agregados. (Chuman Aguirre, 2016)

- Tensión de tracción:

Esta tensión se crea aplicando a un elemento dos cargas de la misma dirección, pero opuesta; esta característica se determina en los ensayos de pavimentos para evaluar la tenacidad y la resistencia a la fisuración de las mezclas asfálticas. (Botella N., Pérez Jiménez, & Valdés V., 2013)

- Estabilizador:

Son materiales que dotan de propiedades y características de resistencia y durabilidad, necesarias en un suelo. Los estabilizadores se emplean en suelos de subrasante con falta de las propiedades mencionadas. (Nesterenko Cortes, 2018)

- Compactación:

La compactación es una de las tareas más importantes en una pavimentación, debido a que aumenta la resistencia y reduce el riesgo de fallas por fisuración en el pavimento, ya que el objetivo es alcanzar una densidad que le brinde durabilidad a la mezcla. (Hernández Cabrera & Ramirez Rodriguez, 2010)

- Adherencia:

La adherencia hace referencia a la unión entre materiales, brindando una correcta unión, en mezclas asfálticas, a los agregados y al ligante asfáltico. Es una propiedad importante de las mezclas asfálticas, ya que es el pilar que le brinda la capacidad a la mezcla de alcanzar sus propiedades principales. (Ruiz Ramírez & Urrego Aguilera, 2016)

- Viscosidad:

Es una propiedad característica de los fluidos, que debido a variaciones de temperatura se producen choques de partículas del fluido que ocasionan su resistencia a fluir. En pavimentación es una propiedad empleada para determinar la temperatura de fabricación de una mezcla asfáltica. (Ruiz Ramírez & Urrego Aguilera, 2016)

- Agregados:

Los agregados están constituidos por partículas de tamaño y forma establecidos, por lo que se dividen en agregados finos, como arenas; agregados gruesos, como piedras trituradas o gravas naturales; y rellenos minerales. (Chuman Aguirre, 2016)

- Filler:

Se define el filler como un producto mineral finamente dividido, al menos el 65% pasará por un tamiz N° 200. La piedra caliza pulverizada es el relleno mineral más comúnmente fabricado, aunque se utilizan otros polvos de piedra, sílice, cal hidratada, cemento Portland ordinario y ciertos depósitos naturales de materia mineral finamente dividida. (Bandura, Panek, & Woszuk, 2015)

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. MÉTODOS Y ALCANCE DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

Según (Mejía Mejía, 2005) el método científico es un método desarrollado para que el investigador parta de conocimientos previos que los conduzcan a plantear los problemas y generar sus hipótesis hacia la verdad mediante el estudio de sus variables de investigación.

En la presente investigación los objetivos principales buscan la optimización de un asfalto semicaliente mediante el análisis de una variable independiente y una variable dependiente que altera en distinta medida, según lo planificado, las propiedades mecánicas.

3.1.2. NIVEL

El nivel de investigación según (Carrasco Díaz, 2005) se debe determinar la manera en que se desarrollará la investigación, determinando el orden y tratamiento que se dará a la investigación realizando estudios exploratorios, descriptivos o experimentales.

El nivel de investigación para este estudio será correlacional, debido a que se tiene que las variables independientes que son los tipos de filler: cal hidratada, cemento portland y zeolita, van a variar las propiedades

mecánicas, ya que al trabajar con espumado asfáltico el catalizador aportará un nivel de expansión que determinará la mezcla asfáltica semicaliente.

3.1.3. TIPO

De acuerdo a (Bernal Torres, 2010) el tipo de investigación depende del objetivo planteado y de las hipótesis propuestas en el estudio, ya que estos parámetros determinan la investigación que se quiere realizar.

Para esta investigación se empleará el tipo aplicado, ya que se empleará la normativa de Marshall para determinar los parámetros de estabilidad y flujo, se empleará también el sistema LEA (Low Energy Asphalt) para la aplicación del espumado asfáltico y se emplearán los distintos tipos de filler: cal hidratada, cemento portland y zeolita, para optimizar las propiedades de la tecnología asfáltica semicaliente según el diseño propuesto.

3.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Según (Hernández Sampieri, 2014) el diseño de investigación nos permitirá cumplir con el objetivo de la investigación de una manera estratégica, ya que nos brinda un enfoque del problema de la investigación y la estrategia para resolverlo. Para esta investigación se empleará el diseño cuasiexperimental, en el que se manipula la variable independiente para obtener la reacción de la variable dependiente, teniendo en cuenta que la forma en la que se determinará ya está definida.

En esta investigación las variables ya cuentan con precedentes de manera individual, los tipos de filler: cal hidratada, cemento portland y zeolita fueron abordados en la geotecnia, con lo cual según estas características encontradas puede generarse una mejora en la producción de un espumante asfáltico. Para lo cual se empleará, a forma de contraste, como se asocian estos tipos de filler al espumado asfáltico mediante el sistema LEA optimizando sus propiedades.

3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.3.1. POBLACIÓN

La población según (Bernal Torres, 2010) se define como el grupo de muestreos que presentan ciertos parámetros similares que se necesitan para la investigación.

Para la presente investigación la población tomada es definida en función a la capacidad de producción de una planta asfáltica reciclada y está sujeto a la demanda requerida para la investigación, obteniendo así que la capacidad sea de 8 toneladas de mezcla asfáltica semicaliente por cada proceso de producción.

3.3.2. MUESTRA

Según (Monje Álvarez, 2011) se debe elegir un grupo de la población que represente unas explícitas características de esta población teniendo en cuenta que es para un estudio determinado.

La muestra será de 480 kg de mezcla asfáltica semicaliente bajo la metodología LEA (Low Energy Asphalt) dentro de los cuales se usarán 150 kg para los tipos de filler: cal hidratada, cemento portland y zeolita, y 30 kg se usarán para determinar el diseño final

3.3.3. MUESTREO

Según (Monje Álvarez, 2011) las muestras pueden ser probabilísticas y no probabilísticas, la primera se elige porque se espera tener elementos seleccionados aleatoriamente, mientras que la segunda se basa en la decisión del investigador.

El muestreo en la investigación es no probabilístico de corte longitudinal, porque se proyecta realizar un ensayo con tres tipos de filler según la proyección del estudio donde se modifican las propiedades mecánicas.

3.4. TÉCNICAS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

La técnica de recolección de datos será por observación directa con el sistema LEA (Low Energy Asphalt) para el espumado asfáltico en las mezclas asfálticas semicalientes y con el método de Marshall.

3.5. INSTRUMENTO DE ANÁLISIS DE DATOS

El instrumento de análisis de datos será con fichas de recolección de datos, elaborados y planteados para el empleo del sistema LEA en los ensayos de laboratorio, y el ensayo de Marshall para las mezclas asfálticas semicalientes.

3.6. VARIABLES

3.6.1. VARIABLE INDEPENDIENTE

Tipos de filler

3.6.2. VARIABLE DEPENDIENTE

Propiedades mecánicas

3.7. OPERACIONALIZACIÓN

Tabla 2. Operacionalización de la variable

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTO	ESCALA
VI: TIPOS DE FILLER	Los tipos de filler mayormente empleados son el cemento Portland, piedra caliza molida, lutita molida, tierra arcilla, cal y en los últimos años el empleo de la zeolita está resultando beneficioso en las propiedades de las mezclas asfálticas. (Bandura, Panek, & Woszuk, 2015)	CAL HIDRATADA	Muestreo de material fino MTC E 201	Ficha recolección de datos	Razón
			Análisis granulométrico MTC E 204		
			Gravedad específica y absorción MTC E 205		
		CEMENTO PORTLAND	Muestreo de material fino MTC E 201		
			Análisis granulométrico MTC E 204		
			Gravedad específica y absorción MTC E 205		
		ZEOLITA	Muestreo de material fino MTC E 201		
			Análisis granulométrico MTC E 204		
			Gravedad específica y absorción MTC E 205		
VD: PROPIEDADES MECÁNICAS	Son las propiedades de estabilidad y flujo que presentan las mezclas asfálticas para encontrar su comportamiento ante las cargas y estados en que se encontrarán los pavimentos una vez construidos. (Aulestia Viscarra & Chávez Romero, 2017)	ESPUMADO	Relación expansión	Ficha recolección de datos	Razón
			Vida media (segundos)		
			Muestreo de material bituminoso MTC E 301		
		ESTABILIDAD	Análisis granulométrico MAC2 MTC E 204		
			Ensayo de Marshall MTC E 504		
			Porcentaje de vacíos MTC E 505		
		FLUJO	Análisis granulométrico MAC2 MTC E 204		
			Ensayo de Marshall MTC E 504		
			Porcentaje de vacíos MTC E 505		

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. APLICACIÓN DEL SISTEMA LEA

El proceso LEA (Low Energy Asphalt), reduce significativamente el consumo de energía y las emisiones de gases de efecto invernadero. La tecnología de pavimentación de baja energía LEA (Low Energy Asphalt) implica la fabricación y aplicación de mezclas asfálticas a temperaturas inferiores a 100°C. Estas mezclas ofrecen un rendimiento equivalente al de HMA, como el efecto de energía en la mezcla, temperatura y agua en los componentes de la mezcla, ligante asfáltico y agregados. La originalidad del proceso radica en el mejor aprovechamiento de los cambios en el estado del ligante: líquido en caliente y capaz de convertirse en espuma o emulsionar al contacto con el agua.

La aplicación del sistema LEA consiste en el mejor aprovechamiento de los cambios en el estado del ligante: líquido en caliente y capaz de convertirse en espuma o emulsionar al contacto con el agua. Para ello se caracterizará el asfalto espumado mediante sus dos propiedades principales: Razón de expansión y vida media. En la figura 8 se muestra el procedimiento que emplea el sistema LEA para obtener el asfalto espumado sin necesidad de algún equipo o máquina.

En la presente investigación se tiene como objetivo obtener el grado de expansión en el asfalto espumado mediante la aplicación de distintos tipos

de filler, para lo cual se determinarán las propiedades de razón de expansión, vida media, gravedad específica y absorción, del espumado asfáltico que se obtendrá empleando ligante asfáltico de PEN 85-100 y variando los porcentajes de filler en cada muestra, los cuáles serán zeolita, cal hidratante y cemento.

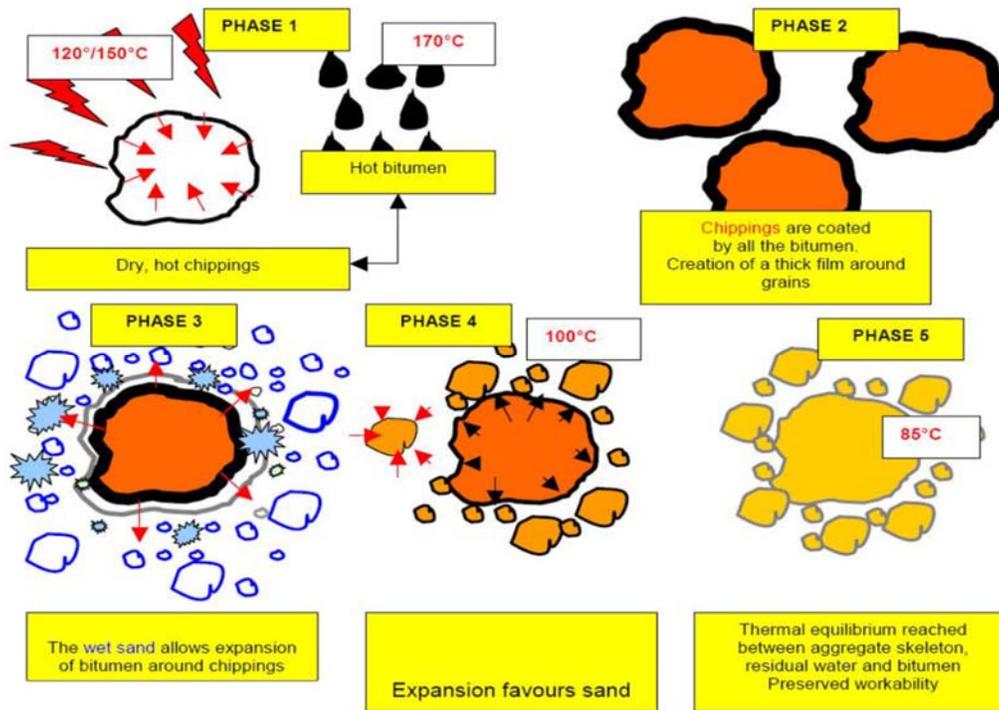


Figura 8. Espumado Sistema LEA (Low Energy Asphalt)

Fuente: Seminario de mezclas asfálticas recicladas (Asociación Paraguaya de Carreteras)

4.1.1. RAZÓN DE EXPANSIÓN

Es la medida de la viscosidad de la espuma generada y va a ser este quien determine la dispersión del asfalto en la mezcla. La razón de expansión se determinará para cuatro casos, el primero es tomando una muestra sin filler variando el porcentaje de agua inyectada del 1% al 4% y trabajando con ligante asfáltico de PEN 85-100 con las temperaturas de 160°C, 170°C y 180°C; el segundo caso será empleando filler al 1% de zeolita, en el tercer

caso se empleará 1% de cal hidratada y en el último caso se empleará 1% de cemento.

En la tabla 3 se muestran los resultados de la razón de expansión obtenida con el asfalto de PEN 85-100 sin emplear filler, en los que al trabajar con 3% de agua inyectada a 160°C de temperatura y con 4% de agua inyectada a 160°C -180°C se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces.

Tabla 3. Razón de expansión - PEN 85-100 sin filler

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	RAZÓN DE EXPANSIÓN (número de veces)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 SIN FILLER	1%	5.4	5.1	3.7
	1%	4.8	4.1	4.3
	1%	5.7	4.9	4.1
	2%	7.2	6.8	6.7
	2%	7.9	7.8	7.1
	2%	6.7	6.5	6.3
	3%	11.5	10.9	10.3
	3%	11.0	10.4	9.5
	3%	12.1	11.0	10.7
	4%	14.8	13.6	13.1
	4%	13.9	12.6	12.2
	4%	14.5	14.3	14.0

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4 se muestran los resultados de razón de expansión obtenidos al emplear como filler el 1% de zeolita, en los que al trabajar con 2% a 4% de agua inyectada a 160°C -180°C se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces.

Tabla 4. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de zeolita

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	RAZÓN DE EXPANSIÓN (número de veces)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 + 1% ZEOLITA	1%	7.4	6.2	6.4
	1%	6.6	6.6	6.8
	1%	7.7	7.3	6.2

	2%	10.7	9.8	8.3
	2%	9.5	8.7	9.2
	2%	9.8	9.3	8.6
	3%	12.8	12.2	10.6
	3%	13.4	12.5	12.0
	3%	14.0	11.7	10.4
	4%	17.0	15.6	15.6
	4%	17.8	15.4	14.8
	4%	15.5	17.2	16.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 5 se muestran los resultados de razón de expansión obtenidos al emplear como filler el 1% de cal hidratada, en los que al trabajar con 3% al 4% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces.

Tabla 5. Razón de expansión - PEN 85-100+1% de cal hidratada

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	RAZÓN DE EXPANSIÓN (número de veces)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 + 1% CAL HIDRATADA	1%	5.6	5.3	4.7
	1%	5.2	4.6	5.4
	1%	6.4	6.0	4.1
	2%	7.9	7.7	6.1
	2%	8.3	7.0	6.6
	2%	7.1	7.4	6.8
	3%	11.9	10.7	10.4
	3%	11.1	10.1	9.8
	3%	12.3	11.5	10.5
	4%	15.8	14.2	13.0
	4%	15.2	13.4	14.6
	4%	14.8	14.7	13.5

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 6 se muestran los resultados de razón de expansión obtenidos al emplear como filler el 1% de cemento, en los que al trabajar con 3% y 4% de

agua inyectada a 160°C -180°C se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces.

Tabla 6. Razón de expansión - PEN 85-100+1% de cemento

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	RAZÓN DE EXPANSIÓN (número de veces)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 + 1% CEMENTO	1%	5.5	4.1	3.5
	1%	5.1	3.3	2.8
	1%	4.7	4.7	4.0
	2%	7.6	7.0	6.2
	2%	7.2	7.4	6.9
	2%	6.9	6.7	5.8
	3%	9.8	8.1	8.3
	3%	8.9	8.5	7.4
	3%	8.3	8.9	8.5
	4%	13.3	10.6	10.0
	4%	12.3	11.5	9.8
	4%	12.7	12.5	11.1

Fuente: Elaboración propia

En la figura 9 se presenta el comportamiento de la razón de expansión ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 sin filler, observándose que al trabajar con el 3% y 4% de agua inyectada se cumple que de 160°C a 180°C todos los valores son mayores al mínimo de 8 veces.

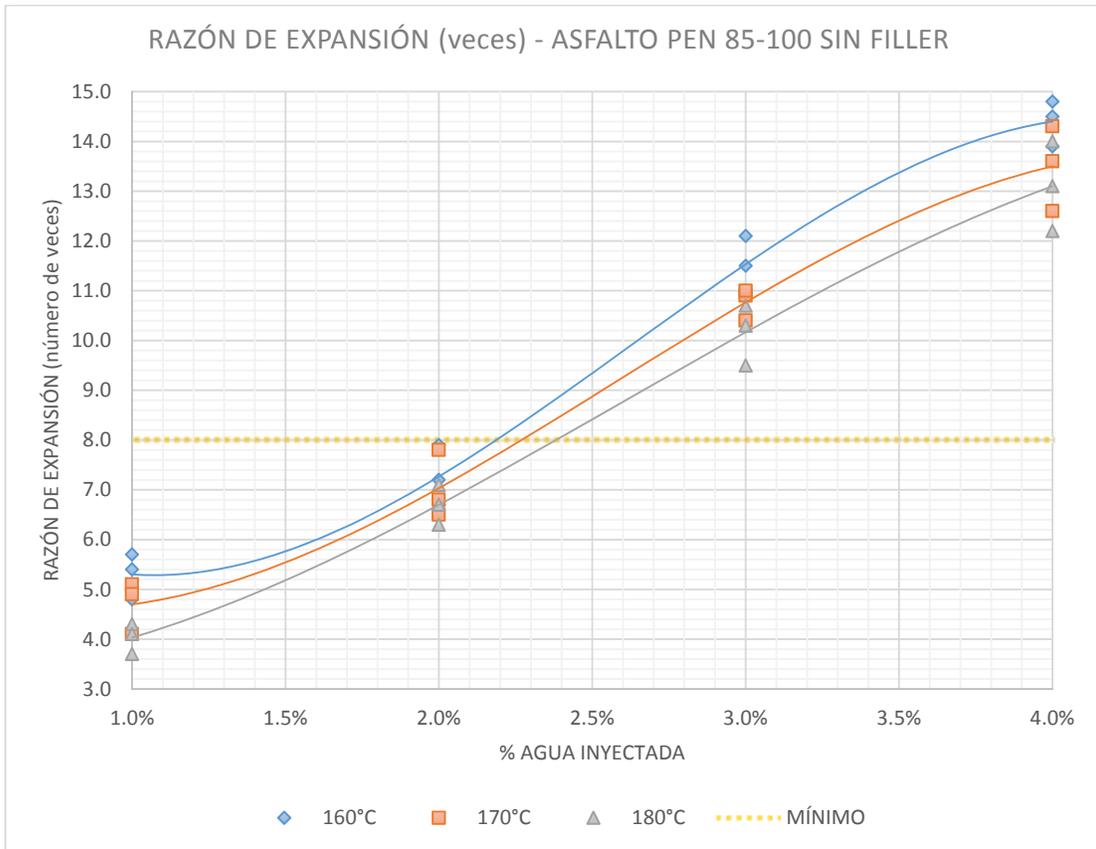


Figura 9. Razón de expansión - PEN 85-100 sin filler

Fuente: Elaboración propia

En la figura 10 se presenta el comportamiento de la razón de expansión ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de zeolita, observándose que al trabajar con 2% al 4% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces, y que los valores son mayores que los obtenidos cuando no se emplea filler.

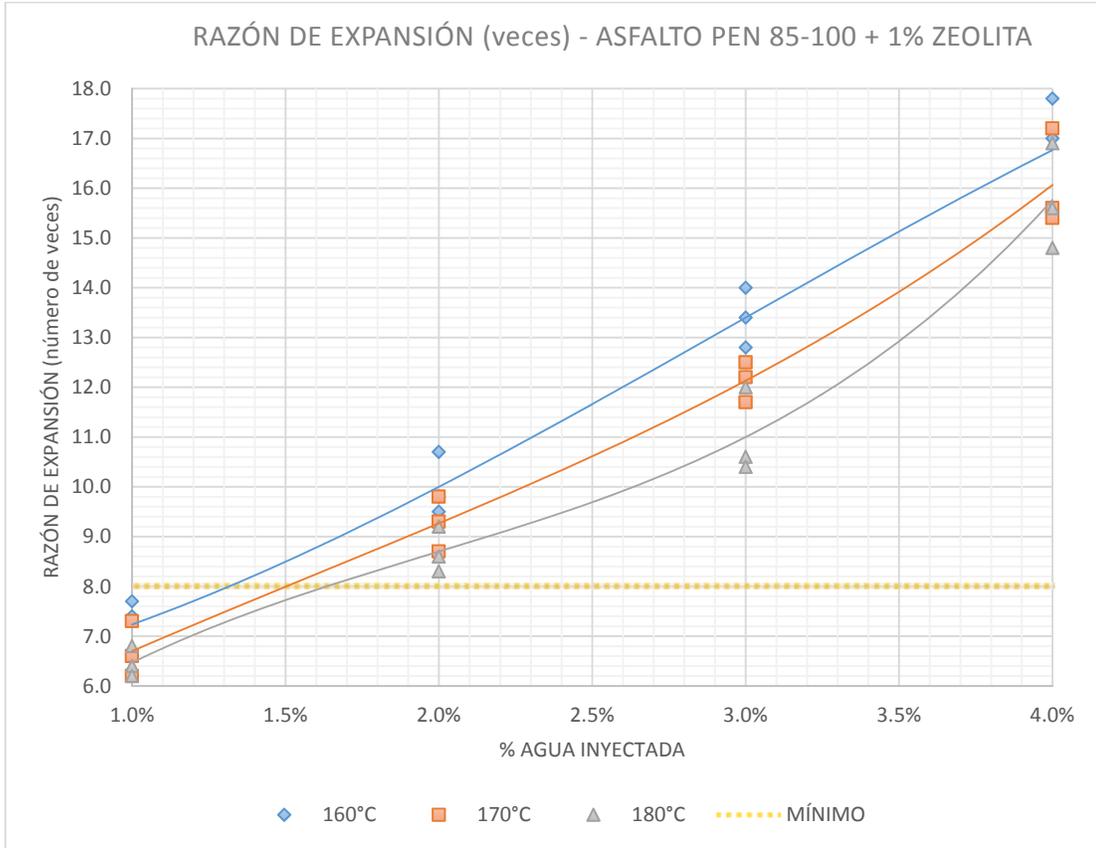


Figura 10. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 11 se presenta el comportamiento de la razón de expansión ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de cal hidratada, observándose que al trabajar con 3% al 4% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces, sin embargo, estos valores son menores a los obtenidos al emplear como filler la zeolita.

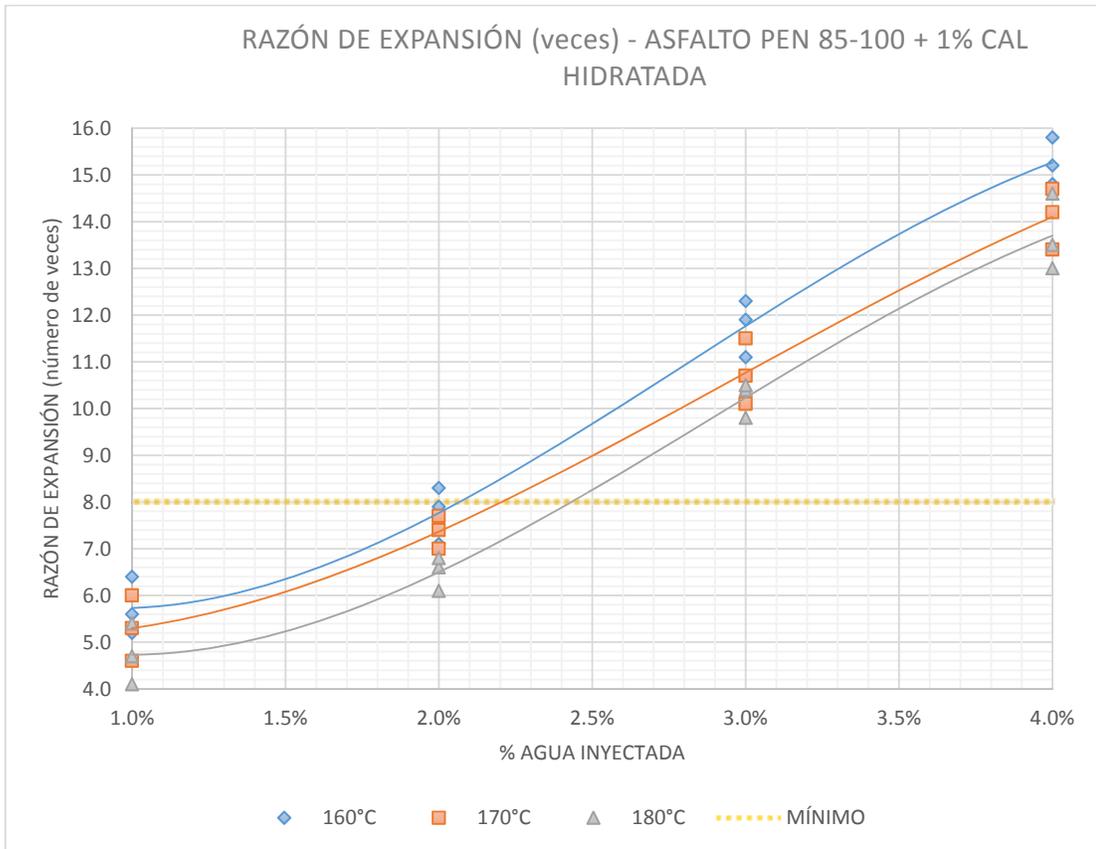


Figura 11. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 12 se presenta el comportamiento de la razón de expansión ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de cemento, observándose que al trabajar con el 3% y 4% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 8 veces, resultando que estos valores son menores a los obtenidos al emplear filler de zeolita y cal hidratada.

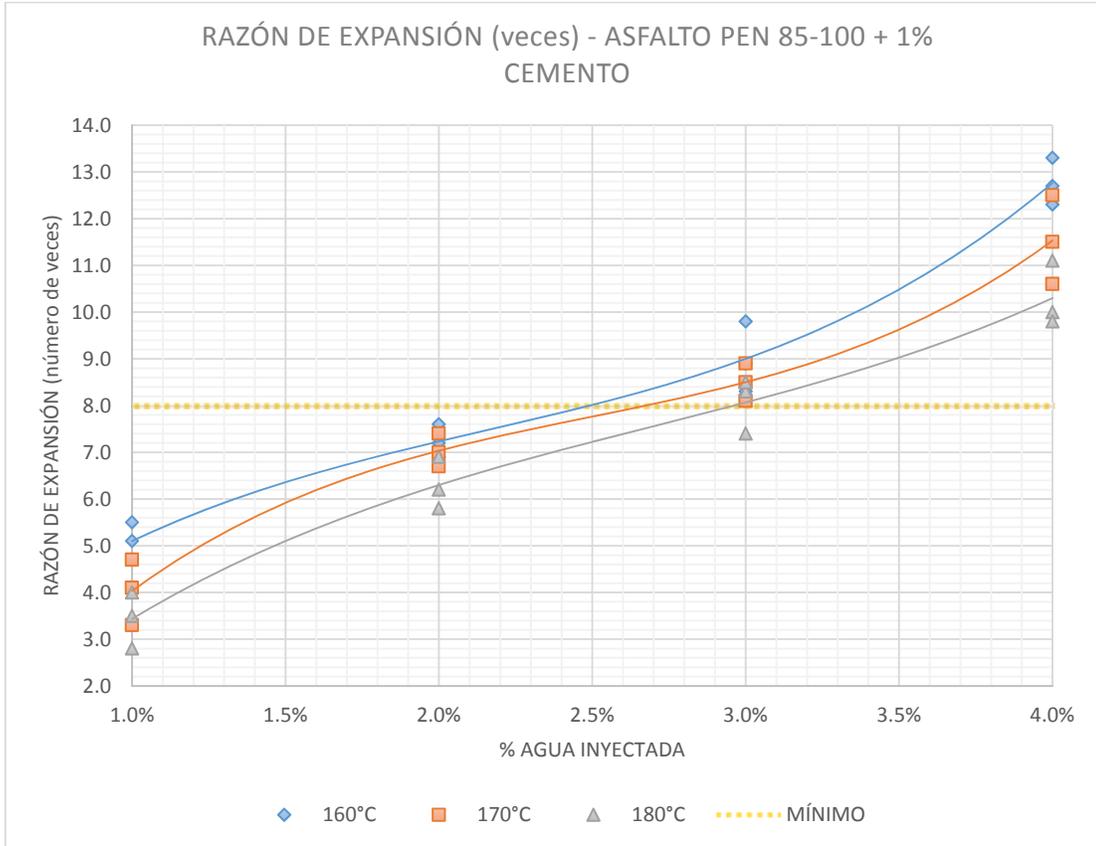


Figura 12. Razón de expansión - PEN 85-100 + 1% de cemento

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. VIDA MEDIA

Es la medida de la estabilidad de la espuma y va ser esta quien determine el tiempo que transcurre para que la espume colapse a la mitad del volumen máximo. La vida media se determinará para cuatro casos, el primero es tomando una muestra sin filler variando el porcentaje de agua inyectada del 1% al 4% y trabajando con ligante asfáltico de PEN 85-100 con las temperaturas de 160°C, 170°C y 180°C; el segundo caso será empleando filler al 1% de zeolita, en el tercer caso se empleará 1% de cal hidratada y en el último caso se empleará 1% de cemento.

En la tabla 7 se muestran los resultados de vida media obtenidos con el asfalto sin emplear filler, en los que al trabajar con el 1% y 2% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos.

Tabla 7. Vida media - PEN 85-100 sin filler

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	VIDA MEDIA (seg)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 SIN FILLER	1%	15.1	12.8	11.6
	1%	16.3	14.6	11.1
	1%	15.3	14.0	10.3
	2%	10.9	9.1	9.3
	2%	11.6	9.7	9.2
	2%	10.7	8.9	8.5
	3%	7.9	6.8	5.7
	3%	7.3	6.6	4.9
	3%	7.0	6.2	6.2
	4%	5.3	4.8	3.2
	4%	4.5	4.1	2.9
	4%	5.8	3.6	2.6

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 8 se muestran los resultados de la vida media obtenidos al emplear como filler el 1% de zeolita, y al trabajar con 2% al 4% de agua inyectada los valores son mayores al mínimo de 6 segundos.

Tabla 8. Vida media - PEN 85-100 + 1% de zeolita

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	VIDA MEDIA (seg)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 + 1% ZEOLITA	1%	18.3	14.5	12.9
	1%	18.9	17.0	11.8
	1%	17.7	16.2	11.4
	2%	12.2	10.0	8.4
	2%	13.6	10.3	9.7
	2%	11.6	9.4	8.5
	3%	9.8	8.5	8.3

	3%	9.4	8.0	7.2
	3%	8.4	7.2	7.0
	4%	5.9	5.7	4.7
	4%	4.8	4.9	4.2
	4%	6.6	4.3	4.9

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 9 se muestran los resultados de la vida media obtenidos al emplear como filler el 1% de cal hidratada, en los que al trabajar con 3% de agua inyectada a 160°C y 170°C de temperatura y con el 1% y 2% de agua inyectada a 160°C -180°C se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos.

veces.

Tabla 9. Vida media - PEN 85-100+1% de cal hidratada

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	VIDA MEDIA (seg)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 + 1% CAL HIDRATADA	1%	15.5	12.8	11.8
	1%	16.2	14.8	11.2
	1%	15.2	13.8	10.0
	2%	11.6	9.7	7.7
	2%	11.2	9.6	8.5
	2%	10.7	8.8	6.3
	3%	7.3	6.7	4.3
	3%	6.7	5.9	3.7
	3%	5.6	4.6	4.8
	4%	3.8	3.2	2.3
	4%	2.8	2.8	2.1
	4%	3.5	2.2	2.7

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 10 se muestran los resultados de la vida media obtenidos al emplear como filler el 1% de cemento, en los que al trabajar con 3% de agua

inyectada a 160°C de temperatura y con 1% y 2% de agua inyectada a 160°C -180°C se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos.

Tabla 10. Razón de expansión - PEN 85-100+1% de cemento

ASFALTO	% AGUA INYECTADA	VIDA MEDIA (seg)		
		160°C	170°C	180°C
PEN 85-100 + 1% CEMENTO	1%	14.7	13.1	12.2
	1%	15.3	14.4	11.4
	1%	14.4	13.9	11.1
	2%	10.0	8.1	8.0
	2%	10.5	8.2	7.7
	2%	9.2	7.8	7.0
	3%	6.5	5.2	3.5
	3%	6.0	4.8	3.0
	3%	4.4	3.7	2.7
	4%	3.3	2.8	1.3
	4%	2.6	2.2	1.1
	4%	3.4	1.5	0.9

Fuente: Elaboración propia

En la figura 13 se presenta el comportamiento de la vida media ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 sin filler, observándose que al trabajar con el 1% y 3% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos.

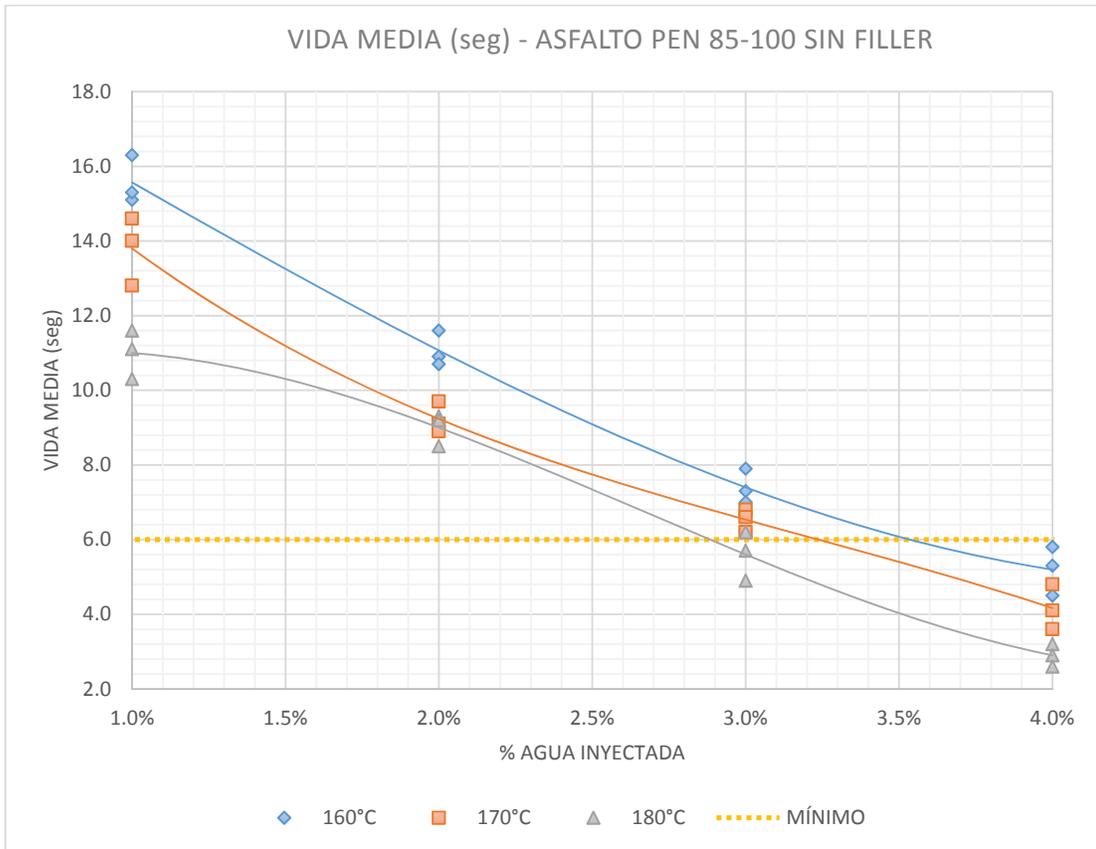


Figura 13. Vida media - PEN 85-100 sin filler

Fuente: Elaboración propia

En la figura 14 se presenta el comportamiento de la vida media ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de zeolita, observándose que al trabajar con 1% al 3% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos, y que los valores son mayores que los obtenidos cuando no se emplea filler.

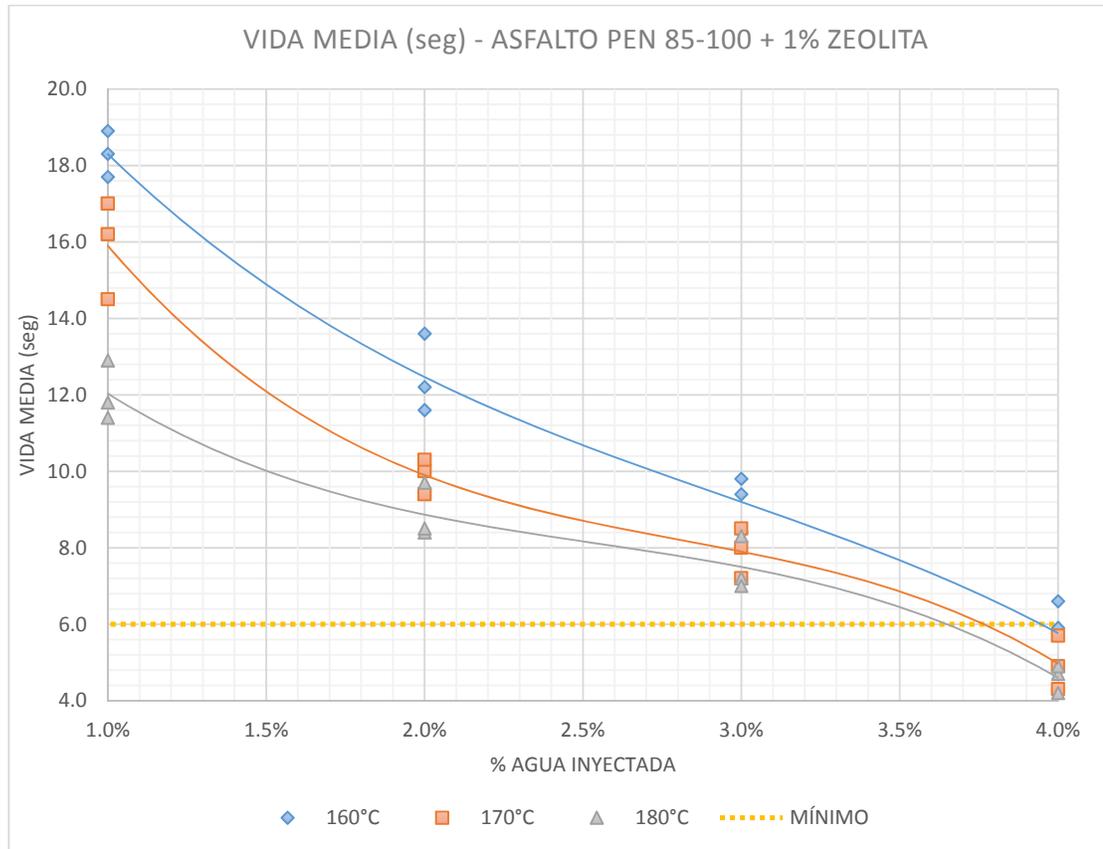


Figura 14. Vida media - PEN 85-100 + 1% de zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 15 se presenta el comportamiento de la vida media ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de cal hidratada, observándose que al trabajar con 1% y 2% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos, sin embargo, estos valores son menores a los obtenidos al emplear como filler la zeolita.

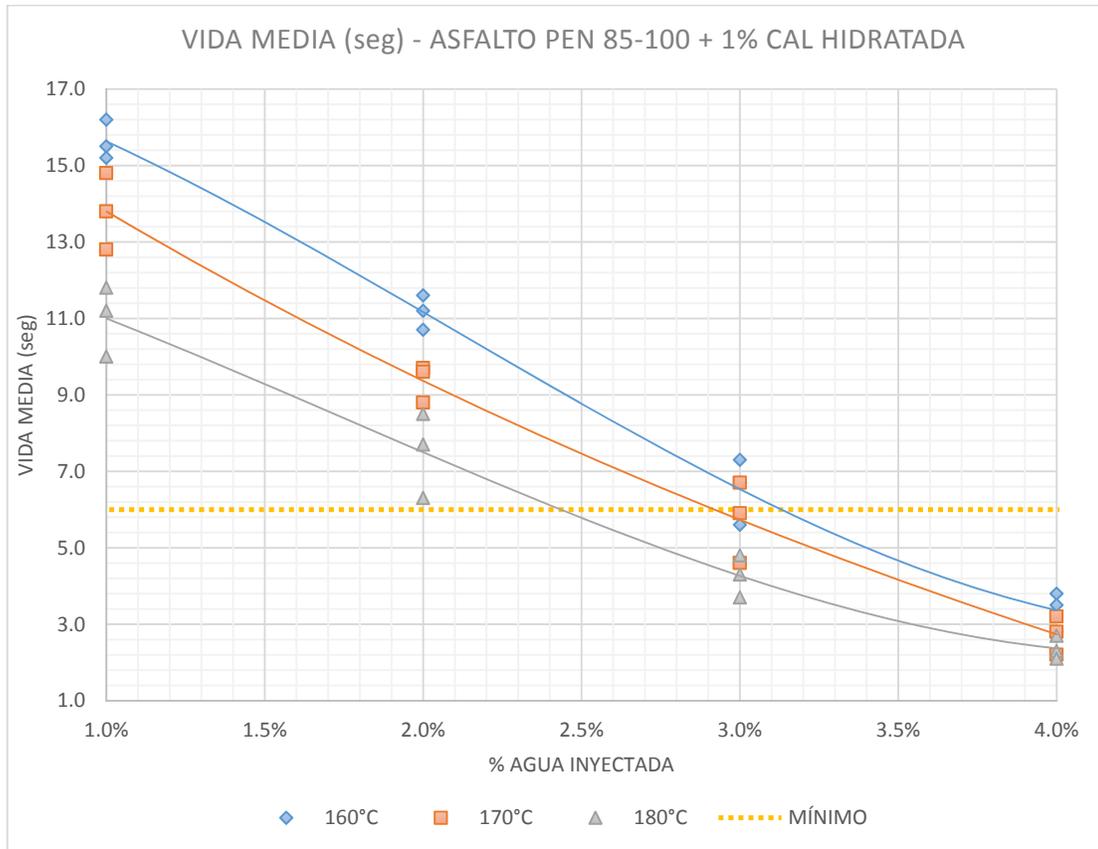


Figura 15. Vida media - PEN 85-100 + 1% de cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 16 se presenta el comportamiento de la vida media ante la variación de porcentaje de agua inyectada en el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de cemento, observándose que al trabajar con el 1% y 2% de agua inyectada se cumple con obtener valores mayores al mínimo de 6 segundos, resultando que estos valores son menores a los obtenidos al emplear filler de zeolita y cal hidratada.

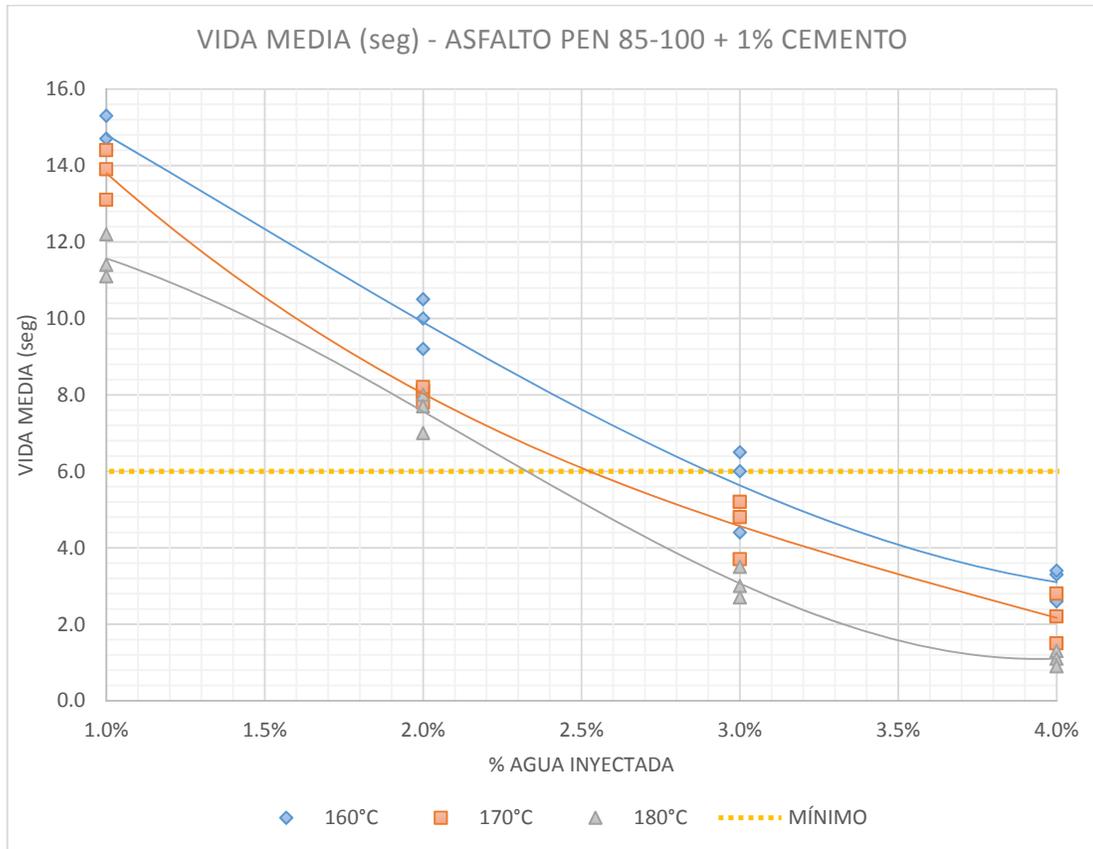


Figura 16. Vida media - PEN 85-100 + 1% de cemento

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. ÍNDICE DE ESPUMACIÓN

La propiedad del índice de expansión se obtiene del área bajo la curva de la razón de expansión y el tiempo de colapso. Las curvas que se obtienen son indicadores del tiempo disponible para el mezclado.

En la figura 17 se muestra la curva de índice de expansión obtenida para el asfalto de PEN 85-100 sin filler, obteniendo que el mayor índice de espumación se da a la temperatura de 160°C, siendo de 76.6 y que ésta es mayor a 75 pero menor a 150, esto quiere decir que la calidad de la espuma es de moderada a buena, y que dependiendo de la temperatura del agregado este también puede variar su calidad de moderada a buena.

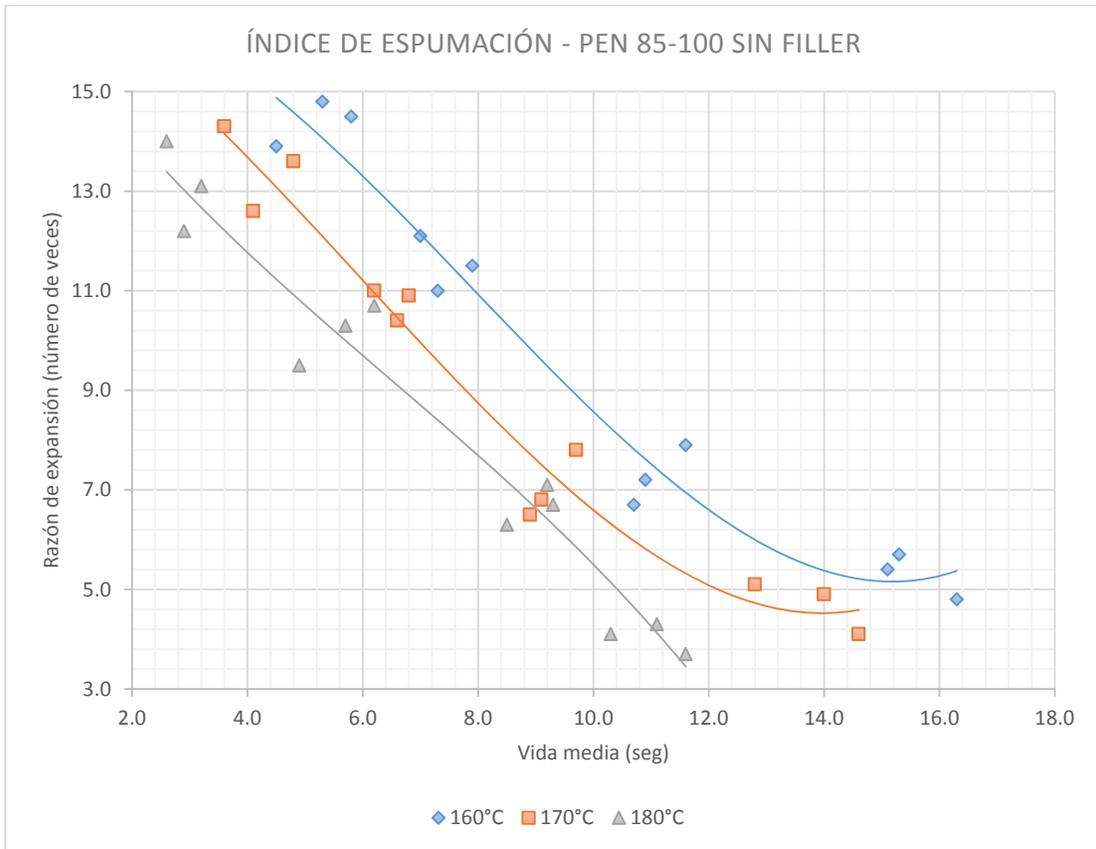


Figura 17. Índice de espumación - PEN 85-100 sin filler

Fuente: Elaboración propia

En la figura 18 se muestra la curva de índice de expansión obtenida para el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de zeolita, obteniendo que el mayor índice de espumación se da a la temperatura de 160°C, siendo de 157.7 y que ésta es mayor a 150, esto quiere decir que la calidad de la espuma es de buena a muy buena, y que dependiendo de la temperatura del agregado este también puede variar su calidad de buena a muy buena.

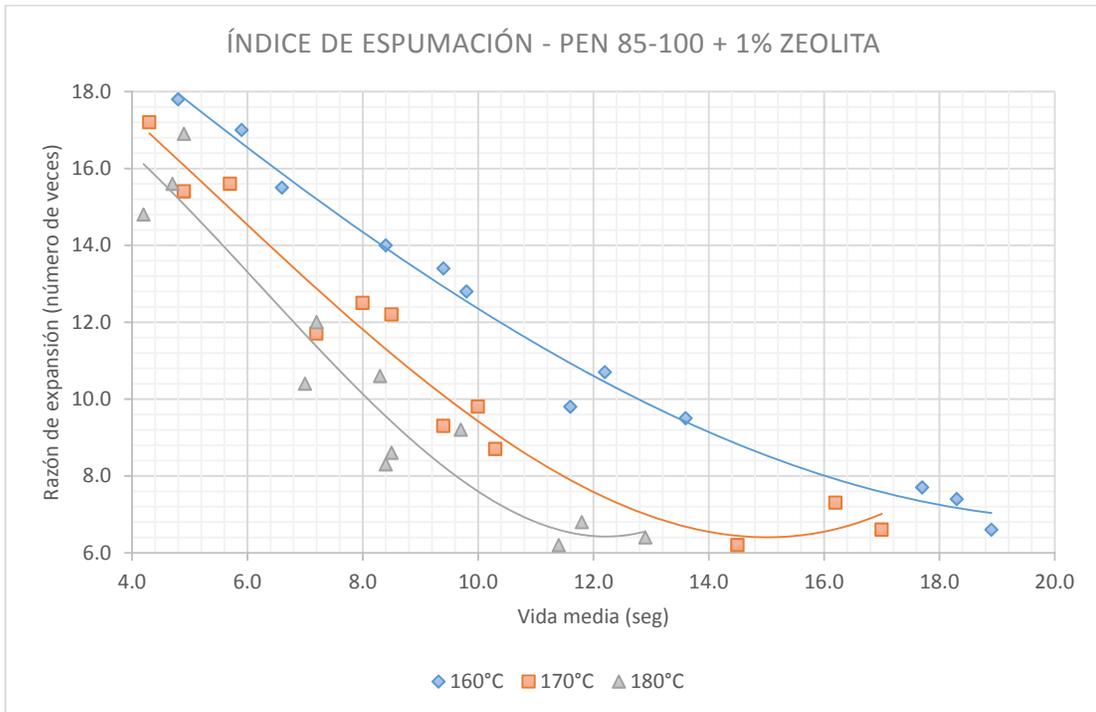


Figura 18. Índice de espumación - PEN 85-100 + 1% de zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 19 se muestra la curva de índice de expansión obtenida para el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de cal hidratada, obteniendo que el mayor índice de espumación se da a la temperatura de 160°C, siendo de 61.6 y que ésta es menor a 75, esto quiere decir que la calidad de la espuma es de muy mala a moderada, y que dependiendo de la temperatura del agregado este también puede variar su calidad de muy mala a moderada.

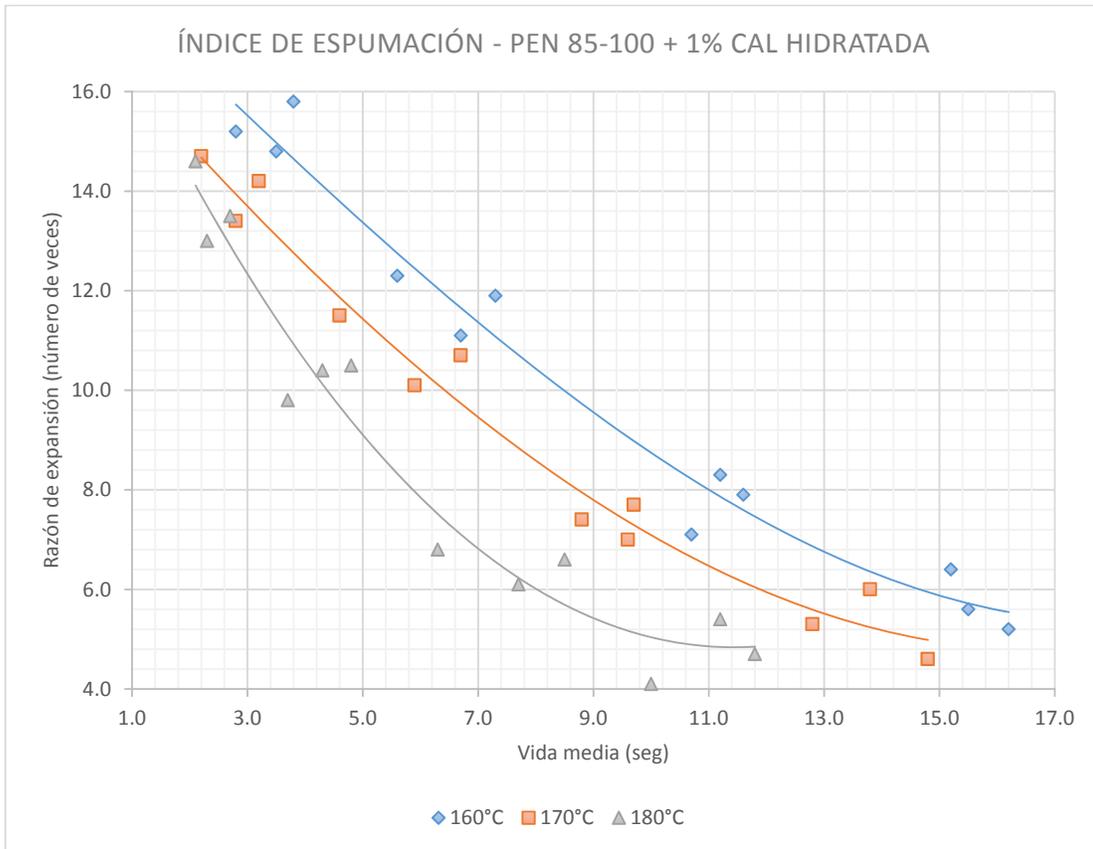


Figura 19. Índice de espumación - PEN 85-100 + 1% de cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 20 se muestra la curva de índice de expansión obtenida para el asfalto de PEN 85-100 empleando como filler 1% de cemento, obteniendo que el mayor índice de espumación se da a la temperatura de 160°C, siendo de 73.3 y que ésta es menor a 75, esto quiere decir que la calidad de la espuma es de muy mala a moderada, y que dependiendo de la temperatura del agregado este también puede variar su calidad de muy mala a moderada.

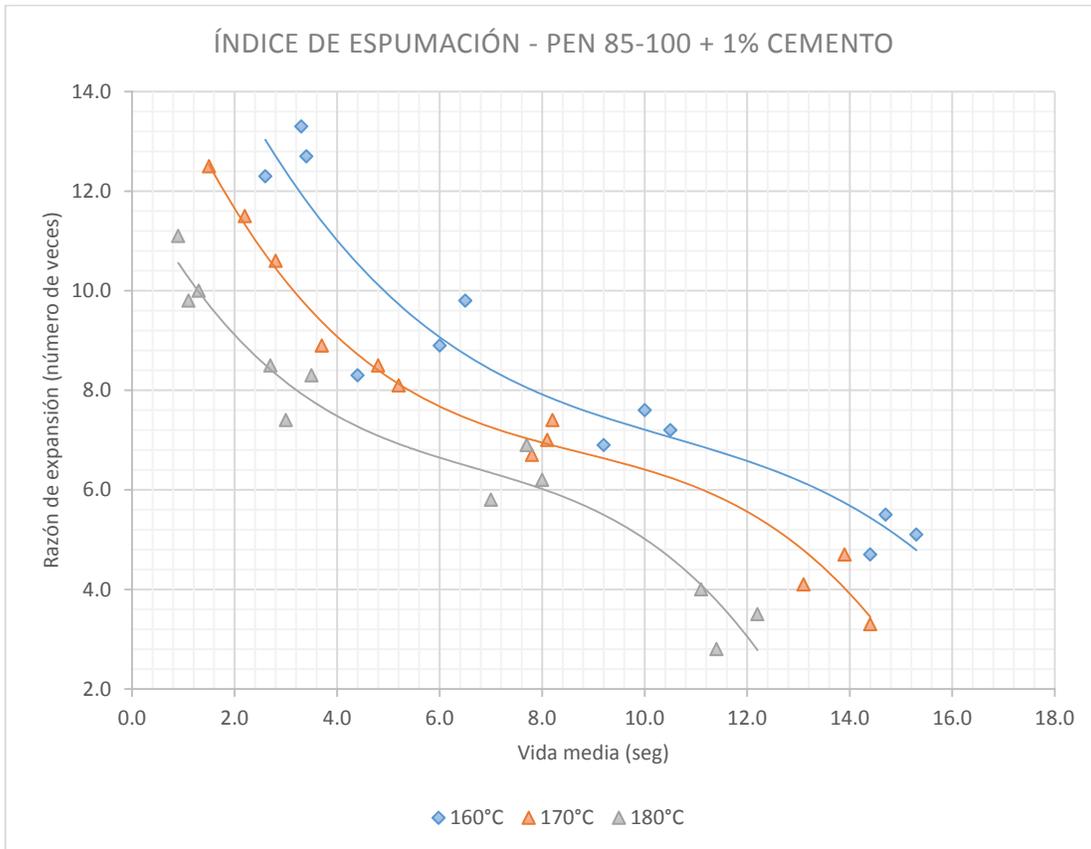


Figura 20. Índice de espumación - PEN 85-100 + 1% de cemento

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 11 se presenta el cuadro resumen de los índices de espumación obtenidos para los cuatro casos y para cada temperatura, resultando que los mayores valores se dan a los 160°C de temperatura en cada caso.

Tabla 11. Cuadro resumen de Índice de espumación

	ÍNDICE DE ESPUMACIÓN				
	TEMPERATURA			Mayor valor	CALIDAD
	160°C	170°C	180°C		
SIN FILLER	76.6	50.1	44.2	76.6	<75: Muy mala - Moderada
ZEOLITA	157.7	133.5	105.5	157.7	>150: Buena - Muy buena
CAL HIDRATADA	86.6	78.4	67.4	86.6	75-150: Moderada - Buena
CEMENTO	73.3	61.1	46.9	73.3	<75: Muy mala - Moderada

Fuente: Elaboración propia

4.1.4. PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL FILLER

Se determinarán las propiedades de peso específico y absorción de los filler para realizar el diseño de las mezclas asfálticas.

En la tabla 12 se presentan las propiedades de peso específico y absorción de la zeolita, obteniendo un peso específico en promedio de 6.62 gr/cm³ y un porcentaje de absorción de 31.12%.

Tabla 12. Peso específico y absorción - Zeolita

ADITIVO:		ZEOLITA			
		Und	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso en el aire de la muestra secada en el horno	Wo	gr.	377.1	381.4	385.6
Volumen del frasco	V	cm ³	609.0	614.0	604.0
Volumen de agua añadida al frasco	Va	cm ³	432.0	436.0	430.0
Peso específico de masa	Pem	gr/cm ³	2.131	2.143	2.216
Peso específico de masa saturado con superficie seca	Pesss	gr/cm ³	2.825	2.809	2.874
Peso específico aparente	Pea	gr/cm ³	6.970	6.421	6.470
Absorción	Ab	%	32.591	31.096	29.668

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 13 se presentan las propiedades de peso específico y absorción de la cal hidratada, obteniendo un peso específico en promedio de 2.38 gr/cm³ y un porcentaje de absorción de 1.19%.

Tabla 13. Peso específico y absorción – Cal hidratada

ADITIVO:		Cal hidratada			
		Und	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso en el aire de la muestra secada en el horno	Wo	gr.	493.9	494.1	494.3
Volumen del frasco	V	cm ³	631.0	623.0	618.0

Volumen de agua añadida al frasco	Va	cm ³	416.0	409.0	406.0
Peso específico de masa	Pem	gr/cm ³	2.297	2.309	2.332
Peso específico de masa saturado con superficie seca	Pesss	gr/cm ³	2.326	2.336	2.358
Peso específico aparente	Pea	gr/cm ³	2.364	2.374	2.396
Absorción	Ab	%	1.235	1.194	1.153

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 14 se presentan las propiedades de peso específico y absorción del cemento, obteniendo un peso específico en promedio de 3.18 gr/cm³ y un porcentaje de absorción de 0.55%.

Tabla 14. Peso específico y absorción - Cemento

ADITIVO:		Cemento			
		Und	Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso en el aire de la muestra secada en el horno	Wo	gr.	496.2	497.3	498.3
Volumen del frasco	V	cm ³	596.0	587.0	591.0
Volumen de agua añadida al frasco	Va	cm ³	438.0	427.0	432.0
Peso específico de masa	Pem	gr/cm ³	3.141	3.108	3.134
Peso específico de masa saturado con superficie seca	Pesss	gr/cm ³	3.165	3.125	3.145
Peso específico aparente	Pea	gr/cm ³	3.218	3.161	3.168
Absorción	Ab	%	0.766	0.543	0.341

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, estos resultados indican que la zeolita es la que más elevado porcentaje de absorción y peso específico presenta en comparación con los otros filler.

4.2. MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES

Para la elaboración de las mezclas asfálticas se requiere que los agregados cumplan con estándares en su producción, estos agregados deben cumplir con un tamaño máximo nominal necesario para la combinación de agregados empleando asfalto espumado, para ello debe cumplir con una gradación granulométrica MAC 2 siguiendo el diseño según Marshall. Para ello se plantea emplear la planta chancadora de Matahuasi con fuente de los agregados minerales para el diseño de mezcla, obteniendo piedra procesada de tamaño máximo nominal ½", arena procesada y arena natural.

4.2.1. GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS PARA MAC-2

En la tabla 15 se presenta la gradación granulométrica de 1.5kg del agregado fino clasificado como arena procesada, según el MTC E 204 la gradación granulométrica debe cumplir con rangos establecidos para MAC-2 según la normativa Marshall.

Tabla 15. Granulometría de arena procesada

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	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	70.20	4.68	4.68	95.32
tm - 3/8"	9.525	86.40	5.76	10.44	89.56
tm - N°4	4.750	161.25	10.75	21.19	78.81
tm - N°8	2.550	73.05	4.87	26.06	73.94
tm - N°10	2.000	40.65	2.71	28.77	71.23
tm - N°16	1.185	131.70	8.78	37.55	62.45
tm - N°30	0.600	311.25	20.75	58.30	41.70
tm - N°40	0.425	65.55	4.37	62.67	37.33

tm - N°50	0.295	192.15	12.81	75.48	24.52
tm - N°80	0.175	73.65	4.91	80.39	19.61
tm - N°100	0.148	150.75	10.05	90.44	9.56
tm - N°200	0.072	51.60	3.44	93.88	6.12
< tm - N°200		91.80	6.12	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 21 se presenta la curva granulométrica de la gradación obtenida por 1.5kg de agregado fino clasificado como arena procesada, se puede apreciar en esta grafica que existe porcentaje de pasantes a partir de la malla ½" y que se mantiene una buena gradación hasta la pasante del tamiz N°200. El material analizado será parte de la combinación de agregados para cumplir los porcentajes de pasantes requeridos en el MAC – 2 según el método de Marshall.

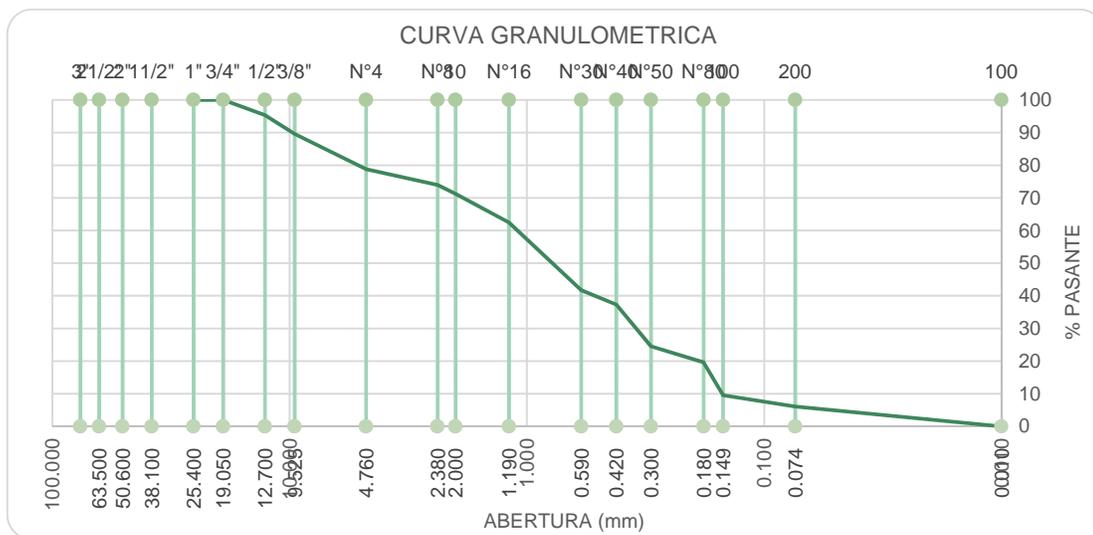


Figura 21. Granulometría de Arena Procesada – Curva Granulométrica
MAC – 2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 16 se presenta la gradación granulométrica de 1.5kg del agregado fino clasificado como arena procesada, según el MTC E 204 la gradación granulométrica debe cumplir con rangos establecidos para MAC-2 según la normativa Marshall.

Tabla 16. Granulometría de arena natural

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	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	178.20	11.88	11.88	88.12
tm - N°8	2.550	387.15	25.81	37.69	62.31
tm - N°10	2.000	195.75	13.05	50.74	49.26
tm - N°16	1.185	176.70	11.78	62.52	37.48
tm - N°30	0.600	117.90	7.86	70.38	29.62
tm - N°40	0.425	127.50	8.50	78.88	21.12
tm - N°50	0.295	48.90	3.26	82.14	17.86
tm - N°80	0.175	117.15	7.81	89.95	10.05
tm - N°100	0.148	43.35	2.89	92.84	7.16
tm - N°200	0.072	26.55	1.77	94.61	5.39
< tm - N°200		80.85	5.39	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		1500.00	gr		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 22 se presenta la curva granulométrica de la gradación obtenida por 1.5kg de agregado fino clasificado como arena natural, se puede apreciar en esta grafica que existe porcentaje de pasantes a partir de la malla N°4 y que se mantiene una buena gradación hasta la pasante del tamiz N°200. El material analizado será parte de la combinación de agregados para cumplir los porcentajes de pasantes requeridos en el MAC – 2 según el método de Marshall.

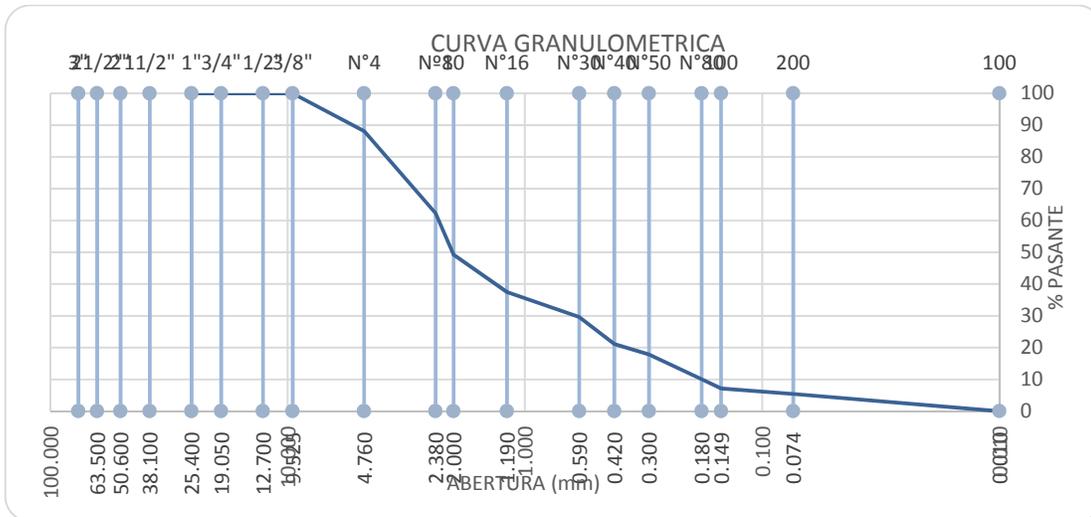


Figura 22. Granulometría de Arena Natural – Curva Granulométrica MAC – 2

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 17 se presenta la gradación granulométrica de 3kg del agregado grueso clasificado como piedra de 1/2", según el MTC E 204 la gradación granulométrica debe cumplir con rangos establecidos para MAC-2 según la normativa Marshall.

Tabla 17. Granulometría de piedra de 1/2"

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	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	1083.00	36.10	36.10	63.90
tm - 3/8"	9.525	1011.00	33.70	69.80	30.20
tm - N°4	4.750	764.40	25.48	95.28	4.72
tm - N°8	2.550	74.10	2.47	97.75	2.25
tm - N°10	2.000	33.90	1.13	98.88	1.12
tm - N°16	1.185	7.50	0.25	99.13	0.87
tm - N°30	0.600	10.50	0.35	99.48	0.52

tm - N°40	0.425	3.30	0.11	99.59	0.41
tm - N°50	0.295	1.20	0.04	99.63	0.37
tm - N°80	0.175	4.80	0.16	99.79	0.21
tm - N°100	0.148	1.50	0.05	99.84	0.16
tm - N°200	0.072	1.80	0.06	99.90	0.10
< tm - N°200		3.00	0.10	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA =		3000.00	gr		

Fuente: Elaboración propia

En la figura 23 se presenta la curva granulométrica de la gradación obtenida por 3kg de agregado fino clasificado como arena natural, se puede apreciar en esta grafica que existe porcentaje de pasantes a partir de la malla ¾" y que se mantiene una buena gradación hasta la pasante del tamiz N°10. El material analizado será parte de la combinación de agregados para cumplir los porcentajes de pasantes requeridos en el MAC – 2 según el método de Marshall.

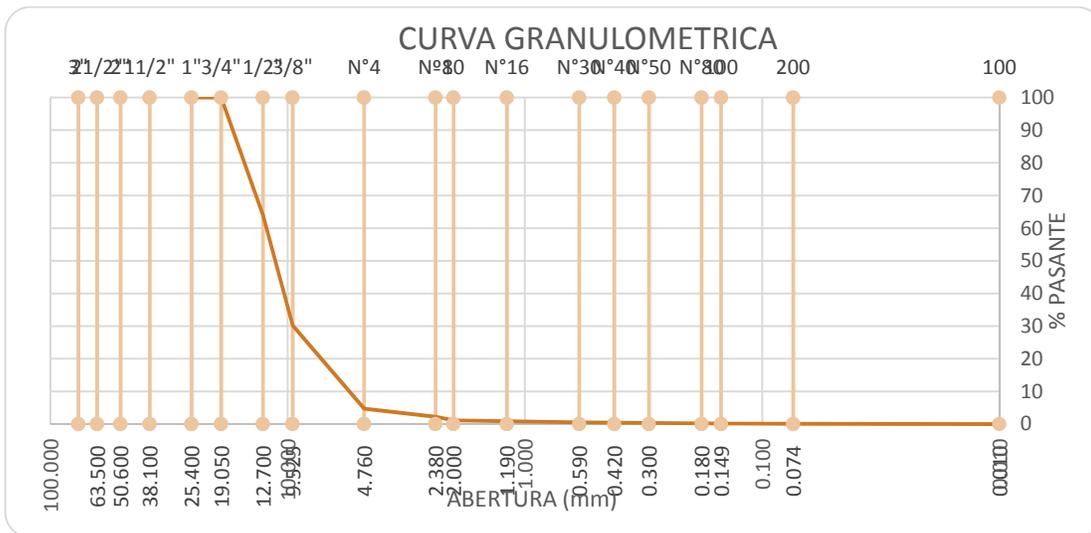


Figura 23. Granulometría de piedra ½" – Curva Granulométrica MAC – 2

Fuente: Elaboración propia

Después de obtener los porcentajes pasantes de los agregados gruesos y finos, se realizará la combinación según los rangos que especifica el MAC – 2. En la tabla 18 se presentan los porcentajes finales con los que se realizarán las combinaciones teóricas, para los cuales se obtuvieron que se

trabaja con 30% de piedra de 1/2", 37% de piedra natural, 32% de arena procesada y 1% de filler (el cual variar de acuerdo al aditivo que se emplear).

Tabla 18. Mezcla teórica de agregados para MAC - 2

Malla		% Pasantes			
Tamiz	mm				
Agregados		PIEDRAS	ARENAS		
		Piedra 1/2"	Arena natural	Arena procesada	Filler
Proporciones		30%	37%	32%	1%
tm - 1"	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00
tm - 3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00
tm - 1/2"	12.700	63.90	100.00	95.32	100.00
tm - 3/8"	9.525	30.20	100.00	89.56	100.00
tm - N°4	4.750	4.72	88.12	78.81	100.00
tm - N°8	2.550	2.25	62.31	73.94	100.00
tm - N°10	2.000	1.12	49.26	71.23	100.00
tm - N°16	1.185	0.87	37.48	62.45	100.00
tm - N°30	0.600	0.52	29.62	41.70	100.00
tm - N°40	0.425	0.41	21.12	37.33	100.00
tm - N°50	0.295	0.37	17.86	24.52	100.00
tm - N°80	0.175	0.21	10.05	19.61	100.00
tm - N°100	0.148	0.16	7.16	9.56	100.00
tm - N°200	0.072	0.10	5.39	6.12	100.00
< tm - N°200		0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 19 se presentan los porcentajes obtenidos para la mezcla por MAC-2, los cuales se obtuvieron al emplear los porcentajes de piedra de 1/2", arena procesada, arena natural y filler, que se obtuvieron en la tabla 18, también se puede apreciar que los porcentajes obtenidos cumplen con las especificaciones de la MAC-2 en sus respectivos tamices.

Tabla 19. Especificaciones para combinación teórica MAC - 2

Malla		MEZCLA	Especificaciones			Tamaño máximo
Tamiz	mm		MAC – 2			Curva Ideal
tm - 1"	25.405	100.0	100	-	100	100
tm - 3/4"	19.055	100.0	100	-	100	100
tm - 1/2"	12.700	87.7	80	-	100	90
tm - 3/8"	9.525	75.7	70	-	88	79
tm - N°4	4.750	60.2	51	-	68	60
tm - N°8	2.550	48.4				
tm - N°10	2.000	42.4	38	-	52	45
tm - N°16	1.185	35.1				
tm - N°30	0.600	25.5				
tm - N°40	0.425	20.9	17	-	28	23
tm - N°50	0.295	15.6				
tm - N°80	0.175	11.1	8	-	17	13
tm - N°100	0.148	6.8				
tm - N°200	0.072	5.0	4	-	8	6
< tm - N°200		0.0				

Fuente: Elaboración propia

Según la combinación de la tabla 19 se obtuvo la curva granulométrica que cumple con las especificaciones MAC – 2, en la figura 24 se muestra la curva obtenida entre los límites del MAC – 2 y su curva ideal, donde la línea punteada azul representa el límite inferior, la línea punteada amarilla representa el límite superior, la línea punteada verde representa la curva ideal y por último la línea roja representa los porcentajes obtenidos en cada tamiz, observándose así que la combinación resultante cumple con las especificaciones MAC-2 con una curva cercana a lo ideal según las recomendaciones de la normativa Marshall.

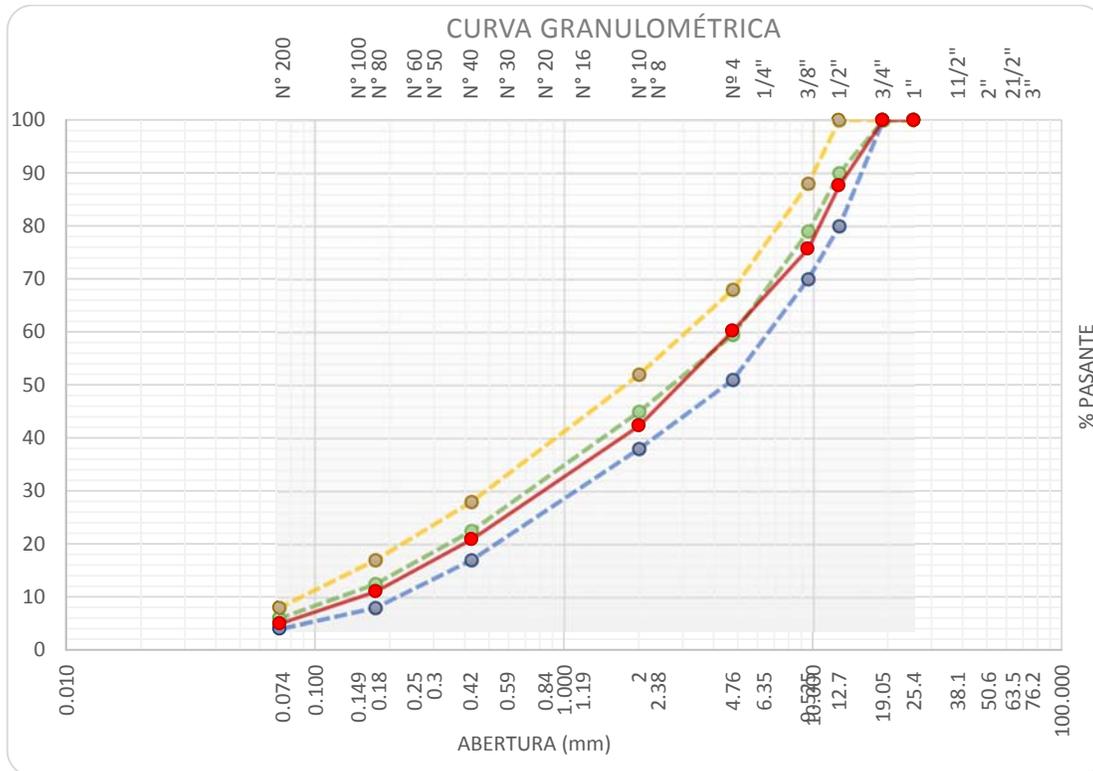


Figura 24. Curva granulométrica de combinación de agregados por MAC – 02

Fuente: Elaboración propia

4.2.2. COMBINACIÓN DE AGREGADOS

Es necesario encontrar el Óptimo Contenido de Asfalto espumado elaborando las briquetas con la combinación MAC-2 obtenida, para la investigación se requiere realizar tres combinaciones variando el filler empleado y el óptimo contenido de agua inyectada.

- **Combinación teórica – empleando Zeolita**

Para ello en la tabla 20 se presenta la combinación teórica obtenida para el diseño de una mezcla asfáltica semicaliente empleando asfalto de PEN 85-100 más 1% de zeolita y 2.63% de agua inyectada, variando el porcentaje de asfalto de 4% al 6.5% a cada 0.5%.

Tabla 20. Combinación de agregados para elaboración de briquetas – Zeolita

% Asfalto	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
TAMIZ	ZEOLITA - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
TAMIZ	ARENA PROCESADA - PESO(gr)					
tm - 1/2"	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5
tm - 3/8"	22.1	22.0	21.9	21.8	21.7	21.5
tm - N°4	41.3	41.1	40.9	40.6	40.4	40.2
tm - N°10	29.1	29.0	28.8	28.7	28.5	28.3
< N°10	273.5	272.1	270.7	269.2	267.8	266.4
SUB-TOTAL	384.0	382.0	380.0	378.0	376.0	374.0
TAMIZ	ARENA NATURAL - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	52.7	52.5	52.2	51.9	51.6	51.4
tm - N°10	172.5	171.6	170.7	169.8	168.9	168.0
< N°10	218.7	217.6	216.4	215.3	214.2	213.0
SUB-TOTAL	444.0	441.7	439.4	437.1	434.8	432.4
TAMIZ	PIEDRA 1/2" - PESO(gr)					
tm - 1/2"	130.0	129.3	128.6	127.9	127.3	126.6
tm - 3/8"	121.3	120.7	120.1	119.4	118.8	118.2
tm - N°4	91.7	91.3	90.8	90.3	89.8	89.3
tm - N°10	13.0	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6
< N°10	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9
SUB-TOTAL	360.0	358.1	356.3	354.4	352.5	350.6
TAMIZ	PIEDRA 3/4" - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUB-TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

TOTAL AGREG. (gr.)	1200.00	1193.75	1187.50	1181.25	1175.00	1168.75
PEN 85-100 (gr.)	50.00	56.25	62.50	68.75	75.00	81.25
TOTAL (gr.)	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00
PESO DE AGUA INYECTADA (gr.)	1.32	1.48	1.64	1.81	1.97	2.14

Fuente: Elaboración propia

- **Combinación teórica – empleando Cal hidratada**

Para ello en la tabla 21 se presenta la combinación teórica obtenida para el diseño de una mezcla asfáltica semicaliente empleando asfalto de PEN 85-100 más 1% de cal hidratada y 2.60% de agua inyectada, variando el porcentaje de asfalto de 4% al 6.5% a cada 0.5%.

Tabla 21. Combinación de agregados para elaboración de briquetas – Cal hidratada

% Asfalto	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
TAMIZ	CAL HIDRATADA - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
TAMIZ	ARENA PROCESADA - PESO(gr)					
tm - 1/2"	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5
tm - 3/8"	22.1	22.0	21.9	21.8	21.7	21.5
tm - N°4	41.3	41.1	40.9	40.6	40.4	40.2
tm - N°10	29.1	29.0	28.8	28.7	28.5	28.3
< N°10	273.5	272.1	270.7	269.2	267.8	266.4
SUB-TOTAL	384.0	382.0	380.0	378.0	376.0	374.0
TAMIZ	ARENA NATURAL - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	52.7	52.5	52.2	51.9	51.6	51.4
tm - N°10	172.5	171.6	170.7	169.8	168.9	168.0
< N°10	218.7	217.6	216.4	215.3	214.2	213.0

SUB-TOTAL	444.0	441.7	439.4	437.1	434.8	432.4
TAMIZ	PIEDRA 1/2" - PESO(gr)					
tm - 1/2"	130.0	129.3	128.6	127.9	127.3	126.6
tm - 3/8"	121.3	120.7	120.1	119.4	118.8	118.2
tm - N°4	91.7	91.3	90.8	90.3	89.8	89.3
tm - N°10	13.0	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6
< N°10	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9
SUB-TOTAL	360.0	358.1	356.3	354.4	352.5	350.6
TAMIZ	PIEDRA 3/4" - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUB-TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL AGREG. (gr.)	1200.00	1193.75	1187.50	1181.25	1175.00	1168.75
PEN 85-100 (gr.)	50.00	56.25	62.50	68.75	75.00	81.25
TOTAL (gr.)	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00
PESO DE AGUA INYECTADA (gr.)	1.30	1.46	1.63	1.79	1.95	2.11

Fuente: Elaboración propia

- **Combinación teórica – empleando Cemento**

Para ello en la tabla 22 se presenta la combinación teórica obtenida para el diseño de una mezcla asfáltica semicaliente empleando asfalto de PEN 85-100 más 1% de cemento y 2.34% de agua inyectada, variando el porcentaje de asfalto de 4% al 6.5% a cada 0.5%.

Tabla 22. Combinación de agregados para elaboración de briquetas – Cemento

% Asfalto	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	6.5%
TAMIZ	CEMENTO - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7

SUB-TOTAL	12.0	11.9	11.9	11.8	11.8	11.7
TAMIZ	ARENA PROCESADA - PESO(gr)					
tm - 1/2"	18.0	17.9	17.8	17.7	17.6	17.5
tm - 3/8"	22.1	22.0	21.9	21.8	21.7	21.5
tm - N°4	41.3	41.1	40.9	40.6	40.4	40.2
tm - N°10	29.1	29.0	28.8	28.7	28.5	28.3
< N°10	273.5	272.1	270.7	269.2	267.8	266.4
SUB-TOTAL	384.0	382.0	380.0	378.0	376.0	374.0
TAMIZ	ARENA NATURAL - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	52.7	52.5	52.2	51.9	51.6	51.4
tm - N°10	172.5	171.6	170.7	169.8	168.9	168.0
< N°10	218.7	217.6	216.4	215.3	214.2	213.0
SUB-TOTAL	444.0	441.7	439.4	437.1	434.8	432.4
TAMIZ	PIEDRA 1/2" - PESO(gr)					
tm - 1/2"	130.0	129.3	128.6	127.9	127.3	126.6
tm - 3/8"	121.3	120.7	120.1	119.4	118.8	118.2
tm - N°4	91.7	91.3	90.8	90.3	89.8	89.3
tm - N°10	13.0	12.9	12.8	12.8	12.7	12.6
< N°10	4.0	4.0	4.0	4.0	3.9	3.9
SUB-TOTAL	360.0	358.1	356.3	354.4	352.5	350.6
TAMIZ	PIEDRA 3/4" - PESO(gr)					
tm - 1/2"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - 3/8"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
tm - N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
< N°10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUB-TOTAL	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOTAL AGREG. (gr.)	1200.00	1193.75	1187.50	1181.25	1175.00	1168.75
PEN 85-100 (gr.)	50.00	56.25	62.50	68.75	75.00	81.25
TOTAL (gr.)	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00	1250.00
PESO DE AGUA INYECTADA (gr.)	1.17	1.32	1.46	1.61	1.76	1.90

Fuente: Elaboración propia

4.2.3. RESULTADOS EN EL ENSAYO DE MARSHALL

Para la obtención de las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica semicaliente se analiza el óptimo contenido de asfalto espumado, el cual representa la obtención de un diseño de mezcla bajo propiedades específicas en su composición que brinden los mejores caracteres en estabilidad y deformidad.

- **Mezcla asfáltica semicaliente – empleando Zeolita**

En la tabla 23 y tabla 24 se muestran los resultados obtenidos del 4.0% al 6.5% de ligante asfáltico de PEN 85-100 más 1% de zeolita como aditivo, de acuerdo a los requerimientos del MAC – 2. También se presentan los pesos en seco de las briquetas, peso saturado, volumen, peso específico, porcentajes de vacíos, estabilidad y flujo, y así obtener las propiedades de una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado empleando zeolita para un elevado tráfico y a 75 golpes de compactación a cada cara según las especificaciones de la normativa Marshall.

Tabla 23. Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% a 5.00% de ligante asfáltico PEN 85-100 - ZEOLITA

	BRIQUETAS	Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
2	Peso de la briqueta al aire	gr	1247.1	1251.4	1247.7	1245.8	1250.3	1245.2	1251.9	1248.4	1249.3
3	Peso de la briqueta saturada	gr	1254.8	1255.7	1251.5	1250.0	1255.6	1248.7	1257.1	1252.5	1254.1
4	Peso de la briqueta en agua	gr	767.3	769.7	761.4	765.7	773.2	762.6	774.8	775.1	769.5
5	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	487.5	486.0	490.1	484.3	482.4	486.1	482.3	477.4	484.6
6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.558	2.575	2.546	2.572	2.592	2.562	2.596	2.615	2.578
7	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.761	2.761	2.761	2.740	2.740	2.740	2.721	2.721	2.721
8	Vacios (MTC E-505)	%	7.3	6.7	7.8	6.1	5.4	6.5	4.6	3.9	5.3
9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903
10	V.M.A.	%	15.4	14.8	15.8	15.4	14.7	15.7	15.1	14.4	15.6
11	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	52.3	54.6	50.7	60.2	63.3	58.6	69.4	73.0	66.4
12	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.972	2.972	2.972	2.977	2.977	2.977	2.983	2.983	2.983
13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.821	0.821	0.821	0.868	0.868	0.868	0.940	0.940	0.940
14	Cemento asfáltico efectivo	%	3.22	3.22	3.22	3.68	3.68	3.68	4.12	4.12	4.12
15	Flujo	mm	2.11	2.34	2.28	2.44	2.60	2.10	2.91	3.10	2.79
16	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	953.1	922.0	991.2	1089.4	1125.8	1053.1	1251.2	1297.8	1220.5
17	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	Estabilidad corregida	kg	953	922	991	1089	1126	1053	1251	1298	1221
19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4517	3940	4347	4465	4330	5015	4300	4186	4375
20	Compactación, numero de golpes por cara		75 golp.			75 golp.			75 golp.		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24. Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% a 6.50% de ligante asfáltico PEN 85-100 - ZEOLITA

	BRIQUETAS	Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2	Peso de la briqueta al aire	gr	1247.2	1246.0	1249.8	1250.1	1245.0	1251.4	1245.1	1247.2	1248.7
3	Peso de la briqueta saturada	gr	1252.8	1251.7	1253.6	1253.4	1249.9	1254.5	1248.7	1250.2	1252.7
4	Peso de la briqueta en agua	gr	772.6	771.5	769.7	771.3	768.0	774.3	766.4	770.2	770.9
5	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	480.2	480.2	483.9	482.1	481.9	480.2	482.3	480.0	481.8
6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.597	2.595	2.583	2.593	2.584	2.606	2.582	2.598	2.592
7	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.700	2.700	2.700	2.681	2.681	2.681	2.660	2.660	2.660
8	Vacios (MTC E-505)	%	3.8	3.9	4.3	3.3	3.6	2.8	2.9	2.3	2.6
9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903
10	V.M.A.	%	15.5	15.5	15.9	16.0	16.3	15.6	16.9	16.3	16.5
11	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	75.4	74.9	72.7	79.5	77.8	82.1	82.5	85.8	84.5
12	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.986	2.986	2.986	2.992	2.992	2.992	2.995	2.995	2.995
13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.980	0.980	0.980	1.045	1.045	1.045	1.077	1.077	1.077
14	Cemento asfáltico efectivo	%	4.58	4.58	4.58	5.03	5.03	5.03	5.50	5.50	5.50
15	Flujo	mm	3.35	3.08	3.53	3.87	3.35	3.61	4.23	3.82	4.06
16	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1306.9	1217.8	1282.0	1105.2	1076.6	1181.1	881.4	928.5	952.0
17	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)	FLORDESPM1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	Estabilidad corregida	kg	1307	1218	1282	1105	1077	1181	881	929	952
19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3901	3954	3632	2856	3214	3272	2084	2431	2345
20	Compactación, numero de golpes por cara	FLORDESPM1	75 golp.			75 golp.			75 golp.		

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en la tabla 23 y tabla 24 se presenta en la figura 25 los valores de estabilidad obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de zeolita, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con el mayor valor de estabilidad al 5.25% de asfalto de 1254.7kg, también se muestra que todos los valores obtenidos cumplen con ser mayor de la mínima estabilidad, según las recomendaciones de la normativa Marshall, de 831.07kg.

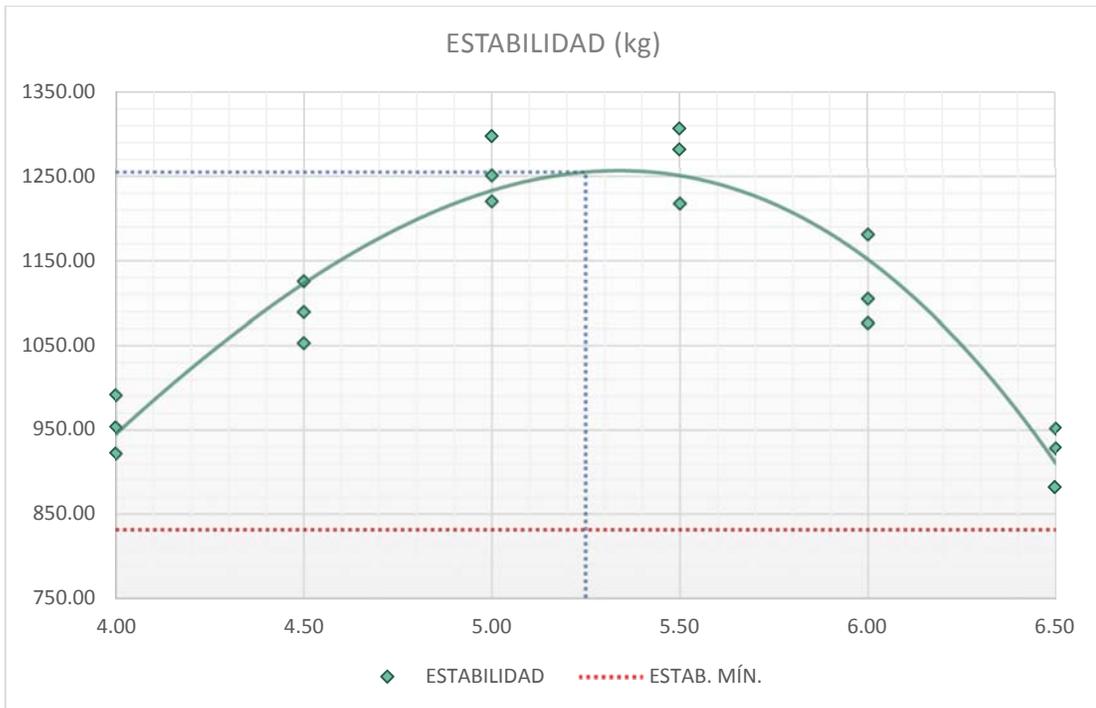


Figura 25. Gráfica de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita
Fuente: Elaboración propia

En la figura 26 se presentan los valores de flujo obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de zeolita, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia positiva obtenida con los valores de flujo dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall para el 4% al 5.5% de asfalto, y se muestra que el flujo obtenido al porcentaje de asfalto de 5.25%, con el que se obtuvo la mayor estabilidad es de 3.10 mm y se encuentra dentro de los límites permitidos

previniendo así que se presenten deformaciones importantes ante cargas elevadas de tránsito.

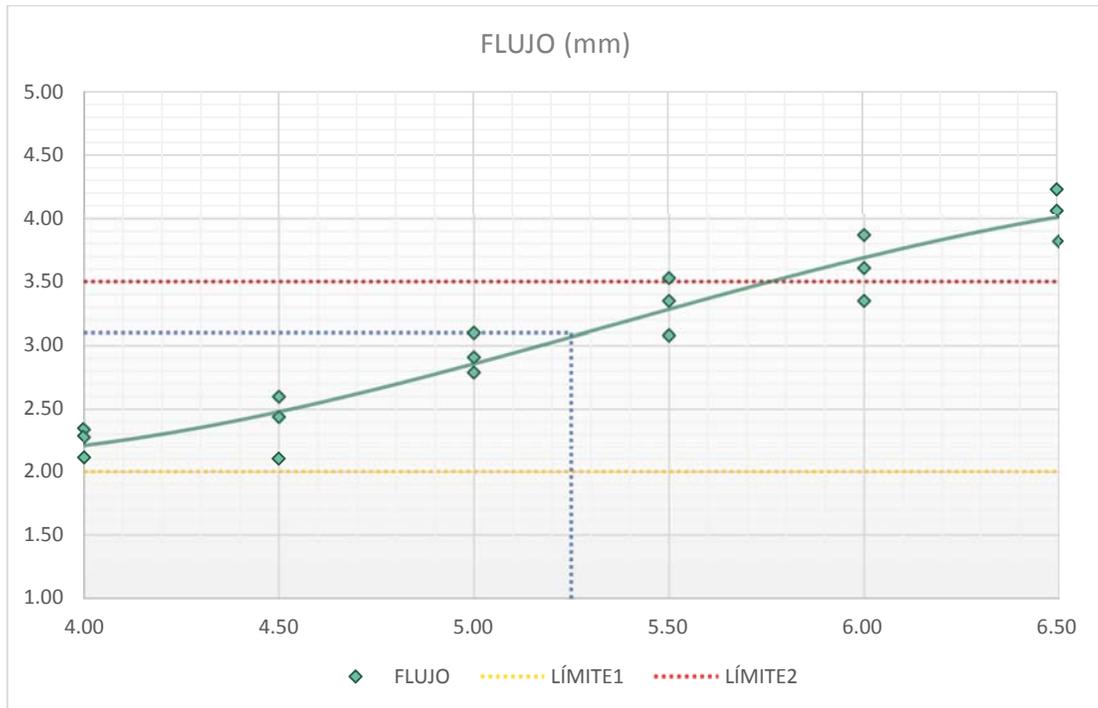


Figura 26. Gráfica del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 27 se presentan los valores de porcentaje de vacíos obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de zeolita, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia negativa obtenida con los valores de vacíos dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall para el 4% al 5.5% de asfalto, y se muestra que el porcentaje de vacíos obtenido al porcentaje de asfalto de 5.25%, con el que se obtuvo la mayor estabilidad es del 4.0% y se encuentra dentro de los límites permitidos.

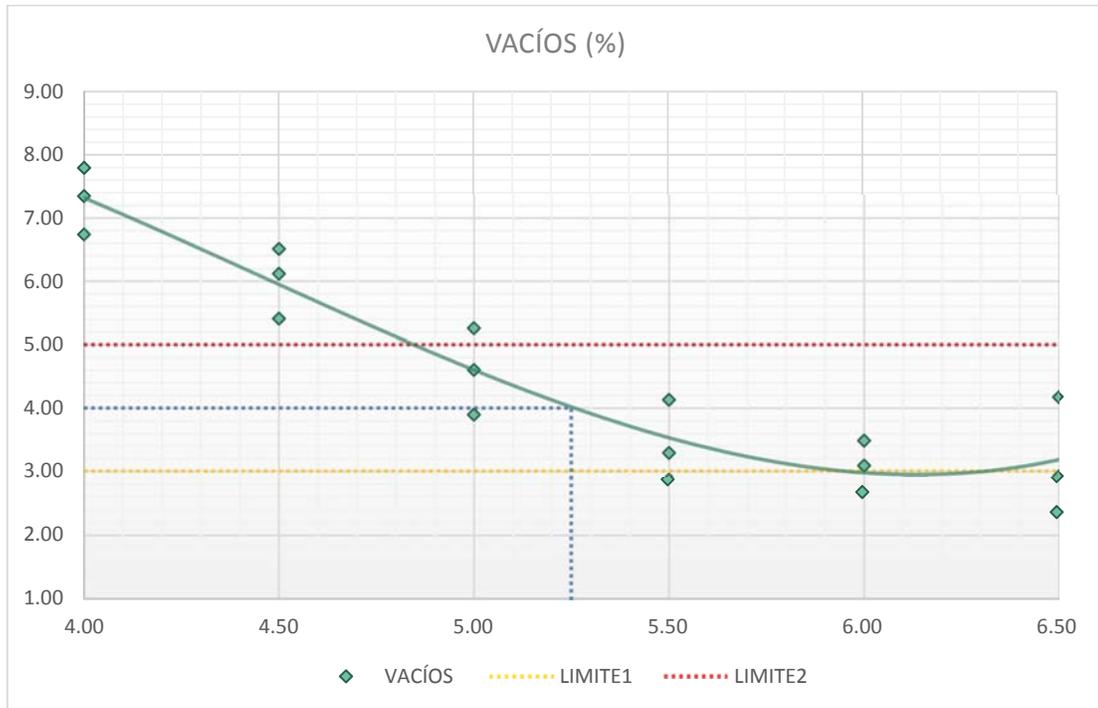


Figura 27. Gráfica del porcentaje de vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto
– Zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 28 se presentan los valores de porcentaje de vacíos de agregado mineral obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de zeolita, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con los valores de vacíos de agregado mineral superiores al mínimo establecido en la normativa Marshall para el 4% al 6.5% de asfalto, y se muestra que el porcentaje obtenido al 5.25% de asfalto es de 15.08%, cumple con ser mayor al mínimo de 15%.

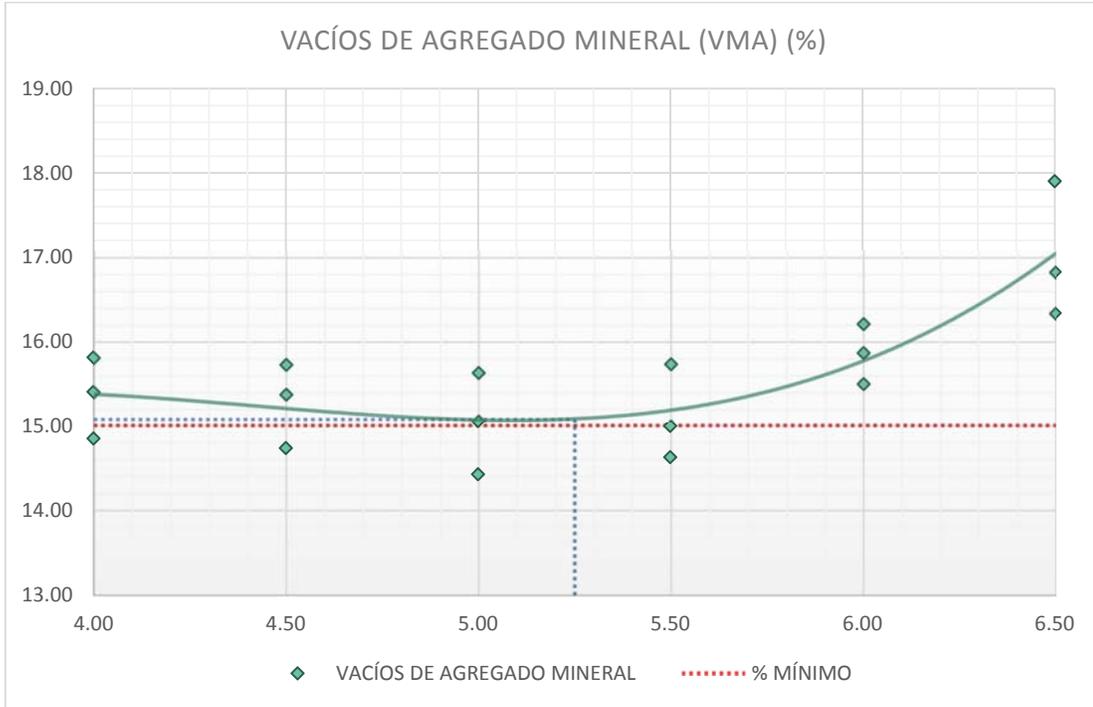


Figura 28. Gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 29 se presentan los valores de porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de zeolita, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia positiva obtenida con los valores de vacíos llenos con cemento asfáltico, para el porcentaje de asfalto de 5.25%, un porcentaje de 73.46%.

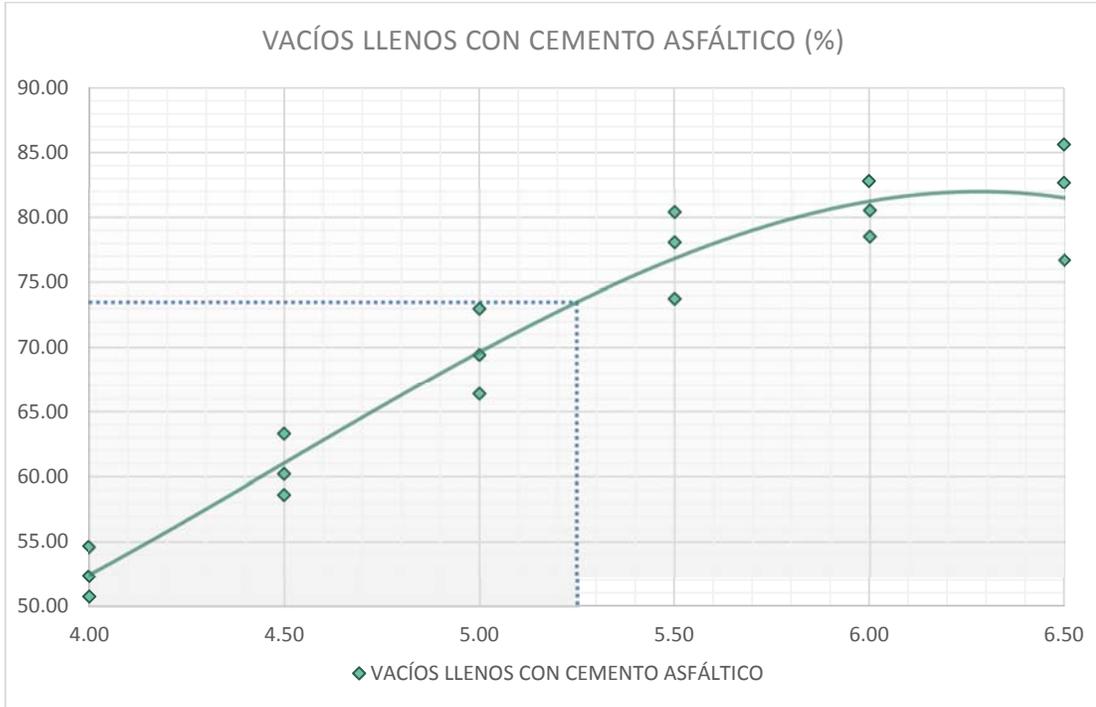


Figura 29. Gráfica del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 30 se presentan los valores de peso unitario obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de zeolita, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con los valores de peso unitario y para el porcentaje de asfalto de 5.25%, un peso unitario de 2.602 gr/cm³.

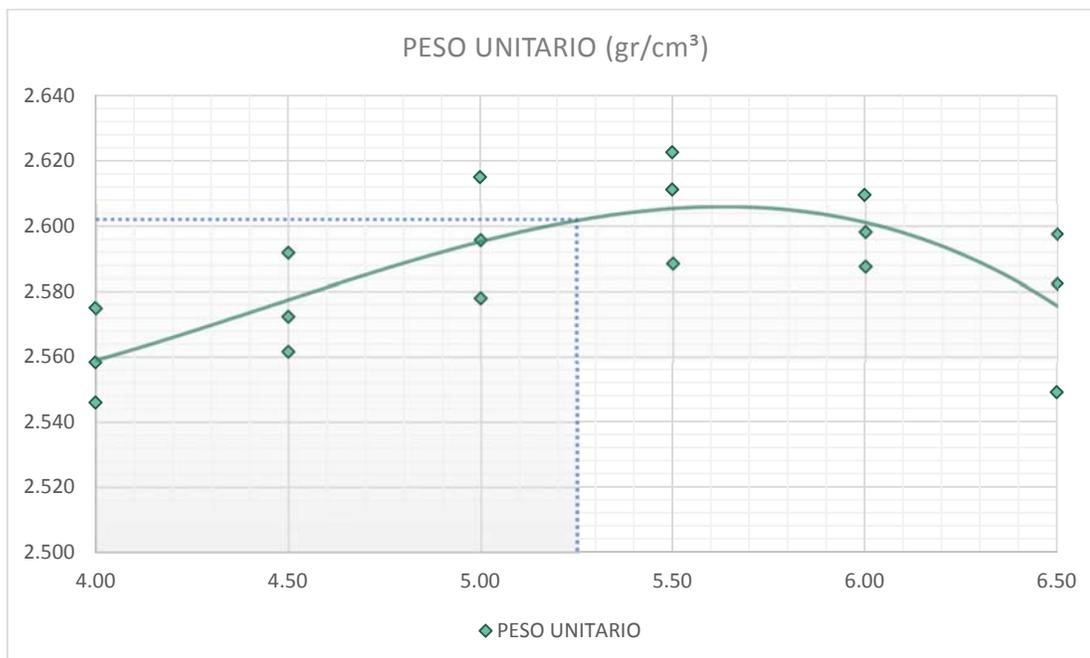


Figura 30. Gráfica del peso unitario (gr/cm³) a distintos porcentajes de asfalto – Zeolita

Fuente: Elaboración propia

Por último, se presenta en la tabla 25 los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas del diseño de mezclas asfálticas semicalientes empleando 1% de zeolita como aditivo con un óptimo contenido de agua inyectada de 2.63% y un óptimo contenido de asfalto espumado de 5.25%. También se obtiene que las propiedades resultantes cumplen con las especificaciones de la normativa Marshall.

Tabla 25. Cuadro resumen de propiedades mecánicas para el Óptimo Contenido de Asfalto Espumado - Zeolita

PROPIEDADES MECÁNICAS AL ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO		
Cemento asfáltico	5.25	%
Peso unitario	2.602	gr/cm ³
Vacíos	4.00	%
Vacíos de agregado mineral	15.080	%
Vacíos llenos con cemento asfáltico	73.46	%
Flujo	3.10	mm
Estabilidad	1254.7	kg

Fuente: Elaboración propia

- **Mezcla asfáltica semicaliente – empleando Cal hidratada**

En la tabla 26 y tabla 27 se muestran los resultados obtenidos del 4.0% al 6.5% de ligante asfáltico de PEN 85-100 más 1% de cal hidratada como aditivo, de acuerdo a los requerimientos del MAC – 2. También se presentan los pesos en seco de las briquetas, peso saturado, volumen, peso específico, porcentajes de vacíos, estabilidad y flujo, y así obtener las propiedades de una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado empleando cal hidratada para un elevado tráfico y a 75 golpes de compactación a cada cara según las especificaciones de la normativa Marshall.

Tabla 26. Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% a 5.00% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CAL HIDRATADA

BRIQUETAS		Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
2	Peso de la briqueta al aire	gr	1251.1	1248.6	1250.9	1251.0	1249.9	1247.7	1251.2	1251.2	1251.1
3	Peso de la briqueta saturada	gr	1255.1	1256.2	1254.8	1253.7	1253.3	1252.4	1255.3	1254.3	1256.6
4	Peso de la briqueta en agua	gr	766.3	769.7	763.4	765.7	768.2	764.6	769.8	770.1	774.5
5	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	488.8	486.5	491.4	488.0	485.1	487.8	485.5	484.2	482.1
6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.560	2.566	2.546	2.564	2.577	2.558	2.577	2.584	2.595
7	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.761	2.761	2.761	2.740	2.740	2.740	2.721	2.721	2.721
8	Vacios (MTC E-505)	%	7.3	7.0	7.8	6.4	6.0	6.6	5.3	5.0	4.6
9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903
10	V.M.A.	%	15.4	15.1	15.8	15.7	15.2	15.9	15.7	15.4	15.1
11	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	52.5	53.4	50.7	58.9	60.9	58.1	66.2	67.4	69.3
12	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.972	2.972	2.972	2.977	2.977	2.977	2.983	2.983	2.983
13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.821	0.821	0.821	0.868	0.868	0.868	0.940	0.940	0.940
14	Cemento asfáltico efectivo	%	3.22	3.22	3.22	3.68	3.68	3.68	4.12	4.12	4.12
15	Flujo	mm	1.93	1.70	1.64	2.22	1.94	2.33	2.39	2.80	2.51
16	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	886.3	903.5	991.6	1033.4	1075.0	978.0	1180.6	1163.0	1110.6
17	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	Estabilidad corregida	kg	886	903	992	1033	1075	978	1181	1163	1111
19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	4592	5314	6047	4655	5541	4197	4940	4154	4425
20	Compactación, numero de golpes por cara		75 golp.			75 golp.			75 golp.		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27. Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% a 6.50% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CAL HIDRATADA

	BRIQUETAS	Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2	Peso de la briqueta al aire	gr	1247.2	1246.0	1249.8	1250.1	1245.0	1251.4	1245.1	1247.2	1248.7
3	Peso de la briqueta saturada	gr	1252.8	1251.7	1253.6	1253.4	1249.9	1254.5	1248.7	1250.2	1252.7
4	Peso de la briqueta en agua	gr	772.6	771.5	769.7	771.3	768.0	774.3	766.4	770.2	770.9
5	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	480.2	480.2	483.9	482.1	481.9	480.2	482.3	480.0	481.8
6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.597	2.595	2.583	2.593	2.584	2.606	2.582	2.598	2.592
7	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.700	2.700	2.700	2.681	2.681	2.681	2.660	2.660	2.660
8	Vacios (MTC E-505)	%	3.8	3.9	4.3	3.3	3.6	2.8	2.9	2.3	2.6
9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903
10	V.M.A.	%	15.5	15.5	15.9	16.0	16.3	15.6	16.9	16.3	16.5
11	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	75.4	74.9	72.7	79.5	77.8	82.1	82.5	85.8	84.5
12	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.986	2.986	2.986	2.992	2.992	2.992	2.995	2.995	2.995
13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.980	0.980	0.980	1.045	1.045	1.045	1.077	1.077	1.077
14	Cemento asfáltico efectivo	%	4.58	4.58	4.58	5.03	5.03	5.03	5.50	5.50	5.50
15	Flujo	mm	3.12	3.25	2.94	3.70	3.87	3.97	4.26	3.93	4.07
16	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1240.7	1179.3	1149.3	1049.9	1133.4	1122.0	675.1	759.5	701.6
17	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	Estabilidad corregida	kg	1241	1179	1149	1050	1133	1122	675	760	702
19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3977	3629	3909	2838	2929	2826	1585	1933	1724
20	Compactación, numero de golpes por cara		75 golp.			75 golp.			75 golp.		

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en la tabla 26 y tabla 27 se presenta en la figura 31 los valores de estabilidad obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cal hidratada, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con el mayor valor de estabilidad al 5.51% de asfalto de 1204.5 kg, también se muestra que del 4.0% al 6.0% de asfalto los valores obtenidos cumplen con ser mayor de la mínima estabilidad, según las recomendaciones de la normativa Marshall, de 831.07kg.

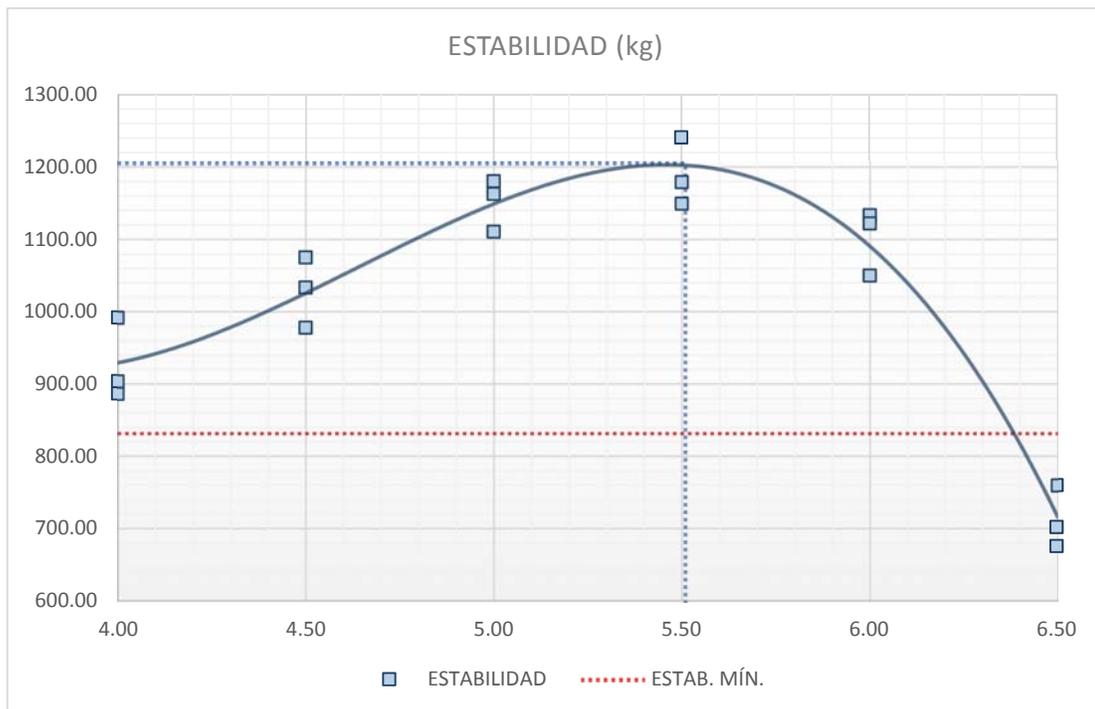


Figura 31. Gráfica de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 32 se presentan los valores de flujo obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cal hidratada, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia positiva obtenida con los valores de flujo dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall para el 4.5% al 5.5% de asfalto, y se

muestra que el flujo obtenido al porcentaje de asfalto de 5.51% de 3.22 mm, con el que se obtuvo la mayor estabilidad, y se encuentra dentro de los límites permitidos previniendo así que se presenten deformaciones importantes ante cargas elevadas de tránsito.

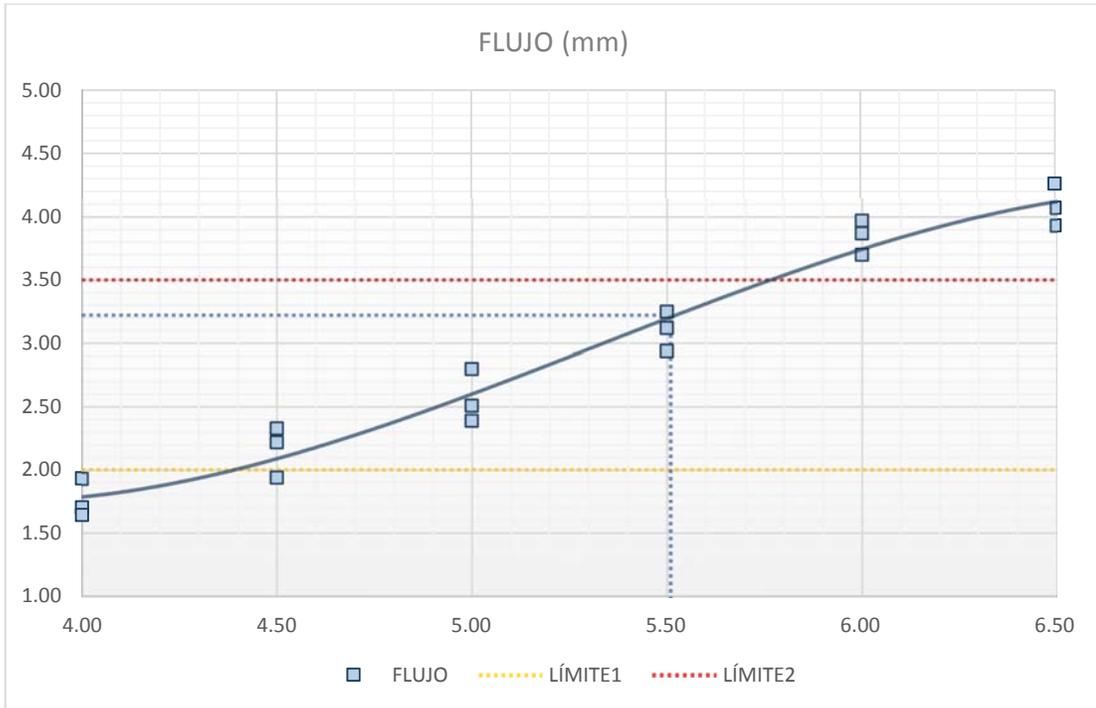


Figura 32. Gráfica del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 33 se presentan los valores de porcentaje de vacíos obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cal hidratada, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia negativa obtenida con los valores de vacíos dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall para el 5.5% al 6.5% de asfalto, y se muestra que el porcentaje de vacíos obtenido al porcentaje de asfalto de 5.51%, con el que se obtuvo la mayor estabilidad, es de 4.0% y se encuentra dentro de los límites permitidos.

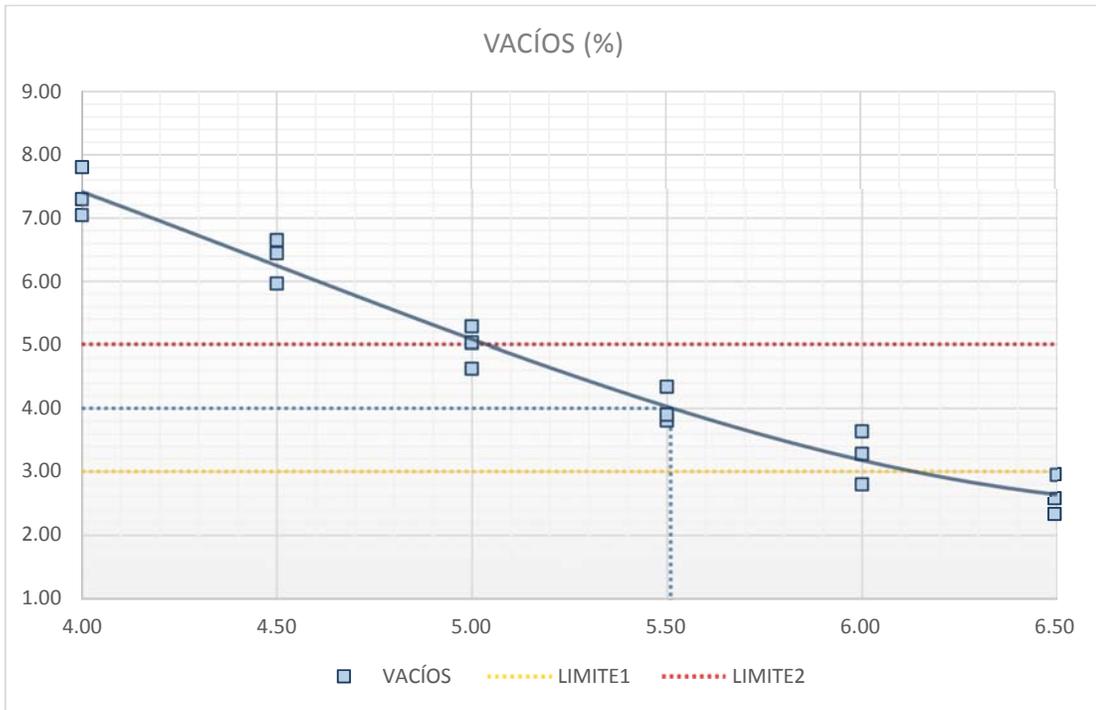


Figura 33. Gráfica del porcentaje de vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto
– Cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 34 se presentan los valores de porcentaje de vacíos de agregado mineral obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cal hidratada, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con los valores de vacíos de agregado mineral superiores al mínimo establecido en la normativa Marshall para el 4% al 6.5% de asfalto, y se muestra que el porcentaje obtenido al 5.51% de asfalto es de 15.65% y cumple con ser mayor al mínimo de 15%.

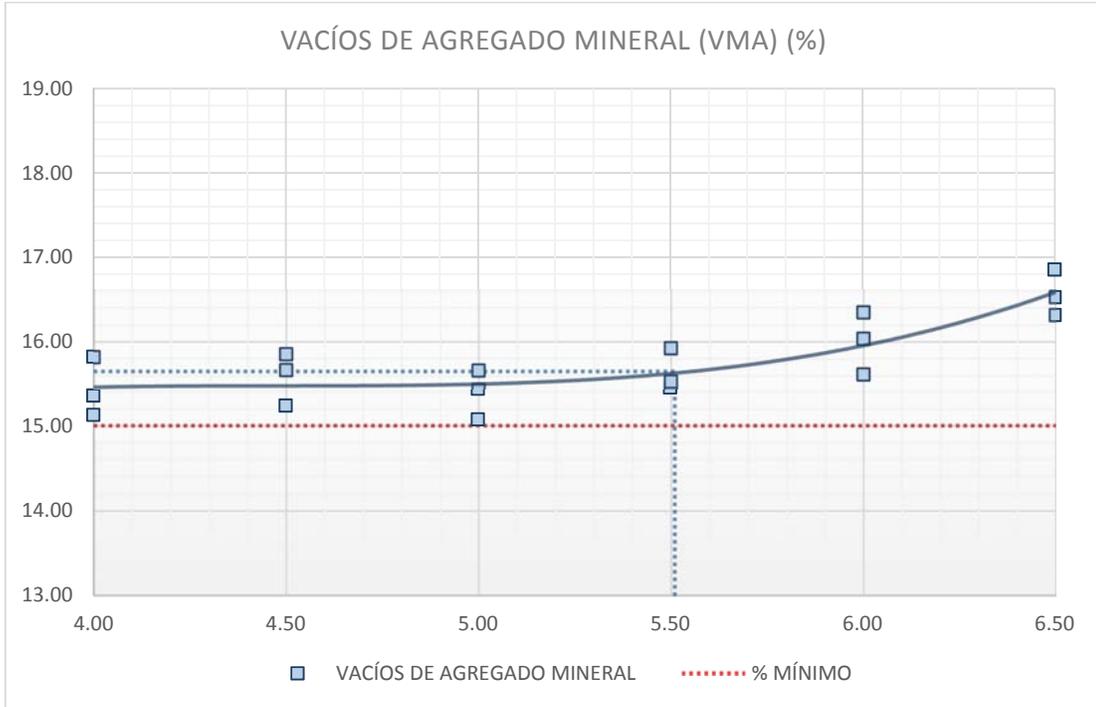


Figura 34. Gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 35 se presentan los valores de porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cal hidratada, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia positiva obtenida con los valores de vacíos llenos con cemento asfáltico, para el porcentaje de asfalto de 5.51%, un porcentaje de 74.4%.

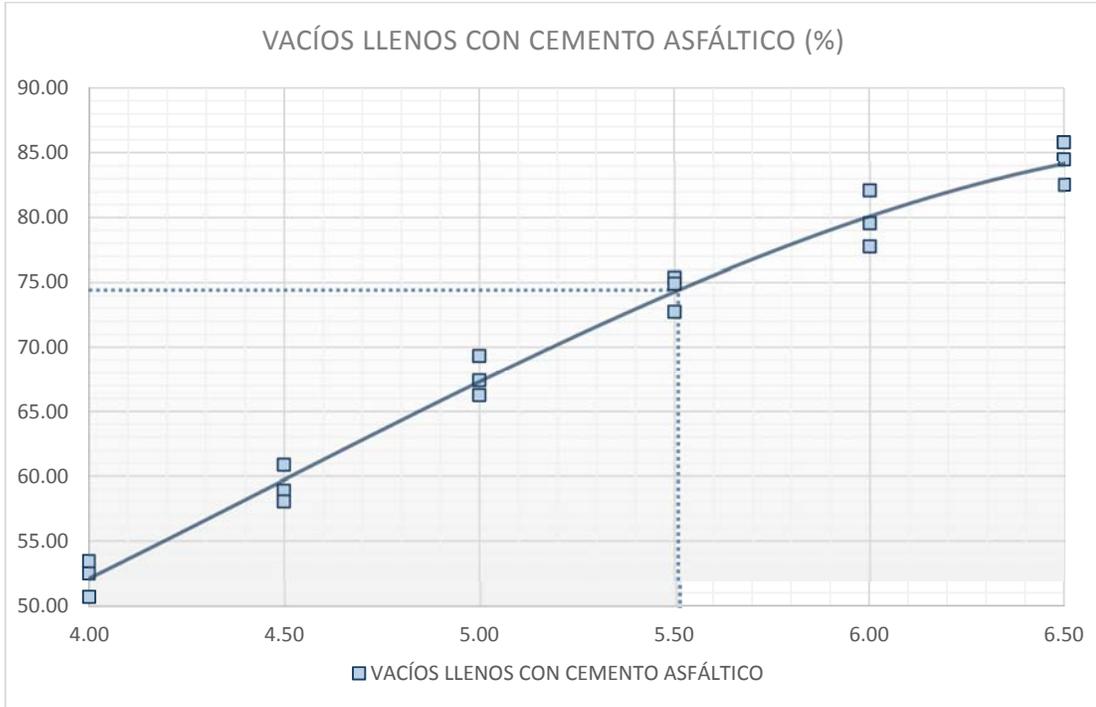


Figura 35. Gráfica del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 36 se presentan los valores de peso unitario obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cal hidratada, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con los valores de peso unitario y para el porcentaje de asfalto de 5.51%, un peso unitario de 2.592 gr/cm³.

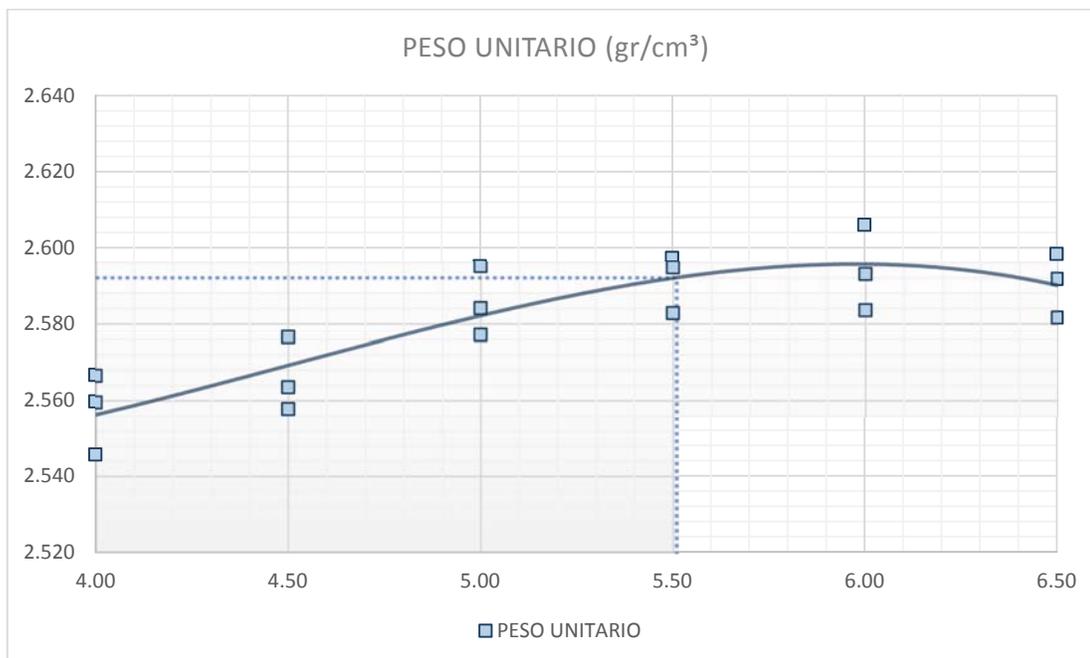


Figura 36. Gráfica del peso unitario (gr/cm³) a distintos porcentajes de asfalto – Cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

Por último, se presenta en la tabla 28 los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas del diseño de mezclas asfálticas semicalientes empleando 1% de cal hidratada como aditivo con un óptimo contenido de agua inyectada de 2.60% y un óptimo contenido de asfalto espumado de 5.51%. También se obtiene que las propiedades resultantes cumplen con las especificaciones de la normativa Marshall.

Tabla 28. Cuadro resumen de propiedades mecánicas para el Óptimo Contenido de Asfalto Espumado – Cal hidratada

PROPIEDADES MECÁNICAS AL ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO		
Cemento asfáltico	5.51	%
Peso unitario	2.592	gr/cm ³
Vacíos	4.00	%
Vacíos de agregado mineral	15.650	%
Vacíos llenos con cemento asfáltico	74.40	%
Flujo	3.22	mm
Estabilidad	1204.5	kg

Fuente: Elaboración propia

- **Mezcla asfáltica semicaliente – Cemento**

En la tabla 29 y tabla 30 se muestran los resultados obtenidos del 4.0% al 6.5% de ligante asfáltico de PEN 85-100 más 1% de cemento como aditivo, de acuerdo a los requerimientos del MAC – 2. También se presentan los pesos en seco de las briquetas, peso saturado, volumen, peso específico, porcentajes de vacíos, estabilidad y flujo, y así obtener las propiedades de una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado empleando cemento para un elevado tráfico y a 75 golpes de compactación a cada cara según las especificaciones de la normativa Marshall.

Tabla 29. Descripción de muestras elaboradas a un 4.00% a 5.00% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CEMENTO

	BRIQUETAS	Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	4.00	4.00	4.00	4.50	4.50	4.50	5.00	5.00	5.00
2	Peso de la briqueta al aire	gr	1246.1	1246.1	1248.0	1245.4	1248.3	1249.0	1252.0	1246.5	1247.5
3	Peso de la briqueta saturada	gr	1254.5	1251.5	1253.5	1248.7	1251.5	1252.8	1255.1	1251.5	1252.3
4	Peso de la briqueta en agua	gr	766.0	766.1	765.0	762.8	765.4	768.4	767.9	767.9	769.8
5	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	488.5	485.4	488.5	485.9	486.1	484.4	487.2	483.6	482.5
6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.551	2.567	2.555	2.563	2.568	2.578	2.570	2.578	2.585
7	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.761	2.761	2.761	2.740	2.740	2.740	2.721	2.721	2.721
8	Vacios (MTC E-505)	%	7.6	7.0	7.5	6.5	6.3	5.9	5.6	5.3	5.0
9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903
10	V.M.A.	%	15.6	15.1	15.5	15.7	15.5	15.2	15.9	15.6	15.4
11	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	51.4	53.5	51.9	58.8	59.6	61.1	65.1	66.3	67.6
12	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.972	2.972	2.972	2.977	2.977	2.977	2.983	2.983	2.983
13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.821	0.821	0.821	0.868	0.868	0.868	0.940	0.940	0.940
14	Cemento asfáltico efectivo	%	3.22	3.22	3.22	3.68	3.68	3.68	4.12	4.12	4.12
15	Flujo	mm	2.01	1.78	2.17	2.39	2.23	1.95	2.44	2.38	2.80
16	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	711.1	734.8	766.6	903.9	938.5	865.3	1092.9	1065.4	1010.5
17	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	Estabilidad corregida	kg	711	735	767	904	938	865	1093	1065	1011
19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3538	4128	3533	3782	4208	4437	4479	4476	3609
20	Compactación, numero de golpes por cara		75 golp.			75 golp.			75 golp.		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30. Descripción de muestras elaboradas a un 5.50% a 6.50% de ligante asfáltico PEN 85-100 – CEMENTO

	BRIQUETAS	Nº	1°	2°	3°	1°	2°	3°	1°	2°	3°
1	Cemento Asfáltico en peso de la mezcla	%	5.50	5.50	5.50	6.00	6.00	6.00	6.50	6.50	6.50
2	Peso de la briqueta al aire	gr	1250.6	1251.6	1246.1	1251.9	1247.4	1248.1	1245.2	1245.1	1247.1
3	Peso de la briqueta saturada	gr	1256.8	1258.1	1251.2	1257.7	1253.3	1252.2	1251.0	1248.3	1251.2
4	Peso de la briqueta en agua	gr	773.7	771.6	768.9	773.5	769.6	767.3	768.1	761.6	766.6
5	Volumen de briqueta + parafina	cm ³	483.1	486.5	482.3	484.2	483.7	484.9	482.9	486.7	484.6
6	Peso específico Bulk de la briqueta	gr/cm ³	2.589	2.573	2.584	2.586	2.579	2.574	2.579	2.558	2.573
7	Peso específico máximo (MTC E-508 ASTM D-2041)	gr/cm ³	2.700	2.700	2.700	2.681	2.681	2.681	2.660	2.660	2.660
8	Vacios (MTC E-505)	%	4.1	4.7	4.3	3.6	3.8	4.0	3.1	3.8	3.3
9	Peso específico Bulk del agregado total	gr/cm ³	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903	2.903
10	V.M.A.	%	15.7	16.3	15.9	16.3	16.5	16.7	16.9	17.6	17.1
11	Vacios llenos con cemento asfáltico	%	73.8	71.0	72.9	78.1	76.9	76.0	81.9	78.3	81.0
12	Peso específico del agregado total	gr/cm ³	2.986	2.986	2.986	2.992	2.992	2.992	2.995	2.995	2.995
13	Cemento asfáltico absorbido por el agregado total	%	0.980	0.980	0.980	1.045	1.045	1.045	1.077	1.077	1.077
14	Cemento asfáltico efectivo	%	4.58	4.58	4.58	5.03	5.03	5.03	5.50	5.50	5.50
15	Flujo	mm	2.99	3.11	2.69	3.64	3.24	3.58	4.10	3.62	3.82
16	Estabilidad sin corregir (Según Carta de Calibración)	kg	1148.4	1108.2	1177.3	1141.5	1175.2	1201.6	710.7	777.6	727.3
17	Factor de estabilidad (Factor de Corrección según alturas)		1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
18	Estabilidad corregida	kg	1148	1108	1177	1142	1175	1202	711	778	727
19	Estabilidad - Flujo	kg/cm	3841	3563	4377	3136	3627	3356	1733	2148	1904
20	Compactación, numero de golpes por cara		75 golp.			75 golp.			75 golp.		

Fuente: Elaboración propia

Según los datos obtenidos en la tabla 29 y tabla 30 se presenta en la figura 37 los valores de estabilidad obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cemento, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con el mayor valor de estabilidad al 5.81% de asfalto de 1181.5 kg, también se muestra que del 4.5% al 6.0% de asfalto los valores obtenidos cumplen con ser mayor de la mínima estabilidad, según las recomendaciones de la normativa Marshall, de 831.07kg.

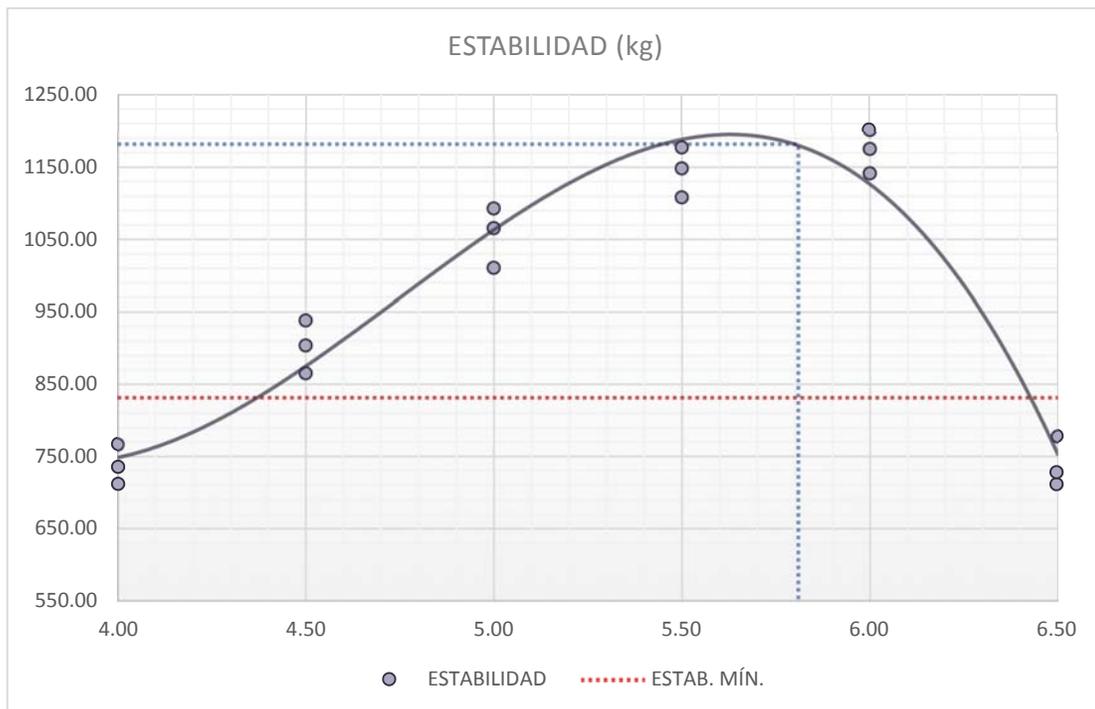


Figura 37. Gráfica de la Estabilidad (kg) a distintos porcentajes de asfalto –
Cemento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 38 se presentan los valores de flujo obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cemento, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia positiva obtenida con los valores de flujo dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall para el 4.5% al 5.5% de asfalto, y se muestra que el flujo

obtenido al porcentaje de asfalto de 5.81%, con el que se obtuvo la mayor estabilidad es de 3.29 mm y se encuentra dentro de los límites permitidos previniendo así que se presenten deformaciones importantes ante cargas elevadas de tránsito.

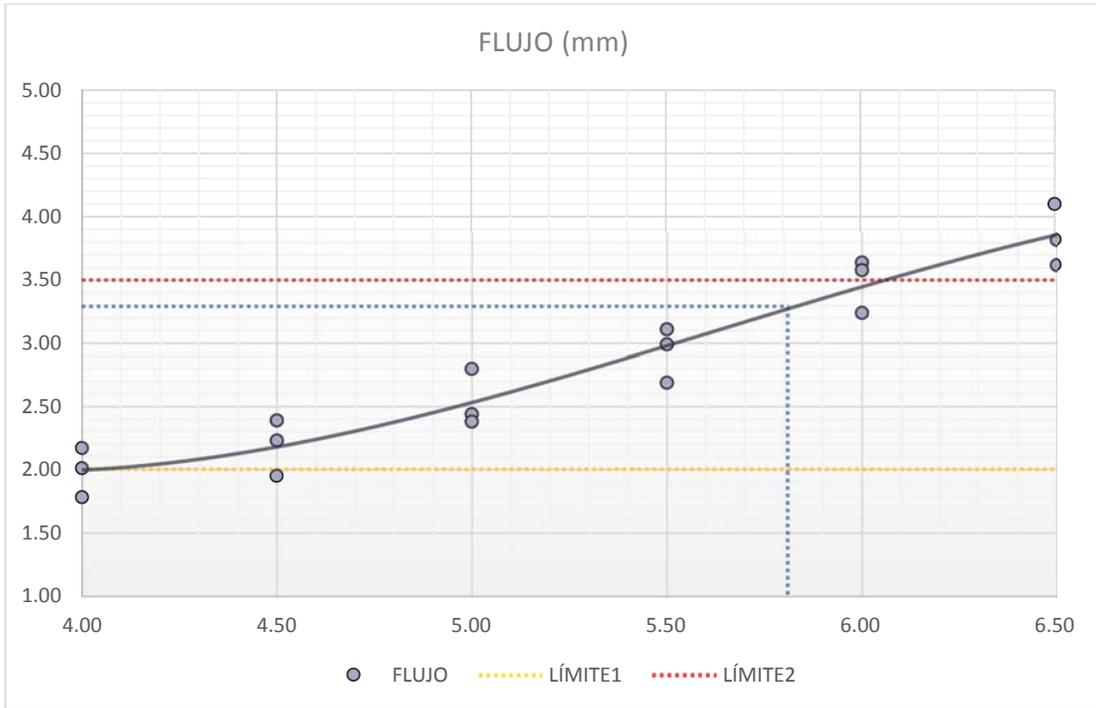


Figura 38. Gráfica del Flujo (mm) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 39 se presentan los valores de porcentaje de vacíos obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cemento, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia negativa obtenida con los valores de vacíos dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall para el 5.0% al 6.0% de asfalto, y se muestra que el porcentaje de vacíos obtenido al porcentaje de asfalto de 5.81%, con el que se obtuvo la mayor estabilidad es de 4.0% y se encuentra dentro de los límites permitidos.

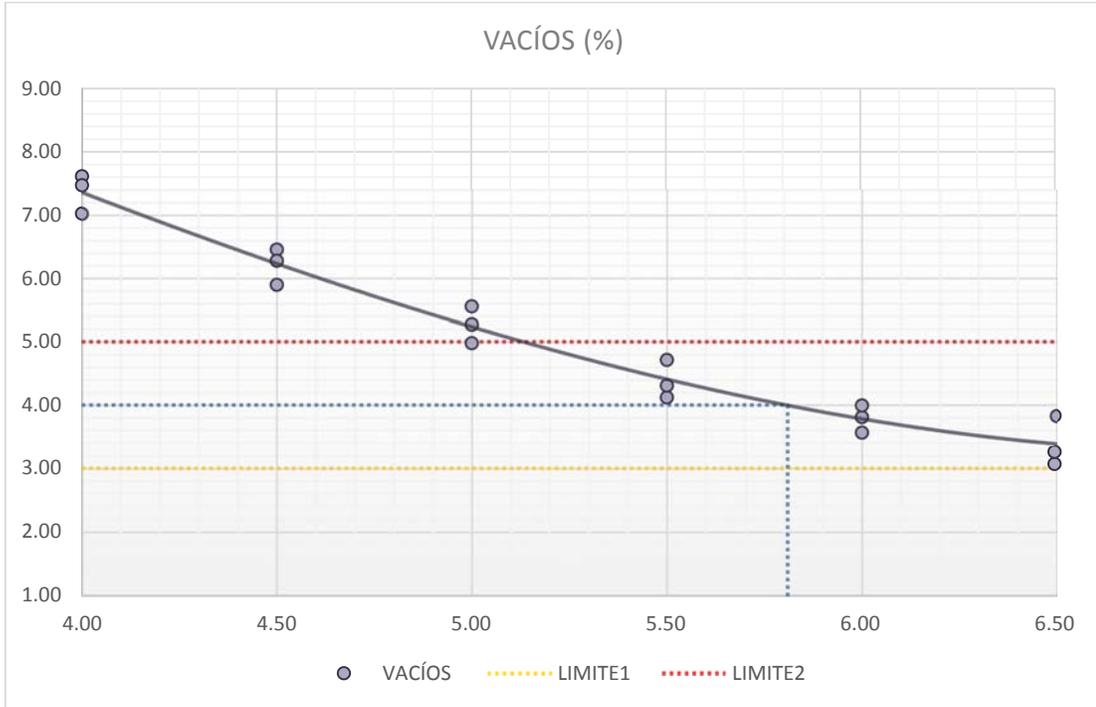


Figura 39. Gráfica del porcentaje de vacíos (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 40 se presentan los valores de porcentaje de vacíos de agregado mineral obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cemento, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con los valores de vacíos de agregado mineral superiores al mínimo establecido en la normativa Marshall para el 4% al 6.5% de asfalto, y se muestra que el porcentaje obtenido al 5.81% es de 16.26% y cumple con ser mayor al mínimo de 15%.

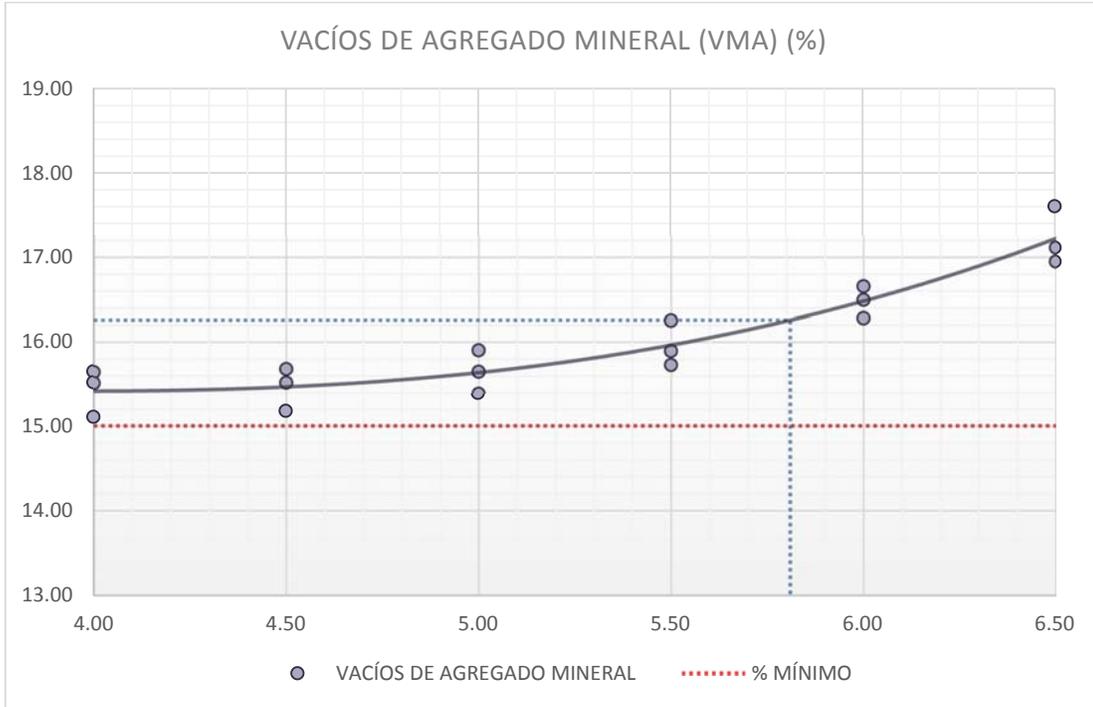


Figura 40. Gráfica del porcentaje de vacíos de agregado mineral (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 41 se presentan los valores de porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cemento, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia positiva obtenida con los valores de vacíos llenos con cemento asfáltico, para el porcentaje de asfalto de 5.81%, un porcentaje de 75.40%.

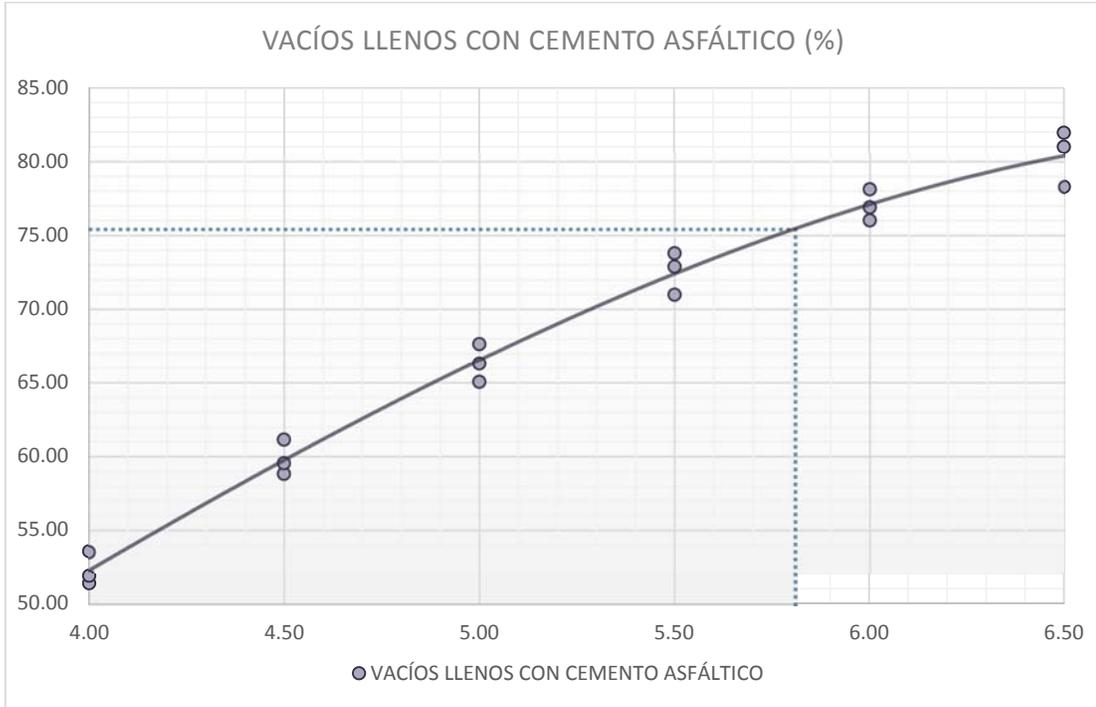


Figura 41. Gráfica del porcentaje de vacíos llenos con cemento asfáltico (%) a distintos porcentajes de asfalto – Cemento

Fuente: Elaboración propia

En la figura 42 se presentan los valores de peso unitario obtenidos a medida que varía el porcentaje de ligante asfáltico empleado en el diseño de mezcla semicaliente más 1% de cemento, de esta manera se muestra en la gráfica la línea tendencia obtenida con los valores de peso unitario y para el porcentaje de asfalto de 5.81%, un peso unitario de 2.582 gr/cm³.

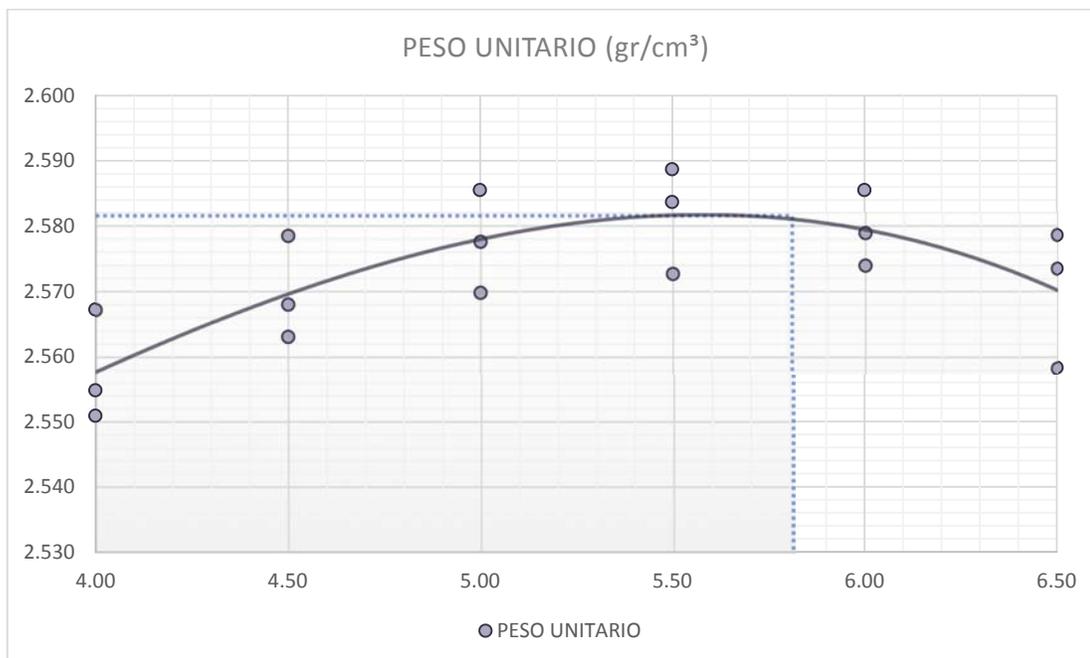


Figura 42. Gráfica del peso unitario (gr/cm³) a distintos porcentajes de asfalto –
Cemento

Fuente: Elaboración propia

Por último, se presenta en la tabla 31 los resultados obtenidos en las propiedades mecánicas del diseño de mezclas asfálticas semicalientes empleando 1% de cemento como aditivo con un óptimo contenido de agua inyectada de 2.34% y un óptimo contenido de asfalto espumado de 5.81%. También se obtiene que las propiedades resultantes cumplen con las especificaciones de la normativa Marshall.

Tabla 31. Cuadro resumen de propiedades mecánicas para el Óptimo
Contenido de Asfalto Espumado – Cemento

PROPIEDADES MECÁNICAS AL ÓPTIMO CONTENIDO DE ASFALTO		
Cemento asfáltico	5.81	%
Peso unitario	2.582	gr/cm ³
Vacíos	4.00	%
Vacíos de agregado mineral	16.26	%
Vacíos llenos con cemento asfáltico	75.400	%
Flujo	3.29	mm
Estabilidad	1181.5	kg

Fuente: Elaboración propia

4.3. OE1 – GRADO DE EXPANSIÓN

4.3.1. ÓPTIMO CONTENIDO DE AGUA PARA ESPUMACIÓN

La cantidad de agua inyectada eleva el volumen de espuma que se produce por un factor de 1500, resultando así que el incremento del agua inyectada aumenta el tamaño de cada burbuja y por ello aumenta la razón de expansión, por otro lado, esto reduce el espesor de la película de asfalto disminuyendo su estabilidad y así reduciendo su vida media. Por ello se determina el óptimo contenido de agua inyectada relacionando la razón de expansión y la vida media como se muestran en las siguientes figuras para cada tipo de muestra a los 160°C de temperatura debido a que a esta temperatura se obtuvieron los mayores valores de índices de espumación.

En la figura 43 se muestra la relación de la razón de expansión y la vida media con el porcentaje de agua inyectada para la muestra de asfalto de PEN 85 – 100 sin filler a los 160°C de temperatura, en el que se obtuvo 2.86% como porcentaje óptimo de agua inyectada.

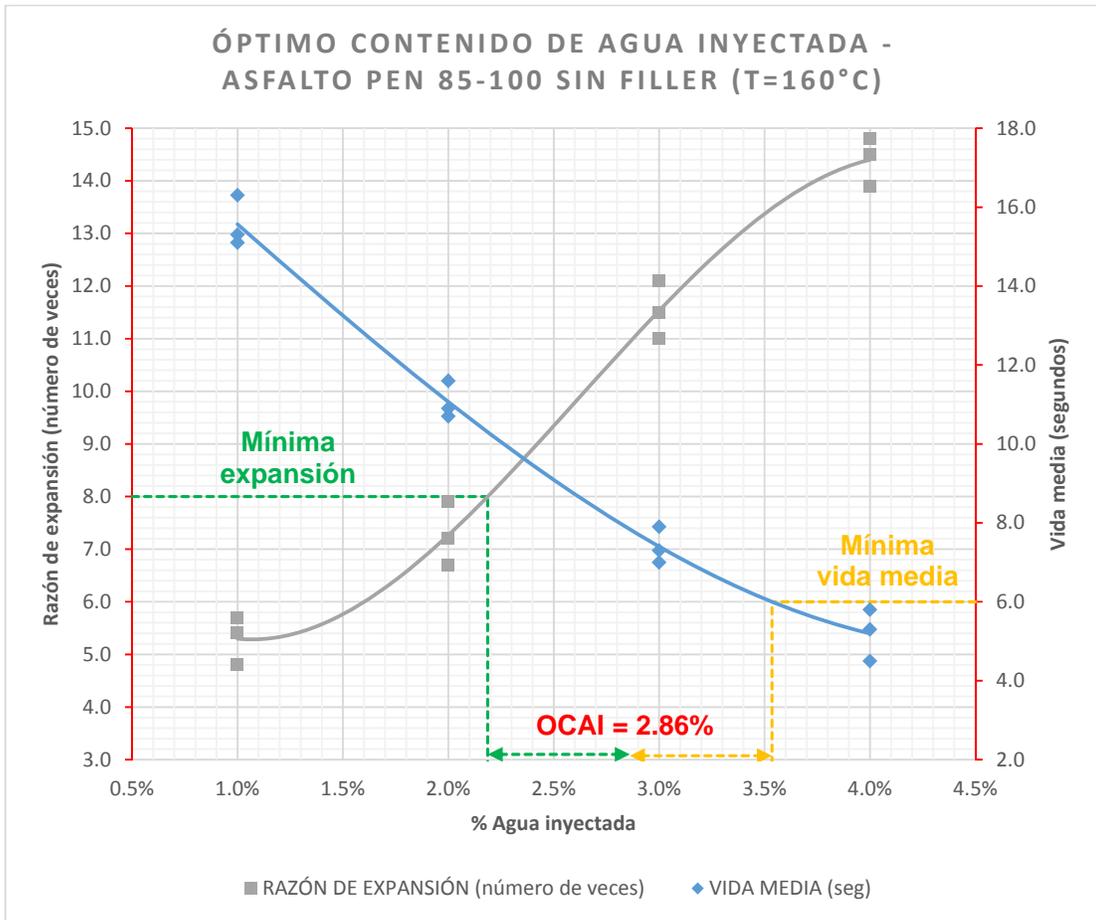


Figura 43. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 sin filler

Fuente: Elaboración propia

En la figura 44 se muestra la relación de la razón de expansión y la vida media con el porcentaje de agua inyectada para la muestra de asfalto de PEN 85 – 100 empleando como filler 1% de zeolita a los 160°C de temperatura, en el que se obtuvo 2.63% como porcentaje óptimo de agua inyectada.

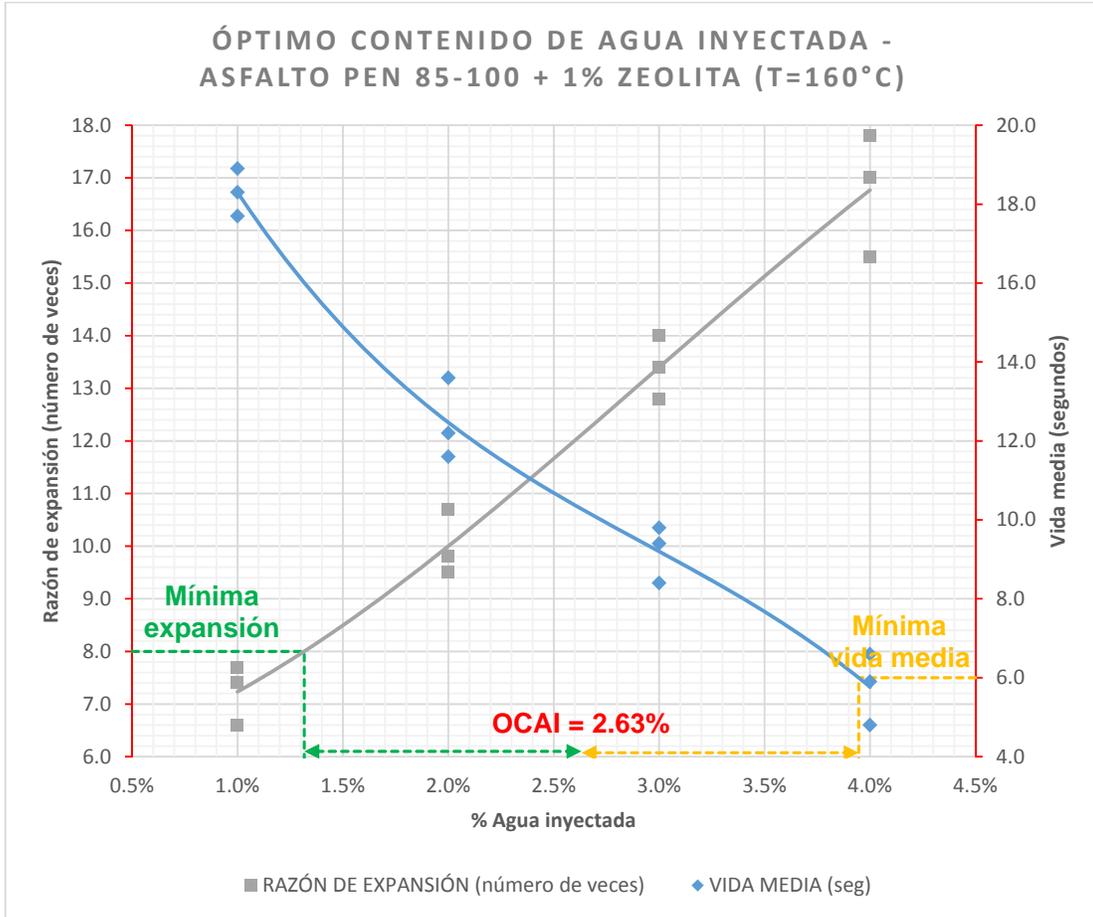


Figura 44. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 + 1% de zeolita

Fuente: Elaboración propia

En la figura 45 se muestra la relación de la razón de expansión y la vida media con el porcentaje de agua inyectada para la muestra de asfalto de PEN 85 – 100 empleando como filler 1% de cal hidratada a los 160°C de temperatura, en el que se obtuvo 2.60% como porcentaje óptimo de agua inyectada.

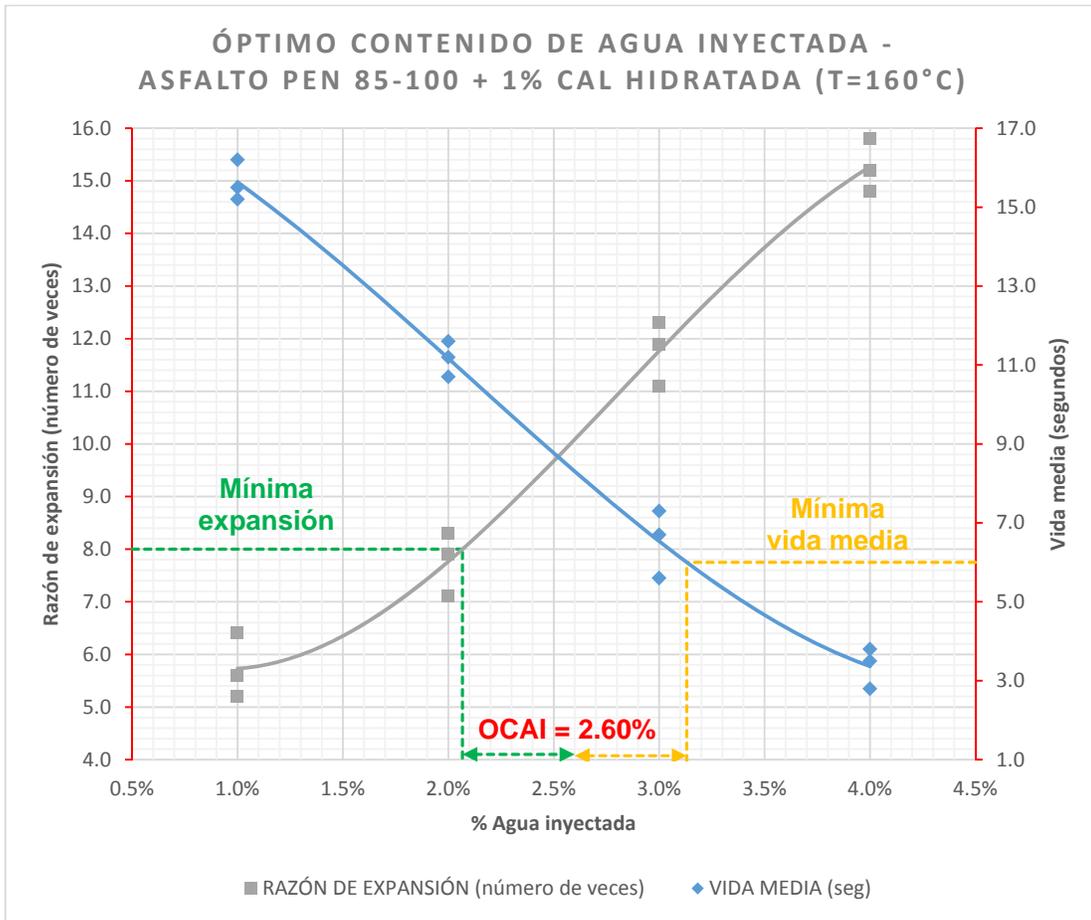


Figura 45. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 + 1% de cal hidratada

Fuente: Elaboración propia

En la figura 46 se muestra la relación de la razón de expansión y la vida media con el porcentaje de agua inyectada para la muestra de asfalto de PEN 85 – 100 empleando como filler 1% de cemento a los 160°C de temperatura, en el que se obtuvo 2.70% como porcentaje óptimo de agua inyectada.

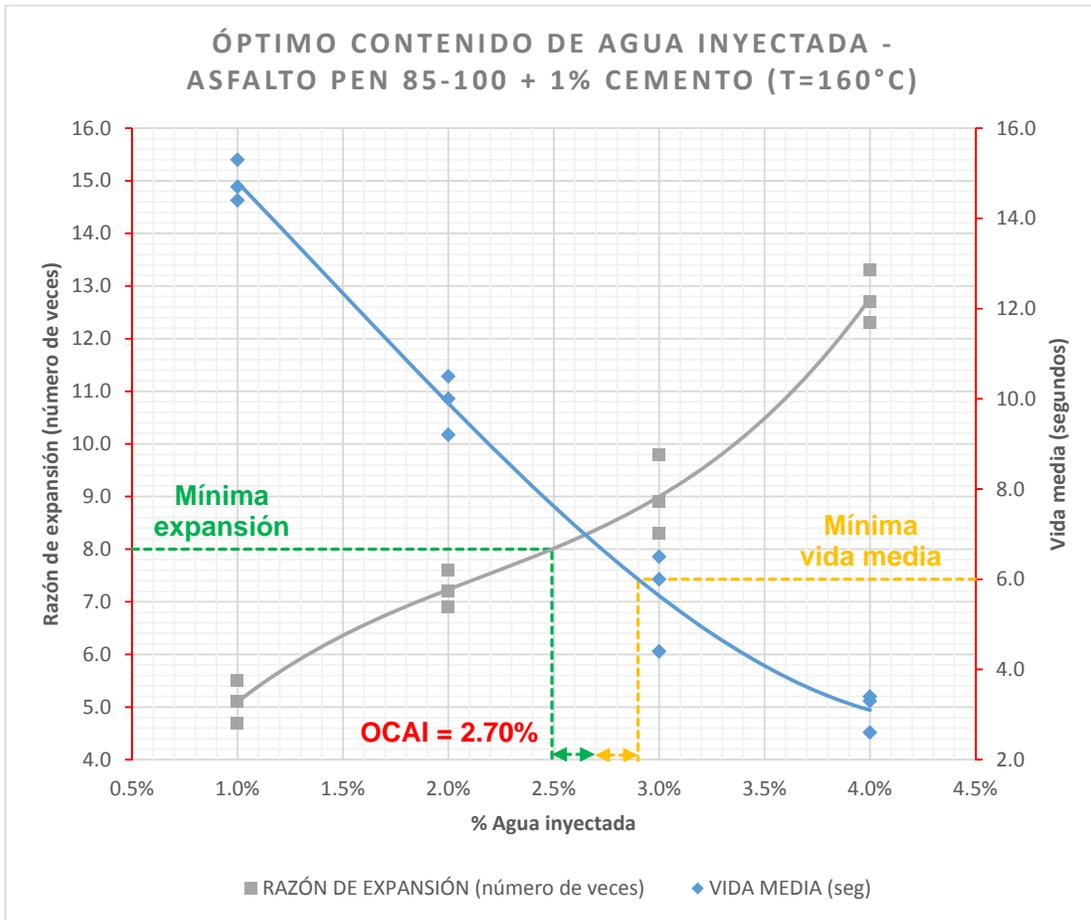


Figura 46. Determinación del óptimo contenido de agua de espumación PEN 85-100 + 1% de cemento

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, en la tabla 32 se presentan los resultados obtenidos para las condiciones adecuadas de espumación empleando asfalto de PEN 85-100 en cada caso analizado, estas condiciones se emplearán para el diseño de mezclas asfálticas sin filler, empleando zeolita, cal hidratada y cemento.

Tabla 32. Cuadro resumen de condiciones óptimas de espumación

Aditivo	SIN FILLER	1% ZEOLITA	1% CAL HIDRATADA	1% CEMENTO
Asfalto	PEN 85 - 100	PEN 85 - 100	PEN 85 - 100	PEN 85 - 100
Temperatura	160°C	160°C	160°C	160°C
Temperatura del agregado	25°C	25°C	25°C	25°C

% Óptimo contenido de agua inyectada	2.86%	2.63%	2.60%	2.34%
Razón de expansión promedio	9.6	11.9	10.1	7.9
Vida media promedio	9.8	11.4	9.2	8.4
Índice de espumación	76.6	157.7	86.6	73.3

4.4. OE2– ESTABILIDAD EN LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE

En la tabla 33 se muestra el cuadro resumen de los datos de estabilidad obtenidos por cada aditivo empleado ante la variación del porcentaje de asfalto.

Tabla 33. Resumen de resultados de Estabilidad (kg) por tipo de filler

CEMENTO ASFÁLTICO	ESTABILIDAD (kg)		
	ZEOLITA	CAL	CEMENTO
4.0%	953.1	886.3	711.1
4.0%	922.0	903.5	734.8
4.0%	991.2	991.6	766.6
4.5%	1089.4	1033.4	903.9
4.5%	1125.8	1075.0	938.5
4.5%	1053.1	978.0	865.3
5.0%	1251.2	1180.6	1092.9
5.0%	1297.8	1163.0	1065.4
5.0%	1220.5	1110.6	1010.5
5.5%	1306.9	1240.7	1148.4
5.5%	1217.8	1179.3	1108.2
5.5%	1282.0	1149.3	1177.3
6.0%	1105.2	1049.9	1141.5
6.0%	1076.6	1133.4	1175.2
6.0%	1181.1	1122.0	1201.6
6.5%	881.4	675.1	710.7
6.5%	928.5	759.5	777.6
6.5%	952.0	701.6	727.3

Fuente: Elaboración propia

En la figura 47 se presenta el comportamiento gráfico de la estabilidad por cada tipo de filler, resultando que los mayores valores de estabilidad se dan

al emplear zeolita, llegando a obtener 1254.7 kg como máximo al OCA de 5.25%, mientras que al emplear cal se obtuvo la estabilidad de 1204.5 kg al OCA de 5.51% y al emplear cemento al OCA de 5.81% la estabilidad es de 1181.5 kg, resultando así que el empleo de la zeolita mejora la propiedad de resistencia de la mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado diseñada.

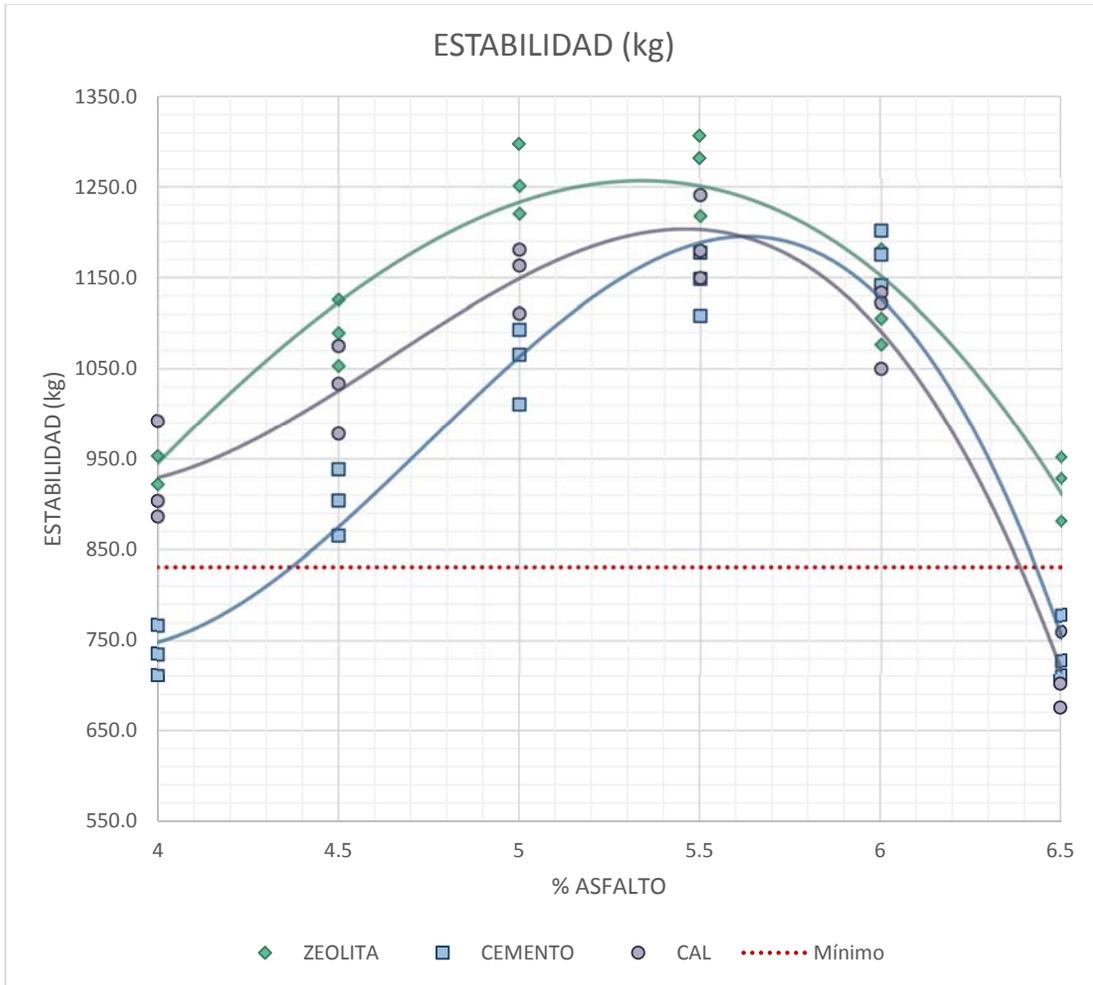


Figura 47. Estabilidad (kg) obtenida por cada tipo de filler

Fuente: Elaboración propia

4.5. OE3–FLUJO EN LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE

En la tabla 34 se muestra el cuadro resumen de los datos de flujo obtenidos por cada aditivo empleado ante la variación del porcentaje de asfalto.

Tabla 34. Resumen de resultados de Flujo (mm) por tipo de filler

CEMENTO ASFÁLTICO	FLUJO (mm)		
	ZEOLITA	CAL	CEMENTO
4.0%	2.11	1.93	2.01
4.0%	2.34	1.7	1.78
4.0%	2.28	1.64	2.17
4.5%	2.44	2.22	2.39
4.5%	2.60	1.94	2.23
4.5%	2.10	2.33	1.95
5.0%	2.91	2.39	2.44
5.0%	3.10	2.8	2.38
5.0%	2.79	2.51	2.8
5.5%	3.35	3.12	2.99
5.5%	3.08	3.25	3.11
5.5%	3.53	2.94	2.69
6.0%	3.87	3.7	3.64
6.0%	3.35	3.87	3.24
6.0%	3.61	3.97	3.58
6.5%	4.23	4.26	4.1
6.5%	3.82	3.93	3.62
6.5%	4.06	4.07	3.82

Fuente: Elaboración propia

En la figura 48 se presenta el comportamiento gráfico del flujo por cada tipo de filler, resultando que los valores de flujo que cumplan con los límites de la normativa Marshall se da al emplear zeolita, llegando a obtener 3.10 mm como máximo flujo al OCA de 5.25%, mientras que al emplear cal se obtuvo el flujo de 3.22 mm al OCA de 5.51% y al emplear cemento al OCA de 5.81% el máximo flujo es de 3.29 mm, resultando así que el empleo de la zeolita mejora la propiedad de deformación ante cargas elevadas de tránsito al diseño de la mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado.

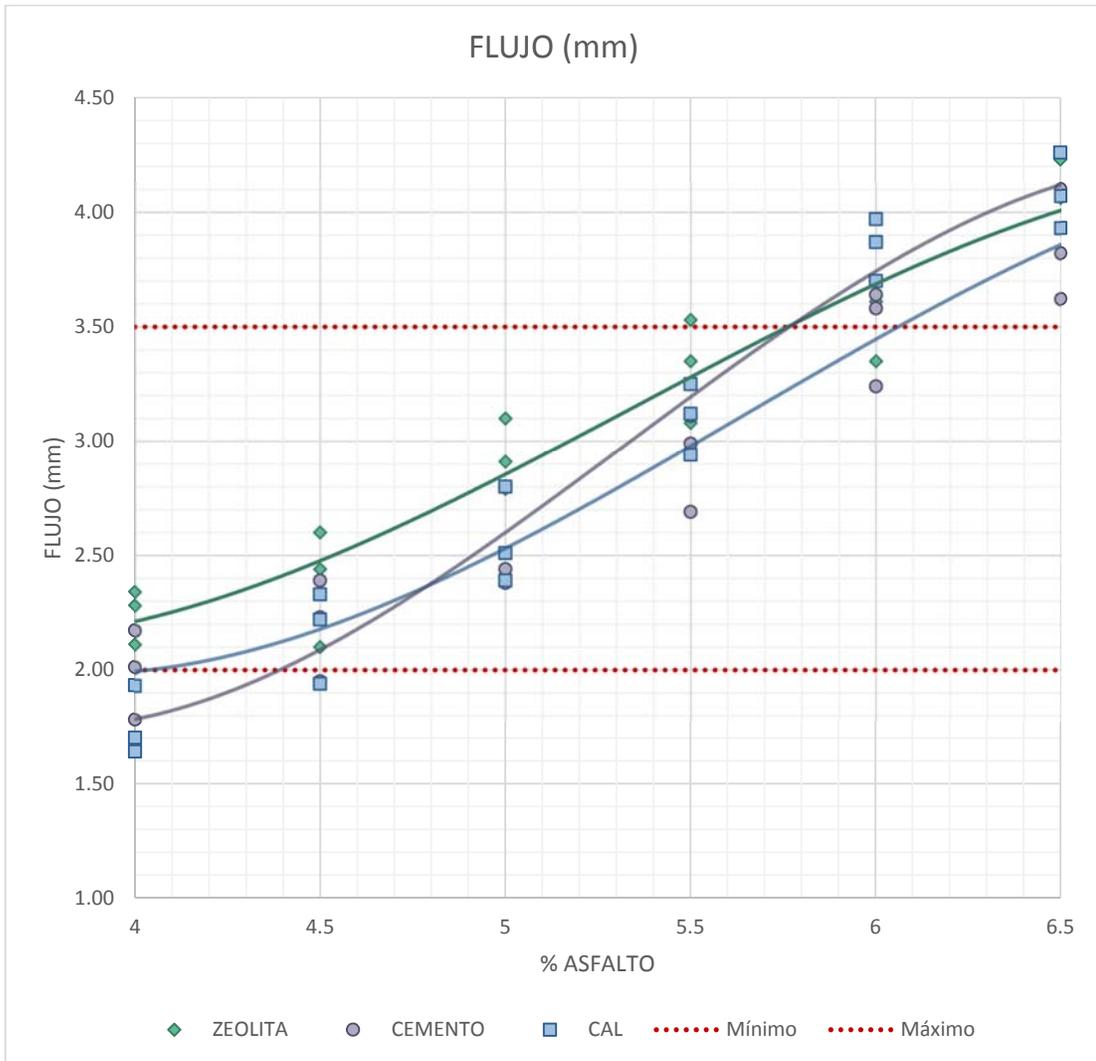


Figura 48. Flujo (mm) obtenido por cada tipo de filler

Fuente: Elaboración propia

4.6. OEG-PROPIEDADES ANTE DISTINTOS TIPOS DE FILLER

Con el objetivo de proporcionar propiedades que brinden un adecuado comportamiento a la mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado, se evaluará el comportamiento que proporcionan los filler ante la variación de temperaturas de mezclado y así determinar a qué temperatura se puede trabajar la mezcla asfáltica semicaliente obteniendo propiedades mecánicas

que cumplan con las limitaciones del diseño de mezclas por el método Marshall.

Para ello mediante el ensayo de Marshall y empleando el óptimo contenido de asfalto espumado obtenido para cada filler, se determinarán los valores de estabilidad y flujo ante la variación de la temperatura de mezclado, desde 110°C a los 160°C variando a cada 5°C la temperatura.

En la tabla 35 se presentan los resultados de estabilidad obtenidos en una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado ante la variación de temperaturas de 110°C a 160°C para cuatro tipos de mezclas: la muestra control en la que no se empleó filler, la muestra con zeolita, la muestra con cal hidratada y la muestra con cemento.

Tabla 35. Estabilidad (kg) ante la variación de temperaturas (T°)

MUESTRA	T°	ESTABILIDAD (kg)			
		MUESTRA CONTROL	ZEOLITA	CAL HIDRATADA	CEMENTO
BRQ /1	110°C	599.4	599.5	519.4	569.9
BRQ /2		617.8	613.5	539.6	598.4
BRQ /3		652.2	568.0	587.4	556.6
BRQ /4	115°C	657.6	680.1	630.4	687.3
BRQ /5		646.0	729.6	661.2	666.8
BRQ /6		617.9	702.9	642.7	671.3
BRQ /7	120°C	653.0	747.2	705.8	711.5
BRQ /8		667.2	765.5	728.6	725.8
BRQ /9		678.1	735.1	712.1	695.4
BRQ /10	125°C	688.9	825.4	747.7	793.2
BRQ /11		714.1	793.5	716.9	771.2
BRQ /12		695.6	810.6	733.5	762.0
BRQ /13	130°C	769.6	895.7	844.3	796.6
BRQ /14		737.5	916.4	810.2	800.3
BRQ /15		780.7	864.8	823.0	825.9
BRQ /16	135°C	797.8	952.8	917.9	861.7
BRQ /17		819.9	1011.0	864.9	884.1
BRQ /18		786.6	934.5	894.0	857.4

BRQ /19	140°C	870.9	1068.4	1005.6	914.5
BRQ /20		818.0	1077.7	988.5	948.9
BRQ /21		850.4	1032.4	978.6	935.5
BRQ /22	145°C	903.6	1106.2	1074.2	994.0
BRQ /23		946.2	1135.2	1038.4	1001.4
BRQ /24		926.9	1095.1	1056.3	971.8
BRQ /25	150°C	950.5	1161.2	1108.6	998.1
BRQ /26		966.7	1179.8	1082.6	1024.8
BRQ /27		1004.5	1135.2	1095.3	1044.8
BRQ /28	155°C	1043.4	1172.1	1125.8	1085.2
BRQ /29		1020.0	1225.1	1172.0	1122.0
BRQ /30		1064.9	1160.5	1133.3	1139.5
BRQ /31	160°C	1159.0	1265.5	1153.0	1142.0
BRQ /32		1137.9	1250.0	1203.3	1162.7
BRQ /33		1098.5	1217.5	1210.0	1188.7

Fuente: Elaboración propia

En la figura 49 se presenta el comportamiento de la estabilidad obtenida al variar la temperatura de mezclado, mostrando una tendencia positiva, lo que significa que a mayor temperatura de mezclado mayor es la estabilidad, también se observa que los valores de estabilidad más altos se dan en la muestra con zeolita, mientras que los más bajos se dan en la muestra control y que los valores de estabilidad al emplear zeolita son mayores al mínimo permitido por la normativa Marshall, a partir de los 130°C de temperatura de mezclado, al emplear cal hidratada y cemento se obtiene la estabilidad mínima permitida a partir de los 135°C y al no emplear filler se da a partir de los 145°C.

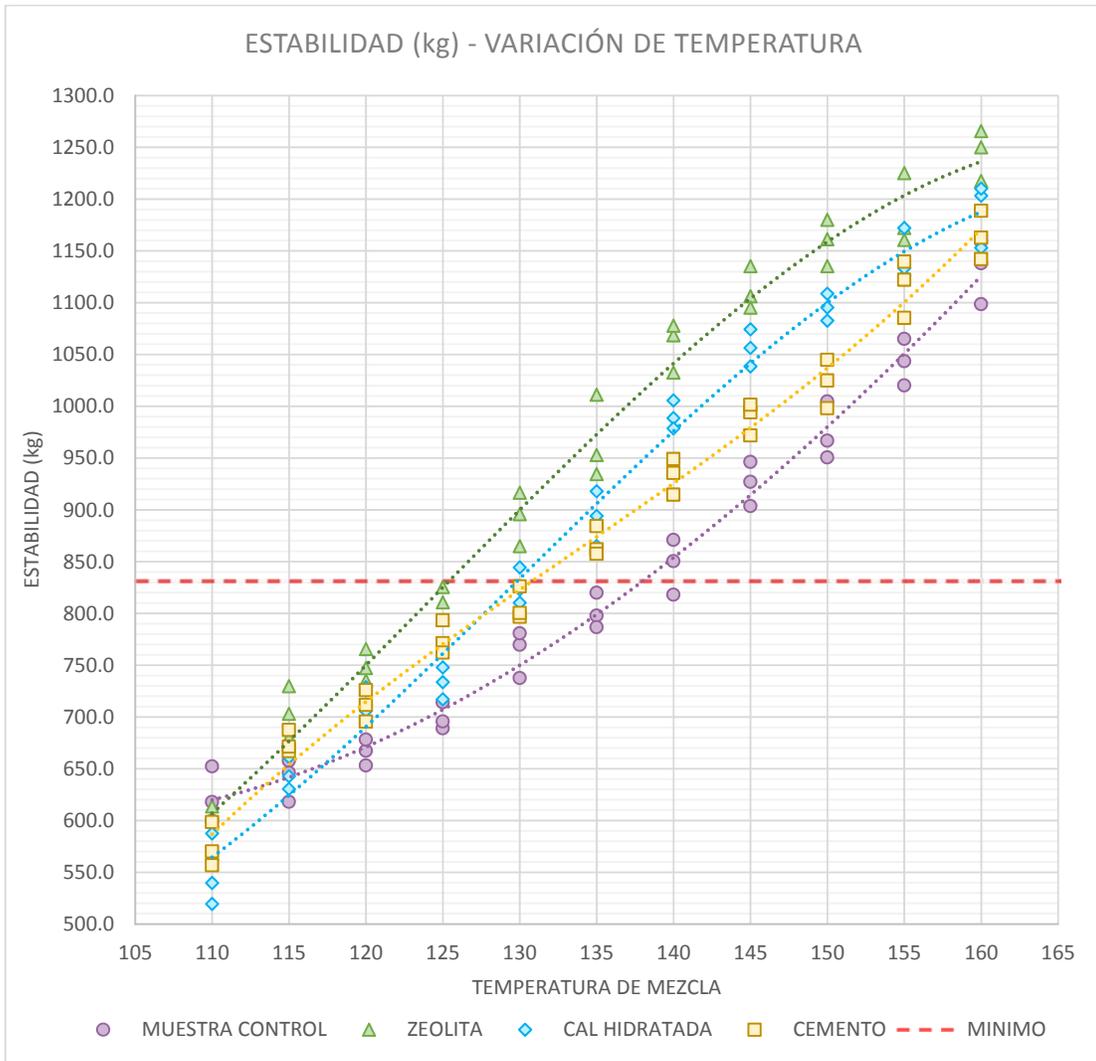


Figura 49. Estabilidad (kg) ante la variación de temperatura (T°)

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 36 se presentan los resultados de flujo obtenidos en una mezcla asfáltica semicaliente ante la variación de temperaturas de 110°C a 160°C para cuatro tipos de mezclas: la muestra control en la que no se empleó filler, la muestra con zeolita, la muestra con cal hidratada y la muestra con cemento.

Tabla 36. Flujo (mm) ante la variación de temperaturas (T°)

MUESTRA	T°	FLUJO (mm)			
		MUESTRA CONTROL	ZEOLITA	CAL HIDRATADA	CEMENTO
BRQ /1	110°C	4.46	4.21	4.30	4.24
BRQ /2		4.41	4.13	4.19	4.27
BRQ /3		4.34	4.07	4.13	4.37
BRQ /4	115°C	4.31	4.04	4.17	4.13
BRQ /5		4.21	3.88	4.10	4.02
BRQ /6		4.28	3.97	4.08	4.06
BRQ /7	120°C	4.12	3.77	3.92	3.96
BRQ /8		4.22	3.85	3.89	4.09
BRQ /9		4.14	3.71	3.98	4.04
BRQ /10	125°C	3.93	3.66	3.79	3.98
BRQ /11		4.10	3.62	3.84	3.84
BRQ /12		4.04	3.57	3.74	3.91
BRQ /13	130°C	3.93	3.48	3.65	3.86
BRQ /14		3.78	3.37	3.73	3.79
BRQ /15		3.83	3.41	3.61	3.89
BRQ /16	135°C	3.75	3.27	3.57	3.78
BRQ /17		3.86	3.34	3.46	3.67
BRQ /18		3.81	3.39	3.56	3.74
BRQ /19	140°C	3.65	3.31	3.45	3.68
BRQ /20		3.71	3.23	3.41	3.60
BRQ /21		3.73	3.28	3.52	3.62
BRQ /22	145°C	3.59	3.24	3.38	3.46
BRQ /23		3.61	3.29	3.36	3.51
BRQ /24		3.65	3.20	3.44	3.56
BRQ /25	150°C	3.46	3.25	3.35	3.48
BRQ /26		3.52	3.22	3.29	3.46
BRQ /27		3.54	3.18	3.39	3.39
BRQ /28	155°C	3.51	3.18	3.27	3.40
BRQ /29		3.48	3.15	3.24	3.43
BRQ /30		3.46	3.21	3.32	3.32

BRQ /31	160° C	3.38	3.14	3.26	3.34
BRQ /32		3.45	3.06	3.21	3.23
BRQ /33		3.48	3.11	3.16	3.31

Fuente: Elaboración propia

En la figura 50 se presenta el comportamiento del flujo obtenido al variar la temperatura de mezclado, mostrando una tendencia negativa, lo que significa que a mayor temperatura de mezclado menor es la fluidez, también se observa que los valores de flujo más altos se dan en la muestra control, mientras que los más bajos se dan en la muestra con zeolita y que los valores de flujo al emplear zeolita son menores al máximo permitido por la normativa Marshall, a partir de los 130°C de temperatura de mezclado, al emplear cal hidratada se da a partir de los 140°, al emplear cemento se obtiene la fluidez mínima permitida a partir de los 150°C y al no emplear filler se da a partir de los 155°C.

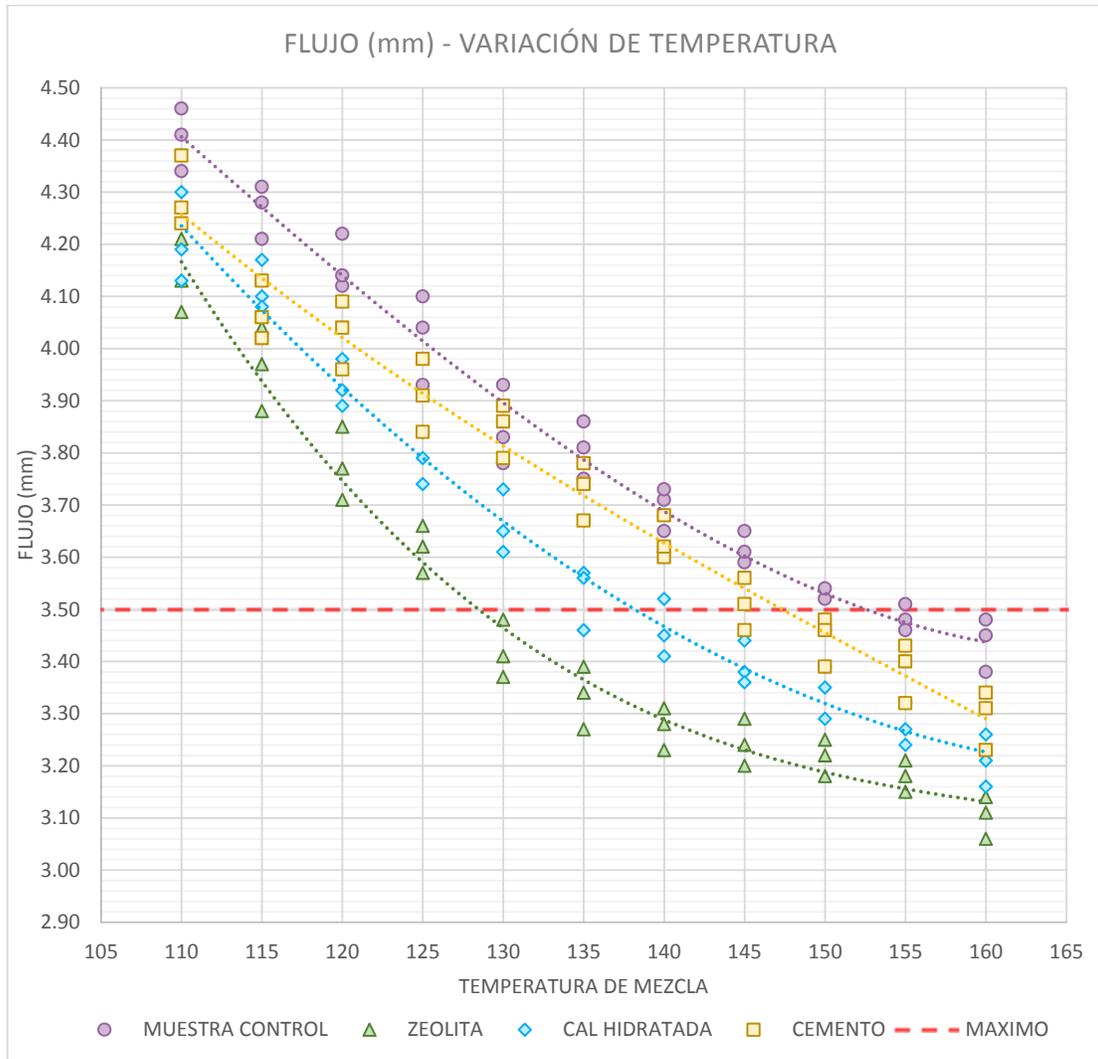


Figura 50. Flujo (mm) ante la variación de temperatura (T°)

Fuente: Elaboración propia

4.7. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados de este estudio se basan en analizar las propiedades del asfalto espumado en una mezcla asfáltica semicaliente para encontrar el óptimo contenido de agua inyectada, después analizar las propiedades mecánicas ante diferentes tipos de filler y finalmente encontrar, al emplear diferentes tipos de filler, la

temperatura de mezclado óptima para el espumado de una mezcla asfáltica semicaliente.

En las figuras 43, 44, 45 y 46 se presenta la relación entre la razón de expansión y la vida media obtenidas a los 160°C de temperatura del asfalto, mostrando el óptimo contenido de agua inyectada para cada tipo de asfalto empleado, resultando que al emplear asfalto de PEN 85-100 con zeolita los valores de expansión y vida media son los mayores, cabe resaltar que según la tabla 32, el índice de espumación al emplear la zeolita es el que brindará una capacidad de mezclado muy buena.

En la figura 47 se presenta el resumen general comparativo de la estabilidad en kilogramos que se evaluó empleando el óptimo contenido de agua inyectada y variando el porcentaje de asfalto para obtener los óptimos contenidos de asfalto espumado, observándose que al emplear zeolita se dan los mejores valores de estabilidad que al emplear cemento y cal como aditivos.

En la figura 48 se presenta el resumen general comparativo del flujo en milímetros que se evaluó empleando el óptimo contenido de agua inyectada y variando el porcentaje de asfalto para obtener los óptimos contenidos de asfalto espumado, observándose que al emplear zeolita se dan los mejores valores de flujo dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall.

Finalmente, en las figuras 49 y 50 se presentan los resúmenes generales comparativos de la estabilidad y el flujo obtenidos bajo diferentes temperaturas de mezclado, con el objeto de encontrar la temperatura mínima de mezclado con la que obtengan propiedades de estabilidad y flujo dentro de las limitaciones de la normativa Marshall.

4.7.1. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Mediante un análisis estadístico empleando el programa SPSS Statistics IBM se validarán las bases de datos obtenidos a partir de los resultados obtenidos, mediante el análisis de una correlación bivariada de las variables en estudio se analizaron las pruebas de normalidad de los datos en estudio.

Estos estudios son realizados para la base datos de estabilidad y flujo obtenidos al emplear zeolita y al variar la temperatura de mezclado al realizar el diseño de mezclas asfálticas semi calientes con asfalto espumado.

ESTABILIDAD

En la tabla 37 se tienen los análisis estadísticos realizados a partir de la base de datos generada por la resistencia (kg) obtenida de la mezcla asfáltica espumada con zeolita a distintas temperaturas.

Tabla 37. Cuadro descriptivo de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

		Temperatura de mezclado (°C)		Estadístico	Desv. Error
Estabilidad (kg) - Zeolita	110	Media		593,667	13,4547
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	535,776	
			Límite superior	651,557	
		Media recortada al 5%		.	
		Mediana		599,500	
		Varianza		543,083	
		Desv. Desviación		23,3041	
		Mínimo		568,0	
		Máximo		613,5	
		Rango		45,5	
	Rango intercuartil		.		
	Asimetría		-1,056	1,225	
	Curtosis		.		
	115	Media		704,200	14,3042
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	642,654	
			Límite superior	765,746	
Media recortada al 5%		.			
Mediana		702,900			
Varianza		613,830			
Desv. Desviación		24,7756			
Mínimo		680,1			

	Máximo		729,6	
	Rango		49,5	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,235	1,225
	Curtosis		.	
120	Media		749,267	8,8364
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	711,247	
		Límite superior	787,286	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		747,200	
	Varianza		234,243	
	Desv. Desviación		15,3050	
	Mínimo		735,1	
	Máximo		765,5	
	Rango		30,4	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,597	1,225
	Curtosis		.	
125	Media		809,833	9,2167
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	770,177	
		Límite superior	849,490	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		810,600	
	Varianza		254,843	
	Desv. Desviación		15,9638	
	Mínimo		793,5	
	Máximo		825,4	
	Rango		31,9	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,216	1,225
	Curtosis		.	
130	Media		892,300	14,9923
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	827,793	
		Límite superior	956,807	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		895,700	
	Varianza		674,310	
	Desv. Desviación		25,9675	
	Mínimo		864,8	
	Máximo		916,4	
	Rango		51,6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,579	1,225
	Curtosis		.	
135	Media		966,100	23,0632
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	866,867	
		Límite superior	1065,333	
	Media recortada al 5%		.	

	Mediana		952,800	
	Varianza		1595,730	
	Desv. Desviación		39,9466	
	Mínimo		934,5	
	Máximo		1011,0	
	Rango		76,5	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,332	1,225
	Curtosis		.	
140	Media		1059,500	13,8134
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1000,066	
		Límite superior	1118,934	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1068,400	
	Varianza		572,430	
	Desv. Desviación		23,9255	
	Mínimo		1032,4	
	Máximo		1077,7	
	Rango		45,3	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-1,442	1,225
	Curtosis		.	
145	Media		1112,167	11,9541
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1060,732	
		Límite superior	1163,601	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1106,200	
	Varianza		428,703	
	Desv. Desviación		20,7052	
	Mínimo		1095,1	
	Máximo		1135,2	
	Rango		40,1	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,189	1,225
	Curtosis		.	
150	Media		1158,733	12,9338
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1103,083	
		Límite superior	1214,383	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1161,200	
	Varianza		501,853	
	Desv. Desviación		22,4021	
	Mínimo		1135,2	
	Máximo		1179,8	
	Rango		44,6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,489	1,225
	Curtosis		.	

155	Media		1185,900	19,8840
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1100,346	
		Límite superior	1271,454	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1172,100	
	Varianza		1186,120	
	Desv. Desviación		34,4401	
	Mínimo		1160,5	
	Máximo		1225,1	
	Rango		64,6	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		1,514	1,225
	Curtosis		.	
160	Media		1244,333	14,1431
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	1183,480	
		Límite superior	1305,186	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		1250,000	
	Varianza		600,083	
	Desv. Desviación		24,4966	
	Mínimo		1217,5	
	Máximo		1265,5	
	Rango		48,0	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,985	1,225
	Curtosis		.	

Fuente: Elaboración propia

En la tabla siguiente 38 se puede observar la prueba de normalidad resultante a partir de los datos en evaluación de la estabilidad corregida (kg) con adición de zeolita analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C), teniendo de esta forma 3 ensayos por punto de análisis, reflejando los grados de libertad a considerar por Shapiro – Wilk ($gl > 50$). De acuerdo a los valores de significancia observados en cada una de las temperaturas de mezcla trabajadas se determina una base de datos paramétrica al contar con valores mayores a 0.05 en su significancia, este parámetro será determinante para los análisis estadísticos posteriores.

Tabla 38. Prueba de normalidad de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Pruebas de normalidad

	Temperatura de mezclado (°C)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Estabilidad (kg) - Zeolita	110	,265	3	.	,953	3	,583
	115	,188	3	.	,998	3	,913
	120	,220	3	.	,986	3	,776
	125	,186	3	.	,998	3	,921
	130	,219	3	.	,987	3	,783
	135	,297	3	.	,917	3	,441
	140	,312	3	.	,896	3	,374
	145	,280	3	.	,938	3	,518
	150	,211	3	.	,991	3	,818
	155	,322	3	.	,880	3	,323
	160	,258	3	.	,960	3	,615

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba de normalidad obtenida para la estabilidad corregida (kg) con adición de zeolita analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C), se trabaja con una base de datos normal por lo que la correlación bivariada es evaluada por Pearson para datos de distribución paramétrica. Presentando así un coeficiente de correlación de 0.988 que representa una correlación positiva perfecta, según la correlación de Pearson para datos normales con una significancia menor a 0.05 para los 33 datos en análisis. De esta forma se acepta hipótesis del investigador que afirma la existencia de una correlación entre la resistencia y la temperatura empleando asfalto espumado con zeolita.

Tabla 39. Prueba de correlación de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Correlaciones

		Temperatura de mezclado (°C)	Estabilidad (kg) - Zeolita
Temperatura de mezclado (°C)	Correlación de Pearson	1	,988**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	33	33
Estabilidad (kg) - Zeolita	Correlación de Pearson	,988**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	33	33

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

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 51 el cuadro de dispersión de puntos donde se observa el comportamiento grafico de la estabilidad corregida (kg) con adición de zeolita analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C). Presentando una línea tendencia positiva que exhibe una ecuación polinómica de tercer orden con un coeficiente de ajuste $R^2=0.966$ que representa un valor elevado para el análisis estadístico de la resistencia resultante a temperaturas distintas empleando asfalto espumado con zeolita.

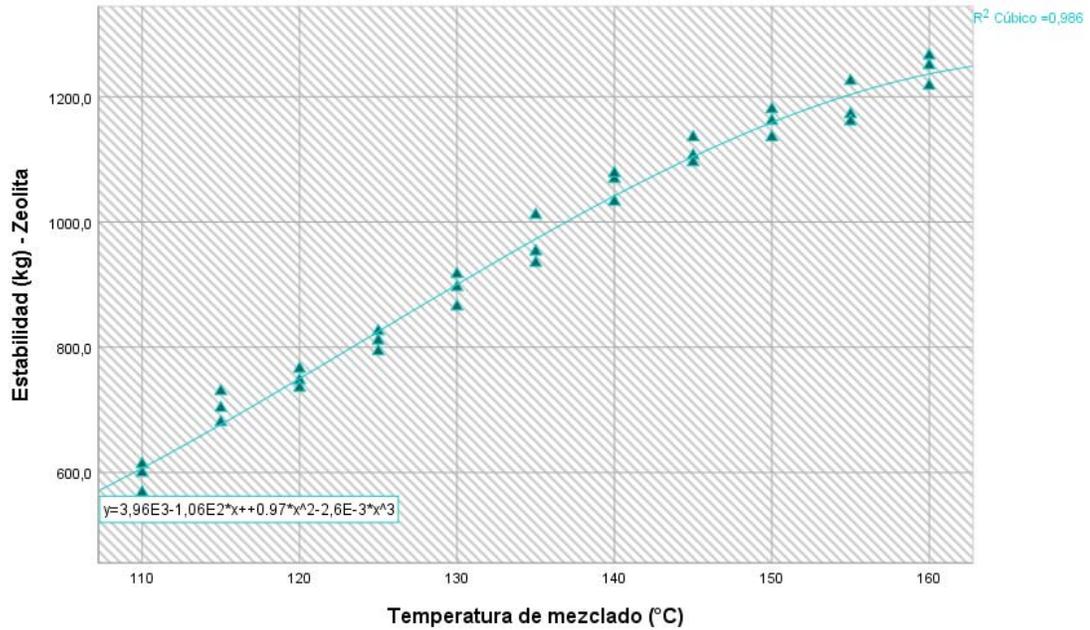


Figura 51. Gráfica de dispersión de la estabilidad (kg) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Fuente: Elaboración propia

FLUJO

En la tabla 40 se presentan los datos descriptivos resultantes del flujo (mm) obtenido con adición de zeolita y analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C). Estos datos estadísticos descriptivos son básicos para analizar la normalidad en la distribución de la base de datos generada y con esto lograr obtener un coeficiente de correlación que valide las hipótesis planteadas por como investigador.

Tabla 40. Cuadro descriptivo del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Descriptivos

Temperatura de mezclado (°C)		Estadístico	Desv. Error		
Flujo (mm) - Zeolita	110	Media	4,1367	,04055	
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,9622	
			Límite superior	4,3111	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	4,1300		
		Varianza	,005		
		Desv. Desviación	,07024		
		Mínimo	4,07		
		Máximo	4,21		
		Rango	,14		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,423	1,225	
		Curtosis	.		
			115	Media	3,9633
95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior			3,7641	
	Límite superior			4,1626	
Media recortada al 5%	.				
Mediana	3,9700				
Varianza	,006				
Desv. Desviación	,08021				
Mínimo	3,88				
Máximo	4,04				
Rango	,16				
Rango intercuartil	.				
Asimetría	-,371			1,225	
Curtosis	.				
	120			Media	3,7767
		95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,6022	
			Límite superior	3,9511	
		Media recortada al 5%	.		
		Mediana	3,7700		
		Varianza	,005		
		Desv. Desviación	,07024		
		Mínimo	3,71		
		Máximo	3,85		
		Rango	,14		
		Rango intercuartil	.		
		Asimetría	,423	1,225	
		Curtosis	.		

125	Media		3,6167	,02603
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,5047	
		Límite superior	3,7287	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,6200	
	Varianza		,002	
	Desv. Desviación		,04509	
	Mínimo		3,57	
	Máximo		3,66	
	Rango		,09	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,331	1,225
	Curtosis		.	.
	130	Media		3,4200
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	3,2817	
		Límite superior	3,5583	
Media recortada al 5%			.	
Mediana			3,4100	
Varianza			,003	
Desv. Desviación			,05568	
Mínimo			3,37	
Máximo			3,48	
Rango			,11	
Rango intercuartil			.	
Asimetría			,782	1,225
Curtosis			.	.
135		Media		3,3333
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1836	
		Límite superior	3,4831	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,3400	
	Varianza		,004	
	Desv. Desviación		,06028	
	Mínimo		3,27	
	Máximo		3,39	
	Rango		,12	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,492	1,225
	Curtosis		.	.
	140	Media		3,2733
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	3,1729	
		Límite superior	3,3737	
Media recortada al 5%			.	
Mediana			3,2800	
Varianza			,002	
Desv. Desviación			,04041	

	Mínimo		3,23	
	Máximo		3,31	
	Rango		,08	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,722	1,225
	Curtosis		.	
145	Media		3,2433	,02603
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1313	
		Límite superior	3,3553	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,2400	
	Varianza		,002	
	Desv. Desviación		,04509	
	Mínimo		3,20	
	Máximo		3,29	
	Rango		,09	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,331	1,225
	Curtosis		.	
150	Media		3,2167	,02028
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1294	
		Límite superior	3,3039	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,2200	
	Varianza		,001	
	Desv. Desviación		,03512	
	Mínimo		3,18	
	Máximo		3,25	
	Rango		,07	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,423	1,225
	Curtosis		.	
155	Media		3,1800	,01732
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,1055	
		Límite superior	3,2545	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,1800	
	Varianza		,001	
	Desv. Desviación		,03000	
	Mínimo		3,15	
	Máximo		3,21	
	Rango		,06	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		,000	1,225
	Curtosis		.	

160	Media		3,1033	,02333
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	3,0029	
		Límite superior	3,2037	
	Media recortada al 5%		.	
	Mediana		3,1100	
	Varianza		,002	
	Desv. Desviación		,04041	
	Mínimo		3,06	
	Máximo		3,14	
	Rango		,08	
	Rango intercuartil		.	
	Asimetría		-,722	1,225
	Curtosis		.	.

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 41 se puede observar la prueba de normalidad resultante a partir de los datos del flujo (mm) obtenido con adición de zeolita y analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C), teniendo de esta forma 3 ensayos por punto de análisis, reflejando los grados de libertad a considerar por Shapiro – Wilk (gl >50). De acuerdo a los valores de significancia observados en cada una de las temperaturas de mezcla trabajadas se determina una base de datos paramétrica al contar con que todos los valores son mayores a 0.05 en sus significancias, este parámetro será determinante para los análisis estadísticos siguientes.

Tabla 41. Prueba de normalidad del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Pruebas de normalidad

	Temperatura de mezclado (°C)	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Flujo (mm) - Zeolita	110	,204	3	.	,993	3	,843
	115	,200	3	.	,995	3	,862
	120	,204	3	.	,993	3	,843
	125	,196	3	.	,996	3	,878
	130	,238	3	.	,976	3	,702
	135	,211	3	.	,991	3	,817
	140	,232	3	.	,980	3	,726
	145	,196	3	.	,996	3	,878
	150	,204	3	.	,993	3	,843
	155	,175	3	.	1,000	3	1,000
	160	,232	3	.	,980	3	,726

a. Corrección de significación de Lilliefors

Fuente: Elaboración propia

Según la prueba de normalidad obtenida para el flujo (mm) con adición de zeolita analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C), se trabaja con una base de datos normal por lo que la correlación bivariada es evaluada por Pearson para datos de distribución paramétrica. Presentando así un coeficiente de correlación de -0.939 que representa una correlación negativa perfecta, según la correlación de Pearson para datos normales se presenta una significancia menor a 0.05 para los 33 datos en análisis. De esta forma se acepta hipótesis del investigador que afirma la existencia de una correlación entre el flujo y la temperatura de mezcla empleando asfalto espumado con zeolita.

Tabla 42. Prueba de correlación del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Correlaciones

		Temperatura de mezclado (°C)	Flujo (mm) - Zeolita
Temperatura de mezclado (°C)	Correlación de Pearson	1	-,939**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	33	33
Flujo (mm) - Zeolita	Correlación de Pearson	-,939**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	33	33

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

Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se presenta en la figura 52 el cuadro de dispersión de puntos donde se observa el comportamiento grafico del flujo (mm) con adición de zeolita analizada a distintas temperaturas de mezcla (°C). Presentando una línea tendencia negativa que exhibe una ecuación polinómica de tercer orden con un coeficiente de ajuste $R^2=0.975$ que representa un valor elevado para el análisis estadístico de la deformación resultante a temperaturas distintas de mezcla empleando asfalto espumado con zeolita.

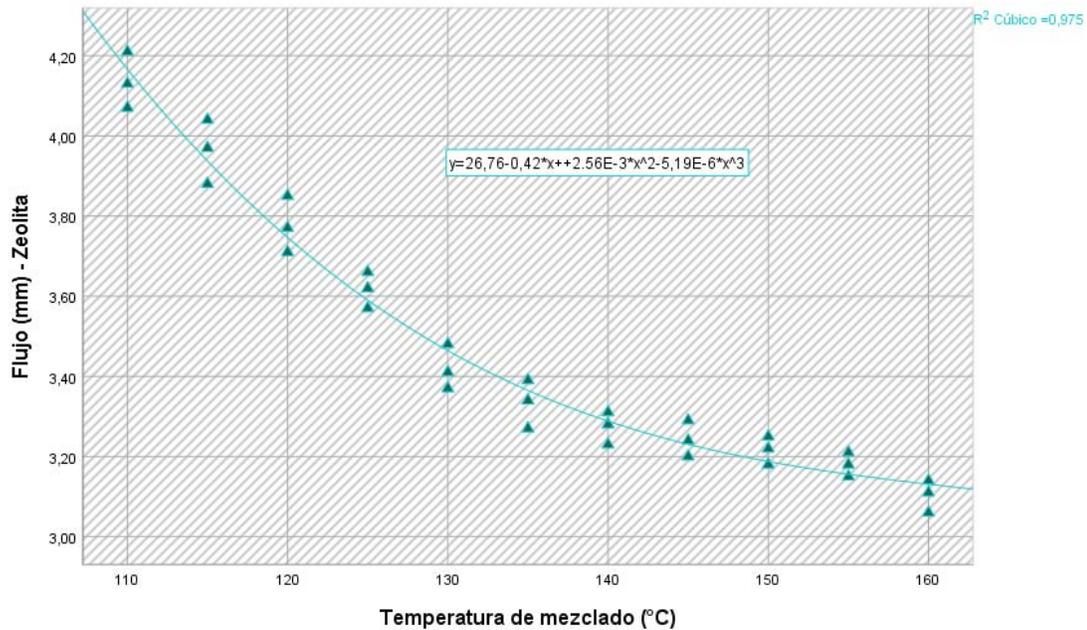


Figura 52. Gráfica de dispersión del flujo (mm) al emplear zeolita a diferentes temperaturas

Fuente: Elaboración propia

4.7.2. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Mediante un contraste sobre los resultados obtenidos en la presente investigación con los antecedentes más relevantes tomados como fuente de información útil, se tiene que acerca de la aplicación de los distintos tipos de filler que optimizan las propiedades mecánicas y el espumado de las mezclas asfálticas semi calientes en contraste con el antecedente nacional más relevante de (Flores Gonzales & Rojas Pardo, 2019) se encuentra una diferencia representativa que mediante la aplicación de tensoactivos se logró bajar la temperatura de mezcla hasta 120°C con una muy buena trabajabilidad de la mezcla asfáltica y con la aplicación del espumado del ligante asfáltico se consiguió bajar la temperatura de mezcla hasta los 130°C. Presentando una diferencia de 10°C que compensan por mucho los costos

que genera la aplicación de este aditivo industrializado (tensoactivos) y la aplicación de la metodología LEA para espumar el asfalto consiguiendo resultados similares.

Respecto del grado de expansión generado en el asfalto espumado ante la aplicación de distintos tipos de filler en contraste con el antecedente nacional más relevante de (Ccoyllo Huamán, 2019) se encuentra que sobre el grado expansión obtenido en el antecedente bajo una tentativa en aplicación de maquinaria especializada para generar el espumado en la mezcla asfáltica en caliente. Se encuentra que una razón de expansión mayor con la aplicación de la maquinaria especializada (antecedente) que con la metodología LEA estudiada en la presente investigación que obtuvo una máxima razón de expansión con Zeolita (11.9) que puede llegar a plantearse como una propuesta mucho más práctica, debido a que la aplicación de la metodología LEA no requiere el empleo de máquinas costosas que pueden llegar a ser muy complicadas de adquirir.

Del mismo modo se presenta que respecto de la aplicación de los distintos tipos de filler y su efecto en la estabilidad de la mezcla asfáltica semi caliente propuesta en contraste con el antecedente internacional más relevante de (Rodriguez Rojas & Sanchez Morales, 2016) se encuentra que la estabilidad presenta tendencias superiores con la aplicación de la metodología LEA para el espumado del asfalto, en comparación con la aplicación de escoria para llegar a mezclas asfálticas tibias (antecedente).

Finalmente, se presenta que respecto de la aplicación de los distintos tipos de filler y su efecto en el flujo de la mezcla asfáltica semi caliente propuesta en contraste con el antecedente internacional más relevante de (Rodriguez Rojas & Sanchez Morales, 2016) se encuentra que el flujo se mantiene en los límites normativos mediante la generación de la mezcla asfáltica tibia en ambas investigaciones.

CONCLUSIONES

1. Se puede concluir que, la muestra de asfalto con zeolita es la que brinda un mayor grado de expansión en comparación al empleo de los otros filler. Las propiedades importantes con las que se caracteriza a un asfalto espumado son la razón de expansión y la vida media, y estos se determinaron variando la temperatura del asfalto a 160°C, 170°C y 180°C. La razón de expansión es el indicador de que tan bien se dispersará el asfalto obtenido en la mezcla, es por ello que es importante que su valor mínimo sea de 8 veces y la vida media es el indicador de la estabilidad de la espuma, lo que nos indica el tiempo de colapso de esta, por ello es importante que su valor mínimo sea de 6 segundos. En los resultados obtenidos al variar la temperatura de ensayo se obtuvo que a 170°C y 180°C el asfalto espumado presenta valores bajos de expansión y vida media a comparación de los resultados obtenidos con el asfalto a 160°C. Al analizar el empleo del asfalto PEN 85-100 sin filler y al emplear los filler a 160°C, resultó que al emplear asfalto de PEN 85-100 más 1% de cemento la expansión promedio es de 7.9 veces, la vida media de 8.4 segundos y el índice de espumación de 73.3, valores muy bajos que nos indican que la capacidad de mezclado con este filler sería mala a moderada, por otro lado, los resultados obtenidos al emplear asfalto de PEN 85-100 más el 1% de zeolita son de 11.9 veces la expansión, 11.4 segundos la vida media y el índice de espumación es de 157.7 lo que nos indica que la capacidad de mezclado será de buena a muy buena, y concluyendo con que el grado de expansión del asfalto espumado a 160°C generado por la zeolita es de 6.68% en comparación de no emplear filler.
2. La estabilidad, de acuerdo a los diferentes tipos de filler empleados en la mezcla asfáltica semicaliente elaborada con asfalto espumado, es elevada y el emplear filler en el diseño con asfalto espumado hace que se presenten propiedades mecánicas óptimas para la mezcla. Estos diseños se realizaron teniendo en cuenta el óptimo contenido de agua inyectada por cada filler para obtener valores de expansión del asfalto que mejore las propiedades mecánicas de la mezcla. Resultando que cuando se emplea zeolita como filler

el óptimo contenido de asfalto espumado es de 5.25% y la mayor estabilidad es de 1254.7 kg, 4% más que al emplear cal hidratada y 5.8% más que al emplear cemento. Por lo que se concluye que el empleo de la zeolita como filler en el diseño de la mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado brinda el mayor valor de estabilidad siendo 12.45% mayor que la estabilidad de la muestra control, que es de 1100.8 kg.

3. El flujo, de acuerdo a los diferentes tipos de filler empleados en la mezcla asfáltica semicaliente elaborada con asfalto espumado, permanece dentro de los límites establecidos en la normativa Marshall y el emplear filler en el diseño con asfalto espumado hace que se presenten propiedades mecánicas óptimas para la mezcla. Estos diseños se realizaron teniendo en cuenta el óptimo contenido de agua inyectada para mejorar las propiedades mecánicas de la mezcla. Resultando que cuando se emplea zeolita como filler para el óptimo contenido de asfalto espumado de 5.25% el flujo es de 3.10 mm, al emplear cal hidratada para su óptimo contenido de asfalto espumado de 5.51% el flujo es de 3.22 mm y al emplear cemento para su óptimo contenido de asfalto de 5.81% el flujo es de 3.29 mm. Por lo que se concluye que el empleo de la zeolita en el diseño de la mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado brinda el menor valor de fluidez, siendo 9.9% menos que el flujo de la muestra control y permaneciendo dentro de los límites, lo que hará que mejore su propiedad de deformación ante cargas elevadas de tránsito.
4. Para optimizar las propiedades mecánicas de una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado no sólo es necesario determinar el óptimo contenido de agua y el óptimo contenido de asfalto espumado, también es importante verificar la trabajabilidad de la mezcla a menores temperaturas que requiere una mezcla asfáltica semicaliente. Para ello al realizar la evaluación de las propiedades de estabilidad y flujo en una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado variando la temperatura de mezclado de 110°C a 160°C a cada 5°C se pretendía determinar a qué temperatura estas propiedades no se verán afectadas y cumplirán con los requerimientos de la normativa Marshall, a la vez que se evaluará con que filler se obtienen los mejores

resultados a menores temperaturas. Obteniendo así que para nuestra muestra control, con la que no se empleó algún tipo filler, la estabilidad es mayor al mínimo por completo cuando se trabaja con 145°C, al emplear cemento y cal hidratada es mayor al mínimo a los 135°C, mientras que al emplear zeolita a los 130°C de temperatura de mezclado los resultados de estabilidad son mayores al mínimo. Por otro lado, al medir la fluencia de la mezcla al variar la temperatura se obtuvo que la muestra control está dentro de los límites sólo a los 160°C, al emplear cemento se requiere trabajar a 140°C para que se encuentre dentro de los límites, al emplear cal hidratada 130°C y al emplear zeolita se requiere de 125°C de mezclado. Concluyendo así que el empleo de la zeolita mejora las propiedades de estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado diseñada, reduciendo su temperatura de mezclado a 130°C, lo que significa que reducirá la emisión de gases y al comprobarse que sus propiedades mecánicas cumplen con los requerimientos de la normativa Marshall la mezcla obtenida presentará mejor comportamiento a las bajas temperaturas de la ciudad de Huancayo.

RECOMENDACIONES

1. Se encontró una mejora en la mezcla asfáltica diseñada al emplear el sistema LEA en los ensayos de asfalto espumado, es por ello que se recomienda emplear otras técnicas de asfalto espumado como el sistema Wam Foam Shell y Astec doble barrel, para poder generar una comparación entre estas distintas técnicas de asfalto. En esta investigación no se pudo emplear otros sistemas de asfalto espumado debido a que no hay disponibilidad de los equipos tecnológicos en el país.
2. La estabilidad es una propiedad importante que se obtuvo para el diseño de la mezcla asfáltica con distintos tipos de filler, por lo que se recomienda realizar más ensayos que nos permitan determinar otras propiedades de las mezclas como el comportamiento de la viscosidad y cómo afecta el agua a la mezcla diseñada, mediante el ensayo de superpave empleando zeolita como filler, el ensayo de ahuellamiento, el ensayo de módulos, ensayo de envejecimiento y ensayos de desempeño, el cual no se pudo realizar en la investigación debido a la falta de disponibilidad de los equipos necesarios para este ensayo.
3. Se recomienda emplear distintos tipos de asfalto como el PEN 40-50, recomendado para climas calientes, y el PEN 120-150, recomendado para climas extremadamente fríos, para espumar estos asfaltos y obtener una comparación de sus características, además de emplear un ensayo de emisión de gases (LEA) y comparar los resultados.
4. Al realizar ensayos variando la temperatura de una mezcla asfáltica semicaliente con asfalto espumado, se recomienda modificar el asfalto con aceites, parafinas, ceras o tensoactivos, para ampliar la investigación de niveles de espumación en asfaltos modificados ante variaciones de temperaturas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Application of zeolites as fillers in mix asphalt. **Bandura, Lidia, Panek, Rafal y Wozuk, Agnieszka. 2015.** 2015, Budownictwo i Architektura.

Arias, Fidias. 2006. El proyecto de Investigación . Caracas - Venezuela : Texto c.a., 2006.

Aulestia Viscarra, Shane Alexander y Chávez Romero, Samuel Francisco. 2017. Comparación de propiedades y características mecánicas entre una mezcla asfáltica en caliente normal y una mezcla asfáltica en caliente modificada con polímeros (tapas plásticas de botellas) por vía seca. Quito : Pontificia Universidad Católica del Ecuador, 2017.

Bernal Torres, César Augusto. 2010. Metodología de la investigación. Colombia : Pearson Educación, 2010.

Carrasco Díaz, Sergio. 2005. Metodología de la investigación científica. Lima : San Marcos, 2005.

Chuman Aguirre, Jorge Manuel. 2016. Reutilización de pavimento flexible envejecido mediante el empleo de una planta procesadora de mezcla asfáltica en caliente para pavimentos en Huancayo 2016. Huancayo : Universidad Peruana Los Andes, 2016.

Como influye el grado de compactación a una capa de pavimento flexible. **Hernández Cabrera, Gerardo Hamid y Ramirez Rodriguez, Fernando. 2010.** 2010, Programa de Ingeniería civil, Universidad Católica de Colombia.

Gomez Bastar, Sergio. 2012. Metodología de la investigación. Estado de México : Ma. Eugenia Buendía López, 2012.

Guía de diseño para materiales estabilizados con asfalto. **Múnera Miranda, Juan Carlos y Ulloa Calderón, Andrea. 2020.** Costa Rica : LanammeUCR, 2020.

Hernández Sampieri, Roberto. 2014. Metodología de la investigación. México D.F. : McGraw-Hill, 2014.

Lizárraga López, José Manuel. 2019. Mechanical performance of half-warm mix recycled asphalt mixtures containing total rates of reclaimed asphalt pavement for their use in road pavements. Madrid : Universidad Politécnica de Madrid, 2019.

Low-Energy Asphalt with Performance of Hot-Mix Asphalt. **Romier, Alain, y otros. 2005.** 2005, Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board.

Mejía Mejía, Elías. 2005. Metodología de la investigación científica. Lima : Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Unidad de Postgrado, 2005.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones. 2013. Especificaciones Técnicas Generales para la Construcción - Manual de Carreteras EG-2013. Lima : s.n., 2013.

Ministerio de Transportes y Comunicaciones. 2016. Manual de Ensayo de Materiales. Lima : MTC, 2016.

Monje Álvarez, Carlos Arturo. 2011. Metodología de la investigación cuantitativa y cualitativa. Neiva : Universidad Surcolombiana, 2011.

Nesterenko Cortes, Darko. 2018. Desempeño de suelos estabilizados con polímeros en Perú. Lima : Universidad de Piura, 2018.

Nuevo procedimiento para evaluar el comportamiento a fatiga en pavimentos asfálticos a través del ensayo Fénix. **Botella N., Ramón, Pérez Jiménez, Félix y Valdés V., Gonzalo A. 2013.** 2013, Ingeniare. Revista chilena de ingeniería.

Ñaupas Paitan, Humberto, y otros. 2014. Metodología de la investigación. Bogotá : s.n., 2014.

Ruiz Ramírez, Cristian Camilo y Urrego Aguilera, Edward Camilo. 2016. Determinación de la adherencia en mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos convencionales y materiales de peña y río. Bogotá D.C. : Universidad Católica de Colombia, 2016.

Universidad Nacional de Ingeniería. 2006. Diseño Moderno de Pavimentos Asfálticos. Lima : Instituto de Construcción y Gerencia, 2006.

Vargas Cordero, Zoila Rosa. 2009. LA INVESTIGACIÓN APLICADA: UNA FORMA DE CONOCER LAS REALIDADES CON EVIDENCIA CIENTÍFICA. San José, Costa Rica : Universidad de Costa Rica, 2009.

Wirtgen. 2004. Manual de Reciclado en frío. Windhagen : Wirtgen GmbH., 2004.

Zeolite as additive in warm mix asphalt. **Marinkovic, Milan, Milovic, Tiana y Matic, Bojan. 2017.** Serbia : Contemporary achievements in civil engineering, 2017.

ANEXOS

ANEXO 1. PANEL FOTOGRÁFICO

A. ENSAYO DE ASFALTO ESPUMADO

Anexo N° 1.1. ELABORACIÓN DE ASFALTO ESPUMADO

Se usarán recipientes de medición, para colocar 50ml de asfalto de PEN 85 – 100 que se empleará para la elaboración del asfalto espumado.



Anexo N° 1.2. ESTIMACIÓN DEL PESO DEL AGUA A INYECTAR

Empleando vasos de precipitación se pesará el 1%, 2%, 3% y 4% del peso del asfalto de PEN 85-100 separado en los recipientes de medición, teniendo en cuenta que se ensayarán tres muestras por cada porcentaje de agua.



Anexo N° 1.3. MUESTRAS DE ASFALTO DE PEN 85-100

Se trabajarán con muestras de asfalto de PEN 85-100.



Anexo N° 1.4. ASFALTO VARIANDO LA TEMPERATURA DE 160°C A 180°C

Se colocarán las muestras de asfalto de PEN 85-100 al horno para después inyectar el 1% al 4% de agua.



Anexo N° 1.5. COLOCACIÓN DE ASFALTO EN RECIPIENTES

Se colocarán las muestras de asfalto en los recipientes de medición.



Anexo N° 1.6. ELABORACIÓN DE ASFALTO ESPUMADO (se variará la temperatura de 160°C a 180°C) – cálculo de la expansión

Al tener el asfalto de PEN 85-100 calentado se inyectará el agua (variando del 1% al 4%), se calculará el volumen al llegar el asfalto a su máxima expansión y después se esperará a que el volumen se reduzca a la mitad de la máxima expansión que alcanzó.



Anexo N° 1.7. ELABORACIÓN DE ASFALTO ESPUMADO (se variará la temperatura de 160°C a 180°C) – cálculo de la vida media

El proceso desde la inyección del agua será grabado y cronometrado, para estimar el tiempo que el asfalto de PEN 85-100 tomó alcanzar la máxima expansión y el tiempo que transcurrió hasta que el asfalto espumado se redujo a la mitad de la máxima expansión.



Anexo N° 1.8. ELABORACIÓN DE ASFALTO ESPUMADO - PEN 85-100 + 1% ZEOLITA empleando 1% al 4% de agua inyectada

Se repetirá el proceso de inyección de agua con el 1%, 2%, 3% y 4% para el asfalto de PEN 85-100 más zeolita variando la temperatura de 160°C a 180°C para estimar los valores de expansión y vida media.



Anexo N° 1.9. ELABORACIÓN DE ASFALTO ESPUMADO - PEN 85-100 + 1% CAL HIDRATADA empleando 1% al 4% de agua inyectada

Se repetirá el proceso de inyección de agua con el 1%, 2%, 3% y 4% para el asfalto de PEN 85-100 más cal hidratada variando la temperatura de 160°C a 180°C para estimar los valores de expansión y vida media.



Anexo N° 1.10. ELABORACIÓN DE ASFALTO ESPUMADO - PEN 85-100 + 1% CEMENTO empleando 1% al 4% de agua inyectada

Se repetirá el proceso de inyección de agua con el 1%, 2%, 3% y 4% para el asfalto de PEN 85-100 más cemento variando la temperatura de 160°C a 180°C para estimar los valores de expansión y vida media.



B. CARACTERIZACIÓN DE LOS FILLER

Anexo N° 1.11. APLICACIÓN DEL ENSAYO MTC E 205 PARA DISTINTOS TIPOS DE FILLER

Según las especificaciones del MTC E 205 (Gravedad específica y absorción de agregados finos), se pesarán 3 muestras de 500 gr. por cada tipo de filler para realizar el ensayo de gravedad específica y absorción.



C. ENSAYO DE GRANULOMETRÍA

Anexo N° 1.12. MUESTRA DE AGREGADOS: ARENAS Y PIEDRAS QUE CUMPLAN CON ESPECIFICACIONES DE MTC E 201

Se emplearán 3 Kg. de piedra de 1/2" y 1500 g. de muestra de arena procesada y arena natural, se realizará el muestreo según el MTC E 201 (Muestreo para materiales de construcción).



Anexo N° 1.13. TAMICES ESPECIFICADOS EN EL MTC E 204

Se realizará el tamizado de las muestras de piedra y arena empleando los tamices que cumplen las especificaciones del MTC E 204 (Análisis granulométrico de agregados gruesos y finos): 1", 3/4", 1/2", 3/8", N°4, N°8, N°10, N° 16, N°30, N°40, N°50, N°80, N°100, N°200, tapa y fondo.



Anexo N° 1.14. DETERMINACIÓN DE PESO DE MUESTRAS

Empleando balanzas con aproximación de 0.1g para muestras de arena y balanzas con aproximación de 0.5g para muestras de piedra, se obtendrán los pesos retenidos para cada tamiz.



D. PREPARACIÓN DE LAS BRIQUETAS POR EL MÉTODO MARSHALL

Anexo N° 1.15. PREPARACIÓN DE MUESTRAS DE ARENA Y PIEDRA

Se conseguirán las cantidades de cada porción de muestras requeridas para obtener las briquetas de acuerdo a la combinación MAC-2, y se calentarán los agregados a 25°C, según se recomienda en el Manual de reciclaje en frío Resansil, para una buena trabajabilidad con el asfalto espumado.



Anexo N° 1.16. PREPARACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA SEMICALIENTE

Habiendo calentado el ligante asfáltico a una temperatura de 160 °C, se procede a inyectar el porcentaje de agua óptimo por cada filler empleado para mezclarlo con el agregado a 25°C, variando el porcentaje del ligante asfáltico empleado según las combinaciones teóricas realizadas.



Anexo N° 1.17. COLOCACIÓN DE ESPECÍMENES EN EL MOLDE PARA LA COMPACTACIÓN

Al limpiar completamente los moldes y la cara del pisón de compactación, calentándolos en baño María a la misma temperatura del asfalto, se emplea papel filtro y se coloca la muestra en el molde y se chuseará la muestra con una varilla calentada para uniformizar la mezcla.



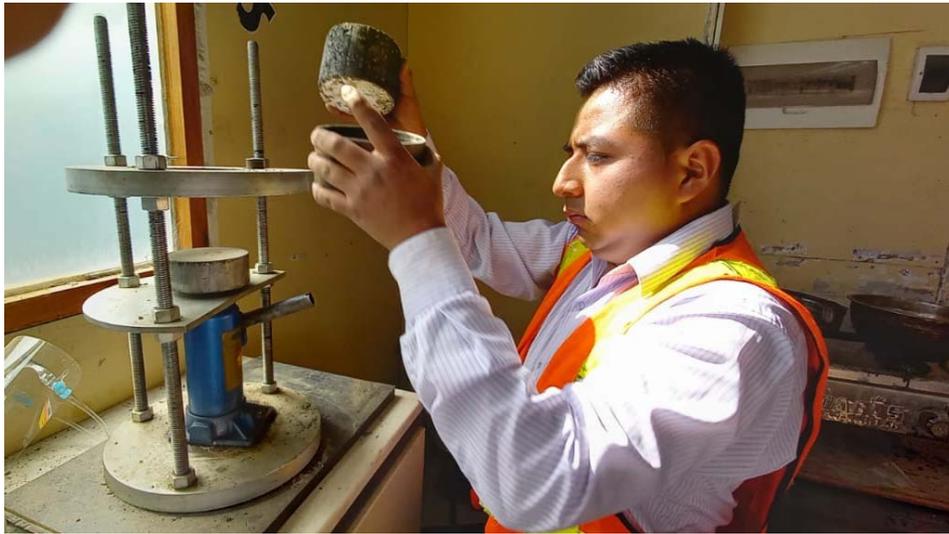
Anexo N° 1.18. COMPACTACIÓN DE BRIQUETAS SEGÚN EL MTC E 504

Se colocará el molde obtenido en un pedestal de compactación y se aplicarán 75 golpes con el pisón de compactación de manera que toda la mezcla quede correctamente compactada, se dará vuelta y se repetirá el proceso.



Anexo N° 1.19. DESMOLDE Y ROTULACIÓN DE BRIQUETAS OBTENIDAS

Al dejar que los especímenes en los moldes enfríen a temperatura ambiente se desmoldarán con cuidado de no tener pérdida de muestra y se rotularan de acuerdo al filler y el porcentaje de asfalto empleado al elaborar cada briqueta.



Anexo N° 1.20. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LAS BRIQUETAS

Empleando el aparato de Marshall se colocarán las briquetas obtenidas en un cabezal a 40°C de temperatura, se aplicará una carga a cada briqueta y se tomarán las lecturas de los diales, es necesario grabar el ensayo para obtener el registro de la data obtenida sin errores.



Anexo N° 1.21. PESO SATURADO SUPERFICIALMENTE SECO DE LAS BRIQUETAS

Tras colocar en baño María las briquetas por treinta minutos, se obtendrá el peso saturado de las briquetas al realizar un secado superficial de éstos.



Anexo N° 1.22. PESO DE LOS ESPECÍMENES SUMERGIDOS EN AGUA

Después de obtener los pesos de los especímenes saturados superficialmente secos, empleando una cesta se determinará el peso de estos especímenes sumergidos en agua.



Anexo N° 1.23. PESO EN SECO DE LOS ESPECÍMENES

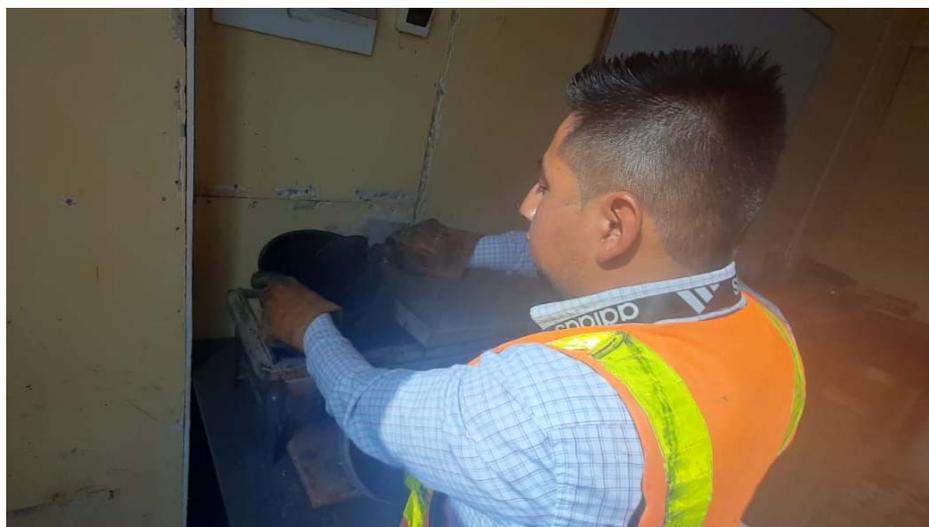
Se pasará a realizar el secado de forma constante, empleando un horno, de los especímenes en estado de saturación, para obtener el peso en seco.



E. MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES VARIANDO LA TEMPERATURA DE MEZCLADO

Anexo N° 1.24. ELABORACIÓN DE BRIQUETAS CON ASFALTO PEN 85-100 Y FILLERS VARIANDO LA TEMPERATURA DE MEZCLADO DE 110°C A 160°C

Se elaborarán briquetas empleando asfalto de PEN 85-100 variando la temperatura de mezclado de 110°C a 160°C a cada 5°C.



Anexo N° 1.25. DESMOLDE Y ROTULACIÓN DE BRIQUETAS OBTENIDAS A 110°C – 160°C DE MEZCLADO

Al dejar que los especímenes en los moldes enfríen a temperatura ambiente, se desmoldarán con cuidado de no tener pérdida de muestra y se rotularán de acuerdo a la temperatura de mezclado al elaborar cada briqueta y de acuerdo al filler empleado.



Anexo N° 1.26. ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO DE LAS BRIQUETAS OBTENIDAS A 110°C – 160°C DE MEZCLADO

Empleando el aparato de Marshall se colocarán las briquetas en un cabezal, se aplicará una carga a cada briqueta y se tomarán las lecturas de los diales, se grabará el ensayo para obtener el registro de la data obtenida sin errores.



ANEXO 2. CERTIFICADOS DE ENSAYOS



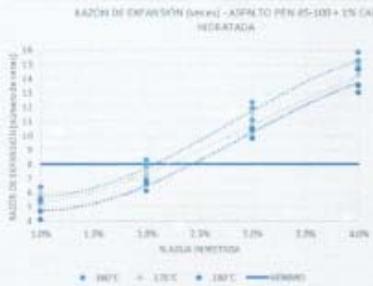
CUE-CP-ASF-00081

LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

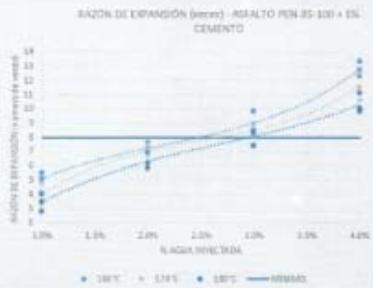
PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUASCAYO 2021
PROVINCIA : HUASCAYO
CLIENTE : FLORES QUINCHO BERGHO AUGUSTO
FECHA : 09-06-21
CANTERA : MAT AIBOAM
MUESTRA : MAP-0003MAP-0004

ENSAYO DE ASFALTO ESPUMADO
RAZÓN DE EXPANSIÓN (número de veces)

PEN 85 - 100 + 1% DE CAL IL			
% AGUA INYECTADA	TEMPERATURA		
	160°C	170°C	180°C
1%	5.6	5.3	4.7
	5.2	4.6	5.4
	6.4	6.0	4.1
2%	7.9	7.7	6.1
	8.3	7.0	6.6
	7.1	7.4	6.8
3%	11.9	10.7	10.4
	11.1	10.1	9.8
	12.3	11.5	10.5
4%	15.8	14.2	13.0
	15.2	13.4	14.6
	14.8	14.7	13.5



PEN 85 - 100 + 1% DE CEMENTO			
% AGUA INYECTADA	TEMPERATURA		
	160°C	170°C	180°C
1%	5.5	4.1	3.5
	5.1	3.3	2.8
	4.7	4.7	4.0
2%	7.6	7.0	6.2
	7.2	7.4	6.9
	6.9	6.7	5.8
3%	9.8	8.1	8.3
	8.9	8.5	7.4
	8.3	8.9	8.5
4%	13.3	10.6	10.0
	12.5	11.5	9.8
	12.7	12.5	11.1



Juan Ernesto Tejada Diaz
COLDFIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

CUE-CP-ASF-00181



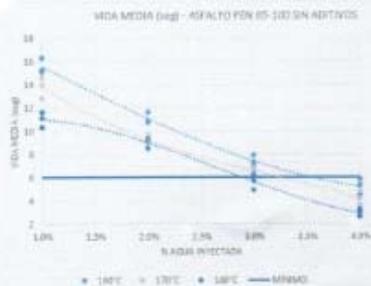


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

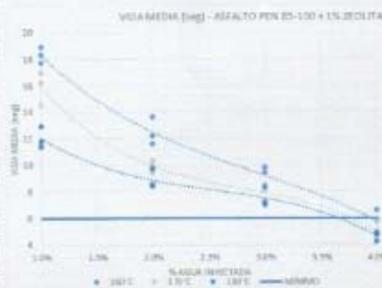
PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUINCHO SERRIO AUGUSTO
FECHA : 05/06/21
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA : MAP-0001-MAP-0002

ENSAYO DE ASFALTO ESPUMADO
VIDA MEDIA (segundos)

%	PEN 85 - 100 SIN FILLER		
	TEMPERATURA		
% AGUA INYECTADA	160°C	170°C	180°C
1%	15.1	12.8	11.6
	16.3	14.6	11.1
	15.3	14.0	10.2
2%	10.9	9.1	9.3
	11.6	9.7	9.2
	10.7	8.9	8.5
3%	7.9	6.8	5.7
	7.3	6.6	4.9
	7.0	6.2	6.2
4%	5.3	4.8	3.2
	4.5	4.1	2.9
	5.8	3.6	2.6



%	PEN 85 - 100 + 1% DE ZEOLITA		
	TEMPERATURA		
% AGUA INYECTADA	160°C	170°C	180°C
1%	18.3	14.5	12.9
	18.9	17.0	11.8
	17.7	16.2	11.4
2%	12.2	10.0	8.4
	13.6	10.3	9.7
	11.6	9.4	8.5
3%	9.8	8.5	8.3
	9.4	8.0	7.2
	8.4	7.2	7.0
4%	5.9	5.7	4.7
	4.8	4.9	4.2
	6.6	4.3	4.9



Juan Ernesto Tejada Diaz
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETOS Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

QUE-CT-ASF-00103



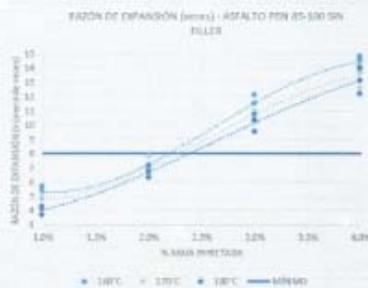


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

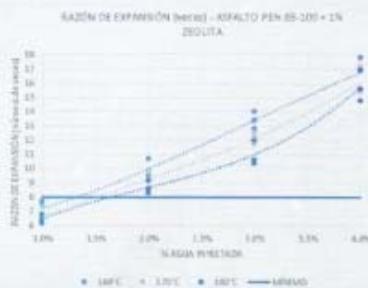
PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALDENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUINCHO SERGIO AUGUSTO
FECHA : 05/06/21
CANTERA : MATAFUARE
MUESTRA : MAP-0001 MAP-0002

ENSAYO DE ASFALTO ESPUMADO
RAZÓN DE EXPANSIÓN (número de veces)

PEN 85 - 100 SIN FILLER			
% AGUA INYECTADA	TEMPERATURA		
	160°C	170°C	180°C
1%	5.4	5.1	3.7
	4.8	4.1	4.3
	5.7	4.9	4.1
2%	7.2	6.8	6.7
	7.9	7.8	7.1
	6.7	6.5	6.3
3%	11.5	10.9	10.3
	11.0	10.4	9.5
	12.1	11.0	10.7
4%	14.8	13.6	13.1
	13.9	12.6	12.2
	14.5	14.3	14.0



PEN 85 - 100 + 1% DE ZEOLITA			
% AGUA INYECTADA	TEMPERATURA		
	160°C	170°C	180°C
1%	7.4	6.2	6.4
	6.6	6.6	6.8
	7.7	7.3	6.2
2%	10.7	9.8	8.3
	9.5	8.7	9.2
	9.8	9.3	8.6
3%	12.8	12.2	10.6
	13.4	12.5	12.0
	14.0	11.7	10.4
4%	17.0	15.6	15.6
	17.8	15.4	14.8
	15.5	17.2	16.9



Juan Ernesto Tejada Díaz
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DÍAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.



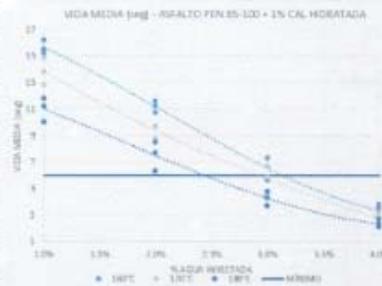


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

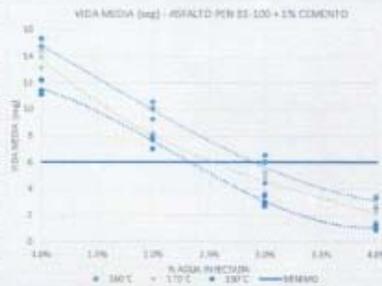
PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLAVIO QUINCHO SIBERO AGUIRRE
FECHA : 09/06/21
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA : MAP-0003/MAF-0004

ENSAYO DE ASFALTO ESPUMADO
VIDA MEDIA (segundos)

PEN 85-100 + 1% CAL HIDRATADA			
% AGUA INYECTADA	TEMPERATURA		
	160°C	170°C	180°C
1%	15.5	12.8	11.8
	16.2	14.8	11.2
	15.2	13.8	10.0
2%	11.6	9.7	7.7
	11.2	9.6	8.5
	10.7	8.8	6.3
3%	7.3	6.7	4.3
	6.7	5.9	3.7
	5.6	4.6	4.8
4%	3.8	3.2	2.3
	2.8	2.8	2.1
	3.5	2.2	2.7



PEN 85-100 + 1% DE CEMENTO			
% AGUA INYECTADA	TEMPERATURA		
	160°C	170°C	180°C
1%	14.7	13.1	12.2
	15.3	14.4	11.4
	14.4	13.9	11.1
2%	10.0	8.1	8.0
	10.5	8.2	7.7
	9.2	7.8	7.0
3%	6.5	5.2	3.5
	6.0	4.8	3.0
	4.4	3.7	2.7
4%	3.3	2.8	1.3
	2.6	2.2	1.1
	3.4	1.5	0.9



Juan Armesto Trujada Diaz
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ARMESTO TRUJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

📞 949645523

📞 959202329

🌐 www.coldfixperu.com

✉ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.





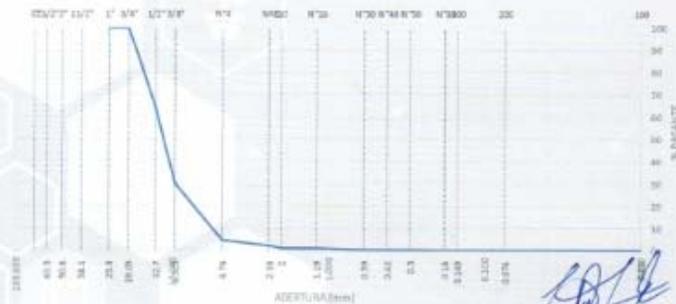
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUINCHO SERGIO AJUSTO
FECHA : 10-06-21
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA : MAP-0008

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

PIEDRA (1/2")					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumad.	% Pasante
Tamaño	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.400	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	1083.00	36.10	36.10	63.90
3/8"	9.525	1011.00	33.70	69.80	30.20
No4	4.763	764.40	25.48	95.28	4.72
No8	2.381	74.10	2.47	97.75	2.25
No10	1.905	33.90	1.13	98.88	1.12
No16	1.191	7.50	0.25	99.13	0.87
No30	0.595	10.50	0.33	99.48	0.52
No40	0.425	3.30	0.11	99.59	0.41
No50	0.298	1.20	0.04	99.63	0.37
No60	0.179	4.40	0.16	99.79	0.21
No100	0.149	1.50	0.05	99.84	0.16
No200	0.075	1.40	0.06	99.90	0.10
<No200		3.00	0.10	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA		3000.00	gr		

CURVA GRANULOMÉTRICA



[Signature]
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN CRISTÓBAL TELADA DÍAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.





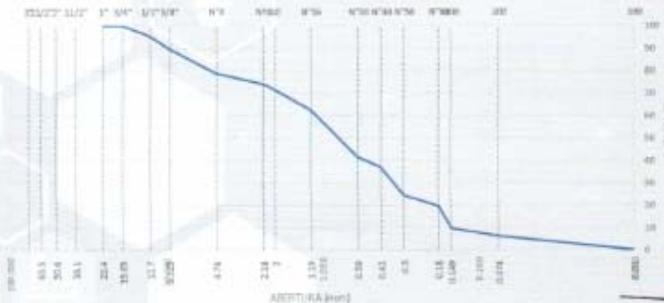
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
 PROVINCIA : HUANCAYO
 CLIENTE : FLORES QUINCHO SERGIO AUGUSTO
 FECHA : 10-06-2021
 CANTERA : MATAHUASI
 MUESTRA : MAP-0009

**ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS
(MTC E 204)**

ARENA PROCESADA					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamaño	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.700	20.20	4.68	4.68	95.32
3/8"	9.525	86.40	5.76	10.44	89.56
No4	4.763	161.25	10.75	21.19	78.81
No8	2.381	73.05	4.87	26.06	73.94
No10	1.905	40.65	2.71	28.77	71.23
No16	1.191	131.70	8.78	37.55	62.45
No30	0.595	311.25	20.75	58.30	41.70
No40	0.425	65.55	4.37	62.67	37.33
No50	0.298	192.15	12.81	75.48	24.52
No80	0.179	73.65	4.91	80.39	19.61
No100	0.149	150.75	10.05	90.44	9.56
No200		51.60	3.44	93.88	6.12
-No200		91.80	6.12	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA		1500.00 gr			

CURVA GRANULOMÉTRICA



[Signature]
 COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JOHNNY ERNESTO FLORES QUINCHO
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

📞 949645523

📞 959202329

🌐 www.coldfixperu.com

✉️ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.





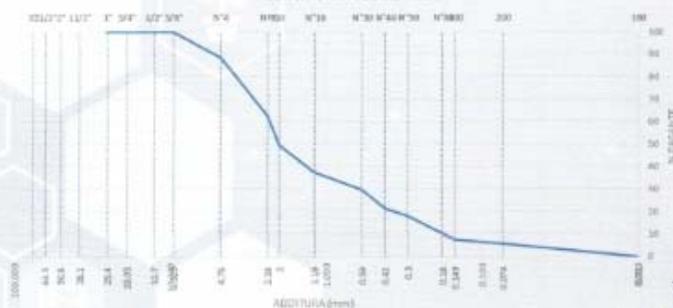
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL BUMPADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMI-CALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUINCHO BERGHO AUGUSTO
FECHA : 10-06-2021
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA : MAP-0010

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (MTC E 204)

ARENA NATURAL					
Malla		Peso (gr)	% Reten. Parcial	% Reten. Acumul.	% Pasante
Tamaño	mm				
3"	76.200				
2 1/2"	63.500				
2"	50.800				
1 1/2"	38.100				
1"	25.400				
3/4"	19.050				
1/2"	12.700				
3/8"	9.525	0.00	0.00	0.00	100.00
No4	4.762	178.29	11.88	11.88	88.12
No8	2.381	387.15	25.81	37.69	62.31
No10	1.905	195.75	13.05	50.74	49.26
No16	1.194	176.70	11.78	62.52	37.48
No30	0.595	117.90	7.86	70.38	29.62
No40	0.425	127.50	8.50	78.88	21.12
No50	0.298	48.90	3.26	82.14	17.86
No80	0.179	117.15	7.81	89.95	10.05
No100	0.149	43.35	2.89	92.84	7.16
No200		26.55	1.77	94.61	5.39
-No200		80.85	5.39	100.00	0.00
TOTAL MUESTRA		1500.00 gr			

CURVA GRANULOMÉTRICA



[Signature]
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

📞 949645523

📞 959202329

🌐 www.coldfixperu.com

✉ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

CUECF-ASF-00185





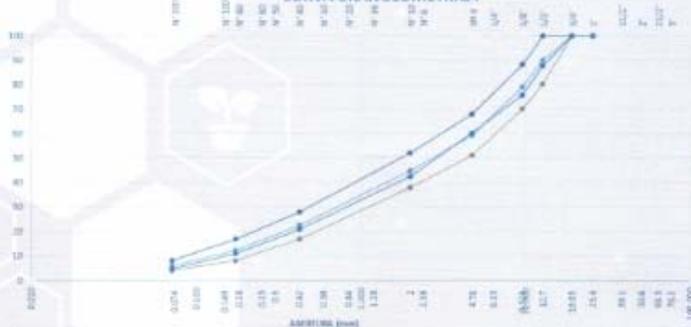
LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL EMPUJADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUINCEO BERGO AUGUSTO
FECHA : 10.06.2021
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA :

COMBINACIÓN TEÓRICA DE AGREGADOS PARA ASFALTO

Malla Tamiz (mm)	Porcentaje pasantes (%)						MEZCLA 100%	Especificaciones MAC-2 Curva Ideal	
	PIEDRAS		ARENAS		FILLER				
	3/4"	1/2"	Natural	PROCESADA					
Proporciones	0%	10%	37%	32%	1%				
1	25.405	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100 - 100	100	
3/4"	19.055	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100 - 100	100	
1/2"	12.500	100.00	63.90	100.00	95.32	100.00	87.7	90 - 100	90
3/8"	0.525	100.00	30.20	100.00	89.56	100.00	75.7	70 - 80	70
Nº4	4.750	100.00	5.72	88.12	78.81	100.00	60.2	51 - 58	60
Nº8	2.500	100.00	7.26	62.31	71.94	100.00	48.4		
Nº10	2.000	100.00	1.12	49.26	71.75	100.00	42.4	38 - 52	45
Nº16	1.181	100.00	0.87	37.48	67.45	100.00	35.1		
Nº30	0.600	100.00	0.52	20.62	47.70	100.00	25.5		
Nº40	0.425	100.00	0.41	21.12	37.33	100.00	20.9	17 - 28	23
Nº60	0.250	100.00	0.32	17.86	24.52	100.00	15.6		
Nº80	0.175	100.00	0.21	10.08	19.60	100.00	11.1	8 - 17	13
Nº100	0.148	100.00	0.16	7.16	9.50	100.00	6.8		
Nº200	0.075	100.00	0.10	5.30	6.12	100.00	5.0	4 - 8	6
menor a 0.075	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0		

CURVA GRANULOMÉTRICA



[Signature]
COLDFIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DÍAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

CUE-CP-ASF-201/20





LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

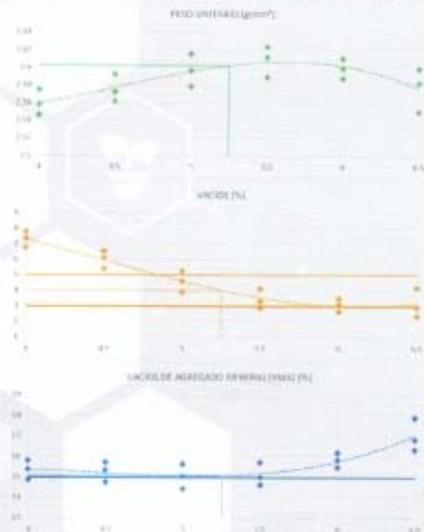
PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
 PROVINCIA : HUANCAYO
 CLIENTE : FLORES QUINERO SERRANO ALBERTO
 FECHA : 15-06-2021
 CANTERA : MATAHUASI
 MUESTRA :
 DISEÑO : 1/2

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - EMPLEANDO

ZEOLITA

(MTC E 804)

MUESTRA	ASFALTO	PESO UNITARIO	VACÍOS	VACÍOS AGRIGADO
	%	g/gam	%	%
M1	4.00	2.598	7.35	15.80
M2	4.00	2.575	6.74	14.85
M3	4.00	2.546	7.79	15.63
M4	4.50	2.572	6.12	15.38
M5	4.50	2.502	5.41	14.74
M6	4.50	2.562	6.51	15.73
M7	5.00	2.506	4.61	15.06
M8	5.00	2.615	3.90	14.42
M9	5.00	2.576	5.26	15.63
M10	5.50	2.623	2.87	15.63
M11	5.50	2.611	3.29	15.00
M12	5.50	2.588	4.13	15.24
M13	6.00	2.588	3.48	15.21
M14	6.00	2.598	3.04	15.87
M15	6.00	2.610	2.67	15.50
M16	6.50	2.582	2.92	16.83
M17	6.50	2.588	2.35	16.34
M18	6.50	2.549	4.17	17.90



[Handwritten Signature]
 COLDFIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

QUE OF ANF 00190



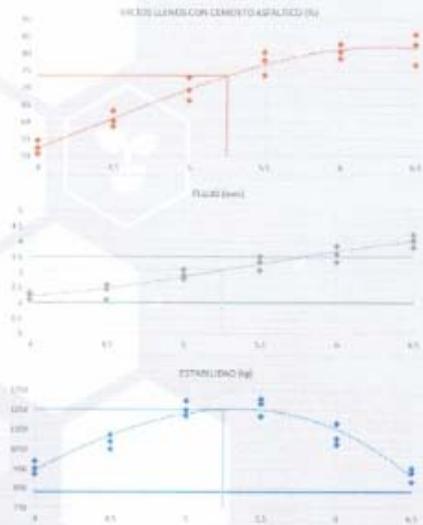


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMOCALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
 PROVINCIA : HUANCAYO
 CLIENTE : PUARES QUINCHO SEBIBO AGROSTO
 FECHA : 13-06-2021
 CANTERA : MATAHUASI
 MUESTRA :
 DISEÑO: 20

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - EMPLEANDO ZOLITA (NTE E 804)

MUESTRA	ASFALTO	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	FLUJO	VANOS AGRIGADOS MINERAL
	%	%	%	%
M1	4.00	52.30	2.11	953.30
M2	4.00	54.61	2.34	922.00
M3	4.00	50.71	2.28	950.20
M4	4.50	69.21	2.44	1089.40
M5	4.50	63.30	2.60	1125.80
M6	4.50	58.61	2.10	1053.10
M7	5.00	69.41	2.91	1251.30
M8	5.00	72.99	3.10	1297.80
M9	5.00	66.39	2.79	1220.50
M10	5.50	80.40	3.33	1306.90
M11	5.50	78.07	3.08	1217.80
M12	5.50	73.75	3.53	1282.00
M13	6.00	78.51	3.87	1302.20
M14	6.00	80.53	3.35	1056.60
M15	6.00	82.80	3.61	1181.10
M16	6.50	82.66	4.24	881.40
M17	6.50	85.83	3.82	928.30
M18	6.50	76.68	4.06	957.00



Juan Ernesto Tejada Díaz
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DÍAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.





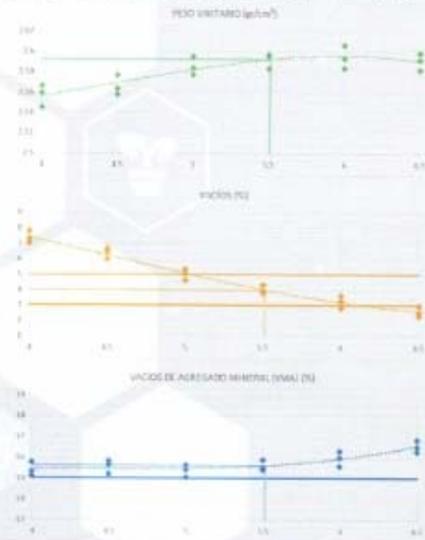
LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 201
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORIB QUINCHO HEREDIA AUGUSTO
FECHA : 16-06-2021
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA :
DISEÑO : 1/2

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - EMPLEANDO CAL HIDRATADA (MTC R 204)

MUESTRA	ASFALTO	PESO UNITARIO	VACIOS	VACIOS AJUSTADO MINERAL
	%	g/cm ³	%	%
ME9	4.00	2.960	7.30	15.36
ME0	4.00	2.965	7.04	15.13
ME1	4.00	2.505	7.80	15.82
ME2	4.50	2.564	6.44	15.67
ME3	4.50	2.577	5.95	15.54
ME4	4.50	2.558	6.60	15.83
ME5	5.00	2.577	5.20	15.66
ME6	5.00	2.584	5.03	15.44
ME7	5.00	2.543	4.63	15.08
ME8	5.50	2.597	3.81	15.45
ME9	5.50	2.605	3.90	15.53
ME0	5.50	2.523	4.73	15.07
ME1	6.00	2.593	3.28	16.04
ME2	6.00	2.584	3.64	16.34
ME3	6.00	2.606	2.80	15.67
ME4	6.50	2.582	2.09	16.83
ME5	6.50	2.598	2.52	16.31
ME6	6.50	2.592	2.57	16.52



Contáctanos al:

- 📞 949645523
- 📞 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉️ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO



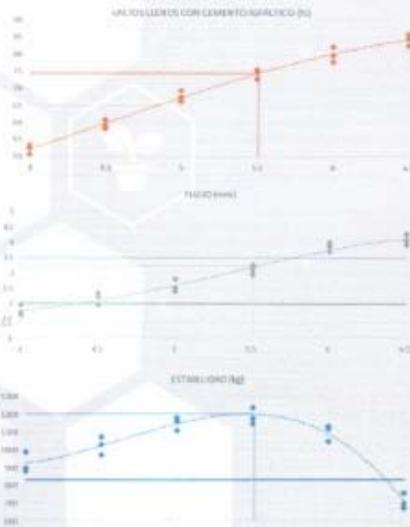


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUISCO SERGIO AUGUSTO
FECHA : 10-06-2021
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA :
DISEÑO: 20

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - EMPLEANDO CAL HIDRATADA (MTI: 8.584)

MUESTRA	ASFALTO	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO	FLEJO	VACÍOS ACERCUADO MENSAJAL
	%	#(g)		%
ME9	4.00	52.49	1.93	886.26
ME20	4.00	53.43	1.70	903.46
ME1	4.00	50.68	1.64	921.64
ME2	4.50	58.89	2.22	1033.33
ME3	4.50	60.86	1.94	1075.00
ME4	4.50	58.06	2.33	978.00
ME5	5.00	66.24	2.39	1189.59
ME6	5.00	67.40	2.80	1163.00
ME7	5.00	69.31	2.21	1110.69
ME8	5.50	75.87	3.12	1240.70
ME9	5.50	74.81	3.25	1179.30
ME0	5.50	72.73	2.94	1149.34
ME1	6.00	79.54	3.70	1049.94
ME2	6.00	77.75	3.87	1133.40
ME3	6.00	82.09	3.97	1177.04
ME4	6.50	82.51	4.76	675.12
ME5	6.50	85.20	3.93	732.50
ME6	6.50	84.87	4.07	701.60



[Signature]
GOLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TELADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

949645523

959202329

www.coldfixperu.com

consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

QUE CE ADF 00103



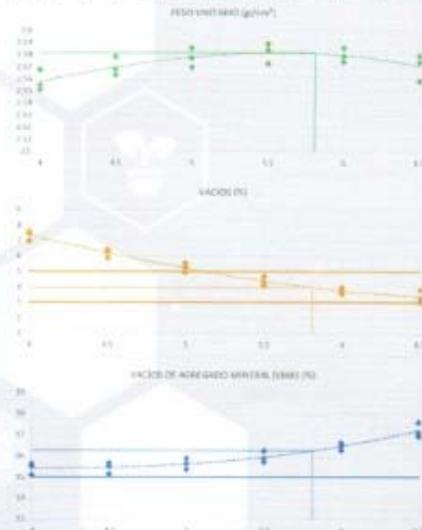


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2011
 PROVINCIA : HUANCAYO
 CLIENTE : FLORIS QUINCHO SERGIO ALBERTO
 FECHA : 18-06-2021
 CANTERA : MATARUANI
 MUESTRA :
 Hoja: 12

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - EMPLEANDO CEMENTO (MTC E-504)

MUESTRA	ASFALTO		PESO UNITARIO		VACIOS		VACIOS AGREGADO MARSHALL	
	%	g/cm ³	%	g/cm ³	%	g/cm ³	%	g/cm ³
M37	4.00	2.55	7.61	15.61				
M38	4.00	2.57	7.02	15.11				
M39	4.00	2.55	7.47	15.52				
M40	4.50	2.56	6.46	15.58				
M41	4.50	2.57	6.28	15.52				
M42	4.50	2.58	5.90	15.18				
M43	5.00	2.57	5.56	15.30				
M44	5.00	2.58	5.27	15.65				
M45	5.00	2.59	4.98	15.30				
M46	5.50	2.59	4.72	15.73				
M47	5.50	2.57	4.72	16.25				
M48	5.50	2.58	4.31	15.89				
M49	5.00	2.59	3.56	16.28				
M50	5.00	2.58	3.81	16.49				
M51	5.00	2.57	3.99	16.65				
M52	5.50	2.58	3.06	16.92				
M53	5.50	2.56	3.83	17.60				
M54	5.50	2.57	3.25	17.11				



[Signature]
COLDFIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ENRIQUE TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

📞 949645523
 📞 959202329
 🌐 www.coldfixperu.com
 ✉️ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.



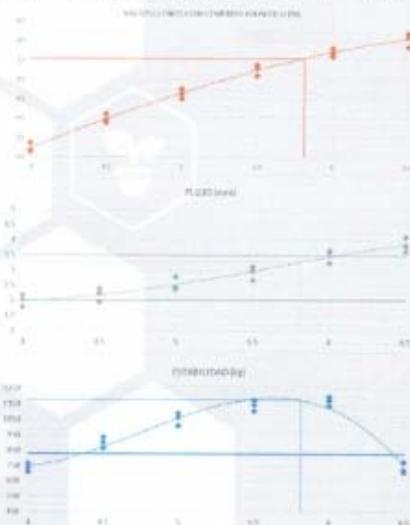


LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMIPLICANTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
 PROVINCIA : HUANCAYO
 CLIENTE : FLORES QUINCIO SERGIO AUGUSTO
 FECHA : 19-06-2021
 CANTERA : MATAMELAD
 MUESTRA :
 DISEÑO: 2.0

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL - EMPLEANDO CEMENTO (NTC 6.504)

MUESTRA	ASFALTO %	VACÍOS LLENOS CON CEMENTO ASFÁLTICO %	FLUJO		FACTOR AGREGADO MINERAL %
			g/mm ³	mm	
M37	4.00	51.35	2.01	711.10	
M38	4.00	53.52	1.76	734.80	
M39	4.00	51.86	2.17	756.60	
M40	4.50	58.82	2.89	903.80	
M41	4.50	59.55	2.72	938.45	
M42	4.50	61.15	1.95	865.30	
M43	5.00	65.06	2.44	1093.80	
M44	5.00	66.31	2.30	1065.80	
M45	5.00	67.64	2.80	1010.50	
M46	5.50	71.79	2.99	1148.40	
M47	5.50	70.98	3.11	1108.20	
M48	5.50	72.89	2.69	1177.30	
M49	6.00	78.12	3.61	1341.30	
M50	6.00	76.91	3.24	1173.30	
M51	6.00	76.07	3.58	1201.60	
M52	6.50	81.94	4.05	1710.70	
M53	6.50	78.27	3.62	1777.60	
M54	6.50	80.99	3.82	1727.30	



[Signature]
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

949645523

959202329

www.coldfixperu.com

consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

CUE: CF-ASE-00195





LABORATORIO DE SUELOS CONCRETO Y PAVIMENTOS

LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL BIFUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMIBALANTADAS APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUINTO SERGIO ALEXIS
FECHA : 22-06-2021
CANTERA : MATALLAS
MUESTRA : BRQ1 A BRQ33

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL ESTABILIDAD (kg) - Temperatura de mercado de 110°C a 160°C (MTC E.584)

ITEM	MUESTRA	T°	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD	ESTABILIDAD
			MUESTRA CONTROL	ZIGOLTA	CAL HIDRATADA	CEMENTO
UND.			kg	kg	kg	kg
1	BRQ-1	110°C	599.4	599.5	519.4	569.9
2	BRQ-2		617.8	613.5	539.6	598.4
3	BRQ-3		652.2	568.0	587.4	556.6
4	BRQ-4	115°C	657.6	680.1	630.4	687.3
5	BRQ-5		646.0	729.6	661.2	666.8
6	BRQ-6		617.9	702.9	642.7	671.3
7	BRQ-7	120°C	653.0	747.2	705.8	711.5
8	BRQ-8		667.2	765.5	728.6	725.8
9	BRQ-9		678.1	735.1	712.1	695.4
10	BRQ-10	125°C	688.9	825.4	747.7	793.2
11	BRQ-11		714.1	793.5	716.9	771.2
12	BRQ-12		695.6	810.6	733.5	762.0
13	BRQ-13	130°C	769.6	895.7	844.3	796.6
14	BRQ-14		737.5	916.4	810.2	800.3
15	BRQ-15		780.7	864.8	823.0	825.9
16	BRQ-16	135°C	797.8	952.8	917.9	861.7
17	BRQ-17		819.9	1011.0	864.9	884.1
18	BRQ-18		786.6	934.5	894.0	857.4
19	BRQ-19	140°C	870.9	1068.4	1005.6	914.5
20	BRQ-20		818.0	1077.7	988.5	944.9
21	BRQ-21		850.4	1032.4	978.6	935.5
22	BRQ-22	145°C	903.6	1106.2	1074.2	994.0
23	BRQ-23		946.2	1135.2	1038.4	1001.4
24	BRQ-24		926.9	1095.1	1056.3	971.8
25	BRQ-25	150°C	950.5	1161.2	1108.6	998.1
26	BRQ-26		966.7	1179.8	1082.6	1024.8
27	BRQ-27		1004.5	1135.2	1095.3	1044.8
28	BRQ-28	155°C	1043.4	1172.1	1125.8	1085.2
29	BRQ-29		1020.0	1225.1	1172.0	1122.0
30	BRQ-30		1064.9	1160.5	1133.3	1130.5
31	BRQ-31	160°C	1159.0	1265.5	1153.0	1142.0
32	BRQ-32		1137.9	1250.0	1205.3	1162.7
33	BRQ-33		1098.5	1217.5	1210.0	1188.7

Juan Ernesto Tejada Díaz
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TEJADA DÍAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

📞 949645523

📞 959202329

🌐 www.coldfixperu.com

✉️ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

QR CODE





LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL BIFUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : PLAZAS QUINTO SIERBO ALGUSTO
FECHA : 22-06-2021
CANTERA : MATARUASE
MUESTRA : BRQ1 A BRQ33

RESISTENCIA DE MEZCLAS BITUMINOSAS EMPLEANDO EL APARATO MARSHALL
FLUJO (mm) - Temperatura de mezcla de 110°C a 160°C
(MTC F.584)

ITEM	MUESTRA	T°	FLUJO	FLUJO	FLUJO	FLUJO
			MUESTRA CONTROL	ZOLITA	CAL HIDRATADA	CEMENTO
UND.			mm	mm	mm	mm
1	BRQ /1	110°C	4.46	4.21	4.30	4.24
2	BRQ /2		4.41	4.13	4.19	4.27
3	BRQ /3		4.34	4.07	4.13	4.37
4	BRQ /4	115°C	4.31	4.04	4.17	4.13
5	BRQ /5		4.21	3.88	4.10	4.02
6	BRQ /6		4.28	3.97	4.08	4.06
7	BRQ /7	120°C	4.12	3.77	3.92	3.96
8	BRQ /8		4.22	3.85	3.89	4.09
9	BRQ /9		4.14	3.71	3.98	4.04
10	BRQ /10	125°C	3.93	3.66	3.79	3.98
11	BRQ /11		4.10	3.62	3.84	3.84
12	BRQ /12		4.04	3.57	3.74	3.91
13	BRQ /13	130°C	3.93	3.48	3.65	3.86
14	BRQ /14		3.78	3.37	3.73	3.79
15	BRQ /15		3.83	3.41	3.61	3.89
16	BRQ /16	135°C	3.75	3.27	3.57	3.78
17	BRQ /17		3.86	3.34	3.46	3.67
18	BRQ /18		3.81	3.39	3.56	3.74
19	BRQ /19	140°C	3.65	3.31	3.45	3.68
20	BRQ /20		3.71	3.23	3.41	3.60
21	BRQ /21		3.73	3.28	3.52	3.62
22	BRQ /22	145°C	3.39	3.24	3.38	3.46
23	BRQ /23		3.61	3.29	3.36	3.51
24	BRQ /24		3.65	3.20	3.44	3.56
25	BRQ /25	150°C	3.46	3.25	3.35	3.48
26	BRQ /26		3.52	3.22	3.29	3.46
27	BRQ /27		3.54	3.18	3.29	3.50
28	BRQ /28	155°C	3.51	3.18	3.27	3.40
29	BRQ /29		3.48	3.15	3.24	3.43
30	BRQ /30		3.46	3.21	3.32	3.32
31	BRQ /31	160°C	3.38	3.14	3.26	3.34
32	BRQ /32		3.45	3.06	3.21	3.23
33	BRQ /33		3.48	3.11	3.16	3.31

[Signature]
COLDfix
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN EPINOSTO TEJADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

☎ 949645523

☎ 959202329

🌐 www.coldfixperu.com

✉ consultorias@coldfixperu.com

*EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA. EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.

QUE-CE-ASIF-0019T





LABORATORIO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

PROYECTO : OPTIMIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES MECÁNICAS Y EL ESPUMADO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS SEMICALIENTES APLICANDO DISTINTOS TIPOS DE FILLER, HUANCAYO 2021
PROVINCIA : HUANCAYO
CLIENTE : FLORES QUISICO SERGIO AJAJUSTO
FECHA : 09-06-21
CANTERA : MATAHUASI
MUESTRA : MAP-0005MAP-0006MAP-0007

**CARACTERIZACIÓN DE FILLERS
(MTC E 205)**

PARÁMETROS		ADITIVO Unid	ZEOCITA		
			Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso en el aire de la muestra secada en el horno	Wo	gr.	377.1	381.4	385.6
Volumen del frasco	V	cm ³	609.0	614.0	604.0
Volumen de agua añadida al frasco	Va	cm ³	432.0	436.0	430.0
Peso específico de masa	Pom	gr/cm ³	2.131	2.143	2.216
Peso específico de masa saturado con superficie seca	Psm	gr/cm ³	2.825	2.809	2.874
Peso específico aparente	Psa	gr/cm ³	6.970	6.421	6.470
Absorción	Ab	%	32.991	31.096	29.668

PARÁMETROS		ADITIVO Unid	CAL HIERBATADA		
			Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso en el aire de la muestra secada en el horno	Wo	gr.	493.9	494.1	494.3
Volumen del frasco	V	cm ³	631.0	623.0	618.0
Volumen de agua añadida al frasco	Va	cm ³	416.0	409.0	406.0
Peso específico de masa	Pom	gr/cm ³	2.297	2.309	2.332
Peso específico de masa saturado con superficie seca	Psm	gr/cm ³	2.326	2.336	2.358
Peso específico aparente	Psa	gr/cm ³	2.364	2.374	2.396
Absorción	Ab	%	1.235	1.194	1.153

PARÁMETROS		ADITIVO Unid	CEMENTO		
			Muestra 01	Muestra 02	Muestra 03
Peso en el aire de la muestra secada en el horno	Wo	gr.	496.2	497.3	498.3
Volumen del frasco	V	cm ³	596.0	587.0	591.0
Volumen de agua añadida al frasco	Va	cm ³	438.0	427.0	432.0
Peso específico de masa	Pom	gr/cm ³	3.141	3.108	3.134
Peso específico de masa saturado con superficie seca	Psm	gr/cm ³	3.165	3.125	3.145
Peso específico aparente	Psa	gr/cm ³	3.218	3.161	3.168
Absorción	Ab	%	0.766	0.543	0.341

[Firma]
COLDPIX
 LABORATORIO DE SUELOS, CONCRETO Y PAVIMENTOS
 JUAN ERNESTO TELADA DIAZ
 JEFE DE LABORATORIO

Contáctanos al:

- ☎ 949645523
- ☎ 959202329
- 🌐 www.coldfixperu.com
- ✉ consultorias@coldfixperu.com

* EL PRESENTE DOCUMENTO NO DEBERÁ REPRODUCIRSE SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO, SALVO QUE LA REPRODUCCIÓN SEA EN SU TOTALIDAD.
 * LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN A LA MUESTRA ENSAYADA, EL LABORATORIO NO SE HACE RESPONSABLE POR EL MAL USO DE LOS MISMOS.



ANEXO 3. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TITULO: “Optimización de las propiedades mecánicas y el espumado de mezclas asfálticas semicalientes aplicando distintos tipos de filler, Huancayo 2021”

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIÓN	INDICADORES	METODOLOGÍA
PROBLEMA GENERAL: ¿Cómo optimizar las propiedades mecánicas y el espumado de mezclas asfálticas semicalientes aplicando distintos tipos de filler, Huancayo 2021?	OBJETIVO GENERAL: Conocer la aplicación de los distintos tipos de filler que optimizan las propiedades mecánicas y el espumado de las mezclas asfálticas semicalientes, Huancayo 2021.	HIPÓTESIS GENERAL: La aplicación de los distintos tipos de filler optimizan las propiedades mecánicas mejorándolas en un 10% y el espumado de las mezclas asfálticas semicalientes aumenta en un 5%, Huancayo 2021.	VARIABLE INDEPENDIENTE Tipos de filler	Dimensión 1: Cal hidratada	Indicador 1: - Muestreo de material fino MTC E 201 Indicador 2: - Análisis granulométrico MTC E 204 Indicador 3: - Gravedad específica y absorción MTC E 205	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN Cuasiexperimental: Método que manipula la variable independiente para obtener la reacción de la variable dependiente, teniendo en cuenta que la forma en la que se determinará ya está definida. NIVEL Correlacional: El nivel de investigación será correlacional, debido a que se tiene que las variables independientes van a variar las variables dependientes.
				Dimensión 2: Cemento Portland	Indicador 1: - Muestreo de material fino MTC E 201 Indicador 2: - Análisis granulométrico MTC E 204 Indicador 3: - Gravedad específica y absorción MTC E 205	
				Dimensión 3: Zeolita	Indicador 1: - Muestreo de material fino MTC E 201 Indicador 2: - Análisis granulométrico MTC E 204 Indicador 3: - Gravedad específica y absorción MTC E 205	
PROBLEMAS ESPECÍFICOS: ¿Cuál es el grado de expansión generado en el asfalto espumado ante la aplicación de distintos tipos de filler, Huancayo 2021?	OBJETIVOS ESPECÍFICOS: Establecer el grado de expansión generado en el asfalto espumado ante la aplicación de distintos tipos de filler, Huancayo 2021.	HIPÓTESIS ESPECÍFICA De los distintos tipos de filler empleados la zeolita genera 5% de expansión en comparación de los otros, Huancayo 2021.	VARIABLE DEPENDIENTE: Propiedades mecánicas	Dimensión 1: Espumado	Indicador 1: - Relación expansión Indicador 2: - Vida media (segundos) Indicador 3: - Muestreo de material bituminoso MTC E 301	POBLACIÓN Y MUESTRA POBLACIÓN Una planta asfáltica de 8tn de capacidad. MUESTRA Será de 480kg de mezcla asfáltica semicaliente. INSTRUMENTOS - Fichas de recolección de datos elaborados para el empleo del sistema LEA y justificados con certificados de ensayos.
¿En qué medida los distintos tipos de filler empleados mejoran la estabilidad de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta, Huancayo 2021?	Determinar la estabilidad en la mezcla asfáltica semicaliente propuesta ante los distintos tipos de filler a emplear, Huancayo 2021.	De los distintos tipos de filler empleados el cemento portland aumenta la estabilidad en un 10% de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta, Huancayo 2021.		Dimensión 2: Estabilidad	Indicador 1: - Análisis granulométrico MAC2 MTC E 204 Indicador 2: - Ensayo de Marshall MTC E 504 Indicador 3: - Porcentaje de vacíos MTC E 505	
				Dimensión 3: Flujo	Indicador 1: - Análisis granulométrico MAC2 MTC E 204 Indicador 2: - Ensayo de Marshall MTC E 504 Indicador 3: - Porcentaje de vacíos MTC E 505	
¿En qué medida los distintos tipos de filler empleados mejoran el flujo de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta, Huancayo 2021?	Determinar el flujo en la mezcla asfáltica semicaliente propuesta ante los distintos tipos de filler a emplear, Huancayo 2021.	Los distintos tipos de filler empleados alteran el flujo de la mezcla asfáltica semicaliente propuesta manteniendo los valores de flujo dentro de los límites indicados en la norma de 2 mm a 3,5 mm, Huancayo 2021.				RECOLECCIÓN DE MUESTRAS Será por observación directa con el sistema LEA y con el método Marshall.

