

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del
Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



“DESEMPEÑO DE MATERIAL DE RELLENO (CAL HIDRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO 1P) Y ADITIVO ADHERENTE (ANTISTRIPPING) ANTE EL DAÑO POR HUMEDAD EN LA MEZCLA ASFALTICA CALIENTE CONVENCIONAL, MEDIANTE LA METODOLOGIA MARSHALL Y EL ENSAYO AASHTO T 283, EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA: LA PODEROSA DE LA PROVINCIA DE AREQUIPA - PERU”

Tesis presentada por los Bachilleres:

Chalco Pérez, Diego Martín

Muñoz Manrique, Luiz Carlos

Para optar Título Profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mg. Ing. Gamarra Tuco, Rubén

Francisco

Arequipa – Perú

2021

DICTAMEN APROBATORIO

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 12 de Octubre del 2021

Dictamen: 000620-C-EPIC-2021

Visto el borrador del expediente 000620, presentado por:

2015600561 - CHALCO PEREZ DIEGO MARTIN
2014222591 - MUÑOZ MANRIQUE LUIZ CARLOS

Titulado:

**DESEMPEÑO DE MATERIAL DE RELLENO (CAL HIDRATADA Y CEMENTO PORTLAND TIPO 1P) Y
ADITIVO ADHERENTE (ANTI STRIPPING) ANTE EL DAÑO POR HUMEDAD EN LA MEZCLA
ASFÁLTICA CALIENTE CONVENCIONAL, MEDIANTE LA METODOLOGÍA MARSHALL Y EL
ENSAYO AASHTO T 283 EMPLEANDO AGREGADOS DE LA CANTERA: LA PODEROSA DE LA
PROVINCIA DE AREQUIPA ? PERÚ**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

1888 - NEIRA ARENAS JULY LILLIAM
DICTAMINADOR



2778 - UGARTE CALDERON ENRIQUE ALFONSO
DICTAMINADOR



3044 - GAMARRA TUCO RUBEN FRANCISCO
DICTAMINADOR



AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirnos llegar a este momento importante en nuestra carrera, a pesar de dificultades que se presentaron en el camino.

A nuestras familias por ser la fuente importante de nuestra motivación y soporte.

A nuestra alma máter Universidad Católica de Santa María y docentes, quienes, gracias a su conocimiento y experiencia impartida, podremos desarrollar nuestra vida profesional.

A nuestros amigos de universidad y colegio por estar en las buenas y las malas, animándonos a seguir adelante en todo ámbito,

A nuestro asesor y maestro, Rubén Gamarra Tuco, quien no dudó en brindarnos su apoyo y conocimiento en todo momento.

Y a todas esas personas que Dios nos puso en el camino en el momento apropiado.

DEDICATORIA

Al ser que más amo y aprecio con todo mi ser, mi madre, Carmen Pérez.

*Quien es y será siendo mi gran fuente de motivación en todas las metas que
me proponga en vida, todo lo que soy y seré es por ti.*

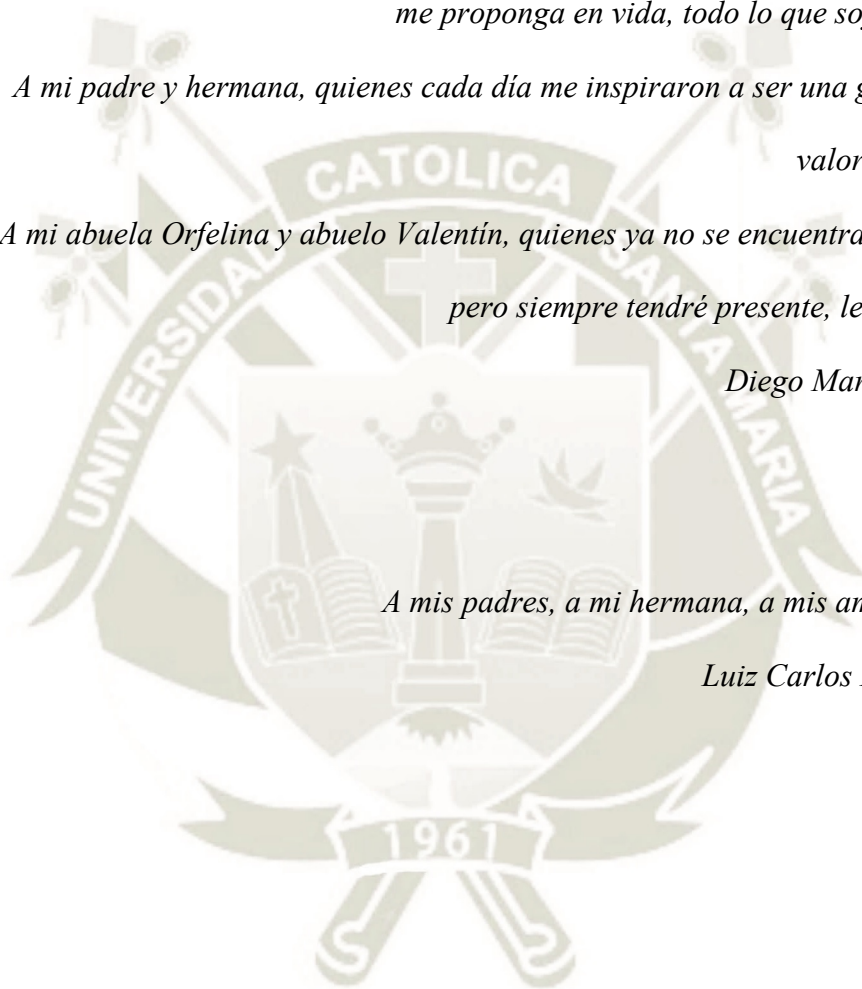
*A mi padre y hermana, quienes cada día me inspiraron a ser una gran persona con
valores y ser el mejor.*

*A mi abuela Orfelina y abuelo Valentín, quienes ya no se encuentran entre nosotros,
pero siempre tendré presente, les dedico mi tesis.*

Diego Martin Chalco Pérez

A mis padres, a mi hermana, a mis amigos y maestros.

Luiz Carlos Muñoz Manrique



RESUMEN

Una de las principales causas de deterioros en pavimentos asfálticos es el agua. En la presente investigación se evalúa el desempeño de la cal hidratada, el cemento, la puzolana y el polvo de la arena (pasante de la malla N° 200) como material de relleno en mezclas asfálticas en caliente ante el daño por humedad, además de adicionar aditivo mejorador de adherencia a las mezclas y compararlas entre sí; con el fin de proponer alternativas de pavimentos asfálticos más resistentes al agua. En el estudio se hizo el diseño de las mezclas asfálticas con cada filler usando el método Marshall, hallando el contenido óptimo de asfalto de cada una, después se utilizó el ensayo TSR (Tensile Strength Ratio) basado en la norma AASHTO T283 para evaluar la resistencia al daño por humedad de cada diseño de mezcla convencional sin aditivo y para cada diseño de mezcla con aditivo, comparando los resultados, para finalmente, ejecutar un análisis económico. Los resultados mostraron el desempeño de cada filler y del aditivo antidesnudante como mejoradores de adherencia y que tanto podría, el uso de estos materiales, influir en construir pavimentos menos susceptibles al agua y más durables.

Palabras claves: desempeño, material de relleno, aditivo, mezcla asfáltica en caliente, daño por humedad, norma AASHTO T 283.

ABSTRACT

One of the main causes of damage in asphalt pavements is water. In the present investigation, the performance of hydrated lime, cement, pozzolana and sand dust (through mesh No. 200) as filler material in hot asphalt mixtures is evaluated for moisture damage, in addition to add an adhesion developer additive to the mixtures and compare them with each other; in order to propose alternatives for asphalt pavements more resistant to water. In the study, the design of the asphalt mixtures was made with each filler using the Marshall method, finding the optimal asphalt content of each one, then the TSR (Tensile Strength Ratio) test based on the AASHTO T283 standard was used to evaluate the resistance to moisture damage of each conventional mix design without additive and with additive, comparing the results, to finally does an economic analysis. The results showed the performance of each filler and the anti-stripping additive as adhesion improvers and how much the use of these materials could influence the construction of less water susceptible and more durable pavements.

Keywords: performance, filler material, additive, hot mix asphalt, moisture damage, AASHTO T 283 standard.

INTRODUCCION

En algunas regiones de nuestro país, como Arequipa, los meses de lluvias suelen ser un problema de gran magnitud, provocando desastres como inundaciones y huaicos, produciendo daños severos a la propiedad pública y privada; siendo los más notorios, los daños que sufren las vías más transitadas, con posibilidad de ocurrencia de accidentes e incomodidad de conductores y peatones. Esto tiene como consecuencia el gasto público para reparación de las vías dañadas, todos los años, como producto de las lluvias.

Una de las principales patologías más usuales en los pavimentos flexibles es provocadas por la acción del agua, la presencia de esta provoca una disminución en las propiedades, tales como la adherencia entre los finos y el cemento asfáltico de la mezcla, así como de la cohesión interna de los bitúmenes.

El problema recurrente de la susceptibilidad al daño por humedad en pavimentos es crítico para las carreteras del mundo debido a que estas se presentan de diversas formas. En Perú según el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) tenemos una red vial pavimentada de 23 769 km, en donde cada año nuestras vías necesitan cada vez más obras de rehabilitación, mejoramiento, mantenimiento vial entre otros, debido que se encuentra en un estado regular o malo que es causado en su mayoría de veces por la humedad y el agua en las estructuras de pavimento, es por ello que es necesario plantear un plan de investigación en donde participen la mayoría de entidades tales como constructoras, universidades o profesionales vinculados en proyectos viales, en donde se busquen soluciones que disminuyan considerablemente costos de mantenimiento, reparaciones profundas y que a su vez aumente la vida útil de los mismos.

Para evitar la reparación anual de vías y mantener la calidad de éstas es necesario: tener un sistema de drenaje eficiente, y contar con pavimentos que no sean tan susceptibles a

ser dañados por humedad. Se plantea evaluar este daño y proponer alternativas de mezclas asfálticas eficientes.

El agua concurrente en la mezcla asfáltica es uno de los factores más frecuentes que ocasionan daños prematuros en pavimentos flexibles. Este se manifiesta comúnmente como “stripping” o “pérdida del recubrimiento” del asfalto y como un desprendimiento progresivo de los agregados de la superficie como consecuencia del paso de los vehículos sobre el pavimento.

Para analizar el daño de la humedad en mezclas asfálticas existen muchos métodos. La metodología Superpave y el Manual de Ensayo de Materiales del MTC (MTC E 522) recomienda utilizar el ensayo AASHTO T283, “Resistencia de Mezclas Asfálticas compactadas al daño inducido por humedad”, usualmente llamado como el ensayo de Lottman Modificado, siendo éste el ensayo más usado para evaluar el deterioro por humedad en mezclas asfálticas, por esa razón se utilizará este método para cuantificar y comparar el desempeño de diferentes mezclas asfálticas en caliente y siguiendo la metodología Marshall; para el desarrollo de esta investigación se ha aplicado diferentes agregados y materiales de relleno llamados “filler” y aditivos adherentes.

Los resultados de esta investigación podrían llegar a ser una alternativa de diseño y realización de pavimentos flexibles que sean más resistentes a la humedad y se desempeñen mejor en épocas de lluvias o en regiones de climas húmedos.

INDICE

DICTAMEN APROBATORIO	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
DEDICATORIA.....	iv
RESUMEN.....	v
ABSTRACT.....	vi
INTRODUCCION	vii
INDICE	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xxi
INDICE DE TABLAS	xxiii
INDICE DE GRAFICAS.....	xxviii
INDICE DE ESQUEMAS	xxxii
INDICE DE ECUACIONES.....	xxxii
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. Diagnostico situacional.....	2
1.2. Formulación del problema.....	2
1.3. Hipótesis.....	2
1.4. Justificación de la investigación.....	3
1.5. Objetivos.....	4
1.5.1. Objetivo general.....	4
1.5.2. Objetivos específicos.....	4
1.6. Análisis de variables.....	5
1.6.1. Análisis de variables independientes.....	5
1.6.2. Análisis de variables dependientes.....	6
1.6.3. Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.....	7
1.7. Alcances.....	8
1.8. Antecedentes.....	9
CAPÍTULO II	13
2. MARCO TEORICO.....	13
2.1. Definición y descripción de un pavimento.....	14

2.3.3.2. Peso específico bulk de los agregados combinados (G_{sb}).....	35
2.3.3.3. Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}).	36
2.3.3.4. Densidad máxima teórica o gravedad específica máxima de la mezcla (G_{mm}).	36
2.3.3.5. Contenido de asfalto.	37
2.3.3.6. Asfalto absorbido (P_{ba}).....	37
2.3.3.7. Asfalto efectivo (P_{be}).	37
2.3.3.8. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).	38
2.3.3.9. Vacíos de la mezcla total compactada (VTM).....	38
2.3.3.10. Vacíos llenados con asfalto (VFA).....	39
2.4. Ensayo y Metodología Marshall.	40
2.4.1. Metodología Marshall.....	40
2.5. Propiedades consideradas para el diseño de la mezcla.	42
2.5.1. Resistencia a la deformación permanente (estabilidad).....	42
2.5.2. Resistencia a la fatiga.	43
2.5.3. Agrietamiento por bajas temperaturas.	43
2.5.4. Resistencia a la humedad.....	44
2.5.5. Durabilidad.	44
2.5.6. Resistencia a patinar.	45
2.5.7. Trabajabilidad.....	45
2.6. Factores de fallas y patologías de los pavimentos.	45
2.6.1. Fallas en pavimentos de asfalto.	45
2.6.2. Patologías en los pavimentos.....	46
2.7. Mecanismos que provocan daño por humedad en mezclas asfálticas.....	47
2.8. Factores que influyen en la carpeta asfáltica debido al daño por humedad.	50

2.9. Manifestaciones de deterioros producidos por el agua.	53
2.9.1. Stripping.	53
2.9.2. Raveling.	54
2.10. Ensayos de desempeño por humedad en mezclas asfálticas.	54
2.10.1. Ensayos en mezclas asfálticas sueltas.	54
2.10.2. Ensayos mecánicos en mezclas compactadas.	56
2.10.3. Ensayos mecánicos en mezclas compactadas considerando el tránsito.	57
CAPÍTULO III.	59
3. METODOLOGIA.	59
3.1. Propiedades de los materiales utilizados en la investigación.	63
3.1.1. Análisis granulométrico.	65
3.1.1.1. Agregado grueso – Grava chancada de ¾” y Agregado fino – Arena.	65
3.1.1.2. Material de relleno – Filler.	66
3.1.2. Peso unitario suelto y compactado.	66
3.1.3. Peso específico y absorción.	67
3.1.3.1. Agregado grueso – Grava chancada de ¾”	67
3.1.3.2. Agregado fino - Arena	67
3.1.3.3. Material de relleno – Filler	68
3.1.4. Abrasión de los Ángeles	69
3.1.5. Durabilidad al Sulfato de Magnesio	69
3.1.6. Índice de durabilidad	70
3.1.7. Sales solubles totales	70
3.1.8. Partículas chatas y alargadas	71
3.1.9. Caras fracturadas	72
3.1.10. Equivalente de arena.	72

3.1.11. Angularidad del agregado fino	73
3.1.12. Azul de metileno.....	74
3.1.13. Índice de plasticidad.....	74
3.1.14. Método de ensayo para determinar cualitativamente las impurezas orgánicas en el agregado fino.....	75
3.2. Metodología para encontrar la densidad teórica máxima (RICE).....	76
3.2.1. Consideraciones para la elaboración de la mezcla asfáltica suelta.....	76
3.2.2. Descripción de la metodología para el ensayo RICE.....	77
3.3. Metodología Marshall en mezclas asfálticas en caliente.....	80
3.3.1. Consideraciones para elaboración de muestras.....	80
3.3.2. Descripción de la metodología para el ensayo Marshall.....	81
3.3.2.1. Procedimiento de combinación de agregados para mezclas asfálticas en laboratorio.....	82
3.3.2.2. Procedimiento de mezcla y compactación.....	83
3.3.2.2.1. Elaboración de la mezcla asfáltica.....	83
3.3.2.2.2. Compactación de la mezcla asfáltica.....	84
3.3.2.3. Determinación del peso específico Bulk de especímenes compactados.....	85
3.3.2.4. Ensayo de especímenes compactados en maquina Marshall.....	87
3.4. Metodología del desempeño por humedad en mezclas asfálticas mediante el Ensayo a la tracción indirecta TSR.....	89
3.4.1. Consideraciones para la elaboración de muestras.....	89
3.4.2. Descripción de la metodología para el ensayo.....	90
3.4.2.1. Elaboración de la mezcla asfáltica.....	91
3.4.2.2. Compactación de mezcla asfáltica.....	91

3.4.2.3. Procedimiento del ensayo TSR.....	92
3.5. Ensayos de adherencia en mezclas asfálticas convencionales.....	94
3.5.1. Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – Bitumen.	94
3.5.2. Efecto del agua sobre agregados con recubrimiento bituminosos usando agua hervida.	95
3.5.3. Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta.....	96
3.6. Presentación de resultados de laboratorio.....	96
3.6.1. Resultados de caracterización.....	96
3.6.1.1. Caracterización de Agregado Grueso – Grava.....	96
3.6.1.2. Caracterización de Agregado Fino – Arena.....	97
3.6.1.3. Caracterización de Material Llenante – Filler.....	98
3.6.2. Resultados de ensayos de adherencia.....	98
CAPÍTULO IV.....	99
4. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.....	99
4.1. Consideraciones generales.....	100
4.2. Diseño de mezcla asfáltica convencional.....	100
4.2.1. Requerimiento Granulométrico Marshall MAC – 01.....	100
4.2.1.1. Resultados del análisis granulométrico de los agregados.....	102
4.2.1.2. Combinación de agregados.....	103
4.2.1.3. Contenido óptimo de asfalto.....	105
4.2.1.3.1. Método de las áreas superficiales.....	105
4.2.1.3.2. Método según el Instituto del Asfalto.....	107
4.2.1.4. Resultados del ensayo peso específico teórico máximo asfálticas para pavimentos (RICE).....	108
4.2.1.5. Dosificación para mezclas bituminosas compactadas.....	109

4.2.1.6. Resultados del diseño MAC, filler cal hidratada, mediante el ensayo Marshall.....	109
4.2.1.6.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.	111
4.2.1.6.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.	112
4.2.1.6.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.	113
4.2.1.6.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto	114
4.2.1.6.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.	115
4.2.1.6.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.....	116
4.2.1.6.7. Grafica relación polvo – asfalto.....	117
4.2.1.6.8. Grafica relación estabilidad – flujo.....	118
4.2.1.7. Resultados del diseño MAC, con filler cemento Portland IP, mediante el ensayo Marshall.....	119
4.2.1.7.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.	120
4.2.1.7.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.	121
4.2.1.7.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.	122
4.2.1.7.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto	123
4.2.1.7.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.	124
4.2.1.7.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.....	125
4.2.1.7.7. Grafica relación polvo – asfalto.....	126
4.2.1.7.8. Grafica relación estabilidad – flujo.....	127
4.2.1.8. Resultados del diseño MAC, con filler polvo silico aluminico obtenido mediante el ensayo Marshall.....	128

4.2.1.8.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.	129
4.2.1.8.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.	130
4.2.1.8.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.	131
4.2.1.8.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto	132
4.2.1.8.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.	133
4.2.1.8.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.....	134
4.2.1.8.7. Grafica relación polvo – asfalto.....	135
4.2.1.8.8. Grafica relación estabilidad – flujo.....	136
4.2.1.9. Resultados del diseño MAC, con filler polvo de arena obtenido mediante el ensayo Marshall.	137
4.2.1.9.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.	138
4.2.1.9.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.	139
4.2.1.9.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.	140
4.2.1.9.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto	141
4.2.1.9.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.	142
4.2.1.9.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.....	143
4.2.1.9.7. Grafica relación polvo – asfalto.....	144
4.2.1.9.8. Grafica relación estabilidad – flujo.....	145
4.2.1.10. Determinación del contenido óptimo de asfalto.	146
4.2.1.10.1. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla asfáltica con filler cal hidrata.....	146

4.2.1.10.2. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP	146
4.2.1.10.3. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”	147
4.2.1.10.4. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla con filler polvo de arena.....	148
CAPÍTULO V.....	149
5. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO POR HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.	149
5.1. Ensayo de tracción indirecta Lottman Modificado (AASHTO T-283).....	150
5.1.1. Mezcla asfáltica convencional con filler cal hidratada.....	151
5.1.1.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	151
5.1.1.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cal hidratada.	153
5.1.2. Mezcla asfáltica convencional con filler cal hidratada y adicionada con aditivo.	154
5.1.2.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	154
5.1.2.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cal hidratada y adicionada con aditivo.....	156
5.1.3. Mezcla asfáltica convencional con filler cemento Portland IP.....	157
5.1.3.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	157
5.1.3.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP.....	159
5.1.4. Mezcla asfáltica convencional con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.	160

5.1.4.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	160
5.1.4.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.....	162
5.1.5. Mezcla asfáltica convencional con filler puzolana micronizada “Carpetek”.....	163
5.1.5.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	163
5.1.5.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”.....	165
5.1.6. Mezcla asfáltica convencional con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.....	166
5.1.6.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	166
5.1.6.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.....	168
5.1.7. Mezcla asfáltica convencional con materia llenante polvo de arena.....	169
5.1.7.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	169
5.1.7.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con material llenante polvo de arena.....	171
5.1.8. Mezcla asfáltica convencional con materia llenante polvo de arena y adicionada con aditivo.....	172
5.1.8.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.....	172

5.1.8.1. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con material llenante polvo de arena y adicionada con aditivo.....	174
CAPÍTULO VI.....	174
6. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE RESULTADOS.	174
6.1. Comparación y análisis de propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.	175
6.1.1. Análisis de pesos específicos vs tipo de mezcla con variación de filler.....	175
6.1.2. Análisis de estabilidad vs tipo de mezcla con variación de filler.	176
6.1.3. Análisis de flujo vs tipo de mezcla con variación de filler.....	177
6.1.4. Análisis de % de vacíos vs tipo de mezcla con variación de filler.	178
6.1.5. Análisis de % de V.M.A. vs tipo de mezcla con variación de filler.....	179
6.1.6. Análisis de % de V.F.A. vs tipo de mezcla con variación de filler.	180
6.1.7. Análisis de Índice de rigidez vs tipo de mezcla con variación de filler	181
6.2. Comparación y análisis de desempeño por humedad de la mezcla asfáltica.	182
6.2.1. Comparación y análisis por daño por humedad – resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta – TSR.	182
CAPÍTULO VII	185
7. ANALISIS ECONOMICO.....	185
7.1. Mezcla asfáltica convencional con filler y adicionada con aditivo.....	186
7.1.1. Mezcla Asfáltica Convencional para pavimentos.....	186
7.1.2. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cal hidratada.....	187
7.1.3. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cemento Portland IP.....	187
7.1.4. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler puzolana micronizada.....	188
7.1.5. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=4.5% y con filler polvo de arena...	188
7.1.6. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cal hidratada, adicionado con aditivo.....	189

7.1.7. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cemento Portland IP, adicionado con aditivo.	189
7.1.8. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler puzolana micronizada, adicionado con aditivo.	190
7.1.9. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=4.5% y con filler polvo de arena... ..	190
7.2. Análisis de precios unitarios de la preparación de mezclas asfálticas.	191
7.2.1. Análisis y comparación económica de mezclas asfálticas convencionales y con filler distinto.....	196
7.2.1. Análisis y comparación económica de mezclas asfálticas convencionales y con adición de aditivo.....	197
CONCLUSIONES.....	199
RECOMENDACIONES	202
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	204
ANEXOS.....	208
Anexo 1.....	208
Anexo 2.....	216
Anexo 3.....	225
Anexo 4.....	246
Anexo 5.....	248
Anexo 6.....	251
Anexo 7.....	255
Anexo 8.....	259

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Estructura del pavimento.</i>	15
<i>Figura 2: Capas típicas de un pavimento flexible.</i>	17
<i>Figura 3: Clasificación de cementos asfálticos PG para el Perú.</i>	25
<i>Figura 4: Representación de vacíos y volúmenes de un espécimen de mezcla asfáltica compactada.</i>	39
<i>Figura 5: Separación del daño por humedad en proceso físicos y mecánicos</i>	50
<i>Figura 6: Ubicación de la cantera La Poderosa, Arequipa, Arequipa.</i>	64
<i>Figura 7: Análisis granulométrico de agregado grueso y fino.</i>	65
<i>Figura 8: Análisis granulométrico del filler.</i>	66
<i>Figura 9: Ensayo de peso unitario suelto y compactado.</i>	66
<i>Figura 10: Ensayo de peso específico del agregado grueso - grava.</i>	67
<i>Figura 11: Ensayo de peso específico de la fino – arena.</i>	68
<i>Figura 12: Ensayo de peso específico de la cal hidratada y cemento Portland.</i>	68
<i>Figura 13: Ensayo de abrasión – Maquina de los Ángeles.</i>	69
<i>Figura 14: Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.</i>	69
<i>Figura 15: Ensayo de durabilidad de los agregados.</i>	70
<i>Figura 16: Ensayo de sales solubles de los agregados.</i>	71
<i>Figura 17: Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso – grava.</i>	71
<i>Figura 18: Ensayo de caras fracturadas del agregado grueso – grava.</i>	72
<i>Figura 19: Ensayo de equivalente de arena del agregado fino – arena.</i>	73
<i>Figura 20: Ensayo de angularidad del agregado fino – arena.</i>	73
<i>Figura 21: Ensayo de azul de metileno del agregado fino – arena.</i>	74
<i>Figura 22: Ensayo de índice de plasticidad de los finos – limos.</i>	75

<i>Figura 23: Ensayo para determinar cualitativamente las impurezas del agregado fino – arena.</i>	75
<i>Figura 24: Calibración de picnómetro tipo D.</i>	77
<i>Figura 25: Ensayo Rice en la mezcla asfáltica con una presión de 25 mm Hg.</i>	79
<i>Figura 26: Calentado en horno del agregado entre 135° - 150°C.</i>	84
<i>Figura 27: Colocado y acomodo de la mezcla asfáltica en moldes.</i>	84
<i>Figura 28: Compactado de la mezcla asfáltica.</i>	85
<i>Figura 29: Desmolde de probeta y toma de medidas.</i>	86
<i>Figura 30: Ensayo para obtener peso específico Bulk.</i>	87
<i>Figura 31: Baño María.</i>	87
<i>Figura 32: Maquina y moldes de ensayo Marshall.</i>	88
<i>Figura 33: Curado de la mezcla asfáltica sin compactar.</i>	91
<i>Figura 34: Briquetas con distinta cantidad de golpes.</i>	92
<i>Figura 35: Acondicionamiento de especímenes secos.</i>	92
<i>Figura 36: Saturación al vacío del espécimen.</i>	93
<i>Figura 37: Acondicionamientos de hielo y deshielo de las briquetas.</i>	93
<i>Figura 38: Especímenes ensayados mediante mordaza Lottman.</i>	94
<i>Figura 39: Ensayo de revestimiento y desprendimiento de mezcla agregado – bitumen.</i>	95
<i>Figura 40: Ensayo del efecto del agua hervida sobre los agregados con recubrimiento bituminoso.</i>	95
<i>Figura 41: Abaco para obtener el índice de asfalto.</i>	106

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: Definición y operacionalización de las variables.</i>	7
<i>Tabla 2: Propiedades del cemento asfáltico según su grado de penetración.</i>	22
<i>Tabla 3: Selección del tipo de cemento asfáltico.</i>	22
<i>Tabla 4: Propiedades del cemento asfáltico según su grado de penetración.</i>	23
<i>Tabla 5: Grados asfálticos por desempeño.</i>	23
<i>Tabla 6: Referencia del PG con respecto al grado de penetración del asfalto.</i>	24
<i>Tabla 7: Gradaciones de los agregados para mezclas asfálticas en caliente.</i>	26
<i>Tabla 8: Requerimientos de los agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.</i>	27
<i>Tabla 9: Requerimientos de los agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.</i>	28
<i>Tabla 10: Requerimiento del filler en mezclas asfálticas en caliente.</i>	28
<i>Tabla 11: Requerimiento del filler para la cal hidratada en mezclas asfálticas en caliente.</i> ..	28
<i>Tabla 12: Tipos de modificadores de asfalto.</i>	33
<i>Tabla 13: Requisitos para mezcla de concreto bituminoso</i>	42
<i>Tabla 14: Mecanismos de daño por humedad.</i>	49
<i>Tabla 15: Factores que influyen en el daño por humedad.</i>	52
<i>Tabla 16: Ensayos de inmersión en mezclas asfálticas.</i>	55
<i>Tabla 17: Ensayo de daño por humedad para mezclas bituminosas compactadas.</i>	56
<i>Tabla 18: Cantidad de mezclas elaboradas para el ensayo RICE.</i>	76
<i>Tabla 19: Cantidad de mezcla por TMN.</i>	78
<i>Tabla 20: Numero de especímenes por filler y aditivo, para ensayo de Marshall.</i>	80
<i>Tabla 21: Dosificación de la mezcla asfáltica.</i>	83
<i>Tabla 22: Numero de especímenes por filler y aditivo, para ensayo de TSR.</i>	89
<i>Tabla 23: Caracterización del agregado grueso – Grava.</i>	96
<i>Tabla 24: Caracterización del Agregado Fino – Arena.</i>	97

<i>Tabla 25: Caracterización del Material Llenante – Filler.</i>	98
<i>Tabla 26: Resultados de ensayos de adherencia.</i>	98
<i>Tabla 27: Datos generales de los agregados.</i>	100
<i>Tabla 28: Requerimientos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente (MAC) – 1.</i>	101
<i>Tabla 29: Resultados del análisis granulométrico de los agregados.</i>	102
<i>Tabla 30: Combinación de agregados.</i>	103
<i>Tabla 31: Cálculo de áreas superficiales.</i>	106
<i>Tabla 32: % teórico de C.A por método de áreas superficiales.</i>	107
<i>Tabla 33: Contenido de asfalto teórico.</i>	108
<i>Tabla 34: Resultados de peso específico teórico máximo según ensayo Rice.</i>	109
<i>Tabla 35: Dosificación establecida en % para una MAC – 1.</i>	109
<i>Tabla 36: Resultados del diseño MAC, filler cal hidratada.</i>	110
<i>Tabla 37: Resultados del diseño MAC, filler cemento Portland IP.</i>	119
<i>Tabla 38: Resultados del diseño MAC, filler polvo silico aluminico.</i>	128
<i>Tabla 39: Resultados del diseño MAC, filler polvo de arena.</i>	137
<i>Tabla 40: Características para el óptimo % de C.A, con filler cal hidratada.</i>	146
<i>Tabla 41: Características para el óptimo % de C.A, con filler cemento Portland IP.</i>	147
<i>Tabla 42: Características para el óptimo % de C.A, con filler puzolana micronizada “Carpetek”</i>	147
<i>Tabla 43: Características para el óptimo % de C.A, con filler polvo de arena.</i>	148
<i>Tabla 44: Numero de especímenes compactados por cada mezcla.</i>	150
<i>Tabla 45: Numero de golpes de mezcla compactada con material llenante Cal hidratada - TSR.</i>	151

<i>Tabla 46: Numero de golpes de mezcla compactada con filler Cal hidratada y adicionada con aditivo – TSR.....</i>	<i>154</i>
<i>Tabla 47: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con material llenante cal hidratada y adicionada con aditivo.....</i>	<i>156</i>
<i>Tabla 48: Numero de golpes de mezcla compactada con filler cemento Portland IP – TSR.....</i>	<i>157</i>
<i>Tabla 49: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con filler cemento Portland IP.....</i>	<i>159</i>
<i>Tabla 50: Numero de golpes de mezcla compactada con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo – TSR.....</i>	<i>160</i>
<i>Tabla 51: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.....</i>	<i>162</i>
<i>Tabla 52: Numero de golpes de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” – TSR.....</i>	<i>163</i>
<i>Tabla 53: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con filler puzolana micronizada “Carpetek”.....</i>	<i>165</i>
<i>Tabla 54: Numero de golpes de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo – TSR.....</i>	<i>166</i>
<i>Tabla 55: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.....</i>	<i>168</i>
<i>Tabla 56: Numero de golpes de mezcla compactada con material llenante polvo de arena – TSR.....</i>	<i>169</i>
<i>Tabla 57: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con material llenante polvo de arena.....</i>	<i>171</i>

<i>Tabla 58: Numero de golpes de mezcla compactada con filler polvo de arena y adicionada con aditivo – TSR.....</i>	<i>172</i>
<i>Tabla 59: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con material llenante polvo de arena y adicionada con aditivo.....</i>	<i>174</i>
<i>Tabla 60: Dosificación de mezcla asfáltica.....</i>	<i>186</i>
<i>Tabla 61: Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cal hidratada.</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 62: Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cemento Portland.</i>	<i>187</i>
<i>Tabla 63: Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler puzolana micronizada. ..</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 64: Aporte de la mezcla asfáltica con 4.5% de C.A con filler Polvo de arena.</i>	<i>188</i>
<i>Tabla 65: Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cal hidratada, adicionada con aditivo.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabla 66: Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cemento Portland, adicionada con aditivo.....</i>	<i>189</i>
<i>Tabla 67: Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler puzolana micronizada, adicionada con aditivo.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 68: Aporte de la mezcla asfáltica con 4.5% de C.A con filler polvo de arena, adicionada con aditivo.....</i>	<i>190</i>
<i>Tabla 69: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cal hidratada.</i>	<i>191</i>
<i>Tabla 70: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cemento Portland IP. .</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 71: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler puzolana micronizada.</i>	<i>192</i>
<i>Tabla 72: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler polvo de arena.....</i>	<i>193</i>
<i>Tabla 73: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cal hidratada, adicionada con aditivo.....</i>	<i>193</i>

Tabla 74: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cemento Portland IP, con aditivo. 194

Tabla 75: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler puzolana micronizada, con aditivo..... 194

Tabla 76: Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler polvo de arena, con aditivo. 195



INDICE DE GRAFICAS

<i>Gráfica 1: Curva de calibración de picnómetro.....</i>	<i>78</i>
<i>Gráfica 2: Combinación de agregados MAC – 1.....</i>	<i>104</i>
<i>Gráfica 3: Estabilidad vs % C.A.....</i>	<i>111</i>
<i>Gráfica 4: Peso específico Bulk vs %C.A.....</i>	<i>112</i>
<i>Gráfica 5: % de vacíos vs C.A.....</i>	<i>113</i>
<i>Gráfica 6: Flujo vs C.A.....</i>	<i>114</i>
<i>Gráfica 7: % V.M.A. vs C.A.....</i>	<i>115</i>
<i>Gráfica 8: % V.F.A vs C.A.....</i>	<i>116</i>
<i>Gráfica 9: Relación polvo – asfalto.....</i>	<i>117</i>
<i>Gráfica 10: Relación Estabilidad vs flujo.....</i>	<i>118</i>
<i>Gráfica 11: Estabilidad vs % C.A.....</i>	<i>120</i>
<i>Gráfica 12: Peso específico Bulk vs %C.A.....</i>	<i>121</i>
<i>Gráfica 13: % de vacíos vs C.A.....</i>	<i>122</i>
<i>Gráfica 14: Flujo vs C.A.....</i>	<i>123</i>
<i>Gráfica 15: % V.M.A. vs C.A.....</i>	<i>124</i>
<i>Gráfica 16: % V.F.A vs C.A.....</i>	<i>125</i>
<i>Gráfica 17: Relación polvo – asfalto.....</i>	<i>126</i>
<i>Gráfica 18: Relación Estabilidad vs flujo.....</i>	<i>127</i>
<i>Gráfica 19: Estabilidad vs % C.A.....</i>	<i>129</i>
<i>Gráfica 20: Peso específico Bulk vs %C.A.....</i>	<i>130</i>
<i>Gráfica 21: % de vacíos vs C.A.....</i>	<i>131</i>
<i>Gráfica 22: Flujo vs C.A.....</i>	<i>132</i>
<i>Gráfica 23: % V.M.A. vs C.A.....</i>	<i>133</i>
<i>Gráfica 24: % V.F.A. vs C.A.....</i>	<i>134</i>

<i>Gráfica 25: Relación polvo – asfalto.....</i>	<i>135</i>
<i>Gráfica 26: Relación Estabilidad vs flujo.</i>	<i>136</i>
<i>Gráfica 27: Estabilidad vs % C.A.....</i>	<i>138</i>
<i>Gráfica 28: Peso específico Bulk vs %C.A.</i>	<i>139</i>
<i>Gráfica 29: % de vacíos vs C.A.....</i>	<i>140</i>
<i>Gráfica 30: Flujo vs C.A.....</i>	<i>141</i>
<i>Gráfica 31: % V.M.A. vs C.A.....</i>	<i>142</i>
<i>Gráfica 32: % V.F.A. vs C.A.....</i>	<i>143</i>
<i>Gráfica 33: Relación polvo – asfalto.....</i>	<i>144</i>
<i>Gráfica 34: Relación Estabilidad vs flujo.</i>	<i>145</i>
<i>Gráfica 35: Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con material llenante Cal hidratada.....</i>	<i>152</i>
<i>Gráfica 36: Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con material llenante cal hidratada.....</i>	<i>153</i>
<i>Gráfica 37: Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler Cal hidratada y adicionada con aditivo.....</i>	<i>155</i>
<i>Gráfica 38: Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler cemento Portland IP.</i>	<i>158</i>
<i>Gráfica 39: Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.....</i>	<i>161</i>
<i>Gráfica 40: Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek”.</i>	<i>164</i>
<i>Gráfica 41: Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.....</i>	<i>167</i>

<i>Gráfica 42: Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con material llenante polvo de arena.....</i>	<i>170</i>
<i>Gráfica 43: Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler polvo de arena y adicionada con aditivo.....</i>	<i>173</i>
<i>Gráfica 44: Comparación de pesos unitarios vs % C.A. entre mezclas asfálticas.....</i>	<i>175</i>
<i>Gráfica 45: Comparación entre estabilidad vs %C.A. entre mezclas asfálticas.....</i>	<i>176</i>
<i>Gráfica 46: Comparación entre flujo vs %C.A. entre mezclas asfálticas.</i>	<i>177</i>
<i>Gráfica 47: Comparación entre % de vacíos vs %C.A. entre mezclas asfálticas.</i>	<i>178</i>
<i>Gráfica 48: Comparación entre % V.M.A. vs % C.A. entre mezclas asfálticas.....</i>	<i>179</i>
<i>Gráfica 49: Comparación entre % V.F.A. vs % C.A. entre mezclas asfálticas.....</i>	<i>180</i>
<i>Gráfica 50: Comparación entre Índice de rigidez vs %C.A. entre mezclas asfálticas.....</i>	<i>181</i>
<i>Gráfica 51: Daño inducido por humedad en mezclas asfálticas convencionales vs mezclas adicionada.....</i>	<i>182</i>
<i>Gráfica 52: Eficiencia del aditivo en la mezcla asfáltica.....</i>	<i>183</i>
<i>Gráfica 53: Comparación económica de mezclas asfálticas convencionales con filler distinto.....</i>	<i>196</i>
<i>Gráfica 54: Comparación económica de mezclas asfálticas convencionales con adición de aditivo.</i>	<i>197</i>

INDICE DE ESQUEMAS

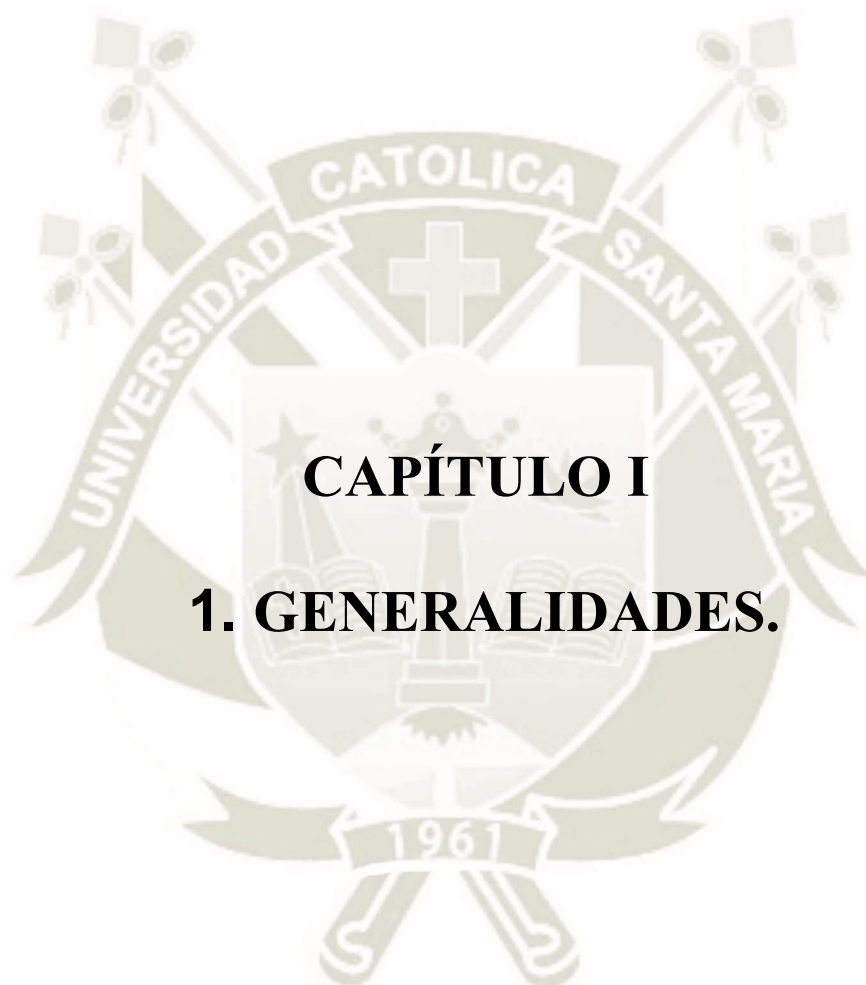
Esquema 1: Metodología Marshall.81

Esquema 2: Metodología del ensayo a la tracción indirecta (TSR)......90



INDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1: Gravedad específica de Bulk de la mezcla compactada.</i>	35
<i>Ecuación 2: Peso específico Bulk de los agregados combinados.</i>	35
<i>Ecuación 3: Gravedad específica efectiva del agregado.</i>	36
<i>Ecuación 4: Densidad máxima teoría o gravedad específica máxima.</i>	36
<i>Ecuación 5: Contenido de asfalto.</i>	37
<i>Ecuación 6: Asfalto absorbido.</i>	37
<i>Ecuación 7: Asfalto efectivo.</i>	37
<i>Ecuación 8: Porcentajes de vacíos en el agregado mineral.</i>	38
<i>Ecuación 9: Vacíos de la mezcla total compactada.</i>	39
<i>Ecuación 10: Vacíos llenados con asfalto.</i>	39
<i>Ecuación 11: Densidad teórica máxima.</i>	79
<i>Ecuación 12: Formula áreas superficiales.</i>	105
<i>Ecuación 13: Contenido de C.A. teórico según el Instituto del Asfalto.</i>	107



CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES.

1.1. Diagnostico situacional.

En la ciudad de Arequipa, al notar la escasa cantidad de estudios que se realiza para evaluar el deterioro del pavimento flexible debido a la humedad y los diferentes métodos y materiales que existen para mejorar la resistencia a este factor, es necesario la utilización de distintos materiales de relleno y aditivos. Para posteriormente poder comprobar su desempeño ante el daño ocasionado por este problema.

1.2. Formulación del problema.

En la ciudad de Arequipa el clima en las últimas temporadas de las lluvias ha sido intensas y como consecuencia trae consigo el deterioro del pavimento, como solución se realiza, dependiendo de la gravedad del daño, un mantenimiento, rehabilitación o en el peor de los casos, la reconstrucción trayendo consigo gastos que no eran previstos en su momento.

Actualmente en los proyectos de pavimentos flexibles en Arequipa, no se suele tomar en consideración el daño por humedad, mientras los estudios comprueban que este factor es una de las mayores razones por las cuales los pavimentos presentan deterioro. En la ciudad de Arequipa, el diseño de la carpeta asfáltica no contempla la simulación de los aspectos mencionados y no hay estudios de implementación de rellenos minerales para la adherencia asfáltica, ya que estos ayudan a maximizar la resistencia al daño por humedad.

Es necesario estudiar el desempeño de los rellenos minerales para mejorar la adherencia y minimizar la susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas asfáltica en nuestra ciudad, de esta manera se obtendrá una base de datos o un conocimiento previo para la elaboración de expedientes en un proyecto.

1.3. Hipótesis.

Debido a que las mezclas asfálticas son susceptibles al daño por humedad, perdiendo la adherencia entre sus componentes, se podría mejorar el desempeño de éstas ante este factor, usando diferentes materiales como “filler” y aditivos mejoradores de adherencia,

provocando que la resistencia al daño por humedad varíe de acuerdo con el uso de los materiales mencionados. Asimismo, las propiedades volumétricas de la mezcla (Rigidez, VMA, VFA, Peso unitario, entre otras) pueden ser diferentes, acorde al material llenante que se use para su composición.

1.4. Justificación de la investigación.

Es importante el estudio de la susceptibilidad al daño por humedad, porque es el agua una de las principales causas que provocan el rápido deterioro de los pavimentos asfálticos en caliente. Y por ello, es relevante reconocer que materiales podrían mejorar la resistencia al agua en mezclas asfálticas y que efectos tienen estos en las otras propiedades de la mezcla.

Esta investigación es necesaria en lo económico, pues construir pavimentos más durables al daño por humedad provoca que se requiera menos mantenimiento a la vía y que la vida útil del pavimento hasta su reconstrucción sea más larga, por lo que el gasto será menor.

Esta investigación es necesaria en lo social, pues es relevante que la población no sufra descontento por la destrucción de las vías tras cada época de lluvias. Además, los deterioros que se producen por el daño del agua pueden provocar accidentes de tránsito e incomodidad en los usuarios, en cuyo caso podría evitarse.

Esta investigación es necesaria en lo académico, ya que la susceptibilidad al daño por humedad es a veces un factor que no es tomado en cuenta en Arequipa, a pesar de su importancia y de que, por norma, debe tomarse en cuenta. Pues es necesario ampliar el conocimiento del uso de diferentes materiales para aumentar la resistencia al daño por humedad de las mezclas asfálticas usando diferentes materiales y que, cada vez, implique un menor costo. Esto motivará a diferentes estudiantes para que realicen investigaciones sobre el tema.

Esta investigación es necesaria en lo ambiental, ya que como se mencionó, un pavimento resistente al agua es más durable, porque la reconstrucción de la vía tomará más

tiempo y se usarán menos materiales y sobre todo menos cemento asfáltico, cuya elaboración y uso inadecuado suele ser contaminante; también es relevante por la contaminación que puede producir el material de desecho de un pavimento demolido para su reconstrucción.

Esta investigación es necesaria en lo ético, ya que se busca el reconocimiento de la importancia de la resistencia de los pavimentos al daño por humedad, para que los profesionales tengan en cuenta este factor y se aplique las medidas necesarias para la construcción de pavimentos durables, y que se evite aplicar medidas para no aumentar el costo o el tiempo de construcción de la vía.

1.5. Objetivos.

1.5.1. Objetivo general.

Evaluar y comparar el desempeño como material de relleno, de la cal hidratada, del cemento Portland, puzolana y polvo de agregado fino ante el daño por humedad, así como la aplicación de un aditivo mejorador de adherencia entre los componentes de la mezcla asfáltica.

1.5.2. Objetivos específicos.

- Caracterizar los agregados utilizados en esta investigación: agregado grueso, fino.
- Caracterizar el material usado como filler tales como: cal hidratada, cemento Portland IP, puzolana (polvo sílico – alumínico) y arena pasante de la malla #200.
- Diseñar una mezcla asfáltica en caliente óptima, tipo convencional de un pavimento flexible, cumpliendo con una dosificación correcta de agregados, asfalto, empleando la metodología Marshall.

- Determinar el contenido óptimo de asfalto para cada mezcla asfáltica con diferente material de relleno utilizada en esta investigación, empleando la metodología Marshall.
- Realizar ensayos de laboratorio para obtener propiedades mecánicas tales como flujo y estabilidad, para todas las mezclas en caliente variando el tipo de filler empleado.
- Realizar ensayos para obtener la gravedad específica (RICE), para las mezclas en caliente, variando el filler empleado.
- Identificar la influencia de la humedad en mezclas asfálticas en caliente convencional con distinto filler y con la aplicación de aditivo, utilizando el ensayo de Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad (AASHTO T 283), posteriormente se podrá comparar los resultados que se obtenga.
- Determinar las mejoras físico-mecánicas de las mezclas asfálticas convencionales, con los diferentes filler y del aditivo de mejoramiento empleados en la mezcla.
- Comparar y analizar económicamente, la mezcla asfáltica convencional con los diferentes filler y otro diseño adicionado con aditivo.

1.6. Análisis de variables.

1.6.1. Análisis de variables independientes.

- Uso de aditivo en la mezcla asfáltica convencional, elaborados con diferentes porcentajes óptimos de cemento asfáltico.
- Ensayos de caracterización de materiales granulares: agregado grueso y fino.

1.6.2. Análisis de variables dependientes.

- Mejora de las características mecánicas: resistencia y deformación – ensayo de estabilidad / flujo.
- Incremento de la tensión diametral máxima antes de fallar, considerando efectos por humedad – ensayo de tracción indirecta TSR.
- Costo de producción en la elaboración de la mezcla asfáltica.



1.6.3. Técnicas, instrumentos y materiales de verificación.

Tabla 1:

Definición y operacionalización de las variables.

Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Técnica	Instrumentos
Uso de aditivo en la mezcla asfáltica convencional, elaborados con diferentes porcentajes óptimos de cemento asfáltico. (Independiente)	Se refiere a como se cuantificará el uso del aditivo en las mezclas asfálticas elaboradas con diferentes relaciones de cemento asfáltico.	- Dosis de aplicación de aditivo. - Porcentaje de cemento asfáltico.	-Cantidad de aditivo en porcentaje por cemento asfáltico empleado. - Cemento asfáltico óptimo utilizado para la elaboración de la mezcla asfáltica.	Cálculos empíricos	-Especificaciones técnicas.
Ensayos de caracterización de materiales granulares: agregado grueso y fino. (Independiente)	Consiste en obtener las propiedades físicas, químicas y mecánicas de los agregados, mediante ensayos de laboratorio.	- Propiedades físicas, químicas y mecánicas.	- Ensayos descritos en el manual de ensayo de materiales, requeridos por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).	Experimentación en ensayos de laboratorio.	- Equipos de laboratorio. - Agenda de apuntes.
Mejora de las características mecánicas: resistencia y deformación – ensayo de estabilidad / flujo. (Dependiente)	Se refiere a la variación del comportamiento mecánico de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica.	-Comportamiento mecánico.	- Estabilidad y fluencia.	- Carga máxima que soporta el espécimen (<i>kgf</i>). - Deformación (<i>mm</i>).	- Máquina semiautomática digital para ensayos Marshall.
Incremento de la tensión diametral máxima antes del fallar, considerando efectos por humedad – ensayo de tracción indirecta TSR. (Dependiente)	Consiste en someter a tensión diametral una probeta cilíndrica, a la cual se aplica una carga de manera uniforme en dos direcciones opuestas.	- Valor de carga máxima en especímenes en seco. - Valor de carga en especímenes acondicionados a cambios de temperatura	- Valores de estabilidad máximos. - Inspecciones cualitativas.	- Carga máxima sometida a tensión diametral que soporta el espécimen en (<i>kgf</i>). - Escala de inspección visual de 1 a 5.	-Refrigerador -Baño de agua -Equipo Marshall -Mordaza Lottman.
Costo de producción en la elaboración de la mezcla asfáltica. (Dependiente)	Costo en conjunto de los materiales constituyentes en la mezcla asfáltica.	- Costo por m ³ .	- Costo por m ³ .	- Cálculos empíricos.	- Partidas de análisis de precios unitarios.

Fuente: Elaboración propia.

1.7. Alcances.

El presente proyecto de investigación tiene como fin evaluar el desempeño de los materiales de rellenos empleados ante el daño por humedad en la mezcla asfáltica en caliente convencional para una carpeta asfáltica flexible en el departamento de Arequipa, ciudad Arequipa, para este proyecto se utilizó los agregados más cotizados de la zona, adquiridos de la cantera “La Poderosa”.

Los agregados en esta investigación cumplen en su mayoría las especificaciones técnicas de la norma del Ministerio Transportes y Comunicaciones del Perú (MTC, 2013).

El asfalto que se utilizó es PEN 85/100, adquirido de la empresa BRIMAX S.A. de la ciudad de Lima, pero es producido por PETROPERU.

De los ensayos obtenidos de granulometría y de comprobar los antecedentes, era necesario emplear filler, en este caso se usó 4 materiales de relleno, cal hidratada MYCAL de la empresa M & CALERA SANTA, cemento Portland tipo I de la empresa YURA, puzolana micronizada (CARPETEK) de la empresa ROCATECH y polvo de agregado fino elaborado por los autores de la presente tesis.

Una vez obtenido la caracterización necesaria de todos los materiales, se realizaron ensayos descritos según norma EG 2013, la combinación de agregados cumple con el huso granulométrico para mezcla asfáltica en caliente MAC – 01, luego se procede a realizar cuatro diseños de mezclas convencionales y en cada uno utilizando diferente filler, adicionalmente se aplicara aditivo a cada mezcla óptima, para el cual se procede a la elaboración de briquetas, para su posterior ensayo con el equipo Marshall, además se realizan ensayos de susceptibilidad a la humedad llamado TSR (Resistencia conservada en el Ensayo de Tracción Indirecta), para posteriormente comparar los resultados obtenidos con y sin aditivo, con esta información recopilada se elaborara un análisis económico.

1.8. Antecedentes.

Alrededor del mundo, como en Europa se sigue investigando la susceptibilidad al agua en mezclas asfálticas. Como en España, donde Moreno F. y García G., en 2013, en la Universidad de Granada, decidieron comparar dos métodos presentes en la norma Europea con la intención de encontrar el método más eficiente para representar en laboratorio el daño que pueda sufrir el asfalto por humedad, usaron los métodos que ellos llaman “Immersion Compression Test”, que sometía a la briqueta a compresión axial y “Water Sensitive Test” que la sometía a tracción indirecta, muy parecido al ensayo TSR, llegando a la conclusión que el segundo método es más representativo para evaluar el desempeño de la mezcla asfáltica.

Algo parecido hacen en New England, en 2018, donde Dave, E. de la University of New Hampshire plantea evaluar las mezclas asfálticas en caliente usuales en New England usando diferentes ensayos recomendados para evaluar el daño por humedad y determinar cuáles de ellos podrían ser los más confiables y precisos para usarlos en su región. Analiza los siguientes procedimientos de acondicionamiento: Modified Lottman Procedure (AASHTO T283), Environment Conditioning System, Moisture Induced Stress Tester (MiST) y Multiple Cycle Freeze Down. Y las siguientes pruebas de caracterización de especímenes acondicionados por humedad: Hamburg Wheel Tracking Device (Prueba de la rueda de Hamburgo), Environmental Conditioning System with Dynamic Modulus, Indirect Tensile Strength y Dynamic Modulus.

En la Universidad de Wisconsin, en el 2009, Faheem, Ahmed & Bahia, Hussain estudiaron los fenómenos de interacción del asfalto con fillers, obteniendo importantes resultados en relación con la resistencia y adherencia de la mezcla asfáltica.

En Latinoamérica encontramos también diferentes investigaciones, como, por ejemplo: En el 2015, en Bogotá, Figueroa A. S. analizó la influencia que tiene el agua en el

asfalto, evaluando cómo se produce el fenómeno de “stripping” por el agua y revelando que hay un impacto importante en el desempeño de la mezcla asfáltica para pavimentos en sus propiedades físicas, químicas, reológicas y mecánicas, obteniendo resultados mediante los ensayos TSR y MIST.

En el 2016, Miranda, F., Aguiar, J. P., estudian el daño por humedad en mezclas asfálticas usando agregados de varias fuentes de Costa Rica, analizando la ganancia de resistencia al daño por humedad utilizando aditivo antidesnudante, SBS y cal, los cuales evidencian una ganancia por humedad en los materiales analizados, siendo el último el más notorio. También evidencian que las mezclas con agregados diferentes presentan desempeños distintos.

Urrego, C. y Ruiz, C., en el 2016, analizaron la adherencia de dos tipos de agregados de Bogotá (peña y río) con el cemento asfáltico para pavimentos mediante el ensayo de TSR (Resistencia Retenida a Tensión Diametral o Ensayo de Tracción Indirecta), dando como resultado que el material de peña falla por la presión de la carga, y el material de río presenta baja adherencia con el cemento asfáltico.

Así también. en el 2011, en México, Sandoval, I, estudió el efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas de la mezcla asfáltica, siguiendo la línea de estudio anterior, comprobando la ganancia importante de resistencia en el asfalto al agregar filler de muchos tipos, siendo los que tienen granulometría más fina los que obtienen mayor resistencia y propone que se realicen estudios para verificar que filler es mejor para diferentes propiedades como rigidez, fatiga, adherencia, etc.

Sanchez, S. y Vega, C., en la Universidad de Gran Colombia, en el 2016, evaluó el daño por humedad en una mezcla asfáltica modificada con grano de caucho reciclado (GCR). Se encontró que al aumentar el porcentaje de GCR, las mezclas asfálticas son más susceptibles al daño causado por la humedad.

En nuestro país existen muy pocas investigaciones que toquen este tema. La mayoría considerando un material y probando sus propiedades, entre ellas, la resistencia al daño por humedad. Por ejemplo:

En Lima, Mamani, L. A., estudió el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica adicionando zeolita natural, usó el ensayo de Lottman modificado para comprobar el desempeño y la susceptibilidad de la mezcla asfáltica con adición de zeolita. Se aprecia que existe un incremento de la resistencia al daño por humedad considerable usando 0.6% de zeolita, pero este aporte disminuye al incrementarse el porcentaje de zeolita a 0.9%. El autor refiere que el incremento de finos disminuye la cantidad de vacíos, por lo cual se reduce la absorción de agua en las mezclas asfálticas.

Peña, J. y Aramayo, F., en Lima, en el 2019, encontraron que las cenizas volantes provenientes de Ilo utilizadas como filler lograron un incremento en la resistencia por humedad de la mezcla asfáltica, siendo 0.75% de cenizas volantes con que se logra mejores resultados.

En 2020, en la Universidad de Piura, Santamaría, S. concluyó que la valva de concha de abanico podría disminuir en gran medida la susceptibilidad de las MAC ante el daño por humedad, utilizando este material como reemplazo de la arena.

En Arequipa, podemos encontrar algunas investigaciones, entre ellas podemos encontrar:

En la UCSM, Ponce, C. y Villa, C., en 2020, con materiales de Arequipa, comprobaron que una mezcla asfáltica en caliente adicionada con fibras de polipropileno, lograba una ligera mejoría en adherencia entre sus componentes que una mezcla asfáltica convencional, es decir, una mejor resistencia a la humedad de la mezcla.

En Arequipa, en 2019, Aguilar, D. analizó el desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional usando gradación Marshall y Superpave, concluyendo que el asfalto de

ambas metodologías tiene baja susceptibilidad a la humedad. Sus muestras MAC obtuvieron mejores resultados en diferentes ensayos frente a sus muestras SUPERPAVE. La autora recomienda que se realicen ensayos de desempeño por humedad usando aditivos antistripping.





CAPÍTULO II

2. MARCO TEORICO.

2.1. Definición y descripción de un pavimento.

El pavimento asfáltico es un término general aplicado a cualquier pavimento que tenga una superficie construida con asfalto. Normalmente, consiste en una capa superficial de agregado mineral cubierto y cementado con asfalto, y una o más capas de soporte, que pueden ser las siguientes: Base asfáltica, que consiste en mezclas de agregado de asfalto, piedra triturada, escoria o grava, Hormigón de cemento Portland y sobre subsuelos preparados. (The Asphalt Handbook, 2007)

El pavimento es una estructura de varias capas construida sobre la subrasante del camino para resistir y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar y distribuir esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está formado por las siguientes capas: base, subbase y capa de rodadura (MTC, pág. 21)

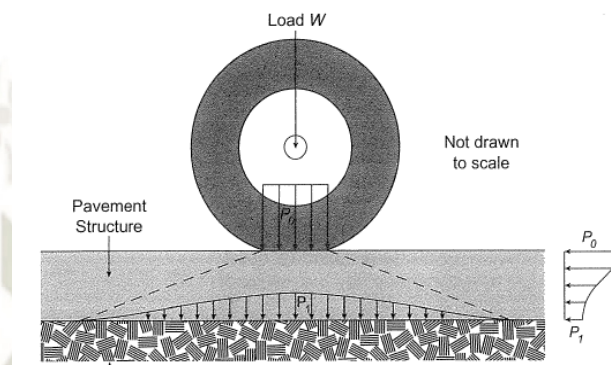
Un pavimento está constituido por un conjunto de capas superpuestas, relativamente horizontales, que se diseñan y construyen técnicamente con materiales apropiados y adecuadamente compactados. Estas estructuras estratificantes se apoyan sobre la subrasante de una vía obtenida por movimiento de tierras en el proceso de exploración y han de resistir adecuadamente los esfuerzos que las cargas repetidas del tránsito le transmiten durante el periodo para el cual fue diseñada la estructura del pavimento. (Ingeniería de Pavimentos para Carreteras Tomo I - Alfonso Montejo Fonseca)

Un pavimento asfáltico tiene como principales capas, sobre por encima de la subrasante preparada o fundación propiamente dicha. La primera capa superior sobre la superficie asfáltica de rodamiento y su espesor rodea alrededor de 25 mm (1 pulg) hasta 75 mm (3 pulg). Además, un pavimento flexible está constituido con cemento asfáltico, mezclas de agregados o mediante tratamientos superficiales con riegos bituminosos. Entonces observamos que un pavimento está conformado por una serie de capas las cuales están

sometidas a los esfuerzos máximos, producidos por las cargas dinámicas y son transferidas dichas cargas a la base, subbase y subrasante sucesivamente y esta última capa debe distribuir las cargas sin sobrepasar la resistencia interna del pavimento.

Figura 1:

Estructura del pavimento.



Fuente: The Asphalt Handbook, 2007.

Según el Instituto del Asfalto la superficie de un pavimento debe ser diseñada para resistir los efectos de distorsión y proveer una superficie de rodamiento lisa. La cual debe ser impermeable y tener la pendiente necesaria para el desagüe hacia los costados de la vía y de esta manera poder proteger la estructura del pavimento y la subrasante de los efectos negativos producidos por la humedad por ende este pavimento resistirá el daño ocasionado por el tránsito y conservará las propiedades antideslizantes necesarias y a la par deberá estar ligada a las series de capas que están por debajo de ella.

- Capa de rodadura: Es la parte superior de un pavimento, que puede ser de tipo bituminoso (flexible) o de concreto de cemento Portland(rígido) o de adoquinados, cuya función es sostener directamente el tránsito. (MTC pág. 24), además su principal función es brindar seguridad, comodidad y continuidad vehicular, debe presentar permeabilidad contra la entrada del agua al paviménteno y una textura que evite los deslizamientos, por ende, no tiene que presentar ondulaciones transversales y longitudinales.

- Base: La base es la porción de la estructura del pavimento por debajo de la capa de rodadura, se construye encima de la subbase. Su función principal en el pavimento es el soporte estructural y está constituido de agregados grueso y fino, puede utilizarse sin tratar o tratada con aditivos estabilizadores como cemento portland, asfalto, cal, es decir bases estabilizadas puzolánicas. (AASTTHO 1993, pág. 17)

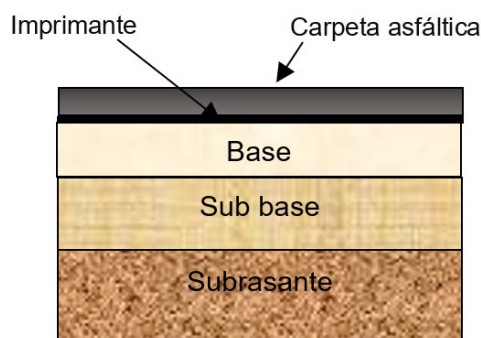
Es decir, la base es la capa subsiguiente a la de rodadura y esta tiene como función primordial sostener, distribuir y transmitir las cargas de tránsito hacia las capas inferiores. Según la MTC esta capa será de material granular drenante ($CBR \geq 80\%$) o será tratada con asfalto, cal o cemento.

- Sub base: La sub base es la porción de la estructura de pavimento por debajo de la carpeta asfáltica y la base. Generalmente consiste en una capa compactada de material granular, ya sea tratado o no tratado, o de una capa de suelo tratada con una mezcla adecuada. Además, generalmente se distingue del material de la capa base por requisitos de especificación menos estrictos de resistencia, plasticidad y gradación. (AASTTHO 1993, pág. 16). En conclusión, la subbase de un pavimento es una capa de material específico (tratada o no tratada) y con un espesor de diseño calculado, el cual soporta la base y la carpeta asfáltica y transmite los esfuerzos a la subrasante, siendo así una capa de transición. Además, según la MTC debe contar con la una capa de drenaje y controlador de la capilaridad del agua. Esta capa puede ser material granular ($CBR \geq 40\%$) o tratada con asfalto, cal o cemento.
- Subrasante: Es la capa que se encuentra generalmente por debajo de la subbase o base, se encarga de dar estabilidad al pavimento e interviene en el diseño de espesores del pavimento proporcionando un apoyo uniforme y permanente contra

la humedad. Adicionalmente es necesario que la subrasante este conformada con buenos materiales compactibles y que obtenga una compactación superior al 95% de su grado de compactación. (Miranda Rebolledo, 2010).

Figura 2:

Capas típicas de un pavimento flexible.



Fuente: Elaboración propia.

2.2. Clasificación de los pavimentos.

2.2.1. Pavimentos flexibles.

Los pavimentos flexibles generalmente consisten en capas subyacentes preparadas desde la subrasante, subbase y base. En algunos casos, la subbase y la base se estabilizarán para que estas puedan maximizarse en su capa y dar uso de una buena información relativa a la estabilización del suelo y de los agregados. (AASHTO 1993 pág. 16)

Es decir, un pavimento flexible está formado por una capa bituminosa denominada carpeta asfáltica y está soportada por capas granulares no rígidas (base, subbase y subrasante) y estas pueden variar en espesor dependiendo del diseño de la vía. Además, se caracteriza porque en su estructura se deflecta las cargas de tránsito sobre él y estas se distribuyen desde la capa superior a inferior, debido que en esta distribución se da en una menor área ya que carece de una alta rigidez.

2.2.2. Pavimentos rígidos.

Los pavimentos rígidos generalmente consisten en una calzada preparada subyacente a una capa de subbase y una losa de concreto. La subbase puede estar estabilizada o no

estabilizada sobre una subrasante o capa de material seleccionado dependiendo del volumen de tráfico. (AASHTO 1993, pag. 21). Además, en algunos casos presentan un armado de acero y esta se coloca sobre la subrasante o capa de material seleccionado.

Dentro de las propiedades del pavimento rígido se resalta la alta rigidez, elevado coeficiente de elasticidad y la distribución eficaz de esfuerzos que se produce debido que se da en un área muy amplia.

Existen tres tipos de pavimentos rígidos:

- Pavimentos de concreto simple con juntas.
- Pavimento de concreto con juntas y barras transversales.
- Pavimentos de concreto continuo reforzado.

2.2.3. Pavimentos semi rígidos.

Los pavimentos semirrígidos es una estructura que está compuesta por una capa asfáltica y bases tratadas con asfalto, cemento y cal, esta solución se recomienda aplicar sobre subrasantes buena ($CBR \geq 20\%$) (MTC, PÁG. 211). Presenta una estructura similar al de un pavimento flexible, con la diferencia que en una de sus capas se encuentra rígida de manera artificial debido al uso de algún aditivo (Cal, asfalto, emulsión, cemento o químicos) los cuales pueden aumentar la capacidad portante del suelo.

2.2.4. Pavimentos articulados.

Los pavimentos articulados son considerados aquellos que están constituidos por una capa de rodadura de bloques articulados, llamados adoquines y estas se apoyan sobre una capa de arena y presenta un sello de arena en sus juntas. En la constitución de sus capas presenta una capa base granular, subbase o directamente sobre la subrasante.

Según el Interlocking Concrete Pavement Institute (ICPI) el sistema de pavimento articulado ofrece ventajas tales como la alta resistencia, alta abrasión, resistencia al

deslizamiento, resistencia a los ciclos de congelamiento y descongelamiento y sobre todo a la optimización del tiempo en cuanto a la instalación.

2.3. Mezclas asfálticas.

La combinación de agregados uniformemente mezclados y recubiertos con cemento asfáltico son llamadas mezclas asfálticas. Las mezclas asfálticas se pueden producir a partir de una amplia gama de combinaciones de agregados, con características determinadas y diferentes, adecuadas para usos específicos, que pueden variar según diseño y construcción (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Una mezcla asfáltica apropiada debe proveer un balance entre propiedades de ingeniería y economía que asegure un pavimento durable que satisfaga las necesidades del usuario (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

2.3.1. Tipos de mezclas asfálticas.

2.3.1.1. Mezcla asfáltica en caliente (MAC).

El agregado y el cemento asfáltico deben calentarse antes de mezclar para secar los agregados y obtener suficiente fluidez del asfalto para una mezcla adecuada y trabajable, por eso el nombre mezcla asfáltica en caliente (MAC) o “Hot Mix Asphalt” (HMA) (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Generalmente, el asfalto y el agregado se almacenan a 121-163°C, la MAC, se mantiene a esa temperatura durante el camino, se transporta al sitio de obra, donde se extiende en la carretera por una máquina de pavimentación de asfalto. La capa lisa colocada por la pavimentadora es compactada por rodillos hasta lograr una densidad adecuada antes del enfriamiento del asfalto (The Asphalt Handbook, 2007).

2.3.1.2. Mezclas asfálticas tibias (MAT).

En las MAT se aplica un modificador al cemento asfáltico para reducir su viscosidad y poder combinarlo con los agregados sin necesidad de alcanzar altas temperaturas. Estos

modificadores suelen ser aditivos químicos; aditivos de asfaltos duros o blandos; o la adición de agua, para producir asfalto espumado (Menéndez, 2016).

2.3.1.3. Mezcla asfáltica en frío (MAF).

La mezcla asfáltica en frío es una mezcla de agregado mineral con o sin relleno mineral, con asfalto emulsionado o rebajado, todo el proceso se lleva a cabo a temperatura ambiente (Jiménez, Sibaja, 2009). Se suele utilizar cuando las condiciones de la construcción no permiten el uso de una MAC, por la imposibilidad de almacenamiento, por motivos geográficos, climáticos, económicos o disposición de agregados. Este tipo de mezcla suele usarse también para bajos volúmenes de obra.

2.3.1.4. Mezclas asfálticas especiales.

Se llaman de esa forma porque se emplean en condiciones específicas de alta carga, elevado tráfico o seguridad. Pueden ser las de tipo asfalto con matriz de piedra (Stone Matrix Asphalt SMA) o los de superficie friccionante porosa (PFC). Las dos mezclas mencionadas son producidas en caliente; en el caso de las SMA, se debe producir con asfaltos de comportamiento elevado, agregados de alta calidad, fillers y poca cantidad de fibra (Menéndez, 2016).

2.3.2. Componentes de una mezcla asfáltica en caliente.

2.3.2.1. Cemento asfáltico.

El cemento asfáltico es un material cementoso de color marrón oscuro a negro que se compone generalmente de betunes. Se encuentra en depósitos de asfalto natural o también se puede producir por destilación del petróleo.

El petróleo asfáltico es producido refinando el petróleo crudo. El proceso primario es la destilación para separar los componentes del petróleo por medio de un aumento de la temperatura en etapas. El petróleo crudo es calentado en un horno a 345 °C y es destilado. El residuo refinado de este proceso es el cemento asfáltico (The Asphalt Handbook, 2007).

La configuración de la estructura interna de un asfalto está determinada por la constitución química de sus moléculas. Un asfalto es una mezcla química compleja de moléculas que son principalmente hidrocarburos con pequeñas sumas de componentes policíclicos de estructura análoga y grupos funcionales con contenido de azufre, nitrógeno y átomos de oxígeno (Menéndez, 2016).

El cemento asfáltico es un material visco elástico porque simultáneamente tiene propiedades elásticas y viscosas. A altas temperaturas (sobre los 95°C) el asfalto actúa casi enteramente como un fluido viscoso, pero a bajas temperaturas se comporta como un sólido elástico (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

El cemento asfáltico tiene tres importantes características en su comportamiento: Susceptibilidad a la temperatura (penetración), viscoelasticidad y envejecimiento.

Los asfaltos se clasifican de diferentes formas:

2.3.2.1.1. Clasificación por penetración.

En el Perú se emplea el ensayo de penetración para clasificar asfaltos. Los ensayos de penetración y punto de ablandamiento son de origen empírico.

Tabla 2:
Propiedades del cemento asfáltico según su grado de penetración.

Tipo		Grado de Penetración									
Grado	Ensayo	PEN 40-50		PEN 60-70		PEN 85-100		PEN 120-150		PEN 200-300	
		min	máx	min	máx	min	máx	min	máx	min	máx
Pruebas sobre el Material Bituminoso											
Penetración a 25°C, 100 gf, 5 s, 0.1 mm	MTC E 304	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °C	MTC E 312	232		232		232		218		177	
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min, cm	MTC E 306	100		100		100		100		100	
Solubilidad en Tricloro-etileno, %	MTC E 302	99.0		99.0		99.0		99.0		99.0	
Índice de Penetración (Susceptibilidad Térmica) (1)	MTC E 304	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1	-1	+1
Ensayo de la Mancha (Oliensies) (2)											
Solvente Nafta - Estándar	AASHTO M 20	Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Nafta - Xileno, % Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Solvente Heptano - Xileno, % Xileno		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo		Negativo	
Pruebas sobre la Película Delgada a 163 °C, 3.2 mm, 5h											
Pérdida de masa, %	ASTM D 1754		0.8		0.8		1.0		1.3		1.5
Penetración retenida después del ensayo de película fina, %	MTC E 304	55+		52+		47+		42+		37+	
Ductilidad del residuo a 25 °C, 5 cm/min, cm (3)	MTC E 306			50		45		100		100	
(1), (2) Ensayos opcionales para su evaluación complementaria del comportamiento geológico en el material bituminoso indicado.											
(3) Si la ductilidad es menor de 100 cm, el material se aceptará si la ductilidad a 15.5 °C es mínimo 100 cm a la velocidad de 5 cm/min.											

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

Según el manual de diseño de pavimentos del MTC el tipo de cemento asfáltico a utilizar deberá ser escogido en función de las temperaturas medias anuales de acuerdo con el siguiente cuadro.

Tabla 3:
Selección del tipo de cemento asfáltico.

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

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.3.2.1.2. Clasificación por viscosidad.

Esta clasificación de 1960, por la FHWA; la ASTM, la AASHTO, se publicó en la norma ASTM D 3381 “Especificación estándar para la clasificación de cementos asfálticos por viscosidad para su uso en la construcción de pavimentos”.

Tabla 4:

Propiedades del cemento asfáltico según su grado de viscosidad.

Características	Grado de Viscosidad				
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-40
Viscosidad Absoluta a 60°C, Poises	250±50	500±100	1000±200	2000±400	4000±800
Viscosidad Cinemática, 135°C St mínimo	80	110	150	210	300
Penetración 25 °C, 100gf, 5 s mínimo	200	120	70	40	20
Punto de inflamación COC, °C mínimo	163	177	219	232	232
Solubilidad en tricloroetileno, % masa, mínimo	99	99	99	99	99
Pruebas sobre el residuo del ensayo de película fina.					
➤ Viscosidad Absoluta, 60°C, Poises máxima	1 250	2 500	5 000	10 000	20 000
➤ Ductilidad, 25°C, 5cm/min, cm, mínimo	100	100	50	20	10
Ensayo de la Mancha (Oliensies) (1)					
Solvente Nafta - Estándar	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Nafta - Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo
Solvente Heptano - Xileno, %Xileno	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo	Negativo

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

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.3.2.1.3. Clasificación por desempeño (PG) o clasificación Superpave.

Fue desarrollado en 1990 por el SHRP. En este sistema de clasificación, se relaciona el comportamiento en servicio del cemento asfáltico con sus propiedades.

Las pruebas de clasificación PG no están relacionadas a una temperatura fija, si no, más bien, a las temperaturas de servicio previstas.

Las pruebas del sistema PG reflejan: alta temperatura (rutting), baja temperatura (termal cracking) y envejecimiento del asfalto.

Tabla 5:

Grados asfálticos por desempeño.

	Temperatura Máxima(°C)	Temperatura Mínima(°C)
PG	46	34, 46, 52
PG	52	10, 16, 22, 28, 34, 40, 46
PG	58	16, 22, 28, 34, 40
PG	64	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG	70	10, 16, 22, 28, 34, 40
PG	76	10, 16, 22, 28, 34
PG	82	10, 16, 22, 28, 34

Fuente: AASHTO M 320.

El sistema PG clasifica los asfaltos mediante la temperatura más alta y baja. Por ejemplo, un PG 58-28, está especificado para una temperatura máxima diaria prevista de 58°C y una temperatura mínima de diseño del pavimento de -28°C.

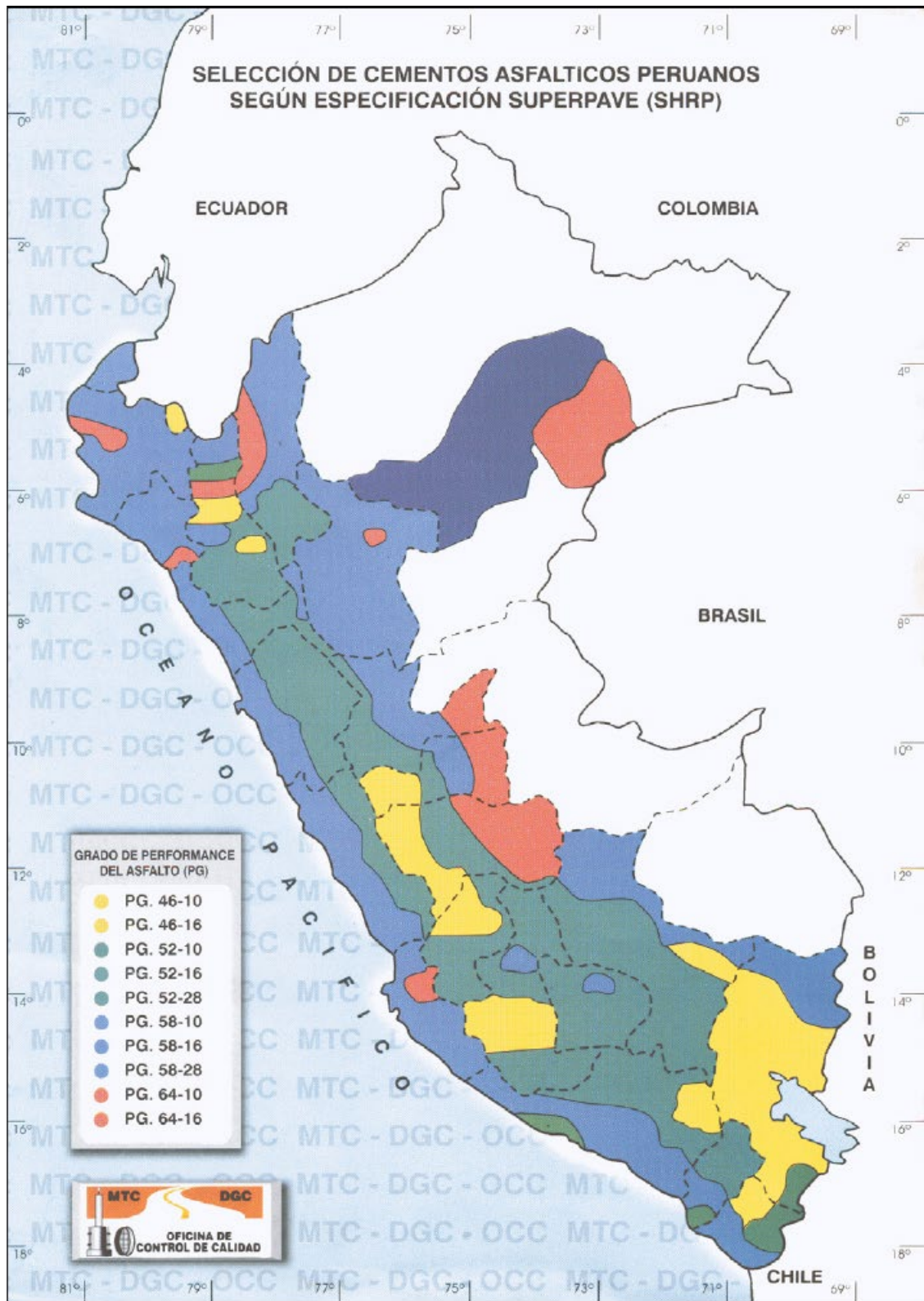
Se puede obtener una referencia de equivalencia entre el grado de penetración con el sistema de clasificación PG, como en la siguiente tabla:

*Tabla 6:
Referencia del PG con respecto al grado de penetración del asfalto.*

Grado de Penetración Referencial ----->		PEN 40/50	PEN 60/70	PEN 85/100	PEN 120/150
Performance Grade, PG	M 320, Tabla 1	PG 76 -22	PG 64 -22	PG 58 -28	PG 58 -28
True Performance Grade PG	M 320, Tabla 2	PG 76 -28.2	PG 68 -27.7	PG 63 -28.7	PG 58 -31.2
Rango Efectivo	Temperatura °C	104.2°C	98.7°C	91.7°C	89.2°C
Virgen	> 1.0 kPa	1040 a 76°C	1510 a 64°C	1870 A 58°C	1080 a 58 °C
Envejecido	> 2.2 kPa	4220 a 76°C	6360 a 64 °C	8610 a 58 °C	4360 a 58 °C
Envejecido RTFOT	Máx. 5000 kPa	4030 a 22°C	3790 a 22°C	4950 a 16°C	4350 a 13 °C
Cracking Crítico	Temperatura °C	-28.2°C	-26.1°C	-26.3°C	-33.7°C

Fuente: Asfaltos Petro Peru Published on Mar 13, 2016.

Figura 3:
Clasificación de cementos asfálticos PG para el Perú.



Fuente: Dirección de Estudios Especiales – Dirección General de Caminos y Ferrocarriles – MTC.

2.3.2.2. Agregados minerales.

Se llama “agregados minerales” al conjunto de partículas inertes, de gravas, arenas y finos (fillers) utilizados para la construcción de pavimentos, concretos y capas de afirmado. (Reyes, Rondón, 2015)

La cantidad de agregado en mezclas asfálticas es usualmente 90 a 95 % del peso o 75 a 85% del volumen. El agregado es responsable de la capacidad de soportar la carga del pavimento. El desempeño de una mezcla asfáltica en caliente es fuertemente influenciado por los agregados (The asphalt Handbook, 2007).

La fuerza cortante del agregado es sumamente importante en MAC porque provee, sobretodo, resistencia al ahuellamiento. Esta fuerza cortante depende de la interacción entre partículas proveída por el agregado. Los agregados angulares y con textura rugosa otorgan más resistencia que los agregados redondeados y lisos. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

La gradación de una mezcla asfáltica en caliente deberá responder a los husos granulométricos presentados en la siguiente tabla:

Tabla 7:

Gradaciones de los agregados para mezclas asfálticas en caliente.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1	MAC-2	MAC-3
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80-100	100	
12.5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9.5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4.75 mm (N°4)	43-54	51-68	65-87
2.00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.3.2.2.1. Agregado grueso.

Según el MTC, se nombra agregado grueso a la fracción de agregado retenido en el tamiz N°4 (4.75 mm). Proviene generalmente de la trituración de grava o piedra o de su combinación, también puede presentarse naturalmente en estado fracturado (The Asphalt Handbook, 2007). No deberá contener polvo, terrones de arcilla o tierra ni alguna otra sustancia que pueda provocar que el asfalto no se le adhiera completamente.

Tabla 8:

Requerimientos de los agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	15% máx.
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	35% máx.
Adherencia	MTC E 517	+95	+95
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	90/70
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción *	MTC E 206	1.0% máx	1.0% máx
* Excepcionalmente se aceptan porcentajes mayores solo si se aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica.			
<ul style="list-style-type: none"> • La adherencia del agregado grueso para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla según lo señalado en la Subsección 430.02. • La notación "85/50" indica que el 85% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 50% tiene dos caras fracturadas. 			

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.3.2.2.2. Agregado fino.

A la parte de agregado que pasa el tamiz N°4 y es retenido por el tamiz N°200 se le llama agregado fino según el MTC. Generalmente consta de arena natural, aunque a veces contiene fragmentos de grava o piedra machacada.

Tabla 9:

Requerimientos de los agregados gruesos en mezclas asfálticas en caliente.

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (msnm)	
		≤3000	>3000
Equivalente de Arena	MTC E 114	60	70
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	30	40
Azul de metileno	AASHTO TP 57	8 máx.	8 máx.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	18% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción **	MTC E 205	0.5% máx.	0.5% máx.
** Excepcionalmente se aceptarán porcentajes mayores solo si aseguran las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica			
La adherencia del agregado fino para zonas mayores a 3000 msnm será evaluada mediante la performance de la mezcla, Subsección 430.02			

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.3.2.2.3. Filler.

De acuerdo con la ASTM D 242, el filler es el material que pasa al menos un 70% el tamiz N° 200.

Tabla 10:

Requerimiento del filler en mezclas asfálticas en caliente.

Tamiz	% que pasa
600 - μm (No. 30)	100
300 - μm (No. 50)	95 a 100
75 - μm (No. 200)	70 a 100

Fuente: ASTM D – 242

De acuerdo con la AASHTO – M303, para filler cal hidratada el material que pasa al menos un 90% el tamiz N° 200.

Tabla 11:

Requerimiento del filler para la cal hidratada en mezclas asfálticas en caliente.

Tamiz	% que pasa
600 - μm (No. 30)	100
75 - μm (No. 200)	90 a 100

Fuente: AAASHTO – M303

El término “filler” proviene del idioma inglés y significa rellenedor o llenante, debido a que en un inicio se consideraba a este material solamente como un rellenedor de vacíos. Este concepto evolucionó y ahora, aparte de ser un material de relleno, también se considera que al mezclarse con el asfalto puede modificar algunas propiedades de la mezcla (Sandoval, Álvarez, 2011, pág. 4).

Usualmente se considera al filler como parte de los agregados, pero observando las mezclas asfálticas, es claro que está embebido en el cemento asfáltico, envolviendo a los agregados, a la unión de filler y cemento asfáltico se le llama mezcla asfáltica. El filler mineral juega un papel importante en la construcción y desempeño de las mezclas asfálticas en caliente (Ahmed, Haifang, 2008), porque rellena los vacíos de la mezcla y provee cohesión y estabilidad a la mezcla.

El uso de filler en mezclas asfálticas se justifica por las siguientes razones:

Actúa como relleno con respecto a los agregados mayores, disminuyendo los espacios libres entre sus partículas; se produce un mejor cerrado de la mezcla sin necesidad de incrementar exageradamente el contenido de betún asfáltico (Ruiz C., 1960, pág. 8)

Produce efectos positivos en algunas propiedades de la mezcla: Aumenta su resistencia a la deformación, su resistencia a la tracción, su resistencia al desgaste.

El filler incrementa la durabilidad de las mezclas. Pues disminuye la porosidad, dificultando la entrada de agentes agresivos como agua y aire), y porque incrementa la resistencia al desplazamiento del betún por acción del agua (Ruíz C., 1960, pág. 8), aumentando las fuerzas de cohesión entre los agregados.

Cal Hidratada:

La cal hidratada (hidróxido de calcio) es un polvo seco, incoloro y cristalino fabricado mediante el tratamiento de óxido de calcio (cal viva) con agua, en un proceso llamado “apagado”. También conocido como cal apagada, cal o cal muerta, la cal hidratada se usa en

la producción de morteros, yesos, cementos, pinturas, productos de caucho duro, petroquímicos.

En las mezclas asfálticas en caliente el uso de cal se remonta al año 1910 siendo aplicado en Estados Unidos, donde se ha demostrado a través de los años que las incorporaciones de esta misma como filler mejora la resistencia ante la humedad en las mezclas asfálticas.

El principal uso que se le atribuye a la cal hidratada, es el aumento de la vida útil de la vía reflejado a un largo plazo, esto es debido que la cal hidratada funciona como un aditivo anti stripping la cual aumenta la resistencia a la humedad en la mezcla, según instigaciones realizadas por Lime Organization (2003), los resultados obtenidos en cuanto su desempeño en campo han sido superiores, pues las fisuras, grietas y hundimientos han demorado en aparecer en comparación con las mezclas asfálticas convencionales sin presencia de aditivos.

En la mezcla asfáltica, a pesar de que se le agregue otro filler, la adición de la cal hidratada mejora la resistencia a la fatiga al formar una mezcla menos susceptible a los cambios de temperatura, además cuando la cal está presente en la mezcla, esta tiene un efecto como rigidizante únicamente a altas temperaturas, ya que a bajas temperaturas la mezcla se relaja funcionando como un elemento que genera un balance de rigidez. Según Lee (2007) el efecto del aumento de temperatura y relajamiento del asfalto provoca que el pavimento sea más susceptible a las deformaciones, pero el efecto rigidizante de la cal contrarresta el ablandamiento y reduce las deformaciones.

En conclusión, la existencia de cal en una mezcla asfáltica combate los efectos de contracción y retracción debidos a los cambios de temperatura permitiendo disipar la energía y esfuerzos térmicos generados en lugar de ocasionar fractura.

La reacción que tiene la mezcla asfáltica con caliente con la cal hidratada hace que se endurezcan los espacios vacíos entre el agregado y el betún, además de reaccionar con los agregados, esta reacciona con asfalto formando sales insolubles que repelen al agua.

En las especificaciones dentro de la norma AASHTO M 303 , las cuales se utilizan en los diseños de mezclas asfálticas en caliente, estas gobiernan dos tipos de requerimientos como la Cal Tipo I y la Cal Tipo II.

En esta norma describe los siguientes conceptos:

Cal Tipo I:

Es la cal hidratada la cual tiene un alto contenido de calcio y dentro de esta presenta un alto contenido de magnesio, calculado como óxido de magnesio, de 4% en masa.

Cal Tipo II:

Es un tipo de cal magnésica o dolomítica que contiene magnesio, calculado como óxido de magnesio en un porcentaje mayor a 4%, pero no mayor a 36% en masa.

Mencionado lo anterior ambos tipos de cal (Tipo I y Tipo II), deberán cumplir con los requisitos granulométricos estipulados en la norma AASHTO T 219.

Cemento Portland

Es un tipo de cemento hidráulico que se utiliza en la construcción y también es de tipo cemento hidráulico, una de sus principales características es de fraguar y endurecer al entrar al contacto con el agua. Por efecto de la reacción se obtendrá un inmejorable material con excelentes cualidades aglutinantes.

En la mezcla asfáltica en caliente el cemento Portland es utilizado como “filler” el cual tiene un aporte significativo en estas. Las principales condiciones de calidad que se le puede atribuir son: estabilidad, flexibilidad y durabilidad, además brinda otras funciones principales como material de relleno de vacíos y de condensar el asfalto para mejorar la adherencia entre el agregado y el asfalto.

Tipos, usos y características del Cemento Portland:

Tipo I: Cemento de uso general, se obtiene de mezclar en Clinker con el yeso.

Tipo II: Cemento de uso general, con una resistencia moderada a los sulfatos

Tipo II(MH): Cemento de uso general, utilizable cuando se requiera calor moderado de hidratación y resistencia a los sulfatos

Tipo III: Cemento el cual consta de una elevada resistencia inicial y es utilizable cuando necesitamos una resistencia acelerada.

Tipo IV: Cemento el cual requiere un bajo calor de hidratación y el cual gana resistencia lentamente.

Tipo V: Cemento utilizable cuando se requiera resistencia a la acción de los sulfatos.

2.3.2.3. Aditivos modificadores de asfalto

Las mezclas asfálticas convencionales tienen limitaciones en cuanto a su resistencia a la deformación permanente y el fisuramiento, en especial cuando se tratan de solicitudes mayores como el caso de tráfico canalizado, climas severas o elevadas cargas de eje (Menéndez, 2016).

Los modificadores de asfalto como polímeros, aditivos o fillers intervienen en las propiedades de la mezcla mejorando varios aspectos como la resistencia a la deformación permanente, fisuramiento térmico, grietas por fatiga y daño por humedad.

La siguiente tabla nos muestra la clasificación de modificadores de asfalto:

Tabla 12:

Tipos de modificadores de asfalto.

Tipo de modificador	Tipo
Elastómeros termoplásticos	<ul style="list-style-type: none"> - SBS (estireno butadieno estireno) - SBR (estireno butadieno) - SIS (estireno-isopreno-estireno) - SEBS (estireno-etileno-butadieno-estireno) - Cauchos naturales: Isopreno - Cauchos artificiales: Neopreno - Neumáticos usados
Termoplásticos	<ul style="list-style-type: none"> - Polietileno - Polipropileno - EVA - PVC - Poliestileno
Modificadores químicos	<ul style="list-style-type: none"> - Componentes orgánicos-metálicos - Sulfuros - Lignitos
Fibras	<ul style="list-style-type: none"> - Celulosa - Silicato aluminio-magnesio - Fibra de vidrio - Asbesto - Poliéster
Mejoradores de adherencia	<ul style="list-style-type: none"> - Aminas orgánicas - Aminas
Antioxidante	<ul style="list-style-type: none"> - Aminas - Fenol - Componentes orgánicos-zinc
Asfaltos naturales	<ul style="list-style-type: none"> - Asfalto de Trinidad - Gilsonita - Rocas asfálticas
Fillers	<ul style="list-style-type: none"> - Carbón - Cal Hidratada - Cal - Cenizas Volantes

Fuente: Menéndez A., R. 2016. *Ingeniería de Pavimentos*.

En la presente investigación utilizaremos aditivos mejoradores de adherencia, por lo tanto, ampliaremos la teoría de ese tipo de modificador de asfalto en específico.

Estos aditivos líquidos son productos comerciales que se agregan a la mezcla para modificar positivamente las propiedades físicas y químicas necesarias para reducir la dispersión que se puede producir entre el agregado y el cemento asfáltico de la mezcla asfáltica.

Estos aditivos son productos tensoactivos que tienen la propiedad de alterar la tensión superficial del asfalto, agregado pétreo o ambos. El mejorador de adherencia fomenta un enlace químico entre asfalto y agregado, acrecentando su resistencia a la acción del agua (Salazar, Delgado, Garnica, Terán, 2013).

El aditivo está constituido molecularmente por uno o varios grupos hidrofílicos que pueden ser iónicos o no iónicos, además de una estructura hidrocarbonada hidrofóbica. Esta última estructura hidrofóbica de baja polaridad presenta compatibilidad con el asfalto, mientras que los grupos hidrofílicos tienen una alta compatibilidad con la superficie de los agregados (Tacca, 2018).

El modificador de adherencia promoverá la afinidad asfalto agregado a través de dos mecanismos (Salazar, Delgado, Garnica, Terán, 2013):

Mejorando el recubrimiento: Acrecentando la afinidad de los grupos polares del aditivo en la interfase agregado – cemento asfáltico, desplazando el agua de la superficie del agregado y logrando un fuerte contacto en esta interfase.

Aumentando la resistencia al desprendimiento: Impidiendo la penetración del agua entre el asfalto y el agregado por el establecimiento de enlaces que proporciona el aditivo.

2.3.3. Propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.

Cuando el diseño de una mezcla asfáltica es hecho en laboratorio se debe analizar el desempeño de la mezcla como probablemente sería en una estructura pavimentada.

Una mezcla de concreto asfáltico compactado está compuesta generalmente de agregados, asfalto y aire. Las propiedades volumétricas asociadas a la combinación de estos

tres componentes son utilizadas para el diseño de mezcla y control de producción. Dado que es poco práctico medir el volumen de los elementos que constituyen la mezcla de una MAC en el laboratorio o en el campo, las relaciones masa-volumen se utilizan para convertir las masas medibles en sus volúmenes correspondientes.

2.3.3.1. Gravedad específica bulk de la mezcla compactada (G_{mb}).

Ecuación 1: Gravedad específica de Bulk de la mezcla compactada.

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C}$$

$$G_{mb} = \frac{\text{Masa del agregado y asfalto}}{\text{Volumen del agregado, asfalto y aire}} = \frac{M_t}{V_{mb}}$$

Donde:

A = Peso seco al aire de un espécimen en gramos.

B = Peso al aire de un espécimen de superficie seca saturada en gramos.

C = Peso en agua de un espécimen en gramos.

M_t = Masa del agregado y el asfalto.

V_{mb} = Volumen del agregado, asfalto y aire.

2.3.3.2. Peso específico bulk de los agregados combinados (G_{sb}).

El agregado grueso, el fino y el filler tienen todos diferentes gravedades específicas, por eso, el peso específico bulk de los agregados combinados se calcula de la siguiente manera:

Ecuación 2: Peso específico Bulk de los agregados combinados.

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Donde:

P_1, P_2, P_n = Porcentajes individuales por peso del agregado.

G_1, G_2, G_n = Gravedad específica bulk individual del agregado.

2.3.3.3. Gravedad específica efectiva del agregado (G_{se}).

Ecuación 3: Gravedad específica efectiva del agregado.

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (AASHTO T209).

P_{mm} = Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta.

P_b = Porcentaje de asfalto de la masa total de mezcla.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

2.3.3.4. Densidad máxima teórica o gravedad específica máxima de la mezcla (G_{mm}).

Este ensayo determina la razón del peso de una unidad de volumen de una muestra de mezcla asfáltica no compactada con el peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura. Este dato nos ayudará a hallar el porcentaje de vacíos.

Ecuación 4: Densidad máxima teorica o gravedad específica máxima.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (AASHTO T209).

P_{mm} = Porcentaje en peso del total de la mezcla suelta.

P_s = Porcentaje del agregado combinado de la masa total de la mezcla.

P_b = Porcentaje de asfalto de la masa total de mezcla.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_b = Gravedad específica del asfalto.

2.3.3.5. Contenido de asfalto.

El contenido de asfalto puede ser determinado tanto por peso como por volumen. El contenido de asfalto por volumen es calculado como un porcentaje de asfalto del total de la masa de la mezcla.

Ecuación 5: Contenido de asfalto.

$$P_b = 100 \left(\frac{M_b}{M_s + M_b} \right)$$

Donde:

P_b = Porcentaje de asfalto de la masa total de mezcla.

M_b = Masa de asfalto en el espécimen.

M_s = Masa del agregado en el espécimen.

2.3.3.6. Asfalto absorbido (*P_{ba}*).

Es la masa de asfalto que es absorbida por los agregados, que se expresa como un porcentaje de la masa del agregado.

Ecuación 6: Asfalto absorbido.

$$P_{ba} = 100 \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} G_{sb}$$

Donde:

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica bulk de los agregados combinados.

2.3.3.7. Asfalto efectivo (*P_{be}*).

Es la masa de asfalto que no es absorbida por el agregado, expresada como un porcentaje de masa total de la mezcla.

Ecuación 7: Asfalto efectivo.

$$P_{be} = P_b - \left(\frac{P_{ba}}{100} \right) P_s$$

Donde:

P_b = Porcentaje de asfalto de la masa total de mezcla.

P_{ba} = Porcentaje de asfalto absorbido.

P_s = Porcentaje del agregado combinado de la masa total de la mezcla.

2.3.3.8. Porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

Volumen total de los espacios vacíos dentro de los agregados en una mezcla asfáltica compactada, parte del cual es llenado con el cemento asfáltico efectivo y parte con aire, expresado como un porcentaje del total del volumen de la mezcla.

Mezclas asfálticas con valores de VMA bajo el mínimo tendrán películas de asfalto delgadas y el pavimento tendrá baja durabilidad.

Ecuación 8: Porcentajes de vacíos en el agregado mineral.

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}P_s}{G_{sb}}$$

Donde:

G_{sb} = gravedad específica bulk de los agregados combinados.

G_{mb} = gravedad específica de la mezcla compactada.

P_s = porcentaje del agregado combinado de la masa total de la mezcla.

2.3.3.9. Vacíos de la mezcla total compactada (VTM).

Es el volumen total de aire dentro del agregado cubierto por el asfalto en una mezcla asfáltica compactada, expresado como un porcentaje del volumen total de la mezcla.

La durabilidad de una mezcla asfáltica depende del contenido de aire que una mezcla asfáltica pavimentada en campo tenga.

Entre menos vacíos de aire, menos permeable se vuelve la mezcla. Un porcentaje de vacíos de aire muy alto otorga pasada a través de la mezcla que permite el ingreso de aire y agua dañinos. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Los vacíos de aire son el conjunto de paquetes de aire que se encuentran entre las partículas de agregado recubiertas con asfalto. Un óptimo porcentaje de vacíos de aire es

necesario para permitir una adicional compactación bajo tráfico y una ligera expansión del asfalto por incremento de temperaturas. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Ecuación 9: Vacíos de la mezcla total compactada.

$$VTM = Va = 100 \cdot \left(\frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \right)$$

Donde:

G_{mm} = gravedad específica teórica máxima (AASHTO T209).

G_{mb} = gravedad específica de la mezcla compactada.

2.3.3.10. Vacíos llenados con asfalto (VFA).

Es el porcentaje de espacio vacío entre partículas de agregado que están llenos con asfalto efectivo. VFA es usado para asegurar un apropiado grosor de película asfáltica en la mezcla. Si es muy bajo, la mezcla tendrá poca durabilidad, y si es muy alto, la mezcla será inestable.

Ecuación 10: Vacíos llenados con asfalto.

$$VFA = \frac{100(VMA - Va)}{VMA}$$

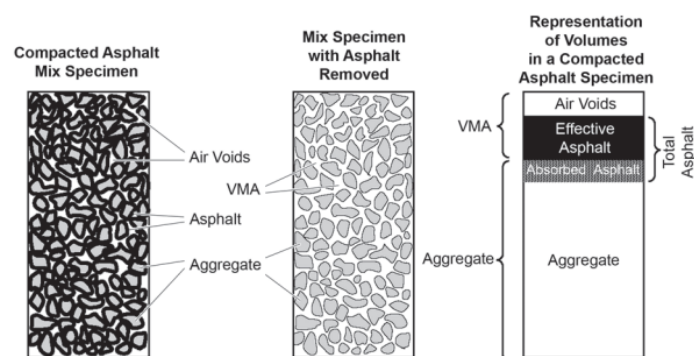
Donde:

VMA = Vacíos del agregado mineral.

Va = Porcentaje de vacíos de la mezcla total compactada.

Figura 4:

Representación de vacíos y volúmenes de un espécimen de mezcla asfáltica compactada.



Note: For simplification, the volume of absorbed asphalt is not shown.

Fuente: Asphalt Institute. MS-2. 7th Edition (2014)

2.4. Ensayo y Metodología Marshall.

Fue desarrollado inicialmente por Bruce Marshall, quien se desarrolló como ingeniero Bitúmenes del departamento de Carreteras en Mississippi.

A mediados del año 1943 surge una investigación por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos donde se decidió usar este método, desarrollarlo y adaptarlo para el diseño y control de mezclas.

Este método es únicamente utilizado en mezclas asfálticas en caliente, que contengan agregados con un tamaño de 25 mm (1”) o menor. Además, este método utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½”) de alto y 102 mm (4”) de diámetro; los cuales se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto – agregado.

Los principales aspectos del método Marshall son la densidad – análisis de vacíos, prueba de estabilidad y el flujo de los especímenes compactados.

Según la AASHTO T 182, 1984, este ensayo sirve para evaluar la resistencia a la deformación de las mezclas asfálticas y mediante este ensayo se comparan los resultados de las probetas sometidas a daño por humedad con las probetas no acondicionadas.

2.4.1. Metodología Marshall

La metodología Marshall tiene como finalidad encontrar la combinación adecuada de agregados minerales y cemento asfáltico, el cual permite brindar a la mezcla asfáltica características físicas y de resistencia los cuales establecen los requisitos de calidad, como el diseño de mezclas asfáltica.

En la búsqueda de la proporción se establece la cantidad de agregado y asfalto, para que se conforme la mezcla asfáltica, de manera que pueda garantizar soportar los cambios volumétricos resultantes de la compactación por el efecto del tráfico, además de que pueda soportar los efectos climáticos.

Según el (Asphalt Institute, 2007), la metodología de Marshall puede determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregado. El método también da información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacío que deben ser cumplidos en la construcción del pavimento.

Estabilidad y Flujo

Los objetivos principales que propone el método Marshall es buscar un análisis entre las relaciones de densidad y volumen de vacíos y un ensayo para determinar la estabilidad y flujo de las briquetas compactadas.

Este ensayo se basa en la norma ASTM -D6926: “Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus”, ASTM D 6927, MTC E 504.

La estabilidad es la máxima carga que puede resistir la briqueleta normalizada cuando se aplica el ensayo de compresión.

El flujo es la deformación o movimiento total que se produce en la briqueleta, desde que comienza hasta aplicar la carga máxima en el ensayo de estabilidad.

La norma EG-2013 presenta requisitos para mezcla de concreto bituminoso según la tabla siguiente:

Tabla 13: Requisitos para mezcla de concreto bituminoso

Parámetros de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall MTC E 504			
1. Compactación, número de golpes por lado	75 golpes	50 golpes	35 golpes
2. Estabilidad (mínimo)	8.15 kN	5.44 kN	4.53 kN
3. Flujo 0.01" (0.25 mm)	8-14	8-16	8-20
4. Porcentaje de vacíos con aire (1) (MTC E 505)	3%-5%	3%-5%	3%-5%
5. Vacíos en el agregado mineral	Mín. 14%		
Inmersión - Compresión (MTC E 518)			
1. Resistencia a la compresión MPa mín.	2.1 MPa	2.1 MPa	1.4 MPa
2. Resistencia Retenida % (mín.)	75	75	75
Relación Polvo - Asfalto (2)	0.6-1.3	0.6-1.3	0.6-1.3
Relación Estabilidad/flujo (kgf/cm) (3)	1700-4000 kgf/cm		
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T 283	80 mín.		
<p>(1) A la fecha se tiene tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2% a 4% (es deseable que tienda al menor 2 %) con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3 000 m.s.n.m. que se recomienda en estos casos</p> <p>(2) Relación entre el porcentaje en peso del agregado más fino que el tamiz 0.075 mm y el contenido de asfalto efectivo, en porcentaje en peso del total de la mezcla.</p> <p>(3) Para zonas de clima frío es deseable que la relación estabilidad/flujo sea de la menor magnitud posible.</p>			

Fuente: Manual de Carreteras EG 2013, MTC.

2.5. Propiedades consideradas para el diseño de la mezcla.

2.5.1. Resistencia a la deformación permanente (estabilidad).

Una acumulación de pequeñas deformaciones por repetidas cargas aplicadas al pavimento puede provocar una deformación permanente. El adecuado diseño y construcción de una MAC provocará que el pavimento sea resistente a la deformación permanente y que se evite el ahuellamiento bajo tráfico, que es la forma más común de deformación permanente.

Esta propiedad depende sobre todo de la fricción interna que otorga el agregado y la adherencia que puede proveer el cemento asfáltico. Es decir, usar un agregado más angular y rugoso incrementará la estabilidad de la mezcla. La falla de las capas inferiores y una inadecuada estabilidad de la mezcla son las principales causas de rutting o ahuellamiento.

Si el agregado en la mezcla no tiene la suficiente resistencia cortante, en necesario incrementar la rigidez de la mezcla o usar un asfalto modificado. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

2.5.2. Resistencia a la fatiga.

Es la resistencia del pavimento a las repetidas cargas de tráfico. La falla por fatiga es comúnmente el agrietamiento o “cracking”, también llamado piel de cocodrilo.

Este tipo de falla ocurre cuando el pavimento ha sobrepasado su límite de vida por la aplicación de repetidas cargas. Esto ocurre por un insuficiente espesor de la carpeta. Entre más incremente el porcentaje de vacíos de aire, menor resistencia a la fatiga tendrá el pavimento. Investigar y usar un polímero modificado puede mejorar de gran manera la resistencia a la fatiga en una mezcla asfáltica. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Para evitar o superar el cracking por fatiga se puede:

- Realizar un conteo adecuado del número de cargas de vehículos en el diseño.
- Usar espesores de carpeta más gruesos.
- Suministrar de un apropiado drenaje.
- Usar materiales que sean resistentes a la humedad.
- Usar un pavimento estable, resistente a deformaciones.

2.5.3. Agrietamiento por bajas temperaturas.

Este suceso ocurre principalmente cuando la temperatura de la superficie del pavimento desciende lo suficiente para producir esfuerzos en la carpeta que excedan la resistencia a la tensión. Esto se muestra como agrietamientos transversales que son perpendiculares a la vía y que están más o menos espaciados de la misma manera. Usualmente, la solución a este problema es una adecuada elección del cemento asfáltico. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

2.5.4. Resistencia a la humedad.

Usualmente, la durabilidad del pavimento es asociado a la resistencia a la humedad, también llamado “stripping”. Este es el resultado del daño del agua y las repetidas cargas de tráfico en el pavimento, causando un efecto de lavado donde el agua penetra dentro y fuera de los vacíos del pavimento. Esta agua entre en agregado y la película de asfalto rompe la adherencia entre asfalto y agregado. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Esta falla se produce en dos momentos: la falla por daño por humedad y la falla estructural del pavimento por el tráfico. Si el stripping en el pavimento es excesivo se producirán deformaciones notables y se producirán fallas por el resultado de las caras repetidas.

La primera etapa se nota por manchas de finos en la superficie, y esta falla local es seguida por agrietamiento, baches o un severo ahuellamiento.

Los agregados que son susceptibles a la humedad pueden ser tratados, en una mezcla asfáltica, con un aditivo anti-stripping.

2.5.5. Durabilidad.

La durabilidad en una mezcla asfáltica es la habilidad de resistir factores que vayan a envejecer el asfalto, desintegrar el agregado y desnudar la película de asfalto del agregado (stripping). Estos factores pueden ser: El clima, el tráfico o la combinación de ambos. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Según el MS-2 (Asphalt Mix Design Methods, 2014). Podemos asegurar la durabilidad de la mezcla mediante tres métodos:

- Diseñar la mezcla usando una gradación de agregados resistentes a la humedad.
- Aumentar el espesor de la película de asfalto que recubre el agregado.
- Compactar la mezcla hasta ser impermeable.

2.5.6. Resistencia a patinar.

Es la habilidad de la superficie de la carpeta asfáltica de reducir que los vehículos resbalen o patinen cuando la superficie está mojada. Para que esto suceda el neumático debe tener contacto con las partículas de agregados y no separadas por una capa de agua. Este factor es comúnmente medido para 65 km por hora. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

Es necesario entonces tener una superficie rugosa, para ello los agregados de la mezcla deben ser resistentes a limarse si son sometidos al tráfico. Las mezclas o pavimentos que suelen “correrse” o “sangrar” presentan serios problemas para este factor.

2.5.7. Trabajabilidad.

Se refiere a la facilidad con que la mezcla asfáltica puede ser puesta y compactada. Este factor depende principalmente del origen del agregado y de la gradación. Sin embargo, las mezclas que son más trabajables tienden a ser susceptibles a la deformación permanente. Entonces hay que proponer un balance entre estos factores. Para volver a una mezcla trabajable, la gradación del agregado debe ser ajustada, aumentando la proporción de arena o incrementando el contenido de asfalto. (Asphalt Mix Design Methods, 2014).

2.6. Factores de fallas y patologías de los pavimentos.

2.6.1. Fallas en pavimentos de asfalto.

La identificación de las fallas en los pavimentos flexibles depende de sus características, de las cuales se tiene en cuenta el rendimiento de sus propiedades. A menudo se usan parámetros para identificar los sistemas de gestión de reparación de pavimentos para aceptar si están dentro de los criterios de aceptación, por lo tanto, se toman en cuenta parámetros como suavidad, resistencia al deslizamiento de la capa de rodadura del pavimento.

Dentro de las fallas en los pavimentos pueden ser de dos tipos:

- Fallas de Superficie: Son las irregularidades de la superficie de rodadura debido a las fallas en la capa asfáltica y estas no tienen relación con la estructura de la calzada. Usualmente para corregir este tipo de fallas se aplica con solo regularizar la superficie y adherir la necesaria impermeabilidad y rugosidad. En estos casos se lograría con la aplicación de capas asfálticas dejadas.
- Fallas Estructurales: Se hace denotar más que todo en la superficie de rodadura, cuyo origen radica en la estructura del pavimento, más que todo se caracteriza cuando uno o dos capas presenta fallas debido al tráfico o aspectos climáticos. Al presentar este tipo de fallas es necesario la utilización de refuerzos sobre el pavimento existente, dicho refuerzo necesitará de un diseño de estructura nueva formada por la subrasante, pavimento antiguo, refuerzo para que en sus capas responda ante las exigencias del tráfico que transitaría.

2.6.2. Patologías en los pavimentos.

Para que exista la alteración o daño en cuanto a la estructura del pavimento, antes se debe tomar medidas, primero se debe realizar un análisis de los estudios correspondientes que se presentan a continuación:

Recolección de información existente: Para esta etapa se deberá recopilar toda información posible en cuanto del tramo de estudio para poder diagnosticar el estado del pavimento, esta información constará de:

- Geología
- Tipo de suelo
- Drenaje
- Condiciones ambientales
- Topografía
- Espesores y calidad de las capas

- Tránsito
- Diseño de pavimentos y mezclas.

Observación superficial del pavimento: Consiste en la evaluación superficial de la vía y sus colindantes, la cual comprende obras o elementos relacionados con el pavimento de manera directa o indirecta. Al evaluar lo anterior se puede obtener una serie de conclusiones para el desarrollo de trabajos en su conservación las cuales servirán para detectar los indicios de posibles fallas y determinar sus causas, tales como, establecer zonas prioritarias en su conservación, una evaluación de tipo estructural para el diseño de refuerzos.

Clasificación de los daños en los pavimentos: Se presenta una clasificación de daños tanto en pavimentos flexibles como rígidos, por cuanto los pavimentos flexibles son más variados y permite la diversidad en su construcción debido a su bajo costo, en consecuencia, presentan fallas y los principales son: deformaciones, fisuras y grietas, desprendimientos, afloramientos y la humedad.

2.7. Mecanismos que provocan daño por humedad en mezclas asfálticas.

En pocas palabras una definición generalizada del daño es el grado de pérdida de funcionalidad del sistema (Caro, Masad, Bhasin, & Little, 2008). Adicionalmente, una definición sobre el daño por humedad es la propuesta por Kiggundu, B. M., & Roberts, F. L. (1988), como “el deterioro funcional progresivo de una mezcla asfáltica por la pérdida de adhesión entre el cemento asfáltico y la superficie de agregado y/o la pérdida de resistencia cohesiva del cemento asfáltico principalmente ante la acción del agua”.

Según Caro, S., E. Masad, A. Bhasin, (2008) y Kringros, N., (2007) y mencionan que los mecanismos por humedad son los que provocan que se desenvuelvan entre el agregado y el cemento asfáltico, y estos se encuentran relacionados con la respuesta del sistema, es decir, son los cambios de estructura interna del material, los cuales conducen a la pérdida de su capacidad de carga. Los autores mencionados definieron seis mecanismos que dan respuesta

al sistema tales como: el desprendimiento, del deslizamiento, la dispersión de la mezcla, la rotura de la película o microcraks, la desorción o eliminación de la mezcla y la emulsificación espontánea.

Adicionalmente existen distintos mecanismos de falla por humedad que dañan a la mezcla asfáltica y estas actúan de manera directa o indirectamente y son los siguientes procesos:



Tabla 14:

Mecanismos de daño por humedad.

Proceso	Mecanismo
Desplazamiento	Se produce usualmente cuando el cemento asfáltico es eliminado de la superficie del agregado por acción del agua. La llegada del agua en este caso se da de manera libre a la superficie del agregado a través de una rotura en la capa del cemento asfáltico.
Desprendimiento	En este mecanismo se da cuando se presenta una separación microscópica de la película de la superficie de los agregados debido a una capa delgada de agua, la cual no provoca la ruptura de la película del asfalto, a consecuencia, trae consigo una pérdida completa de la adherencia.
Emulsificación espontanea	Esta se presenta cuando se forma una emulsión inversa de gotas de agua sobre el cemento asfáltico, usualmente ocurre cuando se encuentran materiales de la arcilla u otro aditivo.
Presión intersticial	La alta presión de poros en condiciones no drenadas hace una rotura en la película del asfalto permitiendo que el agua entre en la interfaz.
Desprendimiento químico	La interacción química y electrostática entre el agua y algunos agregados que favorece la eliminación del asfalto entre ellos.
Actividad microbiana	Los procesos metabólicos microbianos en la interfaz dan subproductos que rompen la adhesión en la interfase.
Osmosis	El gradiente de concentración a través de la película asfalto hace que el agua sea transportada a la interfaz.
Rotura de la película	Rotura de la película de asfalto por los bordes de los agregados.
Cohesión	Pérdida de la cohesión molecular en el cemento asfáltico.
Dispersión del cemento asfáltico.	Pérdida de cohesión en el cemento asfáltico o mezcla asfáltica debido a largos periodos de difusión y pérdidas de material por efecto de un flujo de agua.
Efectos ambientales	Incidencia de las condiciones ambientales. Cambios bruscos de clima.
pH del agua de contacto	Cambio de pH se da entre el contacto del agregado – cemento asfáltico, puede afectar a la adherencia, la estabilización del pH puede minimizar la rotura de enlaces que reduce la pérdida de recubrimiento.
Lavado hidráulico	Es la acción de los neumáticos en la superficie saturada.
Desorción del cemento asfáltico.	Eliminación de las capas externas de la mezcla asfáltica de la superficie de los agregados debido a la presencia de flujos de agua.

Fuente: Elaboración propia

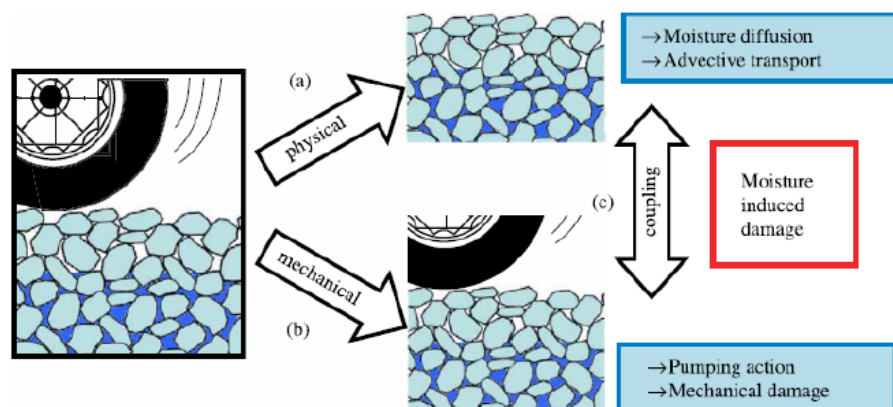
De los mecanismos mencionados para que puedan ocurrir, el agua tiene que penetrar en la película de asfalto, estos mecanismos ya mencionados pueden actuar de manera individual o conjuntamente para causar daño dentro de la mezcla.

Según Kingros, A, y A. Khodai (2013), los daños inducidos por la humedad tienen procesos físicos y mecánicos.

- Procesos físicos son los que contribuyen de manera importante al daño por humedad, en si es la difusión molecular del agua, es decir lo que provoca un debilitamiento de la mezcla y de la unión del agregado – cemento asfáltico, y un “lavado” o proceso de erosión de la mezcla debido a las altas presiones del agua o flujo de esta.
- Proceso de daño mecánico se identifica de igual manera como contribuyente al daño por humedad, pero este aparece en los campos de presión de agua intensos en la mezcla generalmente es causado por las cargas de tráfico, que genera deformaciones plásticas adicionales y que se conoce como “lavado hidráulico” o “pumping action”.

Figura 5:

Separación del daño por humedad en proceso físicos y mecánicos



Fuente: Ferré, P., 2005.

2.8. Factores que influyen en la carpeta asfáltica debido al daño por humedad.

Los principales factores que afectan al pavimento asfáltico en función del daño por humedad lo hacen afectando la unión agregado - cemento asfáltico, las diversas propiedades y características de los componentes y aditivos de la mezcla asfáltica, así como el proceso

constructivo y el uso que se le dé al pavimento, actuarán mejorando o perjudicando la unión entre el agregado y el cemento asfáltico.

Los mecanismos de fallo en los pavimentos por humedad dependen de una combinación de efectos de las propiedades del material usado, metodología de diseño, nivel de tráfico al que está expuesta y factores ambientales (López-Montero, Miró, 2017).

Según Lu, Q y J. T. Harvey (2006), en una investigación realizada en California, Estados Unidos, a partir de 63 muestras de pavimentos dictaminaron que los factores que influyen en mayor medida en el daño por humedad son el contenido de poros, la estructura de la base, las precipitaciones y el envejecimiento de la mezcla que forma la base, según estos autores, el efecto de cargas repetidas y el tráfico acumulado de camiones es mínimo en comparación al daño por humedad.

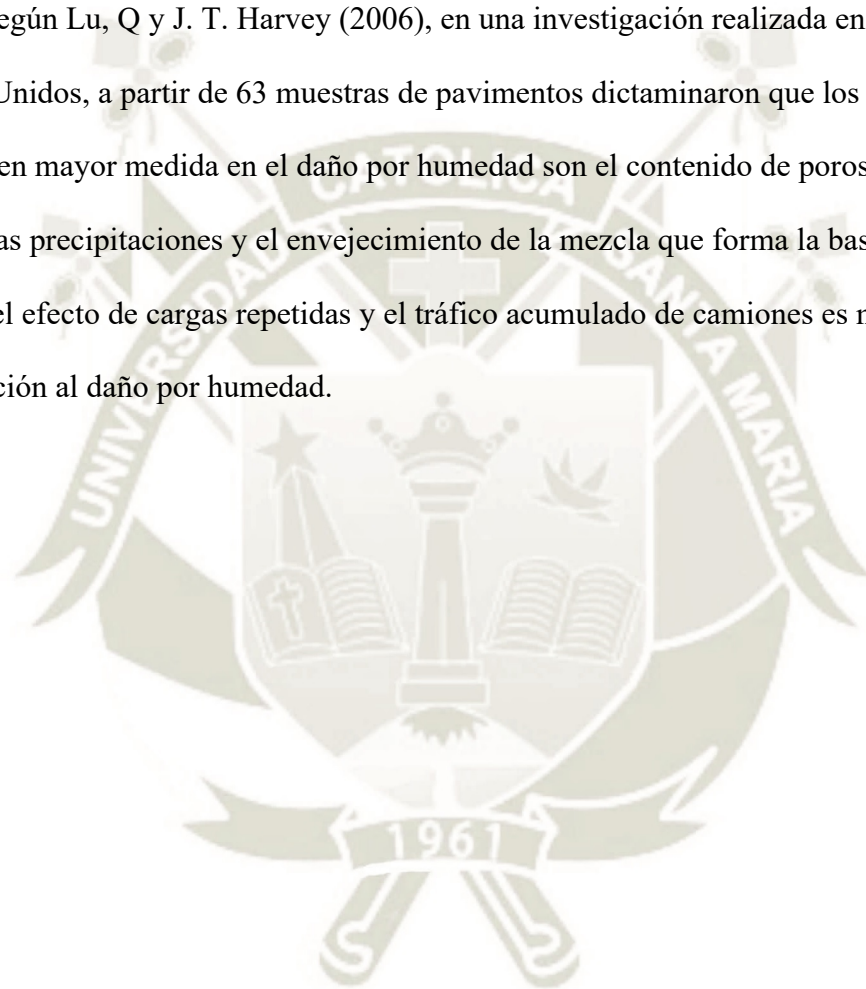


Tabla 15:

Factores que influyen en el daño por humedad.

Factores Internos	Descripción
Agregados	<p>La adhesión del agregado con el cemento asfáltico es mayor en aquellos con forma angular y textura áspera.</p> <p>Alta capacidad de absorción y porosidad logran la penetración del cemento asfáltico en los poros, mejoran la unión entre agregado y cemento asfáltico.</p> <p>La unión entre agregado y cemento asfáltico es mayor, también, entre mayor sea la superficie específica del agregado.</p> <p>La adherencia entre agregado y cemento asfáltico es muy influenciada por la mineralogía del agregado.</p>
Cemento asfáltico.	<p>El aumento de rigidez del asfalto, perjudican la unión entre éste y el agregado.</p> <p>Las películas delgadas de cemento asfáltico sobre agregado son susceptibles al daño por humedad, por ello se recomienda películas gruesas.</p>
Enlace agregado -cemento asfáltico.	<p>El cambio de adherencia en presencia de agua entre estos dos componentes sucede por las reacciones químicas entre ambos. Los componentes ácidos del cemento asfáltico reaccionan con los básicos del agregado, por lo tanto, los agregados ácidos dificultan su reacción con el cemento asfáltico.</p>
Permeabilidad y huecos de aire	<p>Estos factores controlan el nivel de saturación de agua y drenaje.</p> <p>Se sufre un gran daño por humedad con un gran porcentaje de poros (mayor a 6%), cuando es menor a 5%, las mezclas son consideradas impermeables pues los poros no están conectados.</p>
Fabricación de la mezcla bituminosa	<p>El almacenamiento de los agregados es muy importante, ya que el exceso de polvo o arcilla o humedad en los agregados pueden afectar la adherencia con el cemento asfáltico.</p> <p>Observar el contenido de cemento asfáltico durante la fabricación de la mezcla sea el adecuado.</p>
Puesta en obra	<p>Lograr un asfalto con una densidad adecuada, asegurando una óptima compactación, usando un equipo conveniente para evitar la fracturación de los agregados, y evitar la segregación de la mezcla.</p>
Tráfico	<p>Cuando el pavimento está saturado, el agua ejercer presión sobre la mezcla, la cual aumenta por acción del tráfico. Las ruedas de los vehículos darán lugar a que la mezcla sea sometida a estados de tensión - deformación que aumentará el daño por humedad en el firme saturado.</p>
Condiciones ambientales	<p>El daño por humedad ocurre de manera más drástica en lugares con gran cantidad de ocurrencia de lluvia o nieve.</p> <p>Los ciclos de hielo-deshielo provocan que el agua que se encuentra en los poros de la mezcla acreciente su volumen por acción del congelamiento, ocasionando daños en el momento de la descongelación.</p> <p>Cuanto mayor es el PH del agua, más susceptibles son las mezclas asfálticas al daño por humedad.</p>

Fuente: Elaboración propia.

2.9. Manifestaciones de deterioros producidos por el agua.

Una de las principales razones por la cual se manifiesta el daño por humedad es la reducción de la resistencia en la mezcla bituminosa. Esta reducción de resistencia colabora con la degradación y/o deterioro de la carpeta asfáltica. A consecuencia de este daño y con la combinación de cargas de tráfico, puede conducir a formas severas de daño inducido por la humedad.

Según Copeland, A.R. (2007), La acción del agua en mezclas asfálticas con lleva a conducir a daños como fisuración (cracking), deformación permanente (raveling) y fallos localizados (potholes). Según Kringos, N., T. Sacarpas, C. Kasbergen y P. Selvadurai, (2008), los patrones de fallo que podrían presentar las mezclas asfálticas debido al agua es el deterioro de adherencia en la mezcla (stripping y rutting).

2.9.1. Stripping.

La manifestación más común por acción del agua en una mezcla asfáltica es el stripping o pérdida de recubrimiento del asfalto de la superficie de agregados.

También llamado desprendimiento o desnudamiento (como alternativas en español), es el fenómeno de separación entre el cemento asfáltico y los agregados pétreos por acción el agua, la afinidad mayor entre el agua y los agregados, hace que ésta ocupe el espacio del cemento asfáltico, y desplace la película que los envuelve, ocasionando su separación del agregado. Ocurre por la reacción química entre el asfalto y el agregado y por la composición mineralógica de los finos. (Rondón, Moreno, 2010)

Las causas que generan este fenómeno son complejas, influyen aspectos físicos, químicos, mecánicos y termodinámicos. Existen teorías, pero las causas que lo generan no han sido totalmente estudiadas e identificadas, por lo cual no hay una solución considerablemente aceptada y segura a este inconveniente (López-Montero, Miró, 2017).

Asimismo, es importante analizar la influencia del agua en el asfalto, ya que, aunque es repelido por el agua, ésta tiene componentes químicos como el oxígeno y otros que pueden incitar cambios en las propiedades químicas y físicas del cemento asfáltico (Rondón, Moreno, 2010).

La evidencia preliminar de la existencia de stripping en mezclas asfálticas se observan como parches de exudación (sangrado o bleeding), que es como una película brillante de material bituminoso en la superficie del pavimento, que usualmente se vuelve pegajosa, que se distribuye al azar en la superficie del pavimento. Deformaciones en forma de surcos también pueden producirse por la pérdida de resistencia estructural y rigidez, debido a la inestabilidad causada por las cantidades excesivas de asfalto que se acumulan en la superficie (Kennedy, Anagnos, 1984).

2.9.2. Raveling.

El raveling ocurre por la pérdida de propiedades de unión entre el agregado y el cemento asfáltico, al igual que el stripping. Es una progresiva desintegración de una MAC, por el constante paso de las llantas de los vehículos sobre el pavimento, se produce un desprendimiento continuo de las partículas de agregado de la superficie.

Puede influir en la aparición y severidad de este fenómeno el uso insuficiente de cemento asfáltico, una pobre calidad de la mezcla, así como una compactación insuficiente (ASTMD D6433-18).

2.10. Ensayos de desempeño por humedad en mezclas asfálticas.

2.10.1. Ensayos en mezclas asfálticas sueltas.

Los ensayos elaborados en mezclas asfálticas sueltas se basan en la inmersión de la mezcla en agua o una solución química, esta inmersión se realiza a condiciones ambientales o altas temperaturas, en un determinado periodo de tiempo, según el tipo de ensayo a realizar.

El objetivo de estos ensayos es evaluar visualmente la separación del cemento asfáltico con el agregado por efecto del agua o químico.

Tabla 16:

Ensayos de inmersión en mezclas asfálticas.

Ensayos de inmersión en mezclas asfálticas.		
Inmersión estática	Inmersión dinámica	Inmersión química
<p>Consiste en recubrir con agua destilada la mezcla, durante un periodo de tiempo a diferentes temperaturas e inspeccionar que el agregado quede cubierto con el cemento asfáltico. El modo de indicar algún grado de sensibilidad al agua es de la manera visual.</p>	<p>Este tipo de ensayos son similares a los ensayos de inmersión estática, con diferencia que al método utilizado se le agita de forma mecánica, al igual que los ensayos anteriores se evalúa de forma visual el grado de separación agregado – cemento asfáltico.</p>	<p>En los ensayos de inmersión química trata de determinar la adherencia agregado – cemento asfáltico, mediante la utilización de soluciones de (Na₂CO₃) y tolueno, según el ensayo.</p>
<ul style="list-style-type: none"> - Ensayo de inmersión estática. - Total Water Inmersión Test. - Ancona stripping test. - Boiling water stripping test. - Método ultrasonido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ensayo de inmersión dinámica. - Film stripping test. - Texas boiling water test. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ensayo de inmersión química. - Ensayo de absorción neta. - Ensayo de absorción neta modificado.

Fuente: Elaboración propia.

2.10.2. Ensayos mecánicos en mezclas compactadas.

Existen una variedad de ensayos en mezclas asfálticas compactadas, ya sean elaboradas en laboratorio o extraídas de pavimentos existentes, con el fin de poder evaluar la susceptibilidad de las mezclas asfálticas a la humedad.

Para evaluar los ensayos mecánicos implica la medición de un cambio en una propiedad mecánica por ende se toma datos de rigidez y/o resistencia, a una mezcla asfáltica compactada. Estos datos se comparan mediante una relación entre muestras acondicionadas y no acondicionadas, estos datos se utilizan para determinar susceptibilidad del agua y/o humedad de la mezcla.

Los siguientes ensayos descritos en la tabla número 15 se describe los ensayos que miden daño por humedad en las mezclas bituminosas compactadas.

Tabla 17:
Ensayo de daño por humedad para mezclas bituminosas compactadas.

Ensayo	Descripción	Evaluación del ensayo
Texas Freeze – thaw pedestal test.	Consiste en acondicionamiento de hielo – deshielo de la mezcla, se realiza de acuerdo con norma ASTM D 4867.	Fisuración de la probeta sobre un punto de apoyo.
Ensayo de inmersión – compresión.	Determina el efecto del agua a la resistencia a la compresión de las mezclas bituminosas compactadas, se realiza de acuerdo con norma ASTM D 1075.	Resistencia a la compresión.
Ensayo de estabilidad Marshall.	Una vez obtenido la preparación y compactación de la mezcla conjuntamente acondicionado en agua bituminosa se determina la estabilidad según norma ASTM D 6927.	Estabilidad Marshall.
Procedimiento de Lottman modificado.	Evalúa la susceptibilidad de las mezclas asfálticas compactadas utilizando la prueba de tracción indirecta, según norma AASHTO T 283	Resistencia a la tracción indirecta y rigidez.

Fuente: Elaboración propia.

2.10.3. Ensayos mecánicos en mezclas compactadas considerando el tránsito.

Los ensayos mecánicos en mezclas compactadas asumen y son representadas tácticamente para que el tráfico pase por las superficies de la capa de rodadura, en estos ensayos se acondiciona la mezcla compactada, representando las condiciones a las cuales son inmersos mediante de una capa de agua a temperaturas diferentes, esto sirve para representar el daño del agua en el pavimento. Algunos de estos ensayos se presentan a continuación:

- **Ensayo Rueda de Hamburgo (HWTD).**

La máquina de Hamburgo o también llamado en sus siglas en inglés, Hamburg Wheel Tracking Device (HWTD), fue desarrollada por Helmut Wind Incorporated en Hamburgo, Alemania en los años 1970, la cual se inspiró y tomó la idea de un modelo británico.

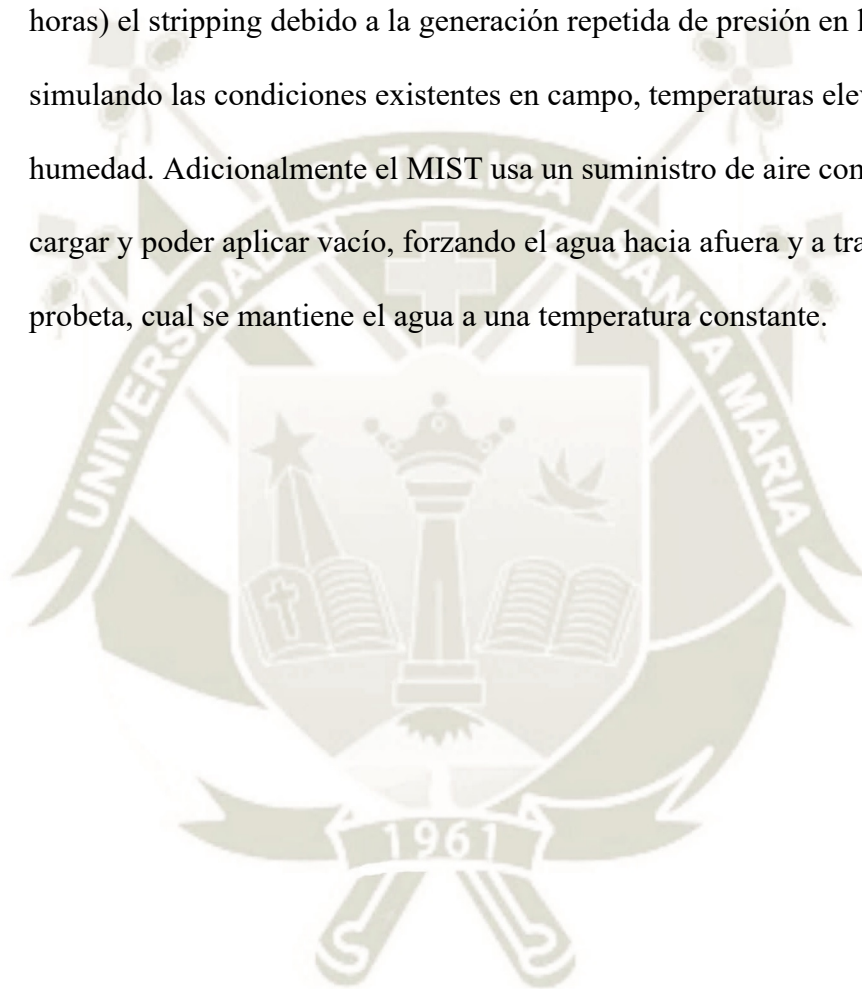
Este ensayo se encuentra normado por Estados Unidos, por la norma AASHT T 324 – 04 Standard Method of test of Hamburg Wheel – Track Testing of Compacted Hot Mix Asphalt y en Europa por la norma UNE – EN 12697 – 22.

El ensayo consiste en someter un par de probetas en mezcla bituminosa bajo una carga de rueda bajo el agua, las probetas se sumergen en agua desde 25 a 70°C, luego se somete al paso una rueda de acero con una carga de 705 N. La rueda inicialmente pasa 50 veces/min por encima del centro de cada probeta, con una velocidad máxima de 34 cm/seg.

Los resultados obtenidos de este ensayo se muestran en una curva representa la profundidad de rodadura en función de número de pasadas. En la curva de la Figura 8, en donde la curva se caracteriza en dos etapas, en la primera es un pendiente de influencia y la segunda donde se denota la velocidad de deformación aumenta y a esta se denomina pendiente de stripping.

- **Moisture Indiced Sensitiv Test (MIST).**

Según (Buchanan & Moore, 2005) muestran que el equipo MIST es un prototipo elaborado por INSTROTEK Inc. en abril del año 2002 y fue elaborado para proporcionar un método racional para la evaluación de la susceptibilidad a la humedad en mezclas asfálticas en caliente, además para simular rápidamente (3 horas) el stripping debido a la generación repetida de presión en los poros simulando las condiciones existentes en campo, temperaturas elevadas, tráfico y humedad. Adicionalmente el MIST usa un suministro de aire comprimido para cargar y poder aplicar vacío, forzando el agua hacia afuera y a través de una probeta, cual se mantiene el agua a una temperatura constante.





CAPÍTULO III

3. METODOLOGIA.

- a. Se utilizarán los siguientes materiales los cuales son muy necesarios para realizar una carpeta asfáltica.

- I. Cemento asfáltico:

Es uno de los principales componentes de la mezcla asfáltica por eso se necesita conocer sus propiedades físicas y mecánicas en la mezcla, para esto el asfalto empleado es el PEN 85/100; por otro lado, se quiere determinar cómo influirá el aditivo y los diferentes filler en estas mezclas con el cemento asfáltico, que es uno de los más usados en la ciudad de Arequipa, el asfalto será provisto por la empresa BRIMAX S.A. de la ciudad de Lima, pero es producido por PETROPERU.

- II. Agregados:

Los agregados para utilizarse en la presente investigación serán obtenidos de la cantera “La Poderosa”, ya que investigaciones anteriores han demostrado que tienen buenas propiedades físicas y mecánicas, además que tuvieron un buen desempeño frente a ensayos que fueron sometidos.

- III. Filler:

Los materiales de relleno empleados para esta investigación han tenido una revisión previa en cuanto investigaciones y fichas técnicas, se consideraron dos principales materiales de relleno tales como: cal hidratada y cemento Portland tipo I, el primer material fue provisto por la empresa MYCAL de la ciudad de Lima, pero es producido por M & CALERA SANTA y el segundo material será provisto por la empresa YURA S.A la cual cuenta con su planta de producción en Arequipa.

- IV. Aditivo:

El único aditivo en utilizarse será Ricot Z 3000, de la línea de productos Z ADITIVOS, comercializada por la misma empresa. El estado del producto es de líquido viscoso.

b. Los ensayos de caracterización de agregados (grueso y fino), se realizarán en el laboratorio Roberto Cáceres Flores S.R.L.; mientras que los ensayos de mezcla asfálticas se realizarán en el laboratorio de Grupo R.P.G S.A.C.

I. Para la caracterización de agregados se realizaron los siguientes ensayos:

Grosos:

- Análisis granulométrico (MTC E 204).
- Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) (MTC E209).
- Abrasión de los Ángeles (MTC E 207).
- Adherencia (MTC E 517)
- Índice de Durabilidad (MTC E 214)
- Partículas chatas y alargadas (ASTM 4791).
- Caras fracturadas (MTC E 210)
- Sales Solubles Totales (MTC E 219)
- Peso específico y Absorción (MTC 206).

Finos:

- Análisis granulométrico (MTC E 204).
- Equivalente de Arena (MTC E 114)
- Angularidad del agregado fino (MTC 222)
- Azul de Metileno (AASHTO TP 57)
- Índice de Plasticidad (MTC E 219)
- Durabilidad (al Sulfato de Magnesio) (MTC E209).
- Sales Solubles Totales (MTC E 219).
- Gravedad específica y Absorción (MTC E 205)
- Arcilla en terrones y partículas desmenuzables en agregados (MTC E 212).

- Método de ensayo para determinar cualitativamente las impurezas orgánicas en el agregado fino (MTC E 213).
 - Análisis granulométrico del relleno mineral (MTC E 216).
 - Método de ensayo estándar para la gravedad específica de sólidos de suelo mediante picnómetro de agua (MTC E 113).
- II. Para los ensayos de la mezcla asfáltica sueltas se realizaron los siguientes ensayos:
- Peso específico teórico máximo de mezclas asfálticas para pavimentos (RICE), (MTC E 508).
 - Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – Bitumen (MTC E 517).
 - Efecto del agua sobre agregados con recubrimiento bituminosos usando agua hervida (MTC E 521).
 - Efecto del agua en la resistencia a la compresión de mezclas bituminosas compactadas (MTC E 518).
- III. Para los ensayos de la mezcla asfálticas compactadas se realizaron los siguientes ensayos:
- Resistencia de mezclas bituminosas empleando aparato Marshall (MTC E 504).
 - Espesor o altura de especímenes compactados de mezclas de pavimento asfáltico (MTC E 507).
 - Peso específico aparente y peso unitario de mezclas asfálticas compactadas empleando especímenes saturados con superficie seca (MTC E 514).

- Resistencia de mezclas asfálticas compactadas al daño inducido por humedad. (AASHTO T - 283).
- c. Para los diseños de mezcla asfáltica en caliente (MAC) se realizó una gradación de la granulometría la cual esta descrito en las tablas según norma EG 2013.
- d. A base de los resultados obtenidos en la gradación de agregados se intuyó utilizar material llenante (filler), para el cual se hizo cuatro diseños de mezcla variando el tipo de filler por diseño.
- e. Se procedió a utilizar la metodología Marshall para poder obtener el óptimo de cemento asfáltico por diseño de mezcla entre los intervalos de 4%,4,5%,5%,5,5% y 6%.
- f. Una vez obtenido el óptimo de cemento asfáltico por diseño, se procedió a probar el desempeño ante el daño por humedad utilizando el ensayo AASHTO T 283, a cada uno de los diseños óptimos, este desempeño se comparó mediante la relación de especímenes acondicionados y secos.
- g. Se realizará especímenes con adición de aditivo a los diseños óptimos y se procedió a probar el desempeño ante el daño por humedad utilizando el ensayo AASHTO T 283.
- h. Finalmente, con los datos obtenidos anteriormente se realizará una comparación de desempeño ante el daño por humedad con especímenes sin aditivo y con aditivo. Además, se realizará un análisis de costos en cuanto a la elaboración de la mezcla asfáltica.

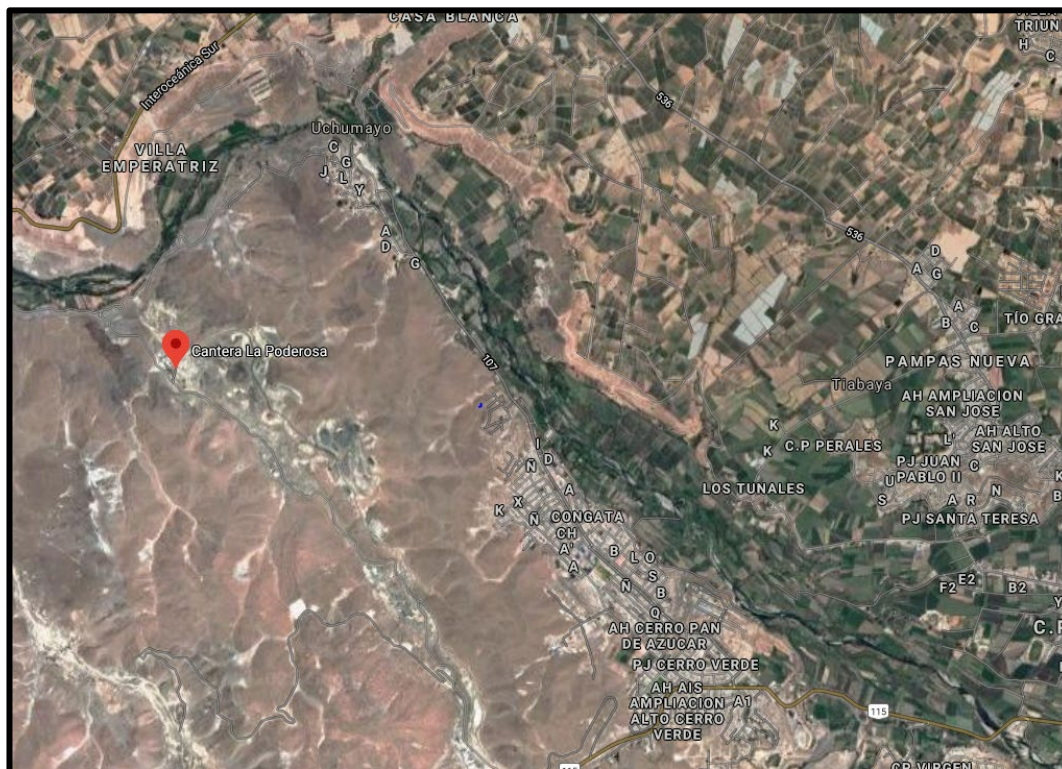
3.1. Propiedades de los materiales utilizados en la investigación.

Los agregados minerales empleados para esta investigación tanto gruesos como finos se pudo obtener de la cantera La Poderosa, ubicado en la provincia de Arequipa,

departamento de Arequipa, cuya ubicación específica se encuentra en el distrito de Uchumayo, sector Congata como se muestra en la figura:

Figura 6:

Ubicación de la cantera La Poderosa, Arequipa, Arequipa.



Fuente: Google Earth.

Se adquirió un metro cúbico de agregado grueso y arena, del cual se hizo un cuarteo, para obtener 10 sacos de agregado grueso de tamaño nominal de 3/4" y 10 sacos de arena, cabe señalar que cada saco tiene un peso de 40 kgf.

En la presente investigación se utilizó 4 tipos de materiales llenantes, tales como: cal hidratada especial para vías, de la empresa MYCAL ubicado en Av. El Derby 250 en el distrito Santiago de Surco de la ciudad de Lima. Cemento Yura IP, perteneciente a la empresa YURA S.A. ubicado en la carretera a Yura, del distrito de Yura departamento de Arequipa. Se utilizó también puzolana micronizada, producto llamado CARPETEK, de la empresa ROCATECH S.A.C., ubicado en la variante Uchumayo a la altura del kilómetro 6, del

distrito de Tiabaya, departamento de Arequipa y polvo de agregado fino tamizado por la malla #200, elaborado por los autores de la presente tesis.

3.1.1. Análisis granulométrico

3.1.1.1.1. Agregado grueso – Grava chancada de $\frac{3}{4}$ " y

Agregado fino – Arena.

Norma: MTC E 204

Por medio de este ensayo podemos determinar la gradación de los agregados fino o gruesos, es decir, la distribución de los tamaños de las partículas del agregado, usando los diferentes tamices normados. Esto con el objetivo de determinar si el agregado cumple con los requisitos de tamaño de partículas de las especificaciones técnicas.

Figura 7:

Análisis granulométrico de agregado grueso y fino.

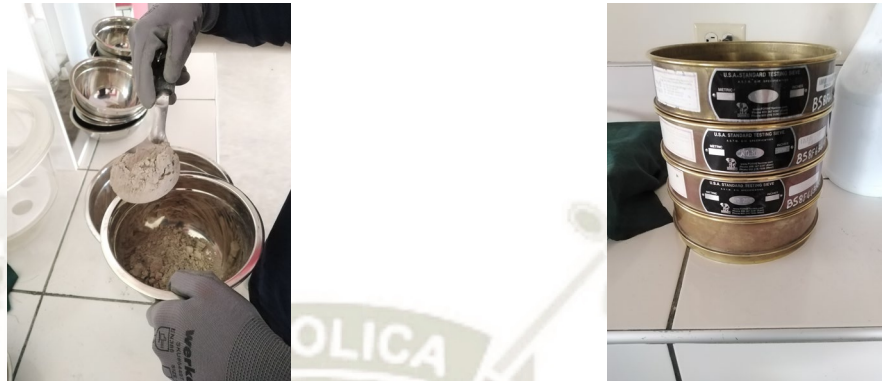


Fuente: Elaboración propia.

3.1.1.1.2. Material de relleno – Filler.

Figura 8:

Análisis granulométrico del filler



Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Peso unitario suelto y compactado.

Norma: MTC E 203

Este ensayo nos permite determinar el Peso Unitario Suelto y Compactado de los agregados gruesos o finos. El Peso Unitario Suelto sirve para hallar la relación entre masa y volumen del agregado y conocer equivalencias. El Peso Unitario Compactado aplica para saber el factor del grado de compactación del agregado en el caso que se tenga que transportar o almacenar.

Figura 9:

Ensayo de peso unitario suelto y compactado.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Peso específico y absorción

3.1.3.1. Agregado grueso – Grava chancada de 3/4”

Norma: MTC E 206

El peso específico es la relación entre masa, volumen y un agregado. La absorción es el porcentaje de incremento de masa por la inserción de agua en los vacíos del agregado.

Mediante este ensayo hallamos el peso específico seco, el peso específico de masa saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción de agregado grueso.

Figura 10:

Ensayo de peso específico del agregado grueso - grava.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.2. Agregado fino - Arena

Norma: MTC E 205

Realizando este ensayo podemos conocer el peso específico seco, el peso específico de masa saturado superficialmente seco, el peso específico aparente y la absorción de agregado fino.

Figura 11:

Ensayo de peso específico de la fino – arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.3.3. Material de relleno – Filler

Norma: MTC E 113

Podemos determinar el peso específico de materiales finos como el filler del material pasante N° 200, mediante la norma MTC E 113 se usó agua y una bomba de vacío.

Para hallar el peso específico del cemento y de la puzolana micronizada (Carpetek) se usó petróleo según norma ASTM C188 y la bomba de vacío.

Para hallar el peso específico de la cal se usó alcohol etílico desnaturalizado de 99.9% de pureza y la bomba de vacío, según norma.

Figura 12:

Ensayo de peso específico de la cal hidratada y cemento Portland.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.4. Abrasión de los Ángeles

Norma: MTC E 207

Con este ensayo podemos hallar la resistencia a la degradación del agregado grueso por acción del impacto, el desgaste y la trituración en la Máquina de los Ángeles. El resultado es la cantidad de masa perdida del agregado por efecto de la Máquina de los Ángeles.

Figura 13:

Ensayo de abrasión – Máquina de los Ángeles.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.5. Durabilidad al Sulfato de Magnesio

Norma: MTC E 209

Podemos determinar, mediante este ensayo, la resistencia al desintegrarse el agregado grueso o fino por efecto de la saturación en soluciones como el sulfato de sodio o el sulfato de magnesio.

Figura 14:

Ensayo de durabilidad al sulfato de magnesio.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.6. Índice de durabilidad

Norma: MTC E 214

Mediante este ensayo se puede determinar la resistencia relativa de un agregado grueso o fino a producir finos perjudiciales como la arcilla, asignando un valor empírico, cuando el agregado es sometido a degradación mecánica. Se obtiene una tentativa de análisis rápido para la valoración de una fuente de agregado.

Figura 15:

Ensayo de durabilidad de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.7. Sales solubles totales

Norma: MTC E 219

Este ensayo nos permite conocer el contenido de cloruros y sulfatos solubles en el agua de los agregados, sometiéndolos continuamente a varios lavados con agua destilada a temperatura de ebullición, para poder extraer todas las sales.

Este ensayo se utiliza para agregados finos y gruesos sobre todo para aquellos materiales que se usarán en mezclas asfálticas.

Figura 16:

Ensayo de sales solubles de los agregados.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. Partículas chatas y alargadas

Norma: MTC E 223

Realizando este ensayo queremos determinar el porcentaje de partículas chatas o alargadas del total del agregado grueso, ya que este tipo de partículas podrían obstruir con la consolidación e interferir en la colocación de los materiales.

Para este ensayo se usa un dispositivo calibrador proporcional, que, para efectos de esta investigación se usará en proporción 1:3, de acuerdo con los requisitos de la norma.

Figura 17:

Ensayo de partículas chatas y alargadas del agregado grueso – grava.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.9. Caras fracturadas

Norma: MTC E 210

El propósito de este ensayo es determinar el porcentaje de agregado grueso que contiene partículas fracturadas para saber si se cumplen ciertos requisitos. El propósito de estos requerimientos es maximizar el esfuerzo cortante incrementando la fricción entre partículas en las mezclas por causa de la textura de los agregados usados.

Figura 18:

Ensayo de caras fracturadas del agregado grueso – grava.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.10. Equivalente de arena

Norma: MTC E 114

Mediante este ensayo podemos determinar las proporciones relativas de agregados finos que pasan el tamiz N°4. Ya que el agregado fino es una mezcla de partículas gruesas, arena y arcilla, finos plásticos o polvo, este ensayo indica un valor empírico al contenido de arcilla presente en el agregado.

Figura 19:

Ensayo de equivalente de arena del agregado fino – arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.11. Angularidad del agregado fino

Norma: MTC E 222

Este ensayo nos indica el porcentaje de vacíos con aire presente en las partículas pasantes de la malla N°8 y retenido en la malla N° 200, cuando no son ligeramente compactadas. Este dato se relaciona con la resistencia al ahuellamiento de las carpetas asfálticas.

Figura 20:

Ensayo de angularidad del agregado fino – arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.12. Azul de metileno.

Norma: AASHTO TP 57

El propósito de este ensayo es hallar la cantidad de material en capacidad de ser dañino, incluyendo arcilla y material orgánico que se encuentra en el agregado fino.

Figura 21:

Ensayo de azul de metileno del agregado fino – arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.13. Índice de plasticidad.

Norma: MTC E 222

Para cumplir con los requisitos normados se debe realizar este ensayo para el material pasante de la malla N°40 y malla N°200. Para hallar el índice de plasticidad se debe determinar el límite líquido y el límite plástico. Se utiliza la cuchara de Casagrande y se halla el contenido de humedad con la que se pueden formar barritas de material, para el límite líquido y plástico, respectivamente.

Figura 22:

Ensayo de índice de plasticidad de los finos – limos.



Fuente: Elaboración propia.

3.1.14. Método de ensayo para determinar cualitativamente las impurezas orgánicas en el agregado fino.

Norma: MTC E 213

El propósito de este ensayo es hallar la presencia de impurezas orgánicas en el agregado fino, que pueden ser nocivas, que va a ser usado en mezclas asfálticas.

Figura 23:

Ensayo para determinar cualitativamente las impurezas del agregado fino – arena.



Fuente: Elaboración propia.

3.2. Metodología para encontrar la densidad teórica máxima (RICE).

3.2.1. Consideraciones para la elaboración de la mezcla asfáltica suelta.

Este ensayo se basó en la norma MTC E 508, el cual menciona que para hallar el peso específico máximo es indispensable para el diseño de mezclas asfálticas, pues este dato sirve para calcular el porcentaje de vacíos de aire de las mezclas compactadas, y por ende para hallar la cantidad de bitumen absorbido por el agregado.

En este caso se necesita encontrar la densidad teórica máxima de cada porcentaje de C.A. para cada mezcla con su respectivo filler, en la tabla número 16 se observa la cantidad por cada mezcla.

Tabla 18:

Cantidad de mezclas elaboradas para el ensayo RICE.

DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA (RICE)						
FILLER UTILIZADO	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO					N° TOTALES DE MEZCLAS
	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%	
Cal Hidratada	1	1	1	1	1	5
Cemento Portland IP	1	1	1	1	1	5
Puzolana micronizada "Carpetek"	1	1	1	1	1	5
Polvo de arena	1	1	1	1	1	5
TOTAL, DE MEZCLAS ELABORADAS						20

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Descripción de la metodología para el ensayo RICE.

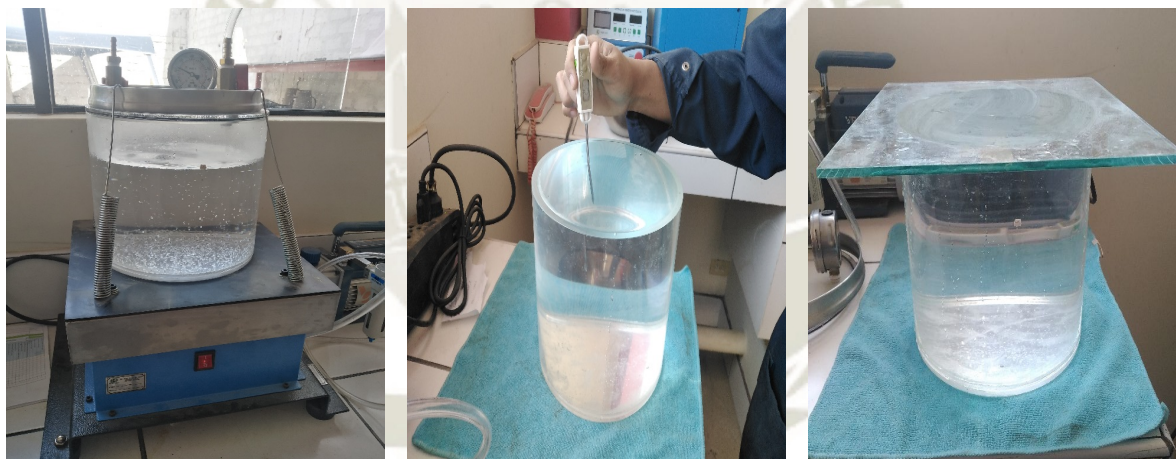
Según la norma, para realizar el ensayo rice, es necesario en primer lugar calibrar el picnómetro, con el fin de obtener una curva de calibración.

El picnómetro con el que se realizó el ensayo es de tipo D, como se muestra en la figura 24. La norma lo describe como: “Un picnómetro de plástico que contiene una capacidad de por lo menos 4000 ml”.

Para realizar la calibración se pesó el picnómetro totalmente lleno con agua des airada en diferentes temperaturas y enrasado con una tapa de vidrio. Para obtener, de esta manera diferentes pesos al variar la temperatura del agua.

Figura 24:

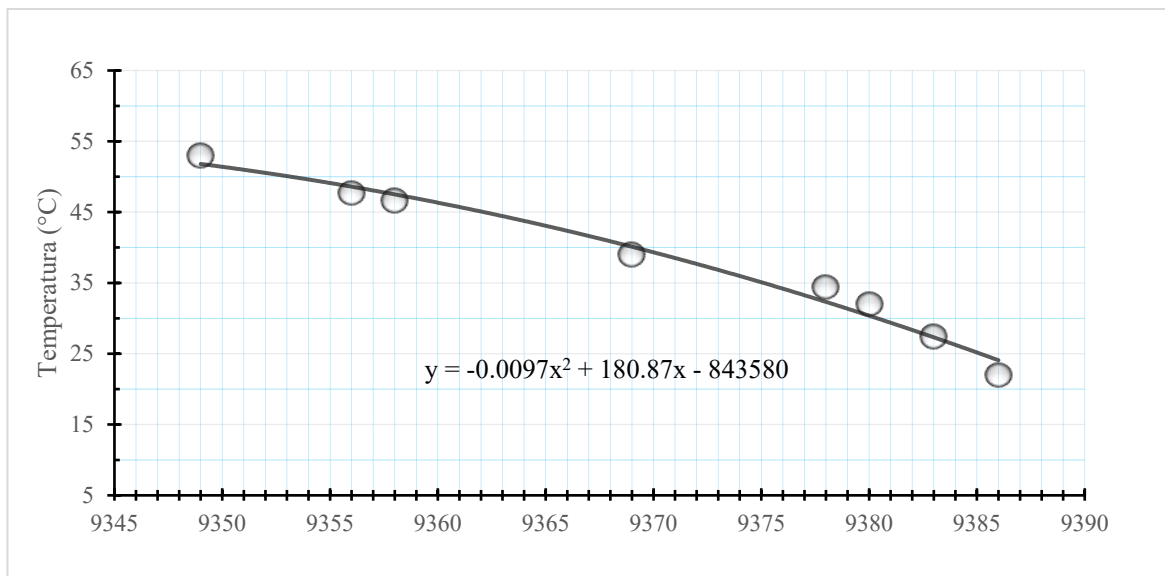
Calibración de picnómetro tipo D.



Fuente: Elaboración propia.

A partir de los datos obtenidos se elaboró la gráfica 1 de calibración que se observa a continuación:

Gráfica 1:
Curva de calibración de picnómetro.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de calibrar el picnómetro la muestra para el ensayo consta de una cantidad de mezcla asfáltica sin compactar la cual varía de acuerdo con el TMN del agregado como se muestra en la tabla 17.

Tabla 19:
Cantidad de mezcla por TMN.

Tamaño de la partícula de mayor tamaño en la muestra mm (pulg)	Muestra mínima (gf)
50.0 (2)	6000
37.5 (1 1/2)	4000
25.0 (1)	2500
19.0 (3/4)	2000
12.5 (1/2)	1500
9.5 (3/8)	1000
4.75 (N°4)	500

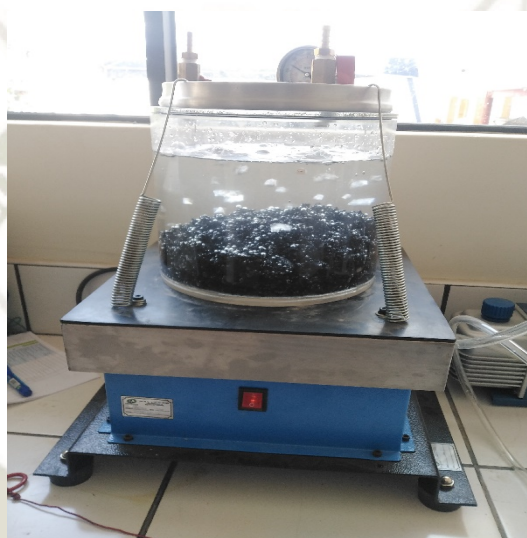
Fuente: Manual de ensayo de materiales, 2016.

En este caso el TMN de la mezcla es $\frac{3}{4}$ " por ende se trabaja con un aproximado de 2 kgf, luego la muestra debe estar a temperatura ambiente, y las partículas deben separarse con cuidado de no fracturarlas

Se coloca la muestra en el picnómetro y se anota el peso de la muestra seca. Se procede a llenar parcialmente con agua el picnómetro para luego remover el aire atrapado sometiendo a el contenido a un vacío parcial de 30 mm Hg o menor de presión absoluta, durante un periodo de 5 a 15 minutos. Durante el proceso de desairado el picnómetro está en constante movimiento mediante un dispositivo mecánico como se muestra en la figura.

Figura 25:

Ensayo Rice en la mezcla asfáltica con una presión de 25 mm Hg.



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es colocar agua desairada en el picnómetro hasta llenarlo completamente y enrasarlo con la tapa de vidrio, para proceder a medir la temperatura del agua y luego pesarlo.

Para hallar la densidad teórica máxima se aplicó la siguiente formula:

Ecuación 11:

Densidad teórica máxima.

$$\text{Densidad teórica máxima} = \frac{A}{A + B - C}$$

Donde:

A = Peso de la muestra seca en el aire, en gramos.

B = Peso del recipiente lleno con agua, en gramos.

C = Peso del recipiente lleno con agua y muestra, en gramos

3.3. Metodología Marshall en mezclas asfálticas en caliente.

3.3.1. Consideraciones para elaboración de muestras.

Se elaboró una cantidad de especímenes compactados, para el ensayo Marshall el cual se indica en la tabla 17:

Tabla 20:

Numero de especímenes por filler y aditivo, para ensayo de Marshall.

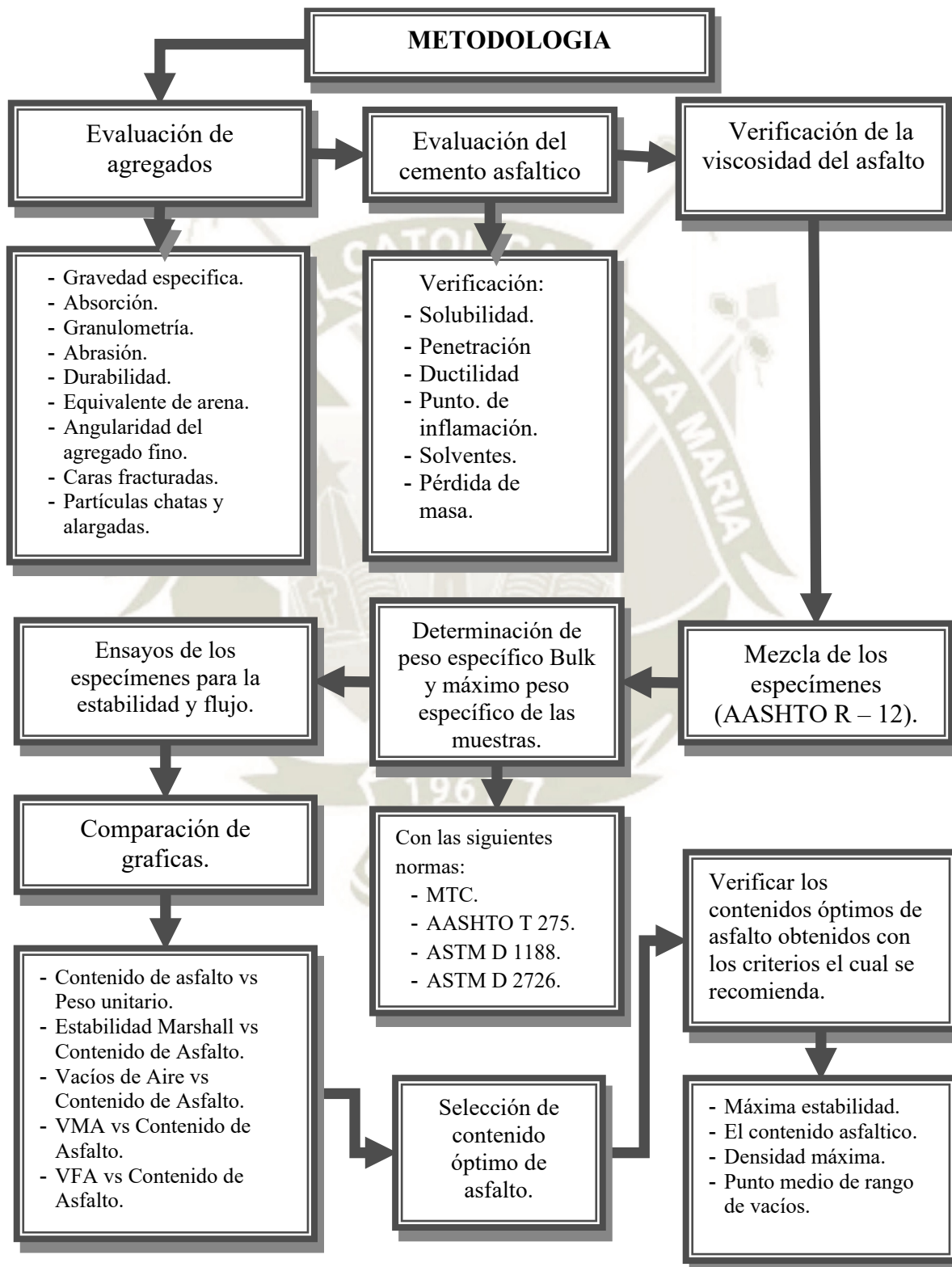
FILLER UTILIZADO	PORCENTAJE DE CEMENTO ASFALTICO					N° TOTALES DE ESPECIMENES
	4.0%	4.5%	5.0%	5.5%	6.0%	
Cal Hidratada	3	3	3	3	3	15
Cemento Portland IP	3	3	3	3	3	15
Puzolana micronizada "Carpetek"	3	3	3	3	3	15
Polvo de arena	3	3	3	3	3	15
TOTAL, DE BRIQUETAS						60

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Descripción de la metodología para el ensayo Marshall.

En el siguiente esquema 1, se representa la metodología que se aplicó:

Esquema 1:
Metodología Marshall.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.1. Procedimiento de combinación de agregados para mezclas asfálticas en laboratorio.

Para iniciar la combinación de agregados para una mezcla asfáltica es necesario secar los agregados, si esto no ocurre se corre el riesgo de tener pesos inexactos de agregados en la mezcla.

Existen muchos métodos para la preparación de los agregados para ensayos de laboratorio, estos varían de acuerdo con cuánto tiempo lleva hacerlo y que tan precisos son. Entre más preciso es un procedimiento más tiempo lleva hacerlo. El objetivo es preparar especímenes que sean representativos de la combinación de agregados que va a usar la planta en el proyecto en campo.

El MS-2 (Asphalt Mix Design Methods) refiere métodos que consisten en separar en tamaños las partículas del agregado y poner en la mezcla, de acuerdo con la gradación, la cantidad exacta de cada una. Un método consiste en separar solo el agregado grueso, otro método consiste en usar solo algunas mallas seleccionadas para separar el agregado; pero el método más preciso, y el que se usó en esta investigación es el total fraccionamiento del agregado, separándolo por todos los tamices, con el objetivo de que cada uno de los especímenes de mezcla asfáltica sean totalmente iguales en sus materiales, para que la variación sea insignificante, o en todo caso la variación no tenga que ver con la posibilidad de variabilidad del tamaño de las partículas del agregado.

Es la presente investigación se preparará especímenes con porcentajes de cemento asfáltico de 4.0%, 4.5%, 5.0%, 5.5%, 6.0%; entonces se debe preparar los agregados con el peso correspondiente de cada tamiz para cada porcentaje de cemento asfáltico propuesto, suponiendo que el peso total de cada espécimen es 1200 gramos.

Tabla 21:

Dosificación de la mezcla asfáltica.

% Cemento Asfáltico		4.00 %	4.50 %	5.00 %	5.50 %	6.00 %
% Restante		96.00 %	95.50%	95.00%	94.50%	94.00%
% Grava 1/2	51.00%	48.96%	48.705%	48.45%	48.195%	47.94%
% Arena	46.00%	44.16%	43.93%	43.7%	43.47%	43.24%
% Filler	3.00%	2.88%	2.865%	2.85%	2.835%	2.82%
		100.00%	100.00%	100.00%	100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2. Procedimiento de mezcla y compactación

3.3.2.2.1. Elaboración de la mezcla asfáltica.

Los especímenes en laboratorio se realizan principalmente para determinar: La Gravedad específica Bulk de las probetas, la Gravedad Específica Teórica máxima de la mezcla y el ensayo Marshall de las probetas con las que obtendremos Estabilidad y Flujo. Es necesario tener en cuenta que se deben hacer por lo menos 3 especímenes con la misma cantidad de agregado, filler, cemento asfáltico, temperatura, compactación y enfriamiento.

En primer lugar, se debe preparar el agregado, ya dispuesto por pesos por cada tamaño de partícula correspondiente a cada tamiz, calentándolo en el horno hasta que llegue aproximadamente a una temperatura de 150°C. Se debe también preparar el cemento asfáltico, calentándolo en pequeñas cantidades suficientes para las probetas a preparar, a una temperatura aproximada entre 135 y 150°C.

Posteriormente, agregado ya preparado en un pocillo, el cual debe estar anteriormente calentado, haciendo un cráter en el medio de éste, para allí colocar la cantidad requerida de gramos de cemento asfáltico.

Luego, se debe iniciar el mezclado de agregado y mezcla asfáltica, teniendo en cuenta que debe estar a una temperatura entre 135 y 150 °C. La norma ASTM D6926 recomienda mezclar durante aproximadamente 60 segundos para especímenes individuales.

Figura 26:

Calentado en horno del agregado entre 135° - 150°C.



Fuente: Elaboración propia.

El siguiente paso es colocar la mezcla en los moldes para especímenes, previamente calentados entre 90°C y 150 °C, no sin antes colocar papel absorbente en el molde del tamaño de la base de este. Chusear la mezcla con una espátula calentada 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el medio. Colocar después otro pedazo de papel absorbente que encaje en la parte superior del molde.

Figura 27:

Colocado y acomodo de la mezcla asfáltica en moldes.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.2. Compactación de la mezcla asfáltica.

Ahora se procederá a la compactación, verificando antes que la temperatura de la mezcla en el molde esté dentro de los rangos establecidos anteriormente (135-150°C) y

habiendo calentado el martillo de compactación a la misma temperatura que los moldes. En esta investigación se procedió a ejecutar 75 golpes para cada lado de la probeta con el martillo de compactación. Posteriormente se retira los papeles de la probeta y conservarla en su molde para ser retirada al día siguiente, cuando se haya enfriado lo suficiente para evitar daños al extraer el espécimen.

Figura 28:

Compactado de la mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia.

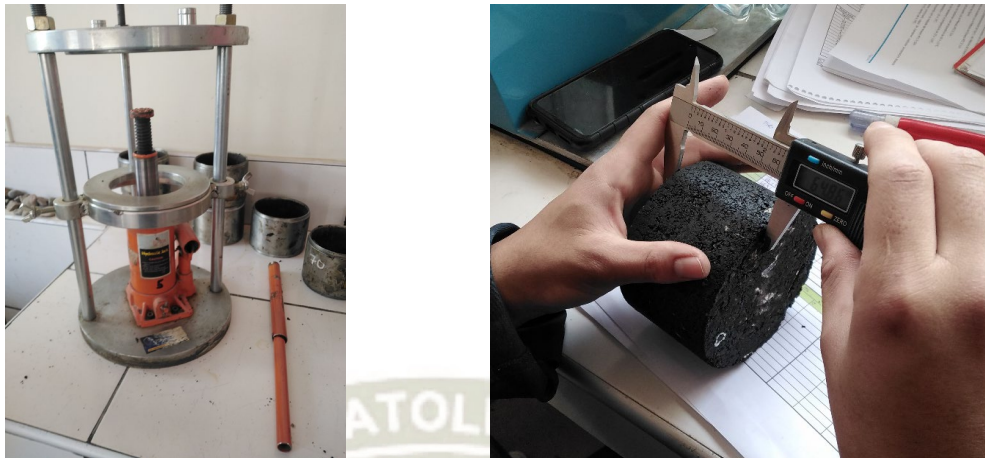
3.3.2.3. Determinación del peso específico Bulk de especímenes compactados.

En primer lugar, se debe retirar las probetas de su molde mediante una gata mecánica especial para este propósito.

El siguiente paso es medir la altura de cada probeta con un vernier, esto se realiza 4 veces, alrededor del perímetro de la base de la probeta.

Figura 29:

Desmolde de probeta y toma de medidas.



Fuente: Elaboración propia.

Luego se procede a pesar las probetas en seco y anotar este dato. Para después proceder a sumergirlas en agua a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ entre 3 a 5 minutos para saturarlas. Habiendo hecho esto, se procede a pesar las probetas superficialmente secas y sumergidas.

Es necesario aclarar que este procedimiento es factible y válido siempre y cuando el porcentaje de absorción promedio de las probetas no supere el 2.0%, de lo contrario se tendrá que realizar otro ensayo (Determinación de la gravedad específica y el peso unitario utilizando especímenes parafinados MTC E 506) para hallar el peso específico Bulk.

El peso específico bulk de los especímenes de cada contenido de cemento asfáltico estará dentro del rango de ± 0.020 del promedio, como indica la norma.

Figura 30:

Ensayo para obtener peso específico Bulk.



Fuente: Elaboración propia.

3.3.2.4. Ensayo de especímenes compactados en maquina Marshall.

Antes de comenzar este ensayo, las probetas deben estar a temperatura ambiente.

Se debe colocar las probetas el baño María a 60 ± 1 °C por 30 a 40 minutos antes de ensayar.

Figura 31:

Baño María.



Fuente: Elaboración propia.

Se debe limpiar los cabezales de rotura Marshall correctamente y asegurarse de que estén a una temperatura entre 20 y 40 °C (como indica la norma). Asegurarse también de que

el segmento superior del cabezal se deslice libremente por las líneas guía, en ocasiones es necesario lubricarlas.

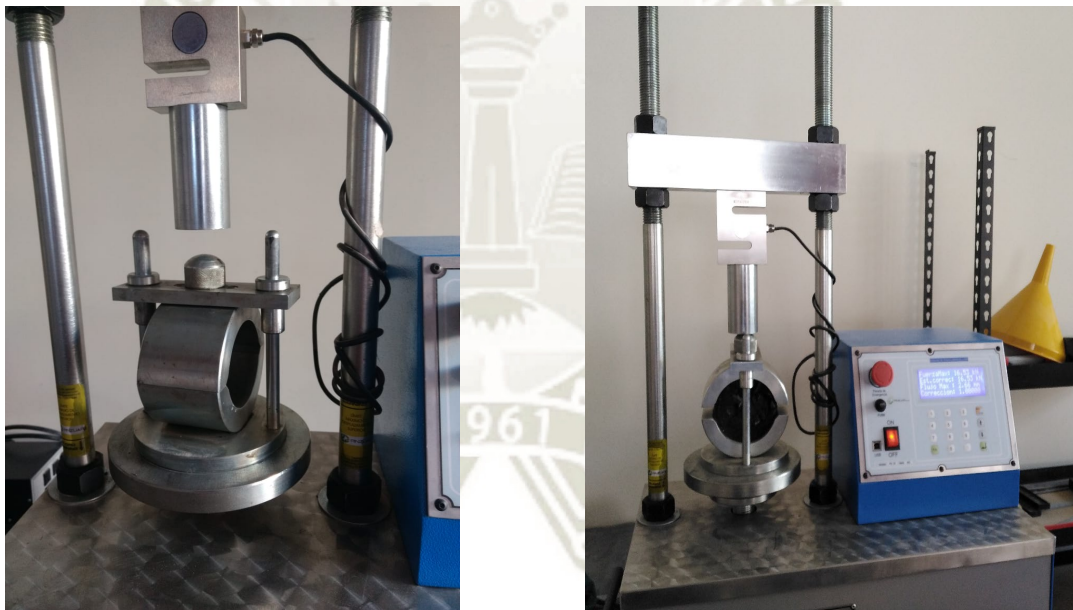
Cuando el aparato Marshall esté listo, sacar la probeta del baño María, secarla con una toalla y colocarla en el segmento inferior del cabezal de rotura. Luego se coloca el segmento superior y se procede a colocar todo el conjunto en la máquina de carga, la cual aplica una carga constante de 50 mm /min.

El tiempo desde que se remueve el espécimen del baño hasta que se determina la carga máxima no debe superar los 30 segundos.

Anotar la carga máxima y el flujo en el instante en que la carga comienza a decrecer.

Figura 32:

Maquina y moldes de ensayo Marshall.



Fuente: Elaboración propia.

El aparato Marshall de carga de la imagen, que se utilizó en esta investigación, no necesita un dial como fluxómetro, pues el equipo proporciona datos de flujo automáticamente.

3.4. Metodología del desempeño por humedad en mezclas asfálticas mediante el Ensayo a la tracción indirecta TSR.

3.4.1. Consideraciones para la elaboración de muestras.

Se elaboró una cantidad de especímenes compactados, para el ensayo TSR el cual se indica en la tabla 20:

Tabla 22:

Numero de especímenes por filler y aditivo, para ensayo de TSR

TIPO DE MEZCLA	FILLER UTILIZADO	CONDICION DEL ESPECIMEN	N° DE ESPECIMENES	TOTAL
SIN APLICACIÓN DE ADITIVO				
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cal Hidratada	Seco	3	6
		Acondicionado	3	
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cemento Portland IP	Seco	3	6
		Acondicionado	3	
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Polvo silico aluminico	Seco	3	6
		Acondicionado	3	
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Polvo de arena	Seco	3	6
		Acondicionado	3	
CON APLICACIÓN DE ADITIVO				
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cal Hidratada	Seco	0	3
		Acondicionado	3	
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cemento Portland IP	Seco	0	3
		Acondicionado	3	
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Polvo silico aluminico	Seco	0	3
		Acondicionado	3	
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Polvo de arena	Seco	0	3
		Acondicionado	3	
TOTAL DE BRIQUETAS				36

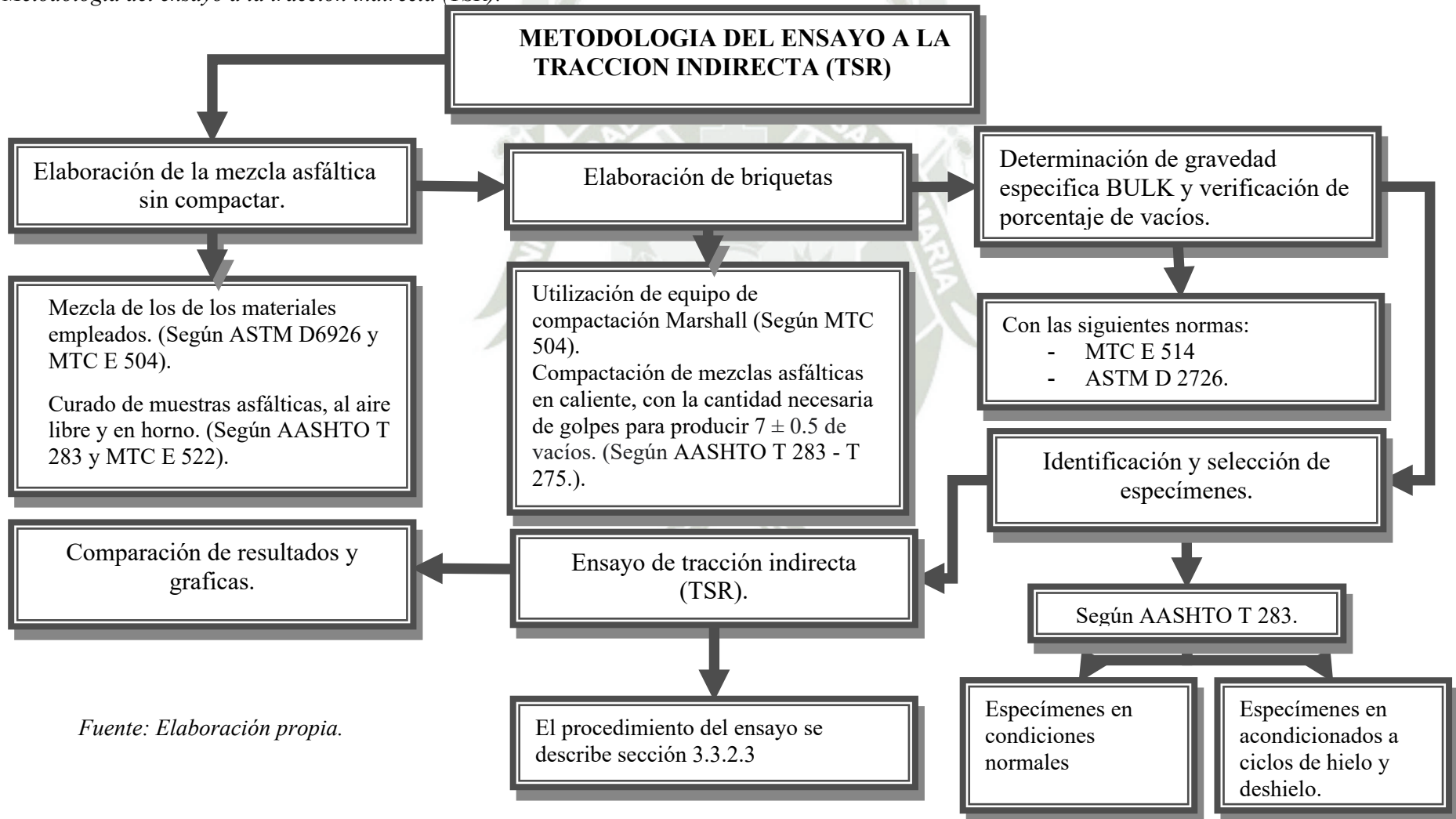
Fuente: Elaboración propia.

3.4.2. Descripción de la metodología para el ensayo.

En el siguiente esquema se representa la metodología que se aplicó

Esquema 2:

Metodología del ensayo a la tracción indirecta (TSR).



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.1. *Elaboración de la mezcla asfáltica.*

En la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente, según la MTC E 522 se aplicó los pasos para combinar los agregados, filler y cemento asfáltico, cabe recalcar que las mezclas con adición de aditivo se tuvo el mismo procedimiento, luego de tener la mezcla se siguió la AASHTO T 283 en donde se dejó curar aproximadamente $2 \pm 0,5$ horas a temperatura ambiente, posteriormente se coloca en horno a $60 \pm 3^\circ \text{C}$ por un periodo de 16 ± 1 horas.

Figura 33:

Curado de la mezcla asfáltica sin compactar.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.2. *Compactación de mezcla asfáltica.*

Luego de curar la mezcla asfáltica, según la AASHTO T 283 se debe calentar la muestra en horno a temperatura de compactación durante 2 ± 10 minutos, seguidamente se debe compactar los especímenes según al método establecido en MTC E 504, la mezcla será compactada con $7 \pm 0.5\%$ de vacíos, estos números de golpes por mezcla optima están establecidos en el inciso 5.1.1, finalmente las briquetas se deben remover de los moldes y almacenados en un lugar seco por 24 ± 3 horas.

Figura 34:

Briquetas con distinta cantidad de golpes.



Fuente: Elaboración propia.

3.4.2.3. Procedimiento del ensayo TSR.

Después del curado se debe comprobar el espesor y diámetro (MTC E 507), posteriormente se determina gravedades específicas Bulk (MTC E 505) y por último calcular los porcentajes de vacíos de aire (MTC E 505).

Según el AASHTO T 283, se identifica y selecciona los especímenes en dos grupos: un subgrupo de especímenes en seco, los cuales serán acondicionadas a 25° C durante 2 ± 10 minutos.

Figura 35:

Acondicionamiento de especímenes secos.



Fuente: Elaboración propia.

En el otro subgrupo las briquetas serán saturadas parcialmente al vacío dentro de los parámetros de 70% - 80%, durante 5 – 10 min, con unas presiones de 254 – 600 (mm-Hg).

Figura 36:

Saturación al vacío del espécimen.



Fuente: Elaboración propia.

Luego de obtener la saturación al vacío indicada, se procede a colocar en bolsas herméticas a condiciones de $-18 \pm 0,1^{\circ} \text{C}$ por 16 horas como mínimo, pasado el tiempo se acondicionan los especímenes a 60°C por 24 ± 1 horas.

Figura 37:

Acondicionamientos de hielo y deshielo de las briquetas.



Fuente: Elaboración propia.

Finalmente, para poder ser ensayados los dos subgrupos, las muestras deben estar acondicionadas a $25 \pm 1^{\circ} \text{C}$ durante 2 ± 10 minutos, a continuación, se coloca el espécimen

en las mordazas Lottman y se ensaya en la maquina Marshall. Con el ensayo se obtendrá datos de flujo y estabilidad para analizarlos posteriormente. A continuación, se retira del molde la briqueta ensayada y se divide en dos, para poder realizar un análisis visual y determinar el grado de daño inducido por humedad.

Figura 38:

Especímenes ensayados mediante mordaza Lottman.



Fuente: Elaboración propia.

3.5. Ensayos de adherencia en mezclas asfálticas convencionales.

3.5.1. Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado – Bitumen.

NORMA: MTC E 517

Para este ensayo es básicamente describir de una manera cualitativa la retención de la película bituminosa en la superficie del agregado, cuando la mezcla entra en presencia de agua. A base de lo mencionado anteriormente se debe reportar la estimación del área revestida como “Mayor a 95%” o “Menor a 95%”.

Figura 39:

Ensayo de revestimiento y desprendimiento de mezcla agregado – bitumen.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.2. Efecto del agua sobre agregados con recubrimiento bituminosos usando agua hervida.

NORMA: MTC E 521

Es un ensayo que se determina de manera visual la pérdida de adherencia en las mezclas asfálticas sin compactar, cuando está en presencia de agua destilada en estado de ebullición, esta práctica es un indicador para medir la susceptibilidad relativa al agua del agregado con el bitumen. A base de lo mencionado se debe reportar si el bitumen queda totalmente revestido con áreas finas o traslucidas.

Figura 40:

Ensayo del efecto del agua hervida sobre los agregados con recubrimiento bituminoso.



Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta.

NORMA: AASHTO T 283

La descripción y metodología del ensayo de tracción indirecta se describe con mayor extensión en el inciso 3.4.

3.6. Presentación de resultados de laboratorio.

3.6.1. Resultados de caracterización

3.6.1.1. Caracterización de Agregado Grueso – Grava.

Se muestra el resumen de resultados obtenidos siguiendo como requisito el Manual de Carreteras EG – 2013.

Tabla 23:

Caracterización del agregado grueso – Grava.

Ensayos	Norma	Requerimiento EG – 2013	Unidad	Resultado	Cumple/ No Cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	18% máx.	%	0.96	Cumple
Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	40% máx.	%	16	Cumple
Adherencia	MTC E 517	+95	%	98	Cumple
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% min.	%	97	Cumple
Partículas chatas y alargadas	ASTM 4791	10% máx.	%	9	Cumple
Caras fracturadas	MTC E 210	85/50	%	87.8/54.4	Cumple
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	%	0.02	Cumple
Absorción *	MTC E 206	1.0% máx.	%	0.38	Cumple
Peso Unitario Suelto	MTC E 203	-	kgf/m ³	1.455	-
Peso Unitario Compactado	MTC E 203	-	kgf/m ³	1.607	-
Peso específico de masa	MTC E 203		kgf/m ³	2.78	-

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.2. Caracterización de Agregado Fino – Arena.

Tabla 24:

Caracterización del Agregado Fino – Arena.

Ensayos	Norma	Requerimiento	Unidad	Resultado	Cumple/ No Cumple
Equivalente de Arena	MTC E 114	60 mín.	%	74	Cumple
Angularidad del agregado fino.	MTC E 222	30 mín.	%	45.74	Cumple
Azul de metileno.	AASHTO TP 57	8 máx.	%	5	Cumple
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	-	NP	Cumple
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)	MTC E 209	-	%	4.09	-
Índice de Durabilidad.	MTC E 214	35 mín.	%	96	Cumple
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	4 máx.	-	NP	Cumple
Sales Solubles Totales.	MTC E 219	0.5% máx.	%	0.47	Cumple
Absorción **	MTC E 205	0.5% máx.	%	0.63	No Cumple
Peso Unitario Suelto	MTC E 203	-	kgf/m ³	1.557	-
Peso Unitario Compactado.	MTC E 203	-	kgf/m ³	1.859	-
Peso específico de masa.	MTC E 203	-	gf/cm ³	2.62	-

Fuente: Elaboración propia.

3.6.1.3. Caracterización de Material Llenante – Filler.

Tabla 25:

Caracterización del Material Llenante – Filler.

Ensayos	Norma	Unidad	Resultado
Filler Cal Hidratada	ASTM C188	gf/cm ³	2.65
Filler Cemento Portland	ASTM C188	gf/cm ³	2.82
Filler puzolana micronizada	ASTM C188	gf/cm ³	2.43
Filler arena pasante malla N° 200	MTC E113	gf/cm ³	2.68

Fuente: Elaboración propia.


3.6.2. Resultados de ensayos de adherencia.

Tabla 26:

Resultados de ensayos de adherencia.

Ensayos	Norma	Unidad	Resultado	Cumple/No cumple
Revestimiento y desprendimiento de mezclas agregado grueso – Bitumen.	MTC E 517	%	“Mayor a 95%”	Cumple
Adherencia de agregado fino - Bitumen	MTC E 220	Esc	NSD	NSD
Efecto del agua sobre agregados con recubrimiento bituminosos usando agua hervida	MTC E 521	%	“Mayor a 95%”	Cumple
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta	AASHTO T 283	%	Con Filler distinto	
			101.04 – Cal hidratada	Cumple
			87.44 – Cemento Portland	Cumple
			83.16 – Puzolana micronizada	Cumple
			78.95 – Polvo de arena	No Cumple

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO IV

**4. DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN
CALIENTE.**

4.1. Consideraciones generales.

4.2. Diseño de mezcla asfáltica convencional.

Para iniciar con el Diseño de mezclas de una MAC es necesario realizar los ensayos para determinar las propiedades de los agregados (Anexo 1) y compararlas con los requerimientos que nos indica norma EG-2013, como se realizó en las tablas 20 y 21.

A continuación, se muestra una tabla resumen de los pesos específicos y pesos unitarios de los agregados.

Tabla 27:

Datos generales de los agregados.

ENSAYO	NORMA	UNIDAD	AGREGADO GRUESO	AGREGADO FINO
Peso Específico Bulk	MTC E 205 - 206	gf/cm ³	2.78	2.62
Peso Específico SSS	MTC E 205 - 206	gf/cm ³	2.79	2.63
Peso Específico Aparente	MTC E 205 - 206	gf/cm ³	2.81	2.66
Absorción	MTC E 205 - 206	%	0.38	0.63
Peso Unitario Suelto	MTC E 203	kgf/m ³	1.455	1.557
Peso Unitario Compactado	MTC E 203	kgf/m ³	1.607	1.859

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1. Requerimiento Granulométrico Marshall MAC – 01.

Asimismo, es indispensable realizar el análisis granulométrico de los agregados, para luego elegir la gradación MAC más apta para nuestro agregado. La norma EG 2013 nos presenta la siguiente tabla:

Tabla 28:

Requerimientos granulométricos para mezclas asfálticas en caliente (MAC) – 1.

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC-1 (%)	MAC-2 (%)	MAC-3 (%)
25.0 mm (1")	100		
19.0 mm (3/4")	80-100	100	
12.5 mm (1/2")	67-85	80-100	
9.5 mm (3/8")	60-77	70-88	100
4.75 mm (N°4)	43-54	51-68	65-87
2.00 mm (N° 10)	29-45	38-52	43-61
425 µm (N° 40)	14-25	17-28	16-29
180 µm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 µm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.1. Resultados del análisis granulométrico de los agregados.

Se presenta el Análisis Granulométrico de cada agregado, se hicieron 3 ensayos para cada tipo de agregado y en la siguiente tabla se muestra el promedio:

Tabla 29:

Resultados del análisis granulométrico de los agregados.

		Promedio 1/2"			Promedio Arena			Promedio Filler		
Malla	mm	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa	% Retenido	% Retenido acumulado	% que pasa
1"	25.40	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00			
3/4"	19.05	5.91	5.91	94.09	0.00	0.00	100.00			
1/2"	12.70	42.06	47.97	52.03	0.00	0.00	100.00			
3/8"	9.53	18.67	66.65	33.35	0.00	0.00	100.00			
Nº 4	4.76	29.55	96.20	3.80	1.59	1.59	98.41			
Nº 8	2.38	3.73	99.93	0.07	20.37	21.97	78.03			
Nº10	2.00	0.03	99.95	0.05	5.94	27.90	72.10			
Nº 16	1.14	0.01	99.96	0.04	14.80	42.70	57.30			
Nº 30	0.59	0.01	99.97	0.03	17.92	60.62	39.38			
Nº 40	0.43	0.00	99.97	0.03	6.93	67.55	32.45			
Nº 50	0.30	0.00	99.97	0.03	6.23	73.78	26.22			
Nº 80	0.18	0.00	99.98	0.02	8.82	82.60	17.40			
Nº 100	0.15	0.00	99.98	0.02	3.12	85.72	14.28			100.00
Nº 200	0.07	0.01	99.99	0.01	7.92	93.63	6.37	0.00	0.00	100.00
Fondo		0.01	100.00	0.00	6.37	100.00	0.00	100.00	100.00	0.00

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.2. Combinación de agregados.

Se realiza la combinación de los agregados como si fueran uno solo, tomando cada tipo de agregado como un porcentaje del total para cumplir con las especificaciones granulométricas planteadas, en este caso MAC – 1, y si analiza si cumple con los requerimientos establecidos.

Tabla 30:

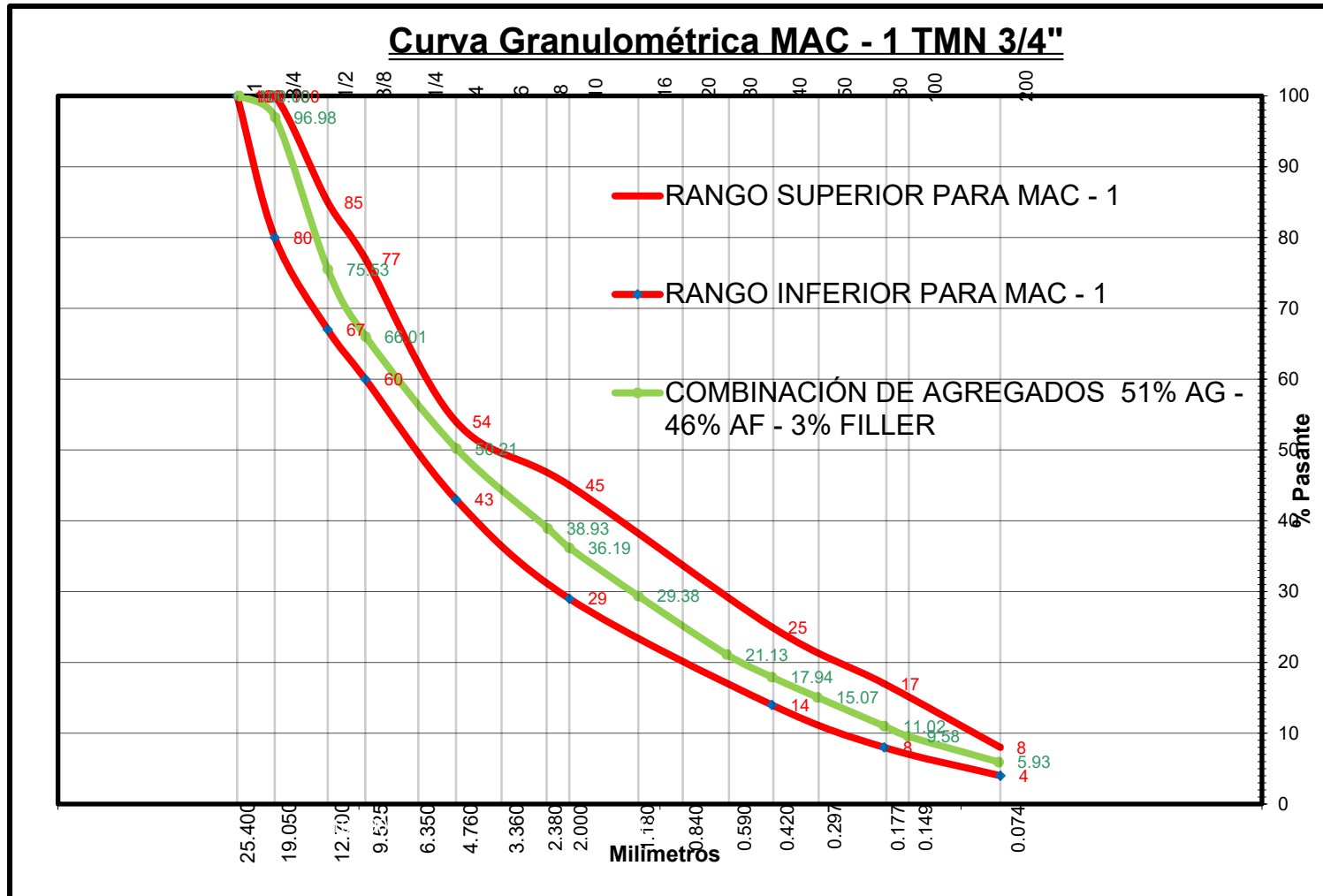
Combinación de agregados.

COMBINACIÓN DE AGREGADOS										
GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS					PORCENTAJE DE COMBINACIÓN				REQUERIMIENTO MAC - 1	
Tamíz	Tamíz mm	1/2" % que pasa	Arena % que pasa	% Filler que pasa	a	b	c	a+b+c	ESPECIFICACIÓN	¿CUMPLE?
					51.0%	46.0%	3.0%	100.0%		
1"	25.00	100.00	100.00	100.00	51.00	46.00	3.00	100.00	100.00	CUMPLE
3/4"	19.00	94.09	100.00	100.00	47.98	46.00	3.00	96.98	80-100	CUMPLE
1/2"	12.70	52.03	100.00	100.00	26.53	46.00	3.00	75.53	67-85	CUMPLE
3/8"	9.50	33.35	100.00	100.00	17.01	46.00	3.00	66.01	60-77	CUMPLE
Nº 4	4.75	3.80	98.41	100.00	1.94	45.27	3.00	50.21	43-54	CUMPLE
Nº 8	2.36	0.07	78.03	100.00	0.04	35.90	3.00	38.93		
Nº10	2.00	0.05	72.10	100.00	0.02	33.17	3.00	36.19	29-45	CUMPLE
Nº 16	1.18	0.04	57.30	100.00	0.02	26.36	3.00	29.38		
Nº 30	0.60	0.03	39.38	100.00	0.02	18.12	3.00	21.13		
Nº 40	0.43	0.03	32.45	100.00	0.02	14.93	3.00	17.94	14-25	CUMPLE
Nº 50	0.30	0.03	26.22	100.00	0.01	12.06	3.00	15.07		
Nº 80	0.18	0.02	17.40	100.00	0.01	8.01	3.00	11.02	8-17	CUMPLE
Nº 100	0.15	0.02	14.28	100.00	0.01	6.57	3.00	9.58		
Nº 200	0.08	0.01	6.37	100.00	0.01	2.93	3.00	5.93	4-8	CUMPLE
Fondo		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00		

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 2:

Combinación de agregados MAC - 1.



Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.3. Contenido óptimo de asfalto.

Para obtener el contenido óptimo de asfalto de una gradación y tipo de agregados particular es necesario seguir un conjunto de procedimientos realizando diferentes ensayos a especímenes en un rango variable de contenido asfáltico y creando curvas de los datos obtenidos. Estos ensayos se realizan para contenidos de asfalto que varían en 0.5 por ciento. Pero para tener un prediseño, como una idea para iniciar el procedimiento Marshall, se puede usar diferentes métodos.

4.2.1.3.1. Método de las áreas superficiales.

Este método examina que cada tamaño de partícula está cubierto por diferente cantidad de cemento asfáltico. Para calcular el porcentaje óptimo teórico de cemento asfáltico mediante este método se utiliza la siguiente fórmula:

Ecuación 12:

Formula áreas superficiales.

$$P\% = \frac{2.65 \times \text{Índice de Asfalto} \times \text{Área Superficial}}{P.E. \text{ de la Combinación de Agregados}}$$

En la tabla siguiente se halla el Área Superficial:

Tabla 31:

Cálculo de áreas superficiales.

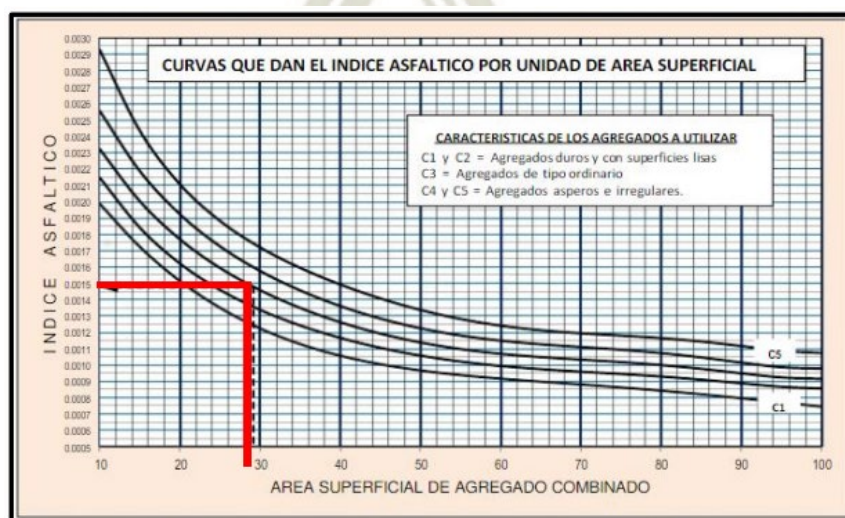
Tamiz	Abertura (mm)	% Pasante	% Retenido	Área Equivalente	Área superficial (p ² /lb)
1"	25.00	0.00	0.00	1	0.00
3/4"	19.00	3.02	3.02	1	0.03
1/2"	12.70	24.47	21.45	1	0.21
3/8"	9.50	33.99	9.52	1	0.10
Nº 4	4.75	49.79	15.80	2	0.32
Nº 8	2.36	61.07	11.27	4	0.45
Nº10	2.00	63.81	2.74	8	0.22
Nº 16	1.18	70.62	6.81	8	0.55
Nº 30	0.60	78.87	8.25	16	1.32
Nº 40	0.43	82.06	3.19	30	0.96
Nº 50	0.30	84.93	2.87	30	0.86
Nº 80	0.18	88.98	4.06	60	2.43
Nº 100	0.15	90.42	1.44	60	0.86
Nº 200	0.08	94.07	3.64	120	4.37
		100.00	5.93	250	14.84
				Total	27.52

Fuente: Elaboración propia.

Según el Instituto de asfalto se halla el índice de asfalto mediante la figura 41:

Figura 41:

Abaco para obtener el índice de asfalto.



Fuente: Ingeniería de Pavimentos Material – Rafael Menéndez.

Por lo tanto, el índice de asfalto sería:

$$\text{Índice de asfalto} = 0.0015$$

Luego se procede a hallar el Peso Específico de la combinación de agregados y el Porcentaje de C.A óptimo teórico. En nuestro caso, al tener 4 fillers diferentes, se tendría que hallar 4 diferentes Pesos específicos de la combinación de agregados.

Tabla 32:

% teórico de C.A por método de áreas superficiales.

Agregados	Peso Específico (gf/cm ³)	Porcentaje	P.E. Promedio (gf/cm ³)	% de C.A. Teórico
Grava	2.78	0.51	-	-
Arena	2.62	0.46	-	-
Filler Cal	2.65	0.03	2.70	4.06%
Filler Cemento	2.82	0.03	2.71	4.04%
Filler puzolana	2.43	0.03	2.70	4.06%
Filler Arena	2.45	0.03	2.70	4.05%

Fuente: Elaboración propia.

Se ha obtenido un porcentaje de Cemento Asfáltico Óptimo Teórico de 4.05% aproximadamente de todos los fillers propuestos.

4.2.1.3.2. Método según el Instituto del Asfalto.

El Instituto del Asfalto en el MS-2 (Asphalt Mix Design Methods) llama a este Método “Contenido de cemento asfáltico esperado”, que es aproximadamente equivalente al porcentaje de agregado que pasa la mala N°200.

Para hallarlo se plantea la siguiente fórmula:

Ecuación 13:

Contenido de C.A. teórico según el Instituto del Asfalto.

$$P = 0.035a + 0.045b + Kc + F$$

Donde:

P = Contenido de cemento asfáltico óptimo aproximado

a = Porcentaje de agregado retenido en la malla N°8

b = Porcentaje de agregado mineral pasante de la malla N°8

c = Porcentaje de agregado mineral pasante de la malla N°200

K = 0.15 si 11 – 15% pasa la malla N° 200.

0.18 si 6 – 10% pasa la malla N° 200

0.20 si 5% o menos pasa la malla N° 200

F = 0 – 2.0%. Basado en la absorción del agregado, en la ausencia de datos, el valor recomendado es 0.7.

Entonces, observando la Tabla de gradación de la combinación de agregados obtenemos lo siguientes datos:

Tabla 33:

Contenido de asfalto teórico.

Contenido de asfalto teórico	
a	61.07
b	38.93
c	5.93
k	0.18
f	0.7
P	5.66%

Fuente: Elaboración propia

Se ha obtenido un porcentaje de Cemento Asfáltico Óptimo Teórico de 5.66% aproximadamente.

4.2.1.4. Resultados del ensayo peso específico máximo asfálticas para pavimentos (RICE).

En la siguiente tabla se presenta los resultados de todos los ensayos Rice que se realizaron:

Tabla 34: Resultados de peso específico teórico máximo según ensayo Rice.

Peso específico Teórico Máximo	C.A. 4.0% (gf/cm ³)	C.A. 4.5% (gf/cm ³)	C.A. 5.0% (gf/cm ³)	C.A. 5.5% (gf/cm ³)	C.A. 6.0% (gf/cm ³)
MAC – 1 Cal	2.49	2.48	2.47	2.46	2.45
MAC – 1 Cemento	2.55	2.51	2.50	2.48	2.47
MAC – 1 Puzolana	2.54	2.51	2.50	2.48	2.46
MAC – 1 Arena	2.55	2.52	2.49	2.48	2.47

Fuente: Elaboración propia

4.2.1.5. Dosificación para mezclas bituminosas compactadas.

Con los porcentajes de agregados predefinidos en la sección 4.2.1.2. se prepararon diferentes dosificaciones para cada porcentaje de contenido de cemento asfáltico.

En el siguiente cuadro se observa el % de dosificación y detalladas en peso según distribución por tamices.

Tabla 35:

Dosificación establecida en % para una MAC – 1.

% Cemento Asfáltico		4.0 % CA	4.50 % CA	5.0 % CA	5.50 % CA	6.0 % CA
Material	%					
%Grava ^{3/4"}	51.00	48.96 %	48.705 %	48.45 %	48.195 %	47.94 %
%Arena	46.00	44.16 %	43.93 %	43.7 %	43.47 %	43.24 %
%Filler	3.00	2.88 %	2.865 %	2.85 %	2.835 %	2.82 %

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6. Resultados del diseño MAC, filler cal hidratada, mediante el ensayo Marshall.

Se muestra los resultados obtenidos para cada porcentaje diferente de cemento asfáltico en la tabla 32.

Tabla 36:

Resultados del diseño MAC, filler cal hidratada.

MAC - Filler Cal							
	Propiedades	Und	1	2	3	4	5
1	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
2	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.71%	48.45%	48.20%	47.94%
3	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	43.93%	43.70%	43.47%	43.24%
4	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.87%	2.85%	2.84%	2.82%
5	P.E. aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.E. aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
8	Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
9	P.E. aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
10	P.E. aparente del filler	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
11	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.36	2.42	2.44	2.45	2.44
12	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.491	2.482	2.473	2.457	2.445
13	% de vacíos	%	5.14%	2.60%	1.48%	0.38%	0.07%
14	P.E. bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
15	% vacíos del agregado mineral	%	15.78%	14.28%	14.07%	14.12%	14.73%
16	Relación asfalto-vacíos	%	67.50%	81.82%	89.51%	97.35%	99.63%
17	Estabilidad corregida	kgf	1393.22	1605.53	1559.33	1226.00	1182.97
18	Fluencia	mm	2.92	3.05	3.92	4.25	5.09
19	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4771.30	5269.80	3981.26	2882.43	2324.10
20	Relación polvo-asfalto	-	1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

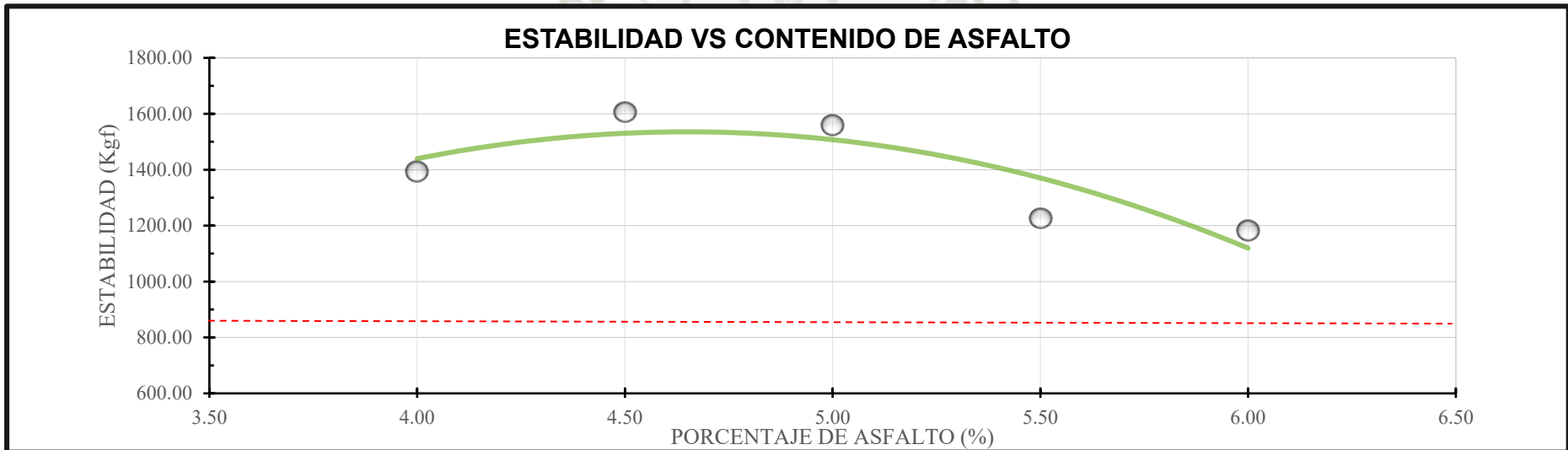
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se observan los gráficos elaborados a partir de los datos extraídos de la tabla 32.

4.2.1.6.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 11, el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kgf), considerando esto, los valores de la gráfica 3: “Estabilidad vs C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada, los cuales son aceptables.

Gráfica 3:
Estabilidad vs % C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad(kgf)	1393.22	1605.53	1559.33	1226.00	1182.97

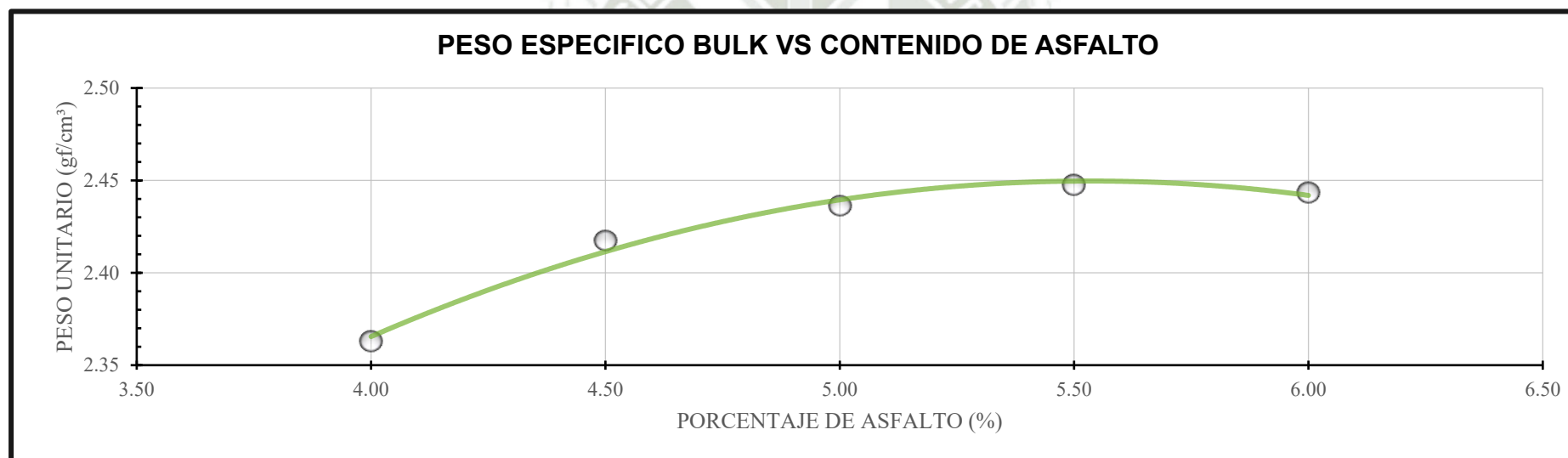
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, no establece un parámetro de mínimos o máximos para el peso específico Bulk, por lo que se considera los valores obtenidos anteriormente, considerando esto, los valores de la gráfica 4 “Peso Específico Bulk vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada, los cuales son aceptables entre los rangos de 4% a 6% de C.A.

Gráfica 4:

Peso específico Bulk vs %C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
P.E. Bulk (gf/cm³)	2.36	2.42	2.44	2.45	2.44

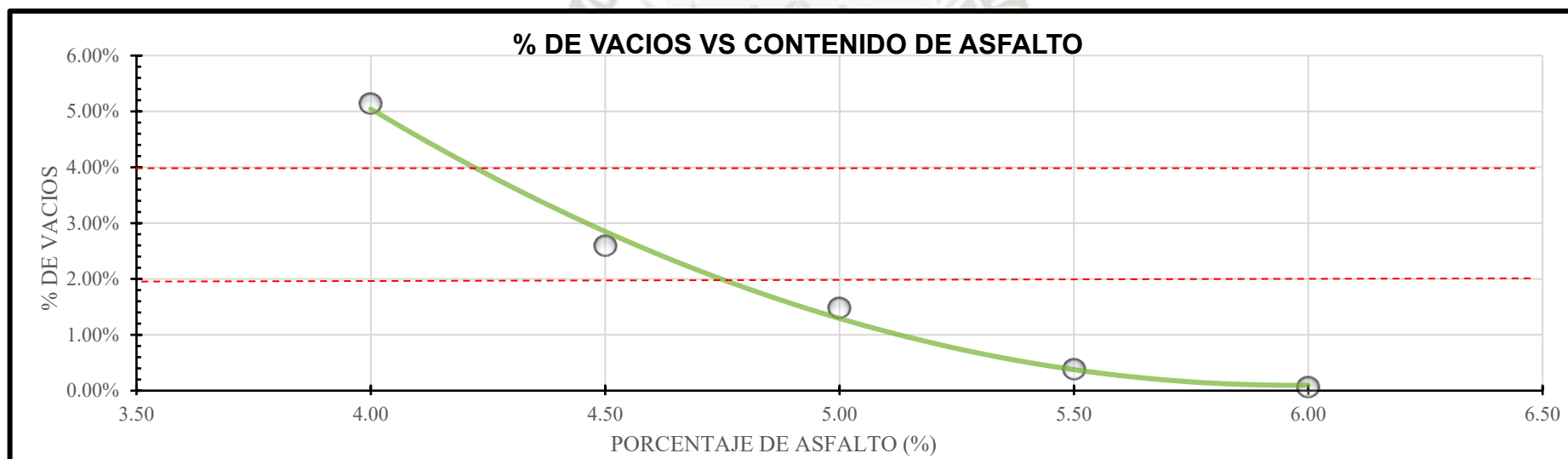
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 11 el valor de % de vacíos mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2% a 4% (deseable que tienda al menor 2%), siempre en cuando presentan climas fríos, considerando esto, los valores de la gráfica 5 “% de vacíos vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada los cuales son aceptables entre los rangos de 4.3% a 4.8% de C.A.

Gráfica 5:

% de vacíos vs C.A.



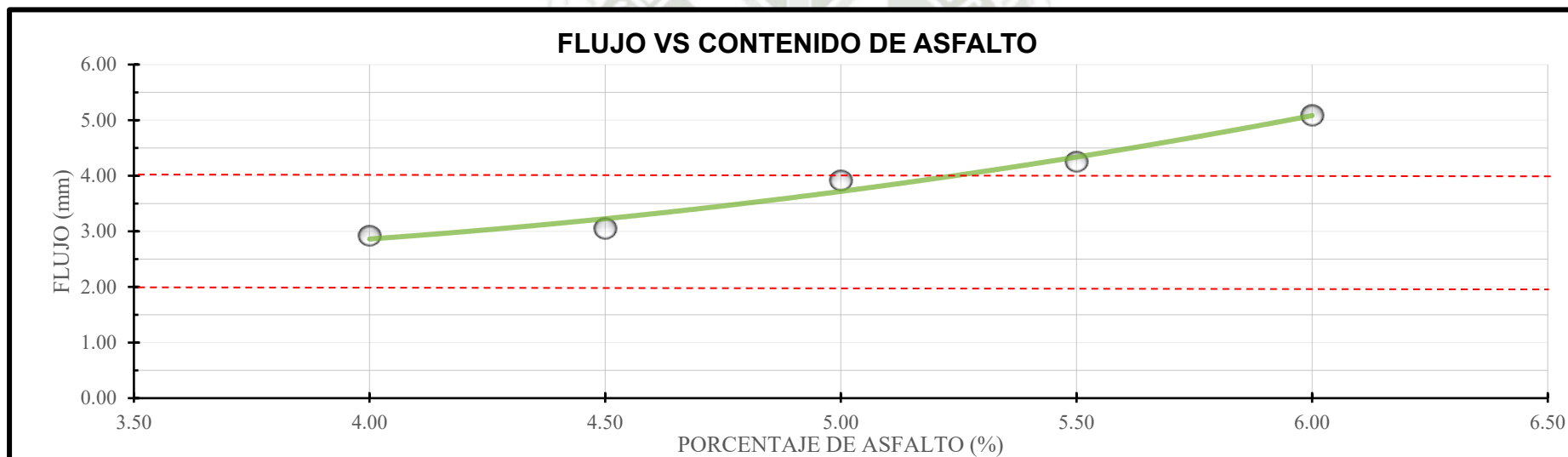
%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
% de vacíos (%)	5.14	2.60	1.48	0.38	0.07

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto

Como se indica en la tabla 11, el valor de flujo mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2 a 4 en mm, considerando esto, los valores de la gráfica 6 “Flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 5.3% de C.A.

Gráfica 6:
Flujo vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Flujo (mm)	2.92	3.05	3.92	4.25	5.09

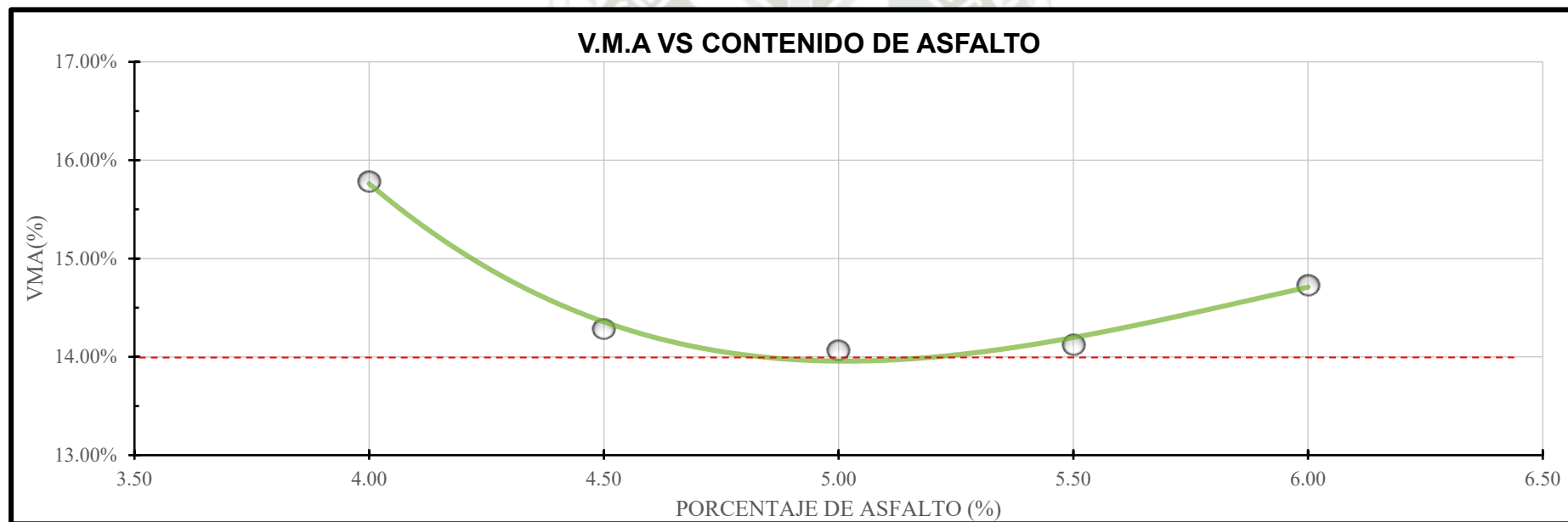
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.

El valor de V.M.A. mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01, para un tamaño nominal de ¾” es de 14%, considerando esto, los valores de la gráfica 7: “V.M.A vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 6.0% de C.A.

Gráfica 7:

% V.M.A. vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.M.A (%)	15.78	14.28	14.07	14.12	14.73

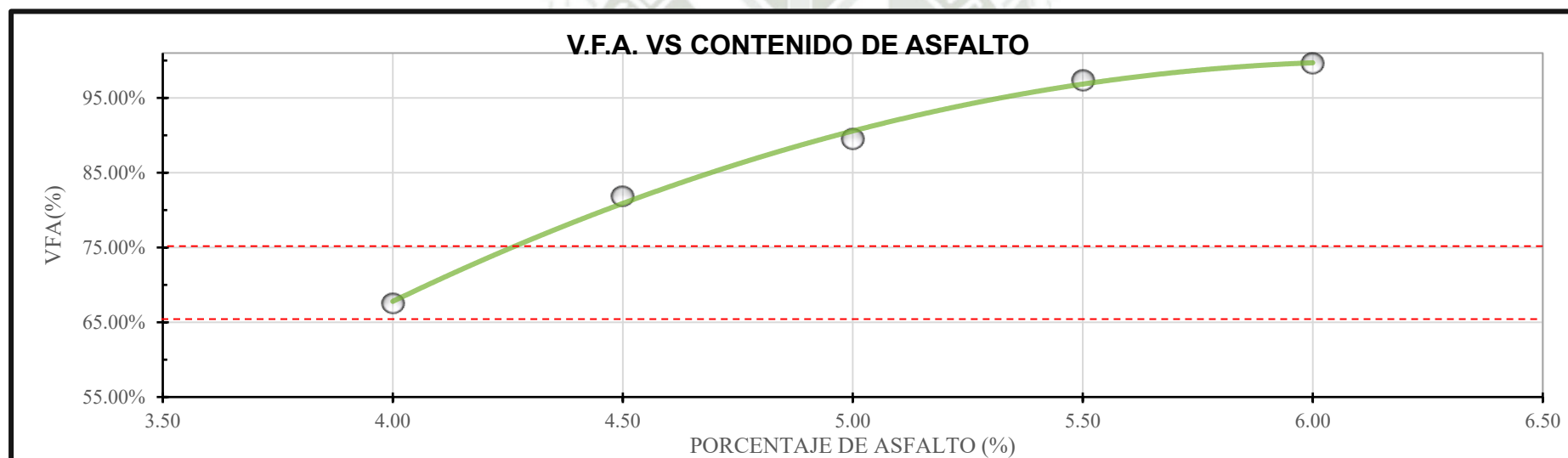
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.

En el Manual de carreteras – EG 2013 no se tiene valores establecidos para un V.F.A, pero según el Instituto del Asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% a 75%, considerando esto, los valores de la gráfica 8 “V.F.A vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 4.3% de C.A.

Gráfica 8:

% V.F.A vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.F.A (%)	67.50	81.82	89.51	97.35	99.63

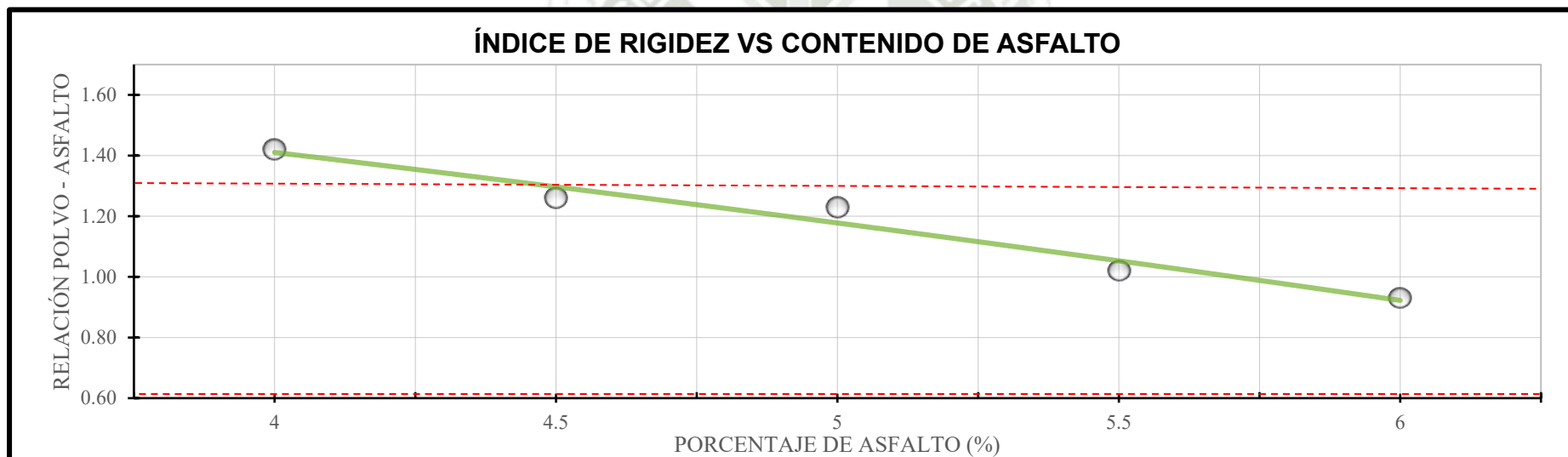
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.7. Grafica relación polvo – asfalto.

Como se indica en la tabla 8 la relación polvo – asfalto permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 0.6 a 1.3, considerando esto, los valores de la gráfica 9 “relación polvo – asfalto vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 6.0% de C.A.

Gráfica 9:

Relación polvo – asfalto.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Polvo – asfalto	1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

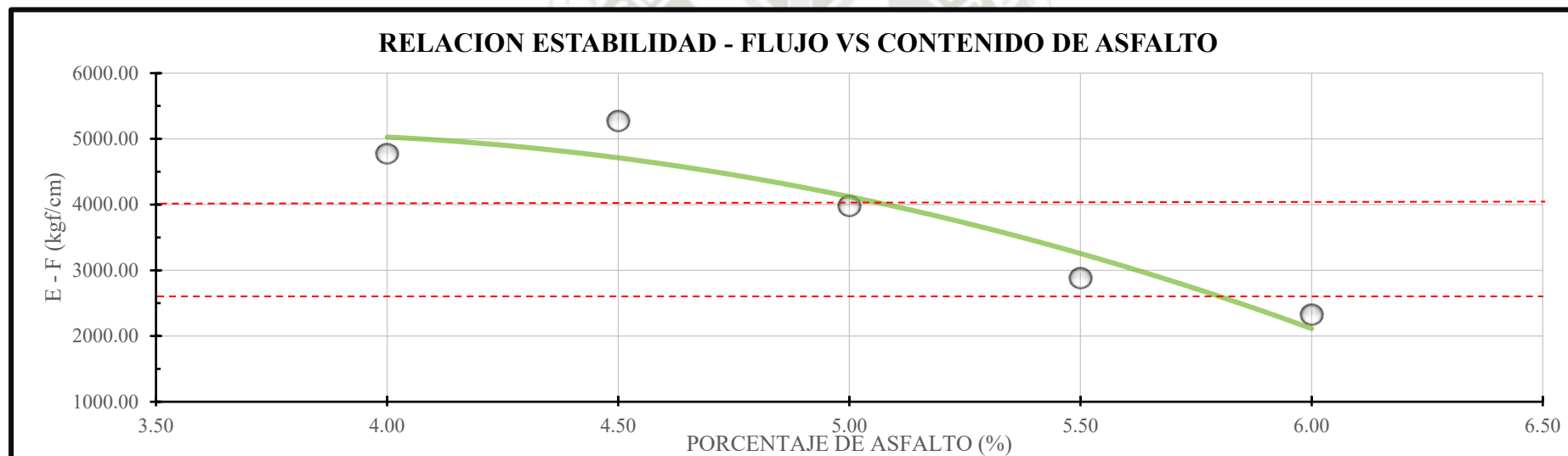
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.6.8. Grafica relación estabilidad – flujo.

Como se indica en la tabla 8, la relación estabilidad – flujo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 1700 a 4000(kgf/cm), considerando esto, los valores de la gráfica 10: “relación estabilidad – flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cal hidratada los cuales son aceptables entre los rangos de 5.0% a 5.8% de C.A.

Gráfica 10:

Relación Estabilidad vs flujo.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad – flujo	4771.30	5269.80	3981.26	2882.43	2324.10

Fuente: Elaboración propia.

**4.2.1.7. Resultados del diseño MAC, con filler cemento Portland IP,
mediante el ensayo Marshall.**

Se muestran los resultados obtenidos al ensayar las probetas que se realizaron para cada porcentaje de asfalto usando como filler Cemento IP en la siguiente tabla.

Tabla 37:

Resultados del diseño MAC, filler cemento Portland IP.

MAC - Filler Cemento IP							
	Propiedades	Und	1	2	3	4	5
1	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
2	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.71%	48.45%	48.20%	47.94%
3	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	43.93%	43.70%	43.47%	43.24%
4	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.87%	2.85%	2.84%	2.82%
5	P.E. aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.E. aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
8	Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
9	P.E. aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
10	P.E. aparente del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
11	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.42	2.46	2.45	2.47	2.46
12	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.548	2.507	2.497	2.481	2.467
13	% de vacíos	%	4.95%	2.09%	1.94%	0.45%	0.09%
14	P.E. bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
15	% vacíos del agregado mineral	%	13.73%	13.33%	14.01%	13.72%	14.35%
16	Relación asfalto-vacíos	%	64.80%	84.32%	86.16%	96.72%	99.39%
17	Estabilidad corregida	kgf	1770.59	1881.94	1519.59	1357.91	1285.64
18	Fluencia	mm	2.99	3.19	3.20	3.48	4.33
19	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	5928.32	5905.67	4748.71	3898.31	2966.86
20	Relación polvo-asfalto		1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

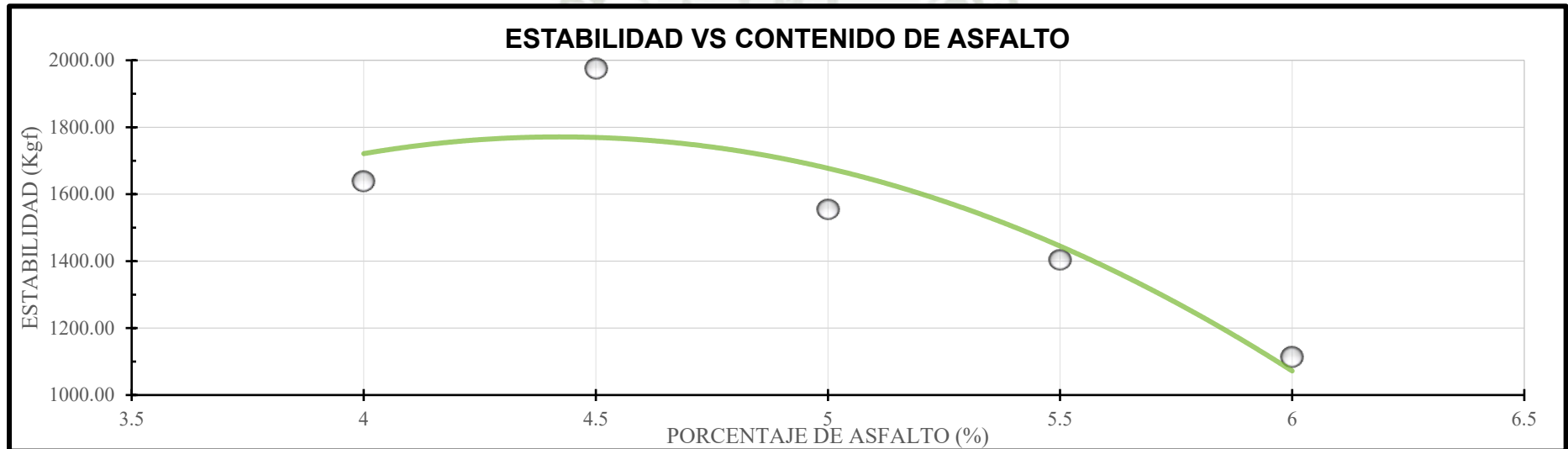
Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se observan los gráficos elaborados a partir de los datos extraídos de la tabla 35.

4.2.1.7.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 8, el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kgf), considerando esto, los valores de la gráfica 11 “Estabilidad vs C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables.

Gráfica 11:
Estabilidad vs % C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad(kgf)	1770.59	1881.94	1519.59	1357.91	1285.64

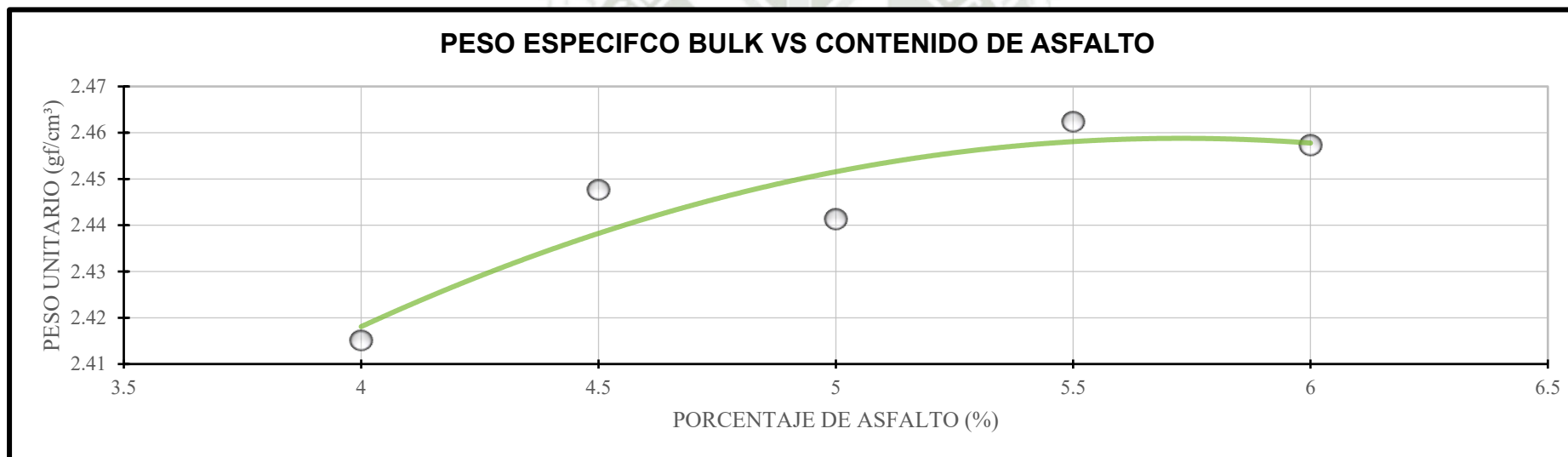
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, no establece un parámetro de mínimos o máximos para el peso específico Bulk, por lo que se considera los valores obtenidos anteriormente, considerando esto, los valores de la gráfica 12 “Peso Específico Bulk vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los rangos de 4% a 6% de C.A.

Gráfica 12:

Peso específico Bulk vs %C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
P.E. Bulk (gf/cm³)	2.42	2.46	2.45	2.47	2.46

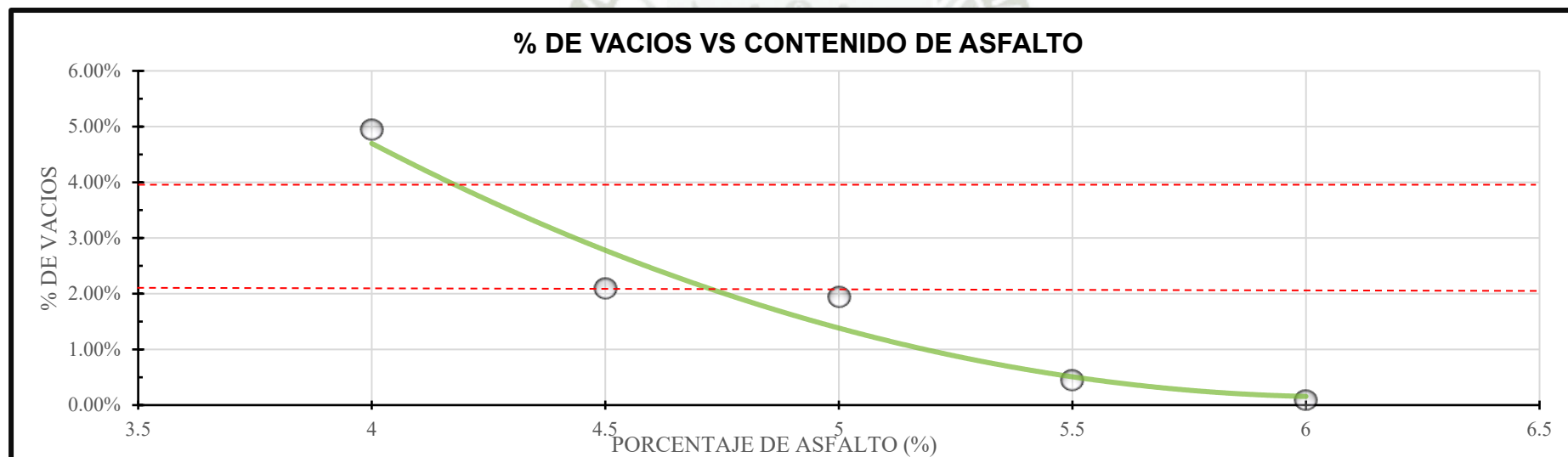
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 8, el valor de % de vacíos mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2% a 4% (deseable que tienda al menor 2%), siempre en cuando presentan climas fríos, considerando esto, los valores de la gráfica 13 “% de vacíos vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 4.8% de C.A.

Gráfica 13:

% de vacíos vs C.A



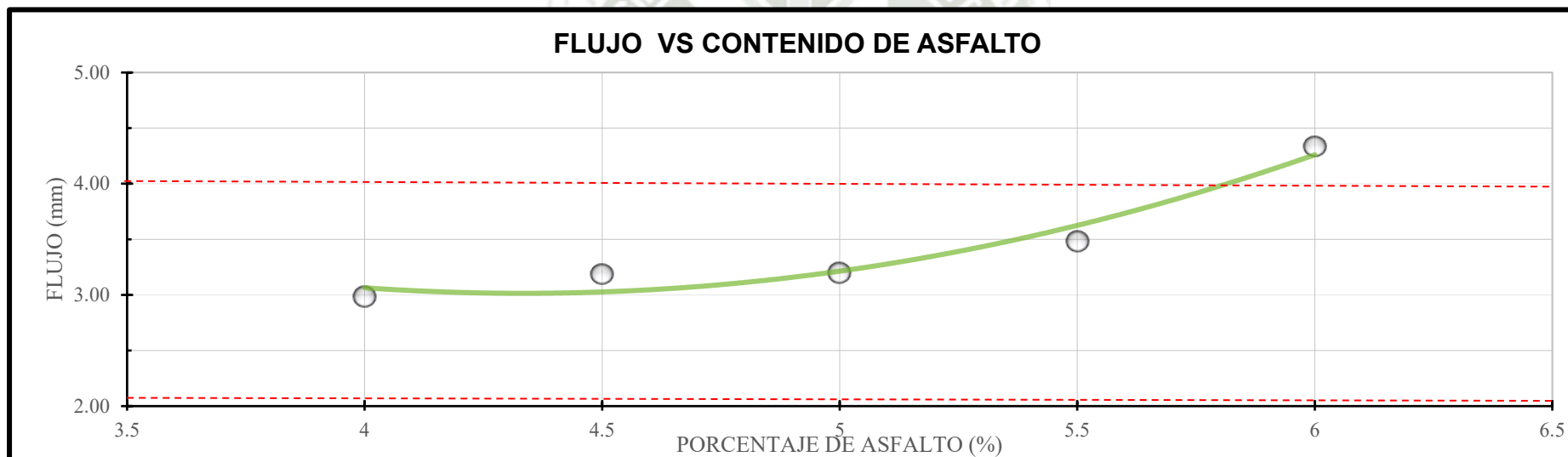
%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
% de vacíos (%)	4.95	2.09	1.94	0.45	0.09

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto

Como se indica en la tabla 8, el valor de flujo mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2 a 4 en mm, considerando esto, los valores de la gráfica 14 “Flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 5.8% de C.A.

Gráfica 14:
Flujo vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Flujo (mm)	2.99	3.19	3.20	3.48	4.33

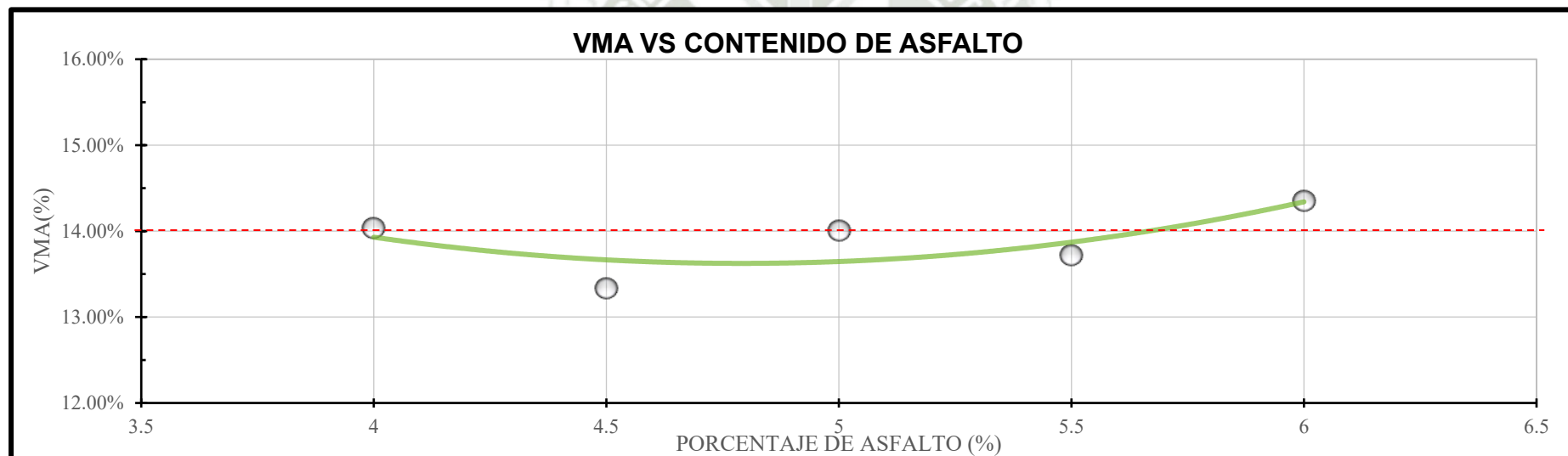
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.

El valor de V.M.A. mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01, para un tamaño nominal de $\frac{3}{4}$ " es de 14%, considerando esto, los valores de la gráfica 15: “V.M.A vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los puntos de 4.0, 5.0 y 6.0 de C.A.

Gráfica 15:

% V.M.A. vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.M.A (%)	14.04	13.33	14.01	13.72	14.35

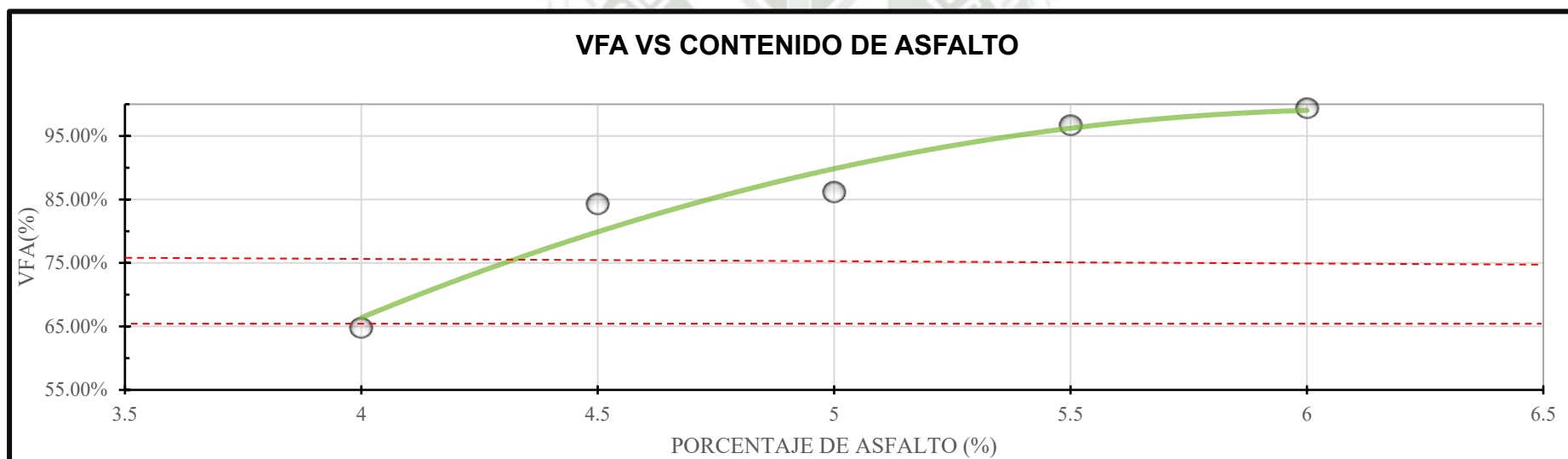
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.

En el Manual de carreteras – EG 2013 no se tiene valores establecidos para un V.F.A, pero según el Instituto del Asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% a 75%, considerando esto, los valores de la gráfica 16, “V.F.A vs % C.A. correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 4.3% de C.A.

Gráfica 16:

% V.F.A vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.F.A (%)	64.80	84.31	86.16	96.72	99.39

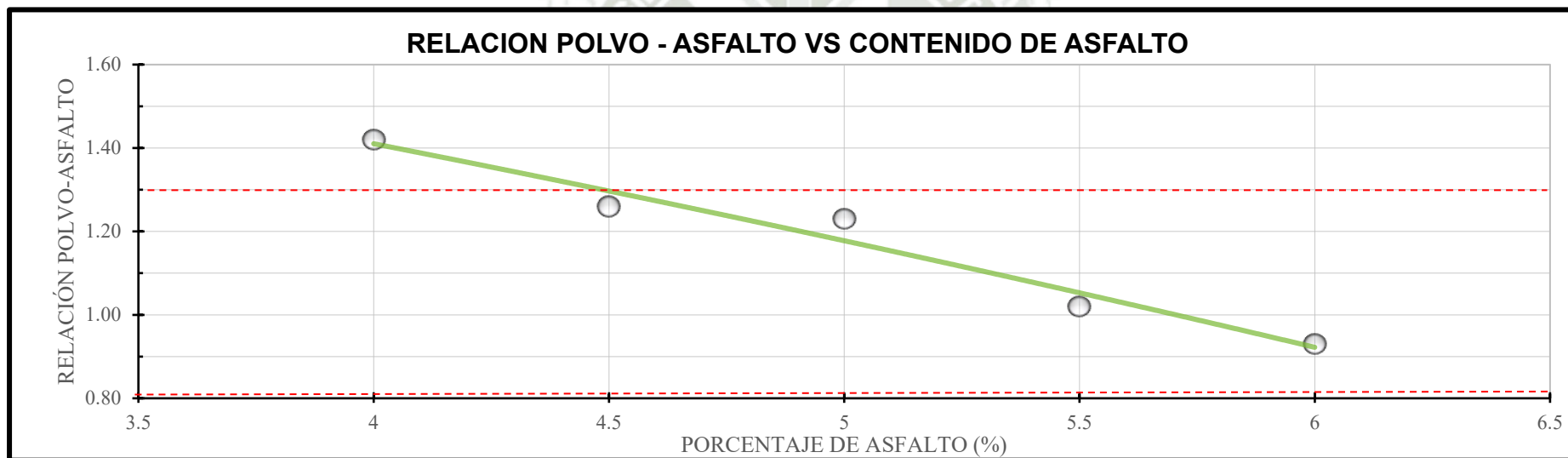
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.7. Grafica relación polvo – asfalto.

Como se indica en la tabla 8, la relación polvo – asfalto permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 0.6 a 1.3, considerando esto, los valores de la gráfica 17 “relación polvo – asfalto vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 6.0% de C.A.

Gráfica 17:

Relación polvo – asfalto.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Polvo – asfalto	1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

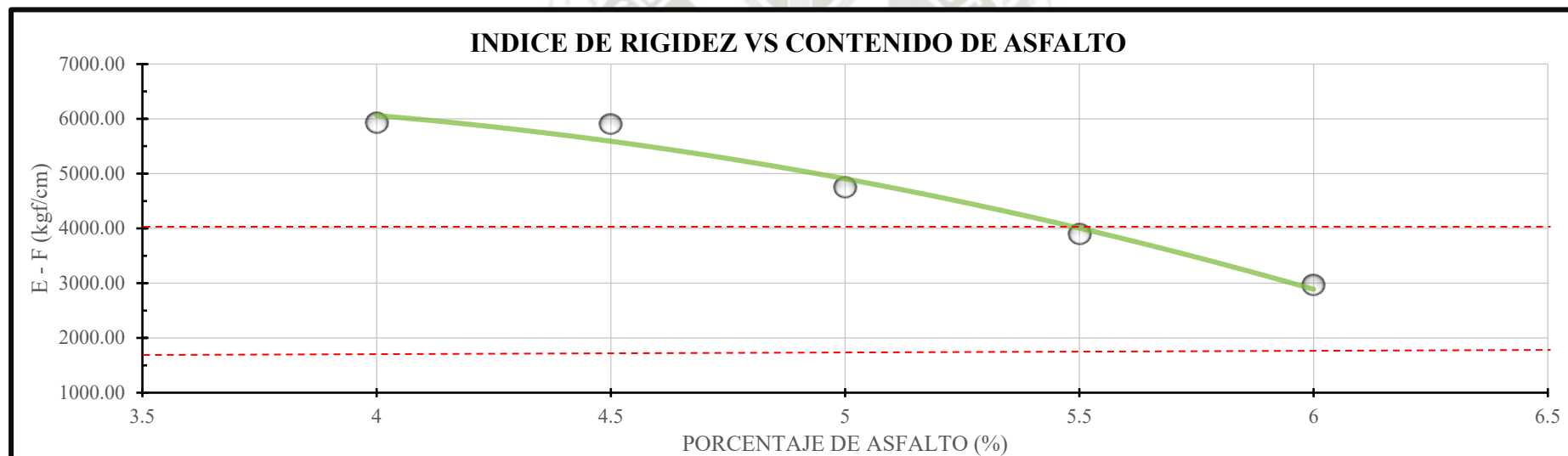
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.7.8. Grafica relación estabilidad – flujo.

Como se indica en la tabla 8, la relación estabilidad – flujo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 1700 a 4000(kgf/cm), considerando esto, los valores de la gráfica 18 “relación estabilidad – flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con cemento Portland IP, los cuales son aceptables entre los rangos de 5.5% a 6.0% de C.A.

Gráfica 18:

Relación Estabilidad vs flujo.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad – flujo	5928.32	5905.67	4748.71	3898.31	2966.86

Fuente: Elaboración propia.

**4.2.1.8. Resultados del diseño MAC, con filler polvo silico aluminico
obtenido mediante el ensayo Marshall.**

Se muestran los resultados obtenidos al ensayar las probetas que se realizaron para cada porcentaje de asfalto usando como filler puzolana micronizada “Carpetek” en la siguiente tabla.

Tabla 38:
Resultados del diseño MAC, filler polvo silico aluminico.

MAC - Filler Puzolana							
	Propiedades	Und	1	2	3	4	5
1	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
2	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.71%	48.45%	48.20%	47.94%
3	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	43.93%	43.70%	43.47%	43.24%
4	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.87%	2.85%	2.84%	2.82%
5	P.E. aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.E. aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
8	Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
9	P.E. aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
10	P.E. aparente del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
11	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.41	2.45	2.46	2.46	2.45
12	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.491	2.482	2.473	2.457	2.445
13	% de vacíos	%	5.14%	2.19%	1.72%	0.63%	0.30%
14	P.E. bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
15	% vacíos del agregado mineral	%	14.02%	13.00%	13.32%	13.59%	14.57%
16	Relación asfalto-vacíos	%	63.36%	83.15%	87.10%	95.38%	98.00%
17	Estabilidad corregida	kgf	1638.91	1975.00	1597.57	1403.52	1113.26
18	Fluencia	mm	2.99	3.61	3.56	4.41	5.12
19	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	5475.22	5470.91	4487.55	3184.99	2174.33
20	Relación polvo-asfalto		1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

Fuente: Elaboración propia.

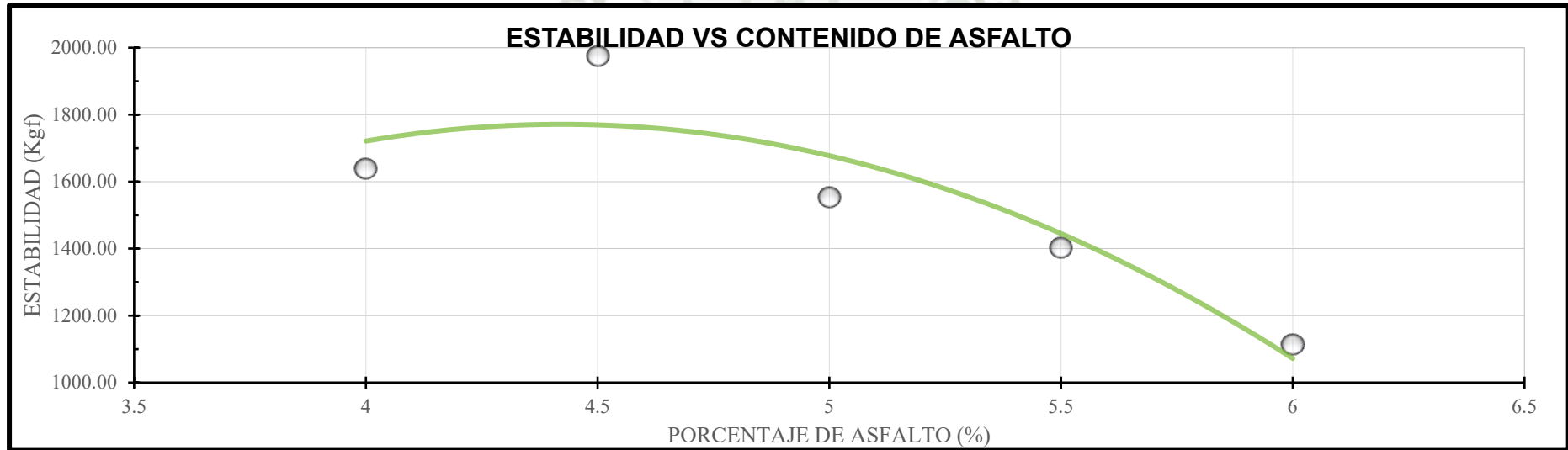
A continuación, se observan los gráficos elaborados a partir de los datos extraídos de la tabla 36.

4.2.1.8.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 8 el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kgf), considerando esto, los valores de la gráfica 19, “Estabilidad vs C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables.

Gráfica 19:

Estabilidad vs % C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad(kgf)	1638.91	1975.00	1554.27	1403.52	1113.26

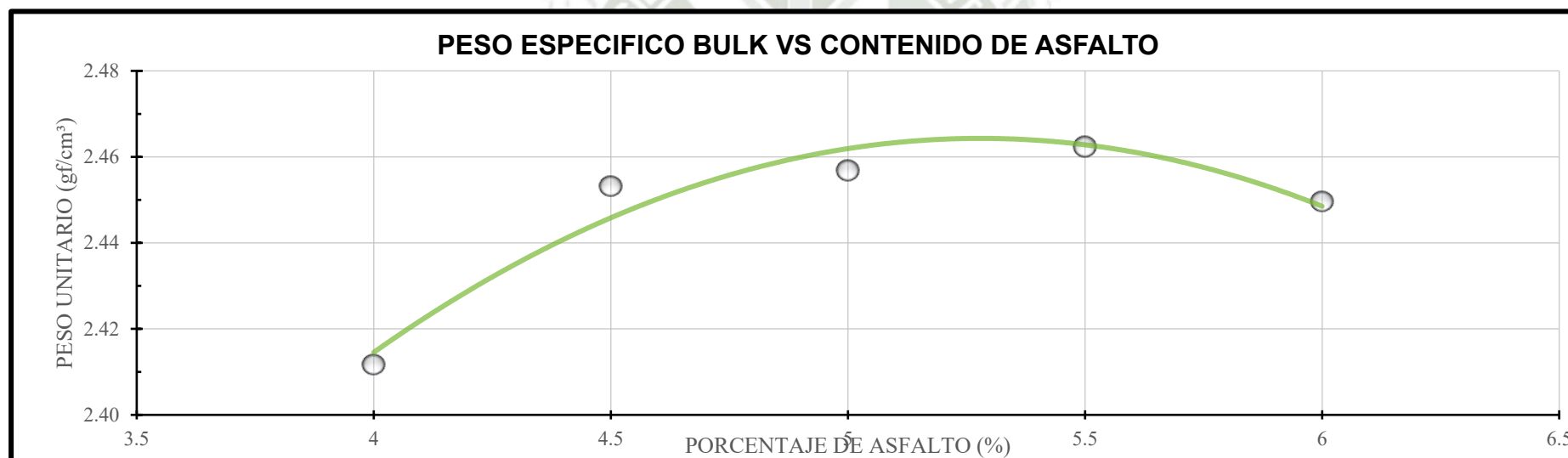
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.8.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, no establece un parámetro de mínimos o máximos para el peso específico Bulk, por lo que se considera los valores obtenidos anteriormente, considerando esto, los valores de la gráfica 20, “Peso Específico Bulk vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los rangos de 4% a 6% de C.A.

Gráfica 20:

Peso específico Bulk vs %C.A.



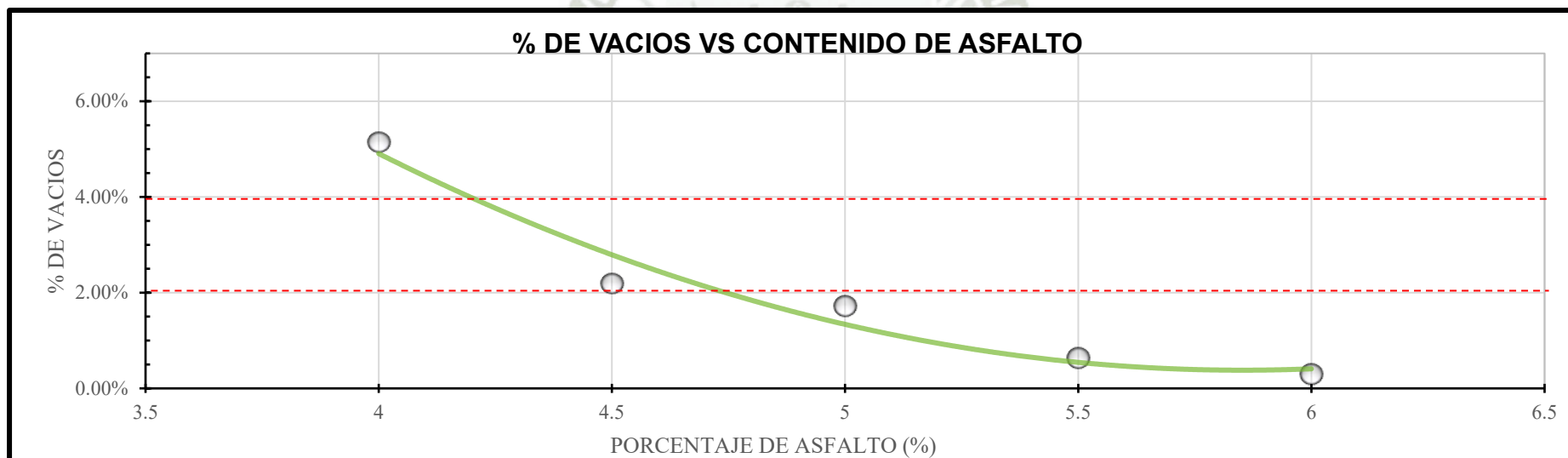
%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
P.E. Bulk (gf/cm³)	2.41	2.45	2.46	2.46	2.45
<i>Fuente: Elaboración propia.</i>					

4.2.1.8.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 8, el valor de % de vacíos mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2% a 4% (deseable que tienda al menor 2%), siempre en cuando presentan climas fríos, considerando esto, los valores de la gráfica 21 “% de vacíos vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 4.8% de C.A.

Gráfica 21:

% de vacíos vs C.A



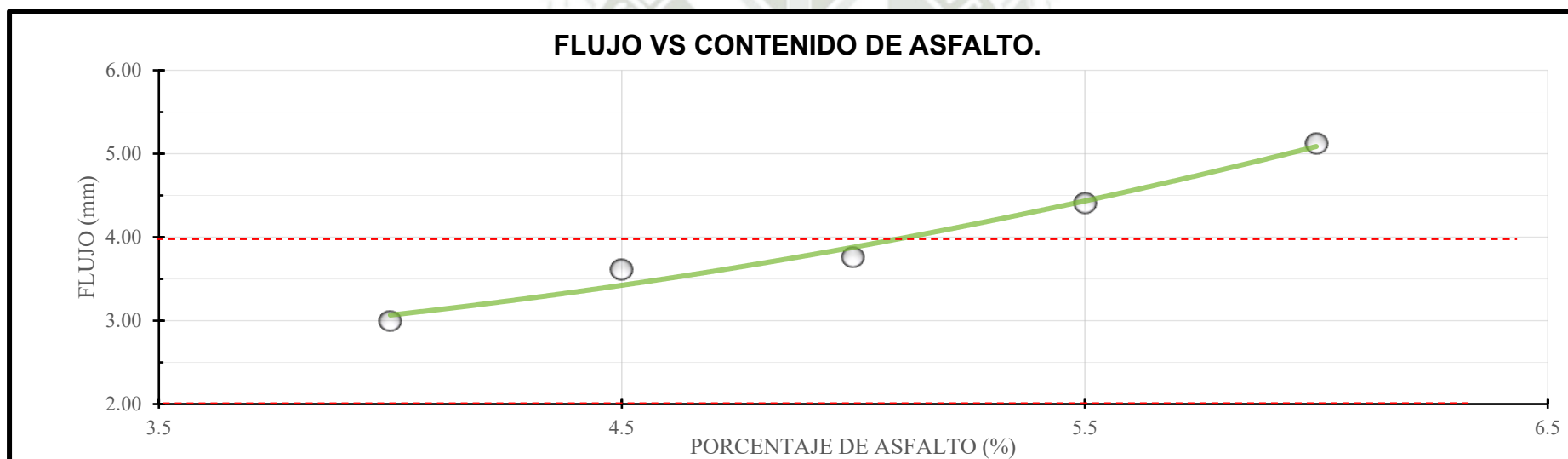
%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
% de vacíos (%)	5.14	2.19	1.72	0.63	0.3

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.8.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto

Como se indica en la tabla 8, el valor de flujo mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2 a 4 en mm, considerando esto, los valores de la gráfica 22 “Flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 5.0% de C.A.

Gráfica 22:
Flujo vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Flujo (mm)	2.99	3.61	3.76	4.41	5.12

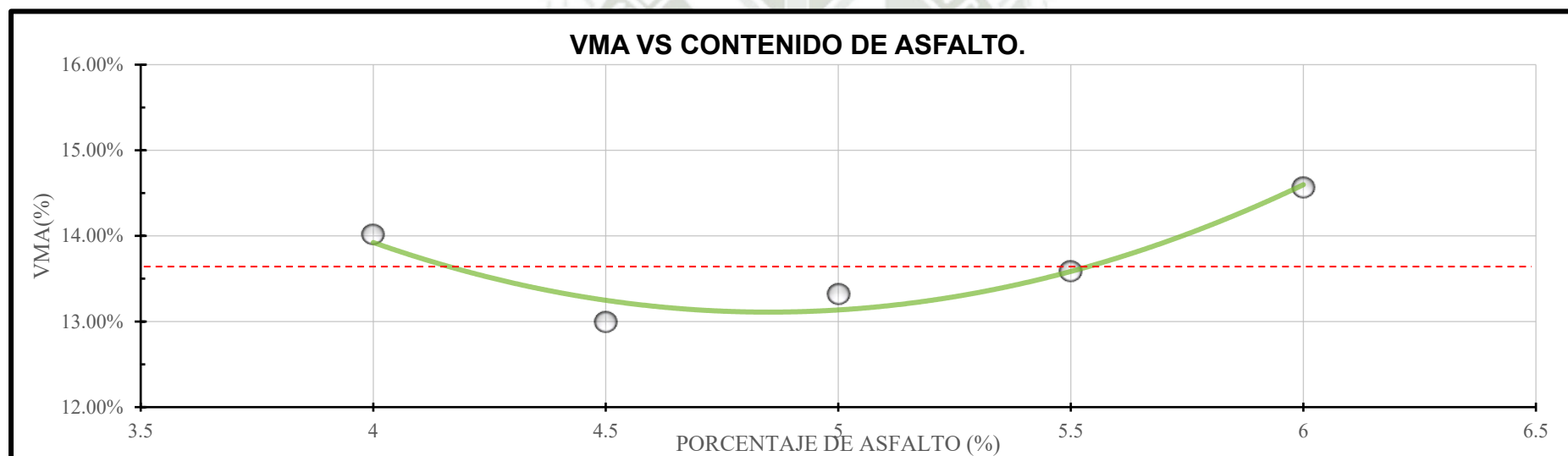
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.8.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.

El valor de V.M.A. mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01, para un tamaño nominal de ¾” es de 14%, considerando esto, los valores de la gráfica 23 “V.M.A vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los puntos de 4.0%, 5.8% a 6.0% de C.A.

Gráfica 23:

% V.M.A. vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.M.A (%)	14.02	13.00	13.32	13.59	14.57

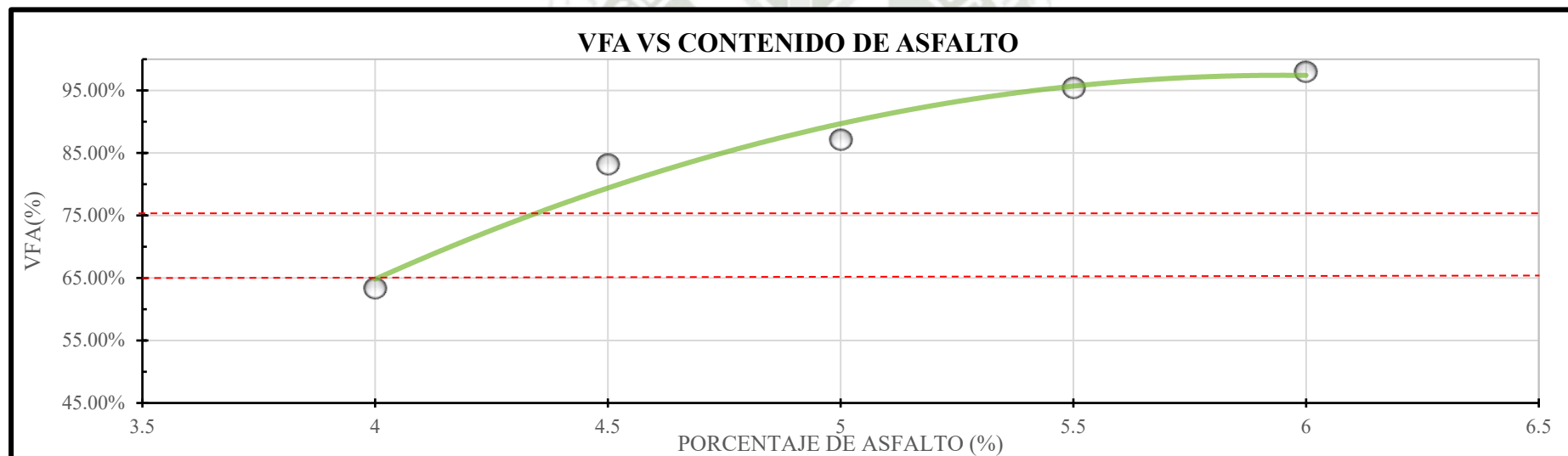
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.8.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.

En el Manual de carreteras – EG 2013 no se tiene valores establecidos para un V.F.A, pero según el Instituto del Asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% a 75%, considerando esto, los valores de la gráfica 24 “V.F.A vs % C.A. correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.1% a 4.3% de C.A.

Gráfica 24:

% V.F.A. vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.F.A (%)	63.36	83.15	87.10	95.38	98.00

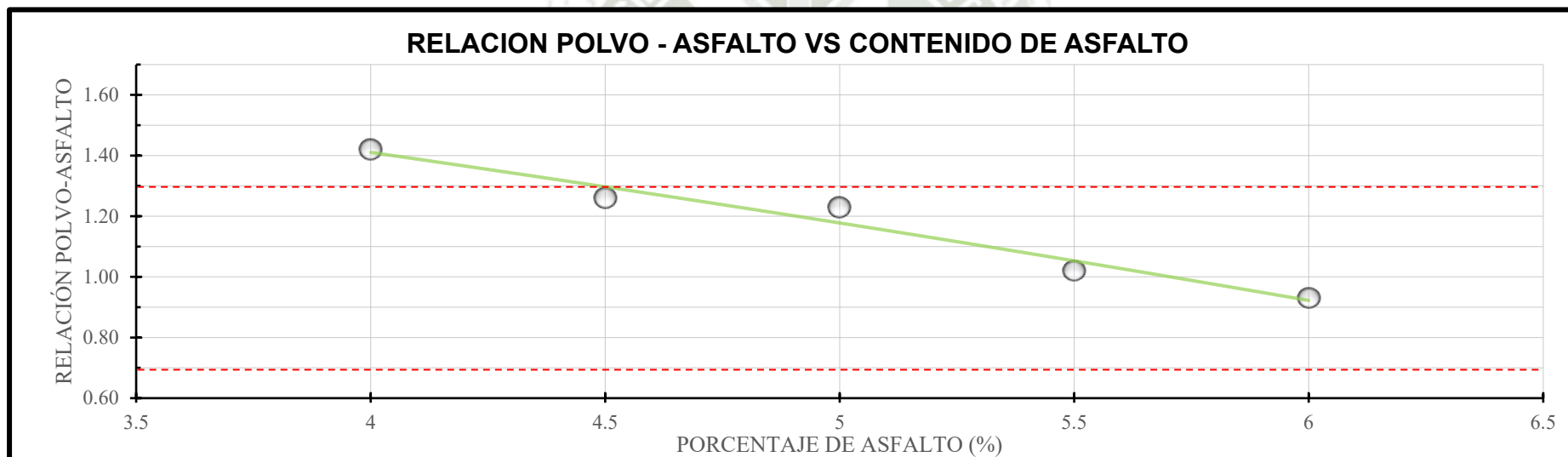
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.8.7. Grafica relación polvo – asfalto.

Como se indica en la tabla 8, la relación polvo – asfalto permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 0.6 a 1.3, considerando esto, los valores de la gráfica 25 “relación polvo – asfalto vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 6.0% de C.A.

Gráfica 25:

Relación polvo – asfalto.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Polvo – asfalto	1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

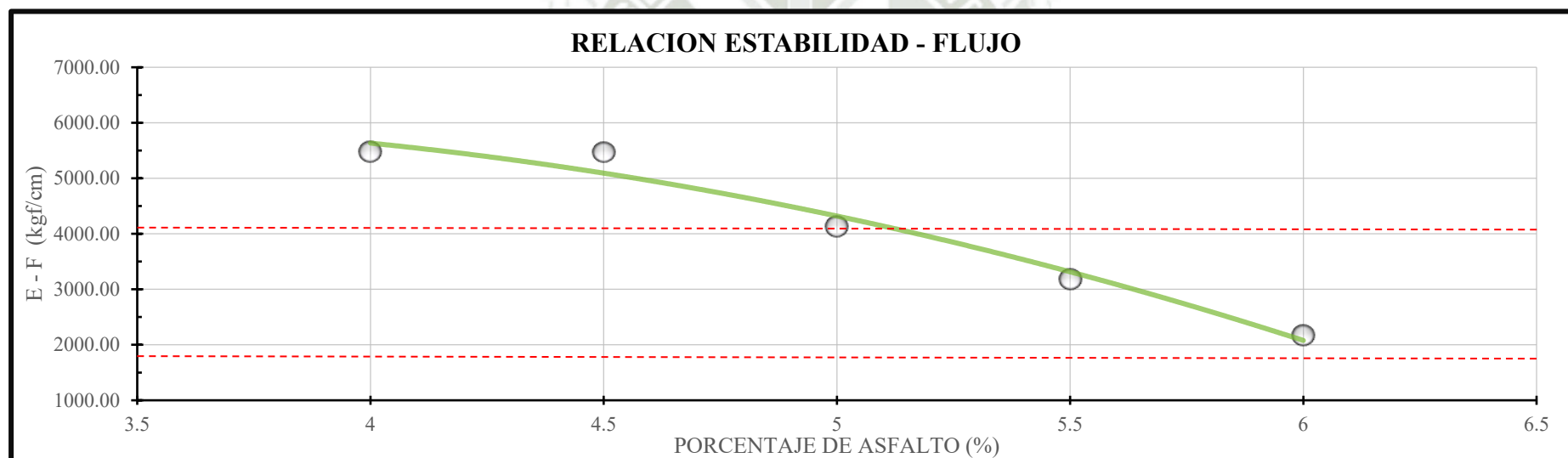
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.8.8. Grafica relación estabilidad – flujo.

Como se indica en la tabla 8, la relación estabilidad – flujo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 1700 a 4000(kgf/cm), considerando esto, los valores de la gráfica 26 “relación estabilidad – flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”, los cuales son aceptables entre los rangos de 5.1% a 6.0% de C.A.

Gráfica 26:

Relación Estabilidad vs flujo.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad – flujo	5475.22	5470.91	4133.71	3184.99	2174.33

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9. Resultados del diseño MAC, con filler polvo de arena obtenido mediante el ensayo Marshall.

Se muestran, en la siguiente tabla, los resultados obtenidos al ensayar las probetas que se realizaron para cada porcentaje de asfalto usando como filler el pasante de la malla N° 200. Se puede observar en el siguiente cuadro.

Tabla 39:

Resultados del diseño MAC, filler polvo de arena.

MAC - Filler Arena							
	Propiedades	Und	1	2	3	4	5
1	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.50%	5.00%	5.50%	6.00%
2	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.71%	48.45%	48.20%	47.94%
3	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	43.93%	43.70%	43.47%	43.24%
4	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.87%	2.85%	2.84%	2.82%
5	P.E. aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6	Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
7	P.E. aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
8	Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
9	P.E. aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
10	P.E. aparente del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
11	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.39	2.41	2.43	2.45	2.46
12	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.55	2.52	2.49	2.48	2.47
13	% de vacíos	%	6.13%	4.18%	2.36%	1.35%	0.55%
14	P.E. bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	2.70	2.70
15	% vacíos del agregado mineral	%	15.02%	14.71%	14.45%	14.35%	14.39%
16	Relación asfalto-vacíos	%	67.50%	81.82%	89.51%	97.35%	96.15%
17	Estabilidad corregida	kgf	1458.62	1410.33	1409.78	1626.24	1327.33
18	Fluencia	mm	2.97	3.01	3.14	4.12	3.98
19	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4911.19	4680.30	4489.76	3950.38	3332.22
20	Relación polvo-asfalto		1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

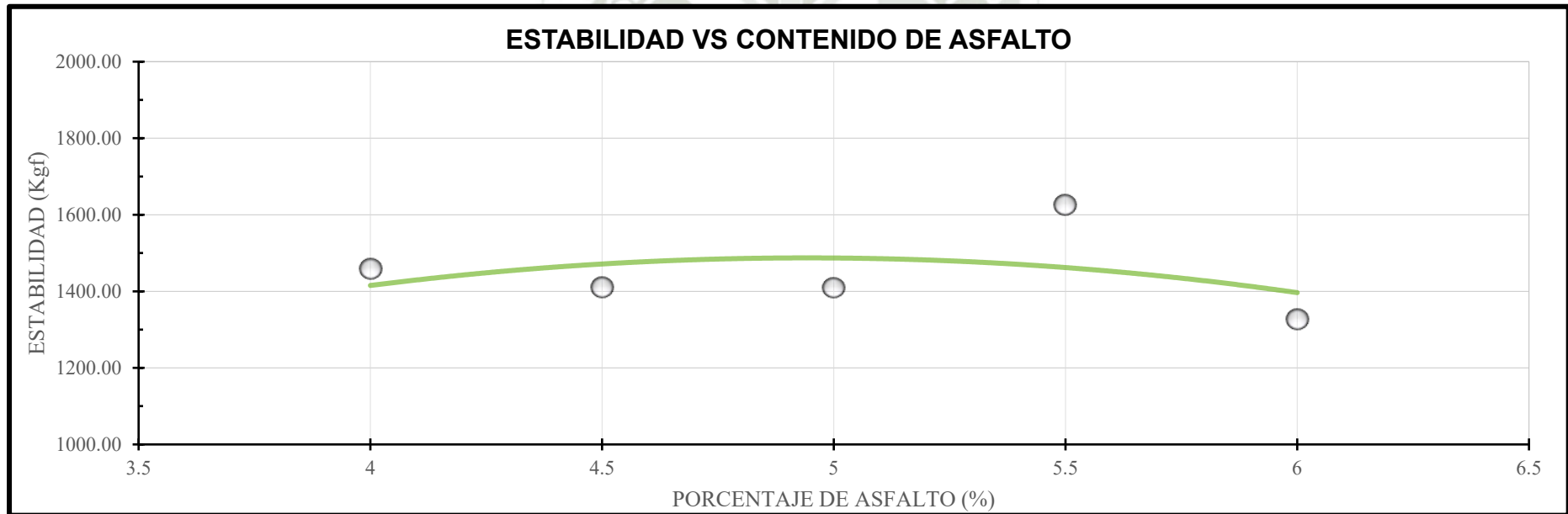
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.1. Grafica estabilidad vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 8, el valor de estabilidad mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 8.15 KN (831.07 kgf), considerando esto, los valores de la gráfica 27, “Estabilidad vs C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables.

Gráfica 27:

Estabilidad vs % C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Estabilidad(kgf)	1458.62	1410.33	1409.78	1626.24	1327.33

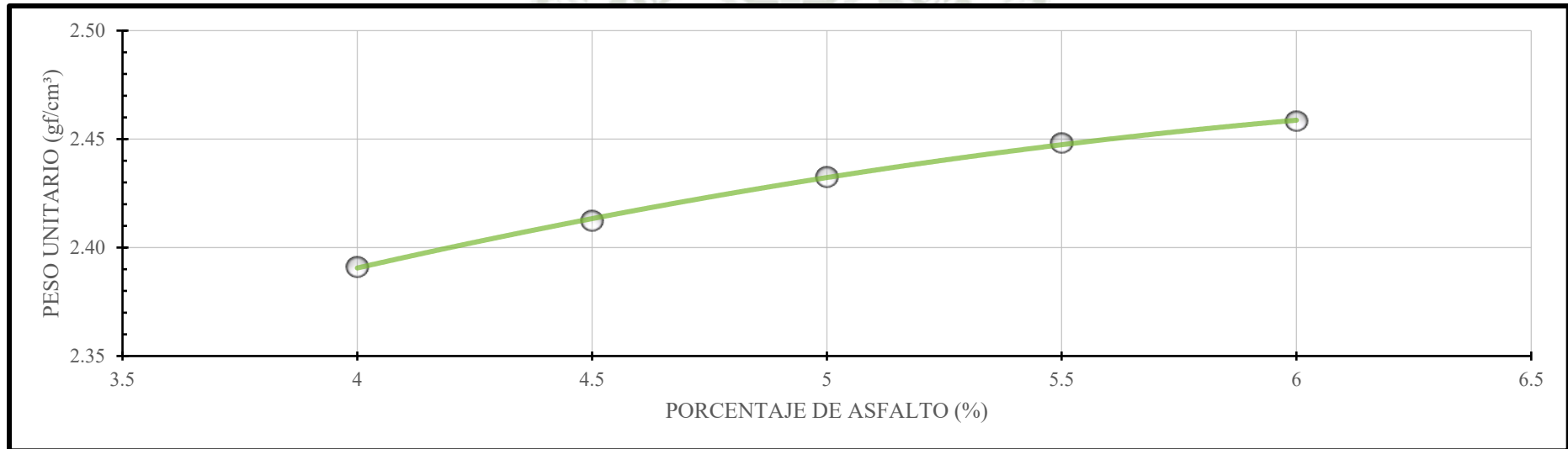
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.2. Grafica peso específico Bulk vs contenido de asfalto.

Según el Manual de carreteras EG – 2013, no establece un parámetro de mínimos o máximos para el peso específico Bulk, por lo que se considera los valores obtenidos anteriormente, considerando esto, los valores de la gráfica 28, “Peso Específico Bulk vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los rangos de 4% a 6% de C.A.

Gráfica 28:

Peso específico Bulk vs %C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
P.E. Bulk (gf/cm³)	2.39	2.41	2.43	2.45	2.46

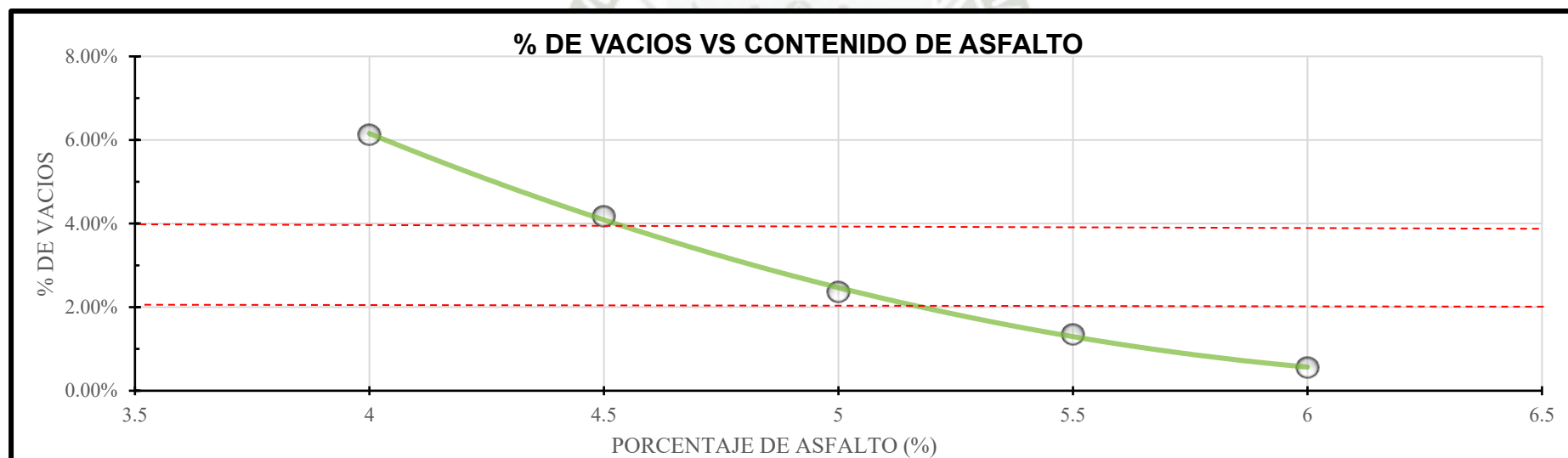
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.3. Grafica % vacíos vs contenido de asfalto.

Como se indica en la tabla 8, el valor de % de vacíos mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2% a 4% (deseable que tienda al menor 2%), siempre en cuando presentan climas fríos, considerando esto, los valores de la gráfica 29, “% de vacíos vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 4.8% de C.A.

Gráfica 29:

% de vacíos vs C.A



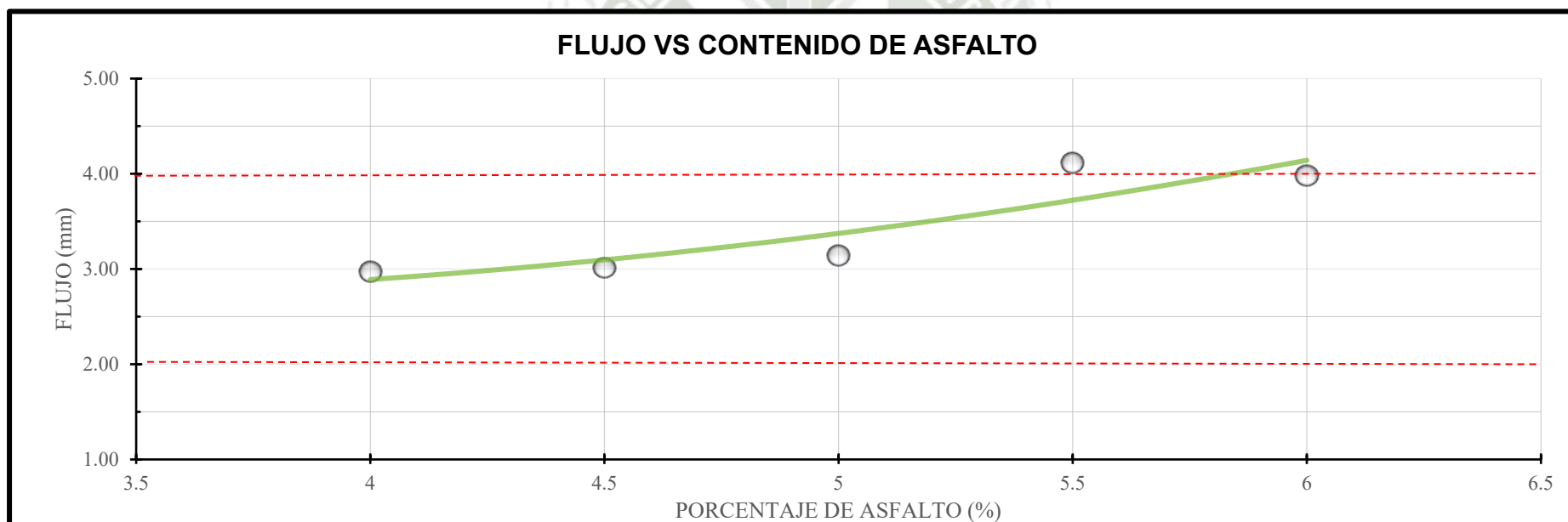
%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
% de vacíos (%)	6.13	4.18	2.36	1.35	0.55

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.4. Grafica flujo vs contenido de asfalto

Como se indica en la tabla 8, el valor de flujo mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 2 a 4 en mm, considerando esto, los valores de la gráfica 30 “Flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.0% a 5.0% y 6% de C.A.

Gráfica 30:
Flujo vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Flujo (mm)	2.97	3.01	3.14	4.12	3.98

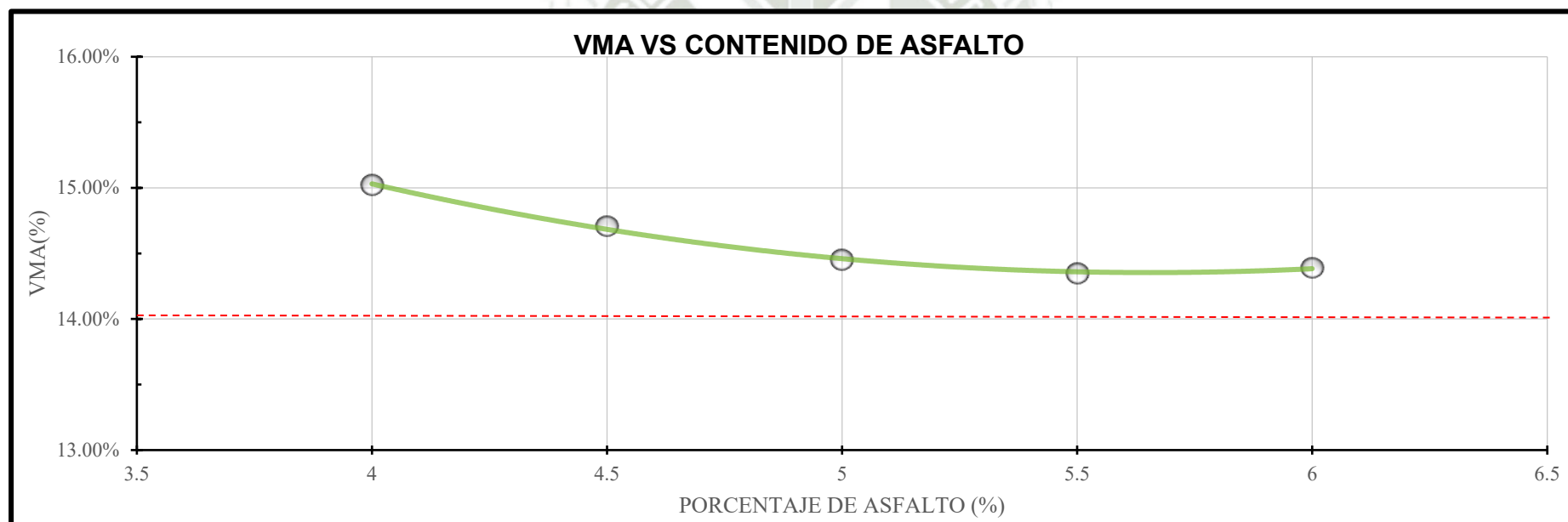
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.5. Grafica V.M.A. vs contenido de asfalto.

El valor de V.M.A. mínimo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01, para un tamaño nominal de ¾” es de 14%, considerando esto, los valores de la gráfica 31, “V.M.A vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los puntos de 4.0%, 5.8% a 6.0% de C.A.

Gráfica 31:

% V.M.A. vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.M.A (%)	15.02	14.71	14.45	14.35	14.39

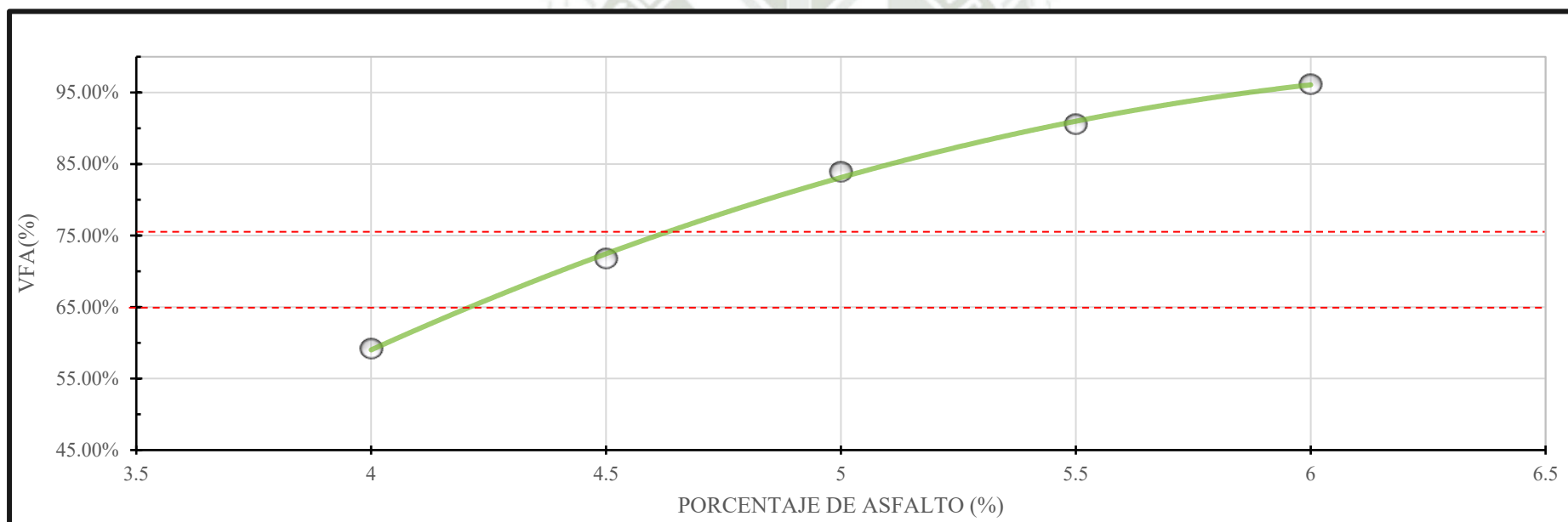
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.6. Grafica V.F.A. vs contenido de asfalto.

En el Manual de carreteras – EG 2013 no se tiene valores establecidos para un V.F.A, pero según el Instituto del Asfalto este valor debe estar comprendido entre 65% a 75%, considerando esto, los valores de la gráfica 32, “V.F.A vs % C.A. correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.3% a 4.6% de C.A.

Gráfica 32:

% V.F.A. vs C.A.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
V.F.A (%)	59.20	71.81	83.90	90.57	96.15

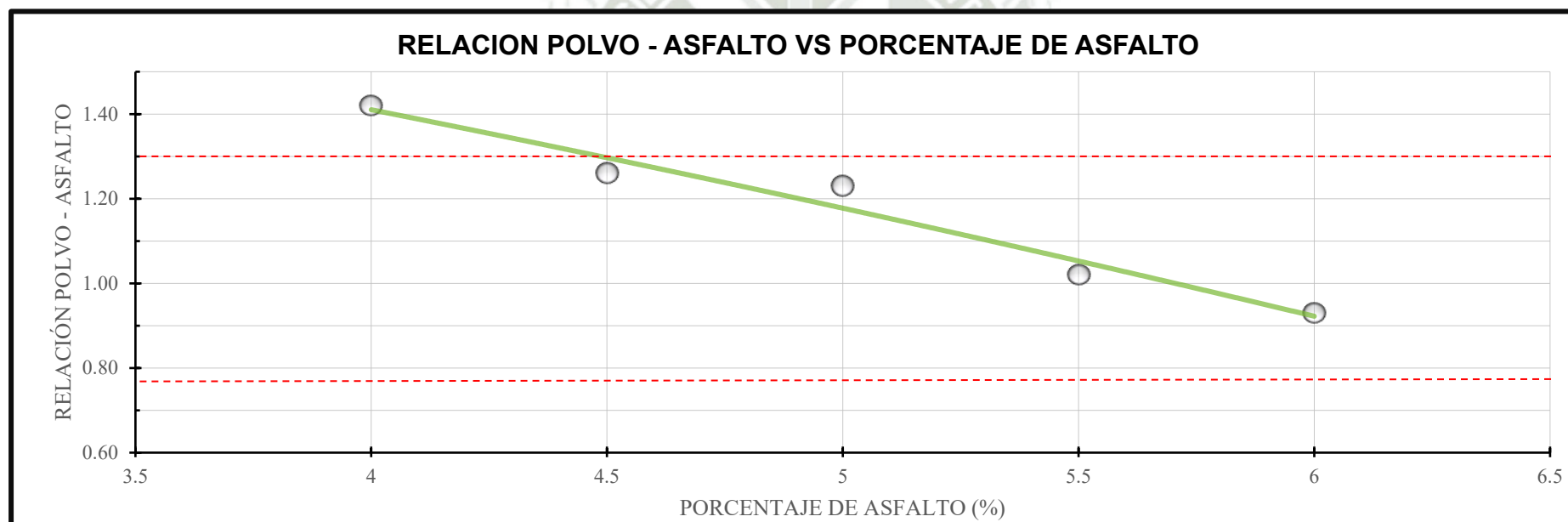
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.7. Grafica relación polvo – asfalto.

Como se indica en la tabla 8, la relación polvo – asfalto permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 0.6 a 1.3, considerando esto, los valores de la gráfica 33, “relación polvo – asfalto vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los rangos de 4.5% a 6.0% de C.A

Gráfica 33:

Relación polvo – asfalto.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Polvo – asfalto	1.42	1.26	1.23	1.02	0.93

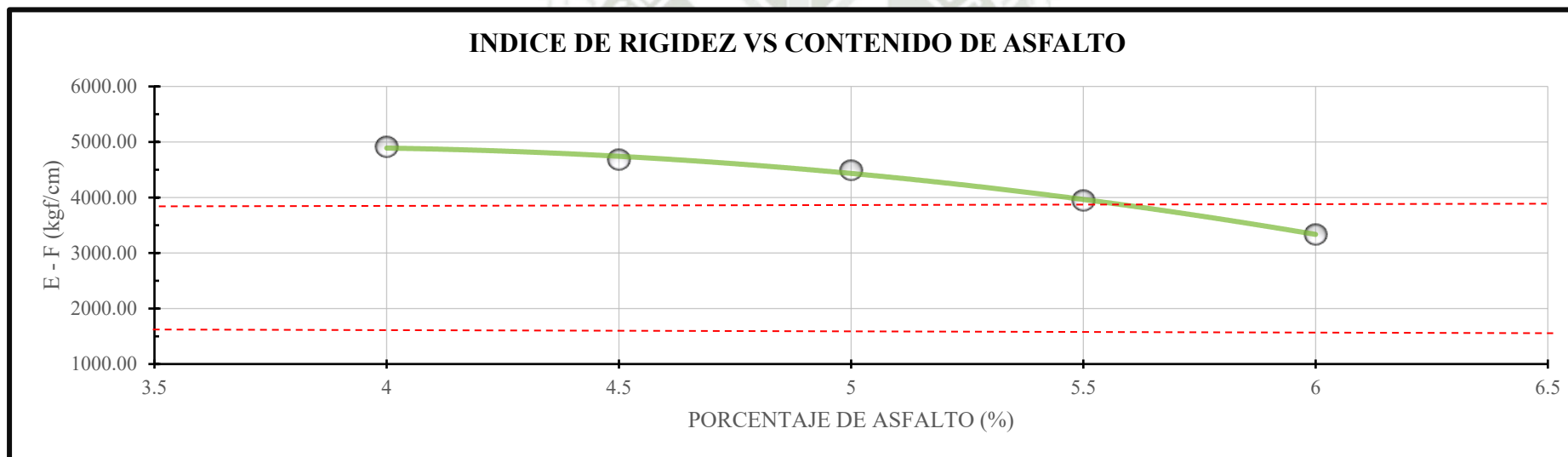
Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.9.8. Grafica relación estabilidad – flujo.

Como se indica en la tabla 8, la relación estabilidad – flujo permitido por el Manual de carreteras – EG 2013 para una MAC – 01 es de 1700 a 4000(kgf/cm), considerando esto, los valores de la gráfica 34, “relación estabilidad – flujo vs % C.A.” correspondiente a la mezcla asfáltica con filler polvo de arena, los cuales son aceptables entre los rangos de 5.5% a 6.0% de C.A.

Gráfica 34:

Relación Estabilidad vs flujo.



%C.A.	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
Polvo – asfalto	4911.19	4680.30	4489.76	3950.38	3332.22

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.10. Determinación del contenido óptimo de asfalto.

4.2.1.10.1. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla asfáltica con filler cal hidrata.

Con el análisis de los gráficos de la sección anterior 4.2.1.6, se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla es de 5.0%, debido que satisface en su mayoría todas las características exigidas por la norma EG – 2013, MAC – 1. A continuación se muestra el resumen de las características obtenidas en la tabla 38.

Tabla 40:

Características para el óptimo % de C.A, con filler cal hidratada.

PARÁMETROS	UND.	DATOS	REQUERIMIENTO SEGÚN EG - 2013 MAC - 1	CUMPLE/ NO CUMPLE
% de cemento asfáltico	%	5.00	-	-
Peso específico bulk	gf/cm ³	2.44	-	-
Vacios de aire Va	%	1.48	2 - 4	NO CUMPLE
V.M.A.	%	14.07	14 mín	CUMPLE
V.F.A.	%	89.51	65 - 75	NO CUMPLE
Estabilidad	kN	15.59	8.15 mín	CUMPLE
Flujo	mm	3.92	2 - 4	CUMPLE
Relación estabilidad - flujo	kgf/cm	3981.26	1700 - 4000	CUMPLE
Relación polvo - asfalto	-	1.23	0.6-1.3	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.10.2. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP

Con el análisis de los gráficos de la sección anterior 4.2.1.7, se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla es de 5.0%, debido que satisface en su mayoría todas las características exigidas por la norma EG – 2013, MAC – 1. A continuación se muestra el resumen de las características obtenidas en la tabla 39.

Tabla 41:

Características para el óptimo % de C.A, con filler cemento Portland IP.

PARÁMETROS	UND.	DATOS	REQUERIMIENTO SEGÚN EG - 2013 MAC - 1	CUMPLE/ NO CUMPLE
% de cemento asfáltico	%	5.00	-	-
Peso específico bulk	gf/cm ³	2.44	-	-
Vacios de aire Va	%	1.94	2 - 4	CUMPLE
V.M.A.	%	14.01	14 min	CUMPLE
V.F.A.	%	86.16	65-75	NO CUMPLE
Estabilidad	kN	15.20	8.15 mín.	CUMPLE
Flujo	mm	3.20	2 - 4	CUMPLE
Relación estabilidad - flujo	kgf/cm	4748.71	1700 - 4000	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	-	1.23	0.6-1.3	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.10.3. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”

Con el análisis de los gráficos de la sección anterior 4.2.1.8, se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla es de 5.0%, debido que satisface en su mayoría todas las características exigidas por la norma EG – 2013, MAC – 1. A continuación se muestra el resumen de las características obtenidas en la tabla 40.

Tabla 42:

Características para el óptimo % de C.A, con filler puzolana micronizada “Carpetek”

PARÁMETROS	UND.	DATOS	REQUERIMIENTO SEGÚN EG - 2013 MAC - 1	CUMPLE/ NO CUMPLE
% de cemento asfáltico	%	5.00	-	-
Peso específico bulk	gf/cm ³	2.46	-	-
Vacios de aire Va	%	1.72	2 - 4	NO CUMPLE
V.M.A.	%	13.32	14 min	NO CUMPLE
V.F.A.	%	87.10	65-75	NO CUMPLE
Estabilidad	kN	15.54	8.15 mín.	CUMPLE
Flujo	mm	3.76	2 - 4	CUMPLE
Relación estabilidad – flujo	kgf/cm	4133.71	1700 - 4000	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	-	1.23	0.6-1.3	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.

4.2.1.10.4. Contenido óptimo de C.A., para la mezcla con filler polvo de arena.

Con el análisis de los gráficos de la sección anterior 4.2.1.9, se determinó que el contenido óptimo de cemento asfáltico de la mezcla es de 4.5%, debido que satisface en su mayoría todas las características exigidas por la norma EG – 2013, MAC – 1. A continuación se muestra el resumen de las características obtenidas en la siguiente tabla.

Tabla 43:

Características para el óptimo % de C.A, con filler polvo de arena.

PARÁMETROS	UND.	DATOS	REQUERIMIENTO SEGÚN EG - 2013 MAC - 1	CUMPLE/ NO CUMPLE
% de cemento asfáltico	%	4.50	-	-
Peso específico bulk	gf/cm ³	2.41	-	-
Vacios de aire Va	%	4.18	2 - 4	CUMPLE
V.M.A.	%	14.71	14 min	CUMPLE
V.F.A.	%	71.81	65-75	CUMPLE
Estabilidad	kN	1410.33	8.15 mín	CUMPLE
Flujo	mm	3.01	2 - 4	CUMPLE
Relación estabilidad - flujo	kgf/cm	4680.30	1700 - 4000	NO CUMPLE
Relación polvo - asfalto	-	1.26	0.6-1.3	CUMPLE

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO V

**5. ANÁLISIS DE DESEMPEÑO POR
HUMEDAD DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.**

5.1. Ensayo de tracción indirecta Lottman Modificado (AASHTO T-283)

El procedimiento del ensayo se detalla en la sección 3.4. y los resultados del ensayo Tracción indirecta se realizó a los contenidos óptimos de asfalto con un material llenante diferente.

Antes de realizar el ensayo propiamente dicho, la mezcla asfáltica debe estar curada, esto se menciona en la sección 3.3.2.1.

Posteriormente se determinan el número de golpes aproximados que producen 7 ± 0.5 % de vacíos en las mezcla convencional y mezcla adicionada con aditivo. En la tabla número 42 se observa el total de especímenes compactados por cada mezcla.

Tabla 44:

Numero de especímenes compactados por cada mezcla.

TIPO DE MEZCLA	FILLER UTILIZADO	Nº DE ESPECIMENES
SIN APLICACIÓN DE ADITIVO		
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cal Hidratada	5
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cemento Portland IP	5
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Puzolana	5
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Polvo de arena	5
CON APLICACIÓN DE ADITIVO		
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cal Hidratada	3
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Cemento Portland IP	3
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Puzolana	3
Mezcla asfáltica compactada con % óptimo de CA	Polvo de arena	3
TOTAL DE BRIQUETAS		32

Fuente: Elaboración propia.

5.1.1. Mezcla asfáltica convencional con filler cal hidratada.

5.1.1.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 43, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 35, para aplicarlo en la mezcla asfáltica lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Tabla 45:

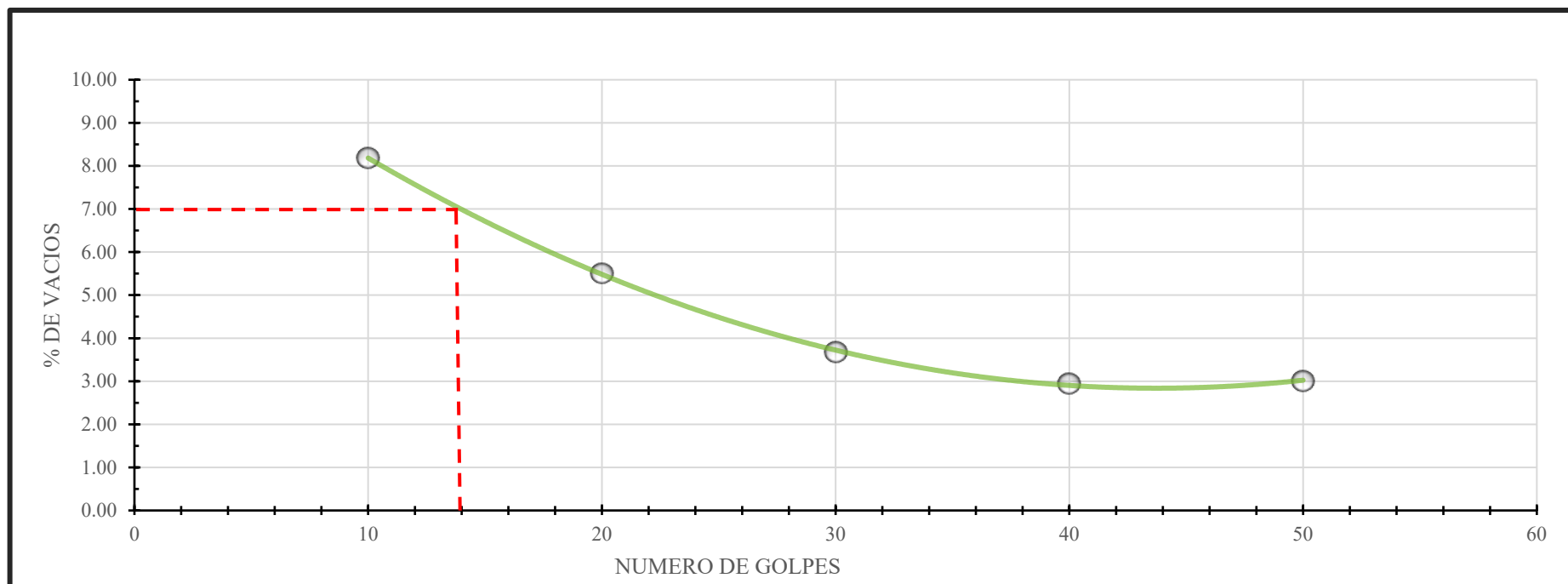
Numero de golpes de mezcla compactada con material llenante Cal hidratada - TSR

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Número de Golpes	-	10	20	30	40	50
C.A. en peso de la mezcla	%	5	5	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.45	48.45	48.45	48.45	48.45
% de arena en peso de la mezcla	%	43.70	43.70	43.70	43.70	43.70
% de filler en peso de la mezcla	%	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65
Volumen de la probeta	cm ³	521.20	509.70	498.80	495.30	498.10
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.27	2.34	2.38	2.40	2.40
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos - Va	%	8.18	5.50	3.68	3.01	2.95
Absorción	%	1.65	1.67	0.90	0.36	0.60

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 35:

Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con material llenante Cal hidratada.



# Golpes	10	20	30	40	50
% de Vacíos	8.18	5.50	3.68	3.01	2.95

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 35, se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con material llenante de cal hidratada es de 14 golpes por ambas caras.

5.1.1.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cal hidratada.

Gráfica 36:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con material llenante cal hidratada.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CONVENCIONAL									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS ACONDICIONADAS			
identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	66.60	66.35	66.18		66.78	67.01	67.06	
Diámetro promedio del espécimen	mm	100.91	101.02	100.96		100.94	100.82	100.93	
Volumen de la probeta	cm ³	514.80	519.70	515.20		519.2	516.5	519	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.30	2.29	2.29	2.29	2.29	2.30	2.30	2.29
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos	%	6.79	7.49	7.49	7.26	7.43	7.05	7.15	7.21
Absorción	%	1.28	0.96	1.09	1.11	1.87	1.24	1.71	1.61
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	34.98	38.95	38.57		38.57	36.44	37.12	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1219.40	1216.10	1220.60	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		30.80	28.90	28.90	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		79.86	79.32	77.86	
Carga máxima	kN	5.58	5.07	5.15	5.27	5.46	5.32	5.31	5.36
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	52.86	48.16	49.07	50.03	0.00	0.00	0.00	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		51.57	50.13	49.94	50.55
Tipo de falla	-	Fracturado	Fracturado	Fracturado		Fracturado	Ambos	Fracturado	
Escala de daño por humedad	-	2	2	2	2	3	3	2	3
RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA								101.04%	

Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Mezcla asfáltica convencional con filler cal hidratada y adicionada con aditivo.

5.1.2.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 03 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 44, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 37, para aplicarlo en la mezcla asfáltica compactada adicionada con aditivo lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos los cuales deben ser similares a la mezcla compactada sin aditivo.

Tabla 46:

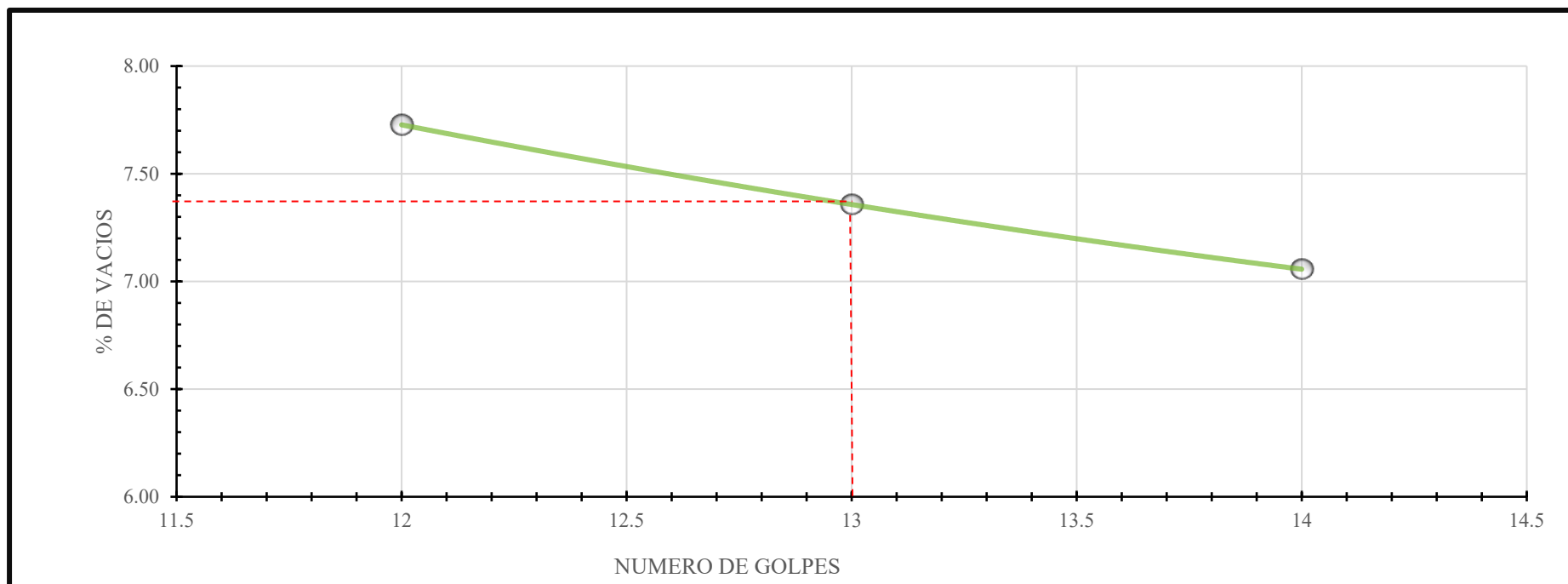
Numero de golpes de mezcla compactada con filler Cal hidratada y adicionada con aditivo – TSR.

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Número de Golpes	-	12	13	14
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.45	48.45	48.45
% de arena en peso de la mezcla	%	43.70	43.70	43.70
% de filler en peso de la mezcla	%	2.85	2.85	2.85
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.65	2.65	2.65
Volumen de la probeta	cm ³	521.80	524.30	522.30
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.28	2.29	2.30
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52
% de vacíos - Va	%	7.73	7.36	7.06
Absorción	%	2.76	1.91	1.86

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 37:

Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler Cal hidratada y adicionada con aditivo.



# Golpes	12	13	14
% de Vacíos	7.73	7.36	7.06

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 37 se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con filler de cal hidratada y adicionada con aditivo es de 13 golpes por ambas caras.

5.1.2.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cal hidratada y adicionada con aditivo.

Tabla 47:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con material llenante cal hidratada y adicionada con aditivo.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON ADICION DE ADITIVO									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-7	C-8	C-9	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	66.60	66.35	66.18		68.67	68.42	68.53	
Diámetro promedio del espécimen	mm	100.91	101.02	100.96		101.16	101.03	101.03	
Volumen de la probeta	cm ³	514.80	519.70	515.20		522.3	521.8	524.3	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.30	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29	2.29
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.54	2.54	2.54	2.54
% de vacíos	%	6.79	7.49	7.49	7.26	7.41	7.49	7.36	7.42
Absorción	%	1.28	0.96	1.09	1.11	1.93	2.18	1.91	2.01
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	34.98	38.95	38.57		38.68	39.11	38.57	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1226.90	1224.00	1232.20	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J)	cm ³	-	-	-		30.90	30.30	31.00	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		79.89	77.48	80.36	
Carga máxima	kN	5.58	5.07	5.15	5.27	6.83	6.86	6.63	6.77
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	52.86	48.16	49.07	50.03	-	-	-	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		62.60	63.18	60.96	62.25
Tipo de falla	-	Fracturado	Fracturado	Fracturado		Sin daño	Desprendido	Ambos	
Escala de daño por humedad	-	2	2	1	2	1	1	2	1

RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA	124.42%
---	----------------

Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Mezcla asfáltica convencional con filler cemento Portland IP.

5.1.3.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la siguiente tabla, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 38, para aplicarlo en la mezcla asfáltica lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Tabla 48:

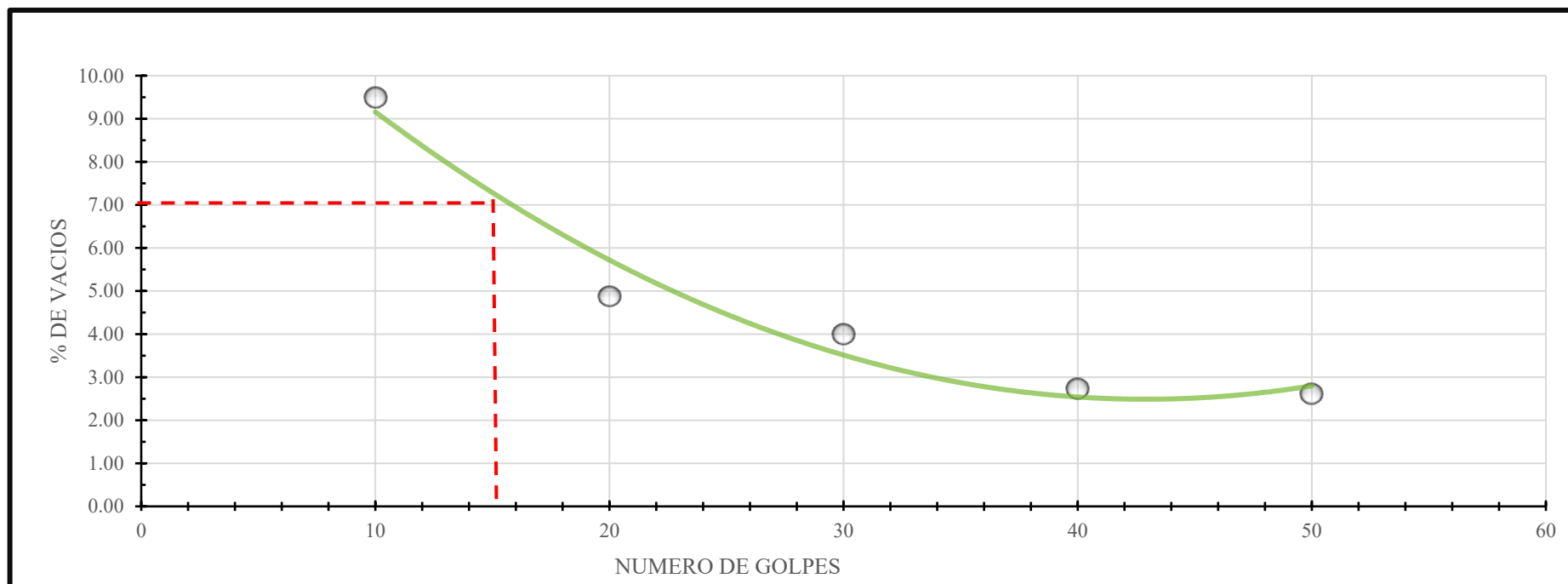
Numero de golpes de mezcla compactada con filler cemento Portland IP – TSR.

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Número de Golpes	-	10	20	30	40	50
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.45	48.45	48.45	48.45	48.45
% de arena en peso de la mezcla	%	43.70	43.70	43.70	43.70	43.70
% de filler en peso de la mezcla	%	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	2.82	2.82
Volumen de la probeta	cm ³	525.50	498.60	490.50	489.30	488.80
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.26	2.38	2.40	2.43	2.43
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.53	2.53	2.53	2.53	2.53
% de vacíos - Va	%	9.50	4.88	3.99	2.74	2.62
Absorción	%	1.33	0.96	0.80	0.53	0.51

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 38:

Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler cemento Portland IP.



# Golpes	10	20	30	40	50
% de Vacíos	9.50	4.88	3.99	2.74	2.62

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 38 se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con material llenante de cal hidratada es de 15 golpes por ambas caras.

5.1.3.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP.

Tabla 49:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con filler cemento Portland IP.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CONVENCIONAL									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS CON ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	65.55	64.39	63.86		66.99	66.32	66.69	
Diámetro promedio del espécimen	mm	101.04	100.72	100.96		101.06	101.07	100.88	
Volumen de la probeta	cm ³	510.80	505.40	499.30		505.7	508.9	503.9	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.32	2.34	2.35	2.34	2.33	2.33	2.34	2.33
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos	%	6.90	6.47	5.88	6.42	6.72	6.84	6.37	6.64
Absorción	%	1.90	1.80	1.12	1.61	1.70	1.85	1.79	1.78
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	35.23	32.71	29.38		33.97	34.81	32.09	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1204.90	1210.20	1202.30	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		27.00	26.40	24.20	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		79.47	75.84	75.40	
Carga máxima	kN	7.77	6.89	7.62	7.43	6.39	6.51	7.21	6.70
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	74.68	67.64	75.24	72.52	0.00	0.00	0.00	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		60.09	61.83	68.23	63.38
Tipo de falla	-	1	1	1	1	4	3	3	3
Escala de daño por humedad	-	Fracturado	Fracturado	Fracturado		Desprendido	Ambos	Ambos	
RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA									87.40%

Fuente: Elaboración propia.

**5.1.4. Mezcla asfáltica convencional con filler cemento Portland IP y
adicionada con aditivo.**

**5.1.4.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de
vacíos.**

Se compactaron 03 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 48, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 39, para aplicarlo en la mezcla asfáltica compactada adicionada con aditivo lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos los cuales deben ser similares a la mezcla compactada sin aditivo.

Tabla 50:

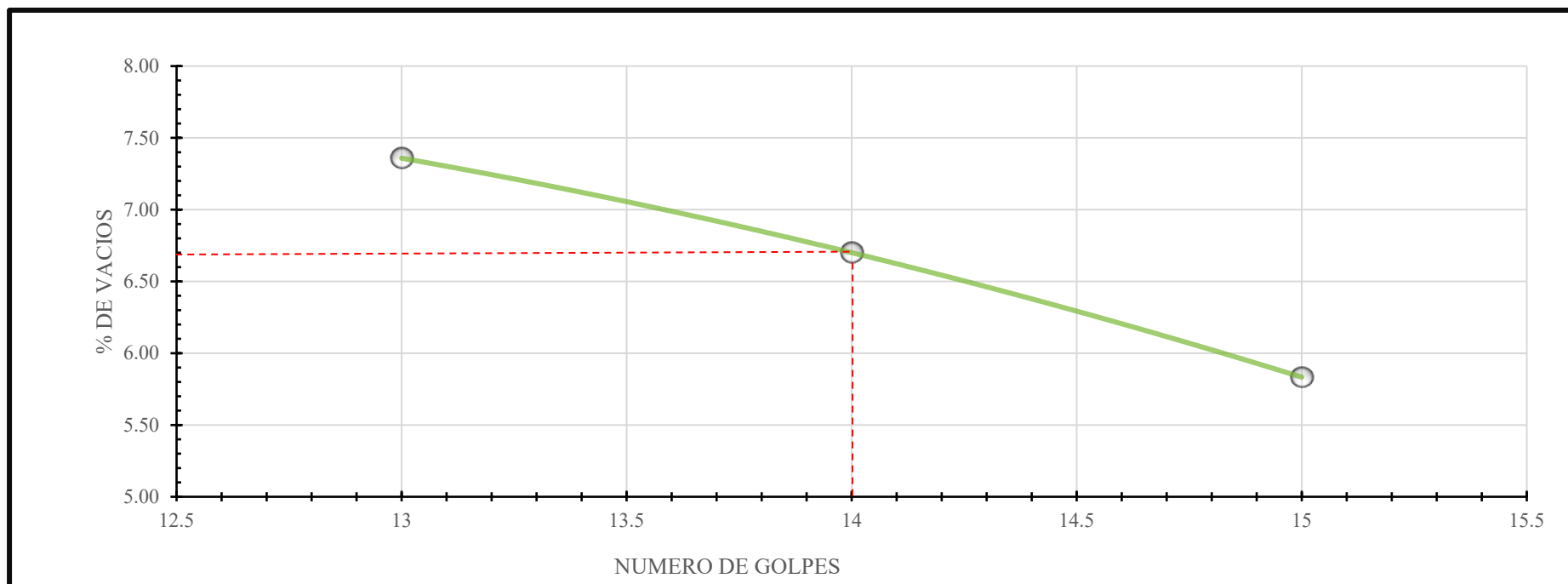
Numero de golpes de mezcla compactada con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo – TSR.

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Número de Golpes	-	13	14	15
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.45	48.45	48.45
% de arena en peso de la mezcla	%	43.70	43.70	43.70
% de filler en peso de la mezcla	%	2.85	2.85	2.85
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82
Volumen de la probeta	cm ³	513.80	507.30	502.50
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.31	2.33	2.35
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.53	2.53	2.53
% de vacíos - Va	%	7.36	6.70	5.83
Absorción	%	1.52	2.07	1.19

Fuente: Elaboración propia

Gráfica 39:

Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.



# Golpes	13	14	15
% de Vacíos	7.36	6.70	5.83

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 39 se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con filler de cal hidratada y adicionada con aditivo es de 14 golpes por ambas caras.

5.1.4.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.

Tabla 51:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con filler cemento Portland IP y adicionada con aditivo.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON ADICION DE ADITIVO									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-7	C-8	C-9	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	65.55	64.39	63.86		64.69	66.01	66.16	
Diámetro promedio del espécimen	mm	101.04	100.72	100.96		100.91	101.02	101.06	
Volumen de la probeta	cm ³	510.80	505.40	499.30		504.2	507.3	510.8	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.32	2.34	2.35	2.34	2.34	2.33	2.33	2.33
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos	%	6.90	6.47	5.88	6.42	6.19	6.70	6.81	6.57
Absorción	%	1.90	1.80	1.12	1.61	1.71	2.07	1.53	1.77
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	35.23	32.71	29.38		31.23	33.97	34.79	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1205.50	1209.00	1216.10	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		24.50	27.10	27.50	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		78.44	79.77	79.05	
Carga máxima	kN	7.77	6.89	7.62	7.43	7.57	7.63	7.60	7.60
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	74.68	67.64	75.24	72.52	-	-	-	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		73.83	72.85	72.37	73.01
Tipo de falla	-	1	1	1	1	2	2	2	2
Escala de daño por humedad	-	Fracturado	Fracturado	Fracturado		Desprendido	Fracturado	Desprendido	
RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA									100.68%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.5. Mezcla asfáltica convencional con filler puzolana micronizada

“Carpetek”.

5.1.5.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 50, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 40, para aplicarlo en la mezcla asfáltica lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Tabla 52:

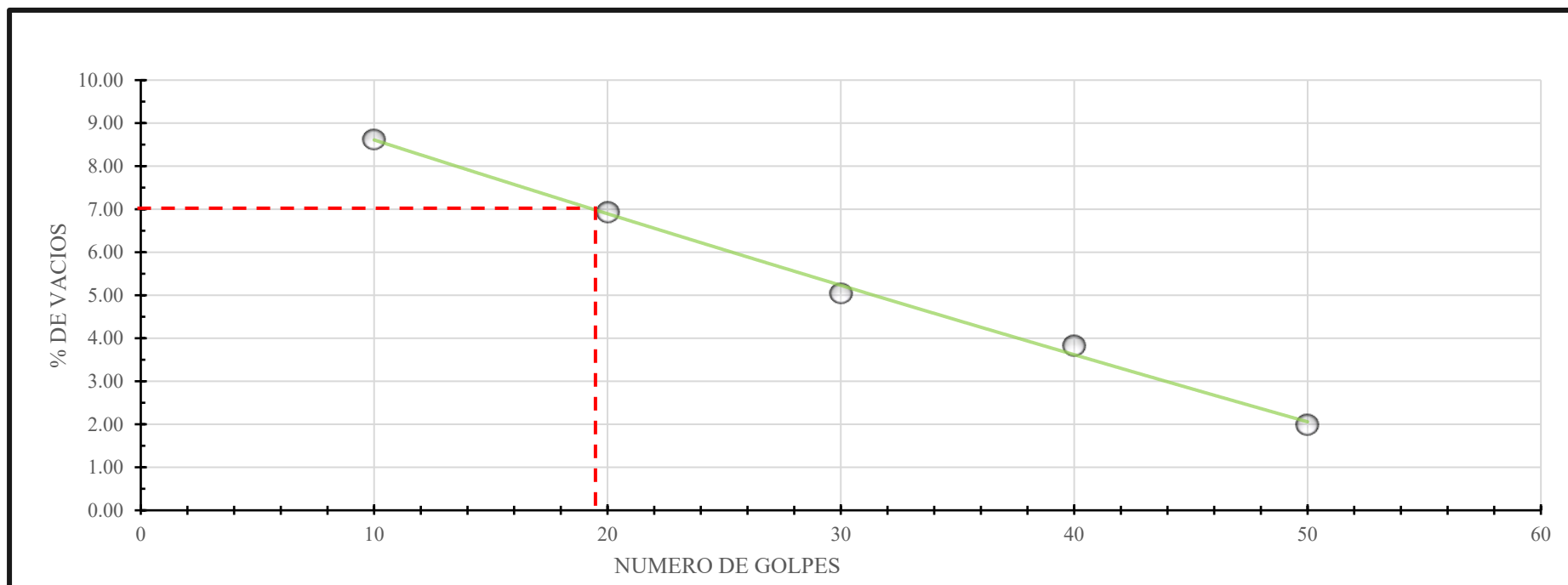
Numero de golpes de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” – TSR

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Número de Golpes	-	10	20	30	40	50
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.45	48.45	48.45	48.45	48.45
% de arena en peso de la mezcla	%	43.70	43.70	43.70	43.70	43.70
% de filler en peso de la mezcla	%	2.85	2.85	2.85	2.85	2.85
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43	2.43	2.43
Volumen de la probeta	cm ³	516.90	506.60	499.80	498.60	482.20
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.28	2.33	2.37	2.40	2.45
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos - Va	%	8.62	6.94	5.04	3.82	1.99
Absorción	%	1.88	1.07	0.88	0.56	0.37

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 40:

Numero de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler puzolana micronizada "Carpetek".



# Golpes	10	20	30	40	50
% de Vacios	8.62	6.94	5.04	3.82	1.99

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 40 se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con material llenante de cal hidratada es de 19 golpes por ambas caras.

5.1.5.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek”.

Tabla 53:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con filler puzolana micronizada “Carpetek”.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CONVENCIONAL									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	64.94	65.35	65.89		64.50	65.13	66.15	
Diámetro promedio del espécimen	mm	101.01	101.03	101.06		101.05	101.18	101.01	
Volumen de la probeta	cm ³	505.70	500.60	510.60		503	507.6	510	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.34	2.33	2.33	2.33	2.34	2.34	2.33	2.34
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos	%	6.55	6.61	6.74	6.63	6.53	6.39	6.67	6.53
Absorción	%	1.15	2.00	1.08	1.41	1.58	1.86	1.02	1.49
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	33.10	33.08	34.40		32.85	32.42	34.04	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1198.60	1211.30	1214.80	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		23.23	23.34	24.90	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		70.71	72.00	73.15	
Carga máxima	kN	7.22	6.65	6.17	6.68	6.09	5.56	4.98	5.54
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	70.07	64.12	58.99	64.40	0.00	0.00	0.00	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		59.49	53.71	47.45	53.55
Tipo de falla	-	Fracturado	Fracturado	Fracturado		Desprendido	Desprendido	Desprendido	
Escala de daño por humedad	-	1	2	2	2	4	5	4	4

RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

83.16%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.6. Mezcla asfáltica convencional con filler puzolana micronizada

“Carpetek” y adicionada con aditivo.

5.1.6.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 42, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 41, para aplicarlo en la mezcla asfáltica lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Tabla 54:

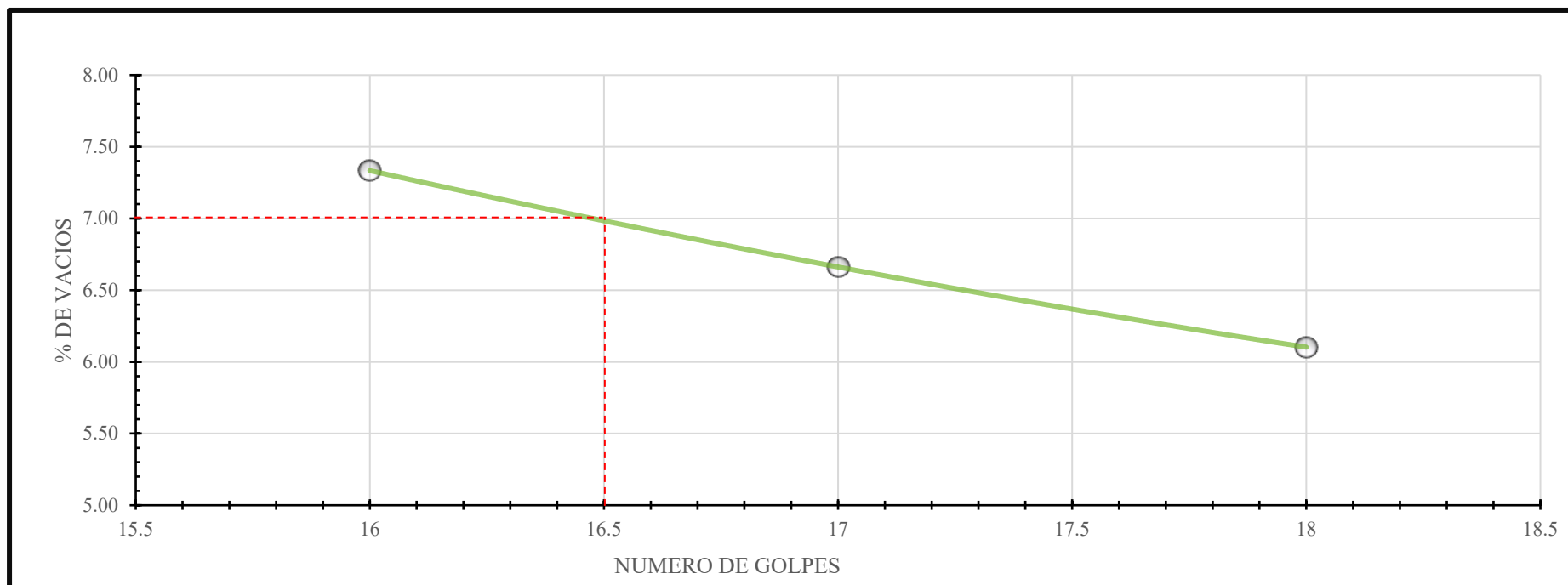
Numero de golpes de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo – TSR.

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Número de Golpes	-	16	17	18
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.45	48.45	48.45
% de arena en peso de la mezcla	%	43.70	43.70	43.70
% de filler en peso de la mezcla	%	2.85	2.85	2.85
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43
Volumen de la probeta	cm ³	511.80	507.60	510.00
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.32	2.33	2.35
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52
% de vacíos - Va	%	7.33	6.66	6.10
Absorción	%	1.33	1.14	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 41:

Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.



# Golpes	16	17	18
% de Vacios	7.33	6.66	6.10

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 53 se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con filler de cal hidratada y adicionada con aditivo es de 17 golpes por ambas caras.

5.1.6.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.

Tabla 55:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con filler puzolana micronizada “Carpetek” y adicionada con aditivo.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON ADICION DE ADITIVO									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-7	C-8	C-9	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	64.94	65.35	65.89		65.79	65.45	66.16	
Diámetro promedio del espécimen	mm	101.01	101.03	101.06		101.14	101.17	100.94	
Volumen de la probeta	cm ³	505.70	500.60	510.60		510	505.7	507.6	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.34	2.33	2.33	2.33	2.35	2.35	2.33	2.34
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
% de vacíos	%	6.55	6.61	6.74	6.63	6.19	6.00	6.67	6.28
Absorción	%	1.15	2.00	1.08	1.41	1.25	1.21	1.14	1.20
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	33.10	33.08	34.40		31.55	30.34	33.84	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1219.50	1210.80	1209.00	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		23.37	22.40	24.60	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		74.08	73.83	72.70	
Carga máxima	kN	7.22	6.65	6.17	6.68	7.93	8.07	7.47	7.82
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	70.07	64.12	58.99	64.40	0.00	0.00	0.00	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	KPa	-	-	-		75.87	77.59	71.21	74.89
Tipo de falla	-	Fracturado	Fracturado	Fracturado		Desprendido	Fracturado	Desprendido	
Escala de daño por humedad	-	1	2	2	2	2	2	1	2

RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA	116.29%
---	----------------

Fuente: Elaboración propia.

5.1.7. Mezcla asfáltica convencional con materia llenante polvo de arena.

5.1.7.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 54, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 42, para aplicarlo en la mezcla asfáltica lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Tabla 56:

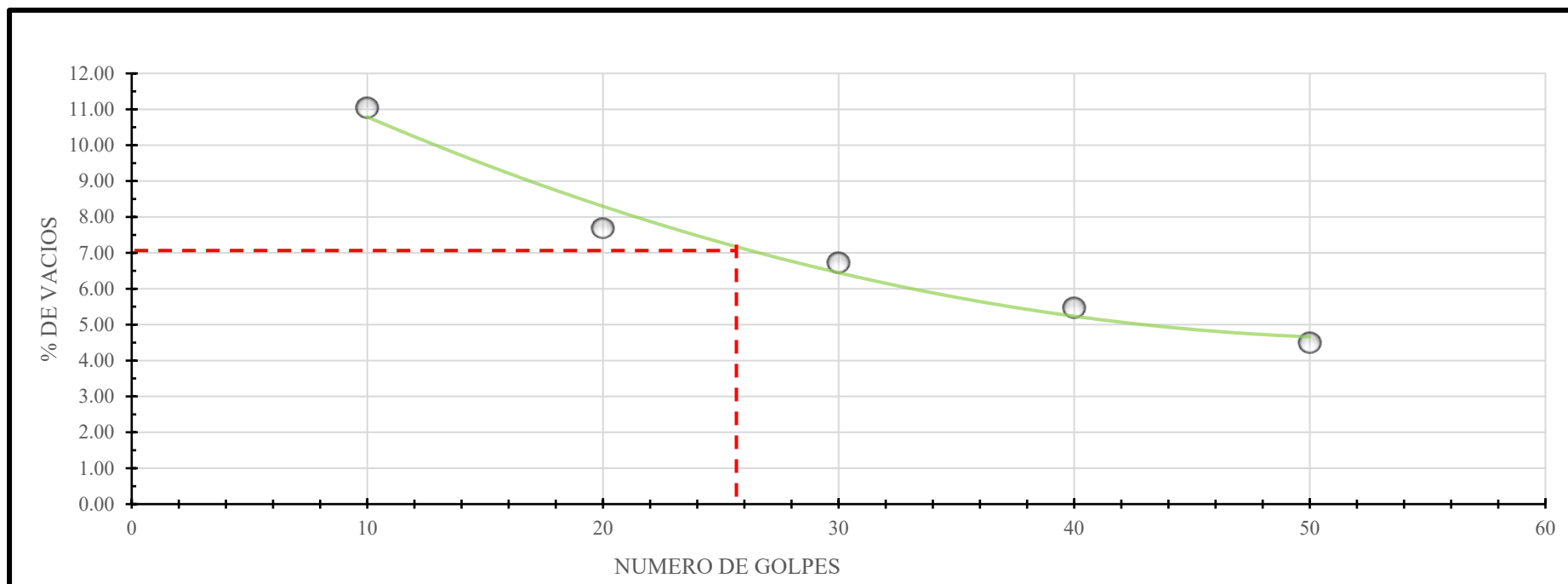
Numero de golpes de mezcla compactada con material llenante polvo de arena – TSR

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3	Ensayo 4	Ensayo 5
Número de Golpes	-	10	20	30	40	50
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.71	48.71	48.71	48.71	48.71
% de arena en peso de la mezcla	%	43.93	43.93	43.93	43.93	43.93
% de filler en peso de la mezcla	%	2.87	2.87	2.87	2.87	2.87
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68	2.68	2.68
Volumen de la probeta	cm ³	530.70	508.70	503.30	498.30	496.70
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.24	2.32	2.35	2.38	2.40
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
% de vacíos - Va	%	11.04	7.69	6.73	5.47	4.50
Absorción	%	1.34	0.86	0.76	0.36	0.48

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 42:

Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con material llenante polvo de arena.



# Golpes	10	20	30	40	50
% de Vacíos	11.04	7.69	6.73	5.47	4.50

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica, se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con material llenante de cal hidratada es de 27 golpes por ambas caras.

5.1.7.2. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con material llenante polvo de arena.

Tabla 57:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada convencional con material llenante polvo de arena.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CONVENCIONAL									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS CON ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-4	C-5	C-6	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	65.68	64.05	65.38		64.93	64.19	65.93	
Diámetro promedio del espécimen	mm	100.98	101.00	100.87		101.04	101.03	100.82	
Volumen de la probeta	cm ³	510.60	505.90	507.60		507.2	502.8	510.5	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.34	2.33	2.33	2.33	2.34	2.34	2.32	2.33
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
% de vacíos	%	7.30	7.49	7.70	7.49	7.22	7.32	7.88	7.47
Absorción	%	0.96	0.71	0.93	0.87	0.93	1.07	0.72	0.91
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	37.27	37.88	39.07		36.60	36.81	40.22	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1215.10	1203.10	1217.10	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		29.20	28.80	32.00	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		79.77	78.24	79.56	
Carga máxima	kN	7.52	6.60	6.33	6.82	5.38	5.61	5.14	5.38
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	72.18	64.95	61.11	66.08	0.00	0.00	0.00	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		52.21	55.08	49.23	52.17
Tipo de falla	-	Fracturado	Ambos	Fracturado		Desprendido	Fracturado	Desprendido	
Escala de daño por humedad	-	2	3	2	2	5	4	4	4

RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA

78.95%

Fuente: Elaboración propia.

5.1.8. Mezcla asfáltica convencional con materia llenante polvo de arena y adicionada con aditivo.

5.1.8.1. Determinación del número de golpes para generar $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Se compactaron 05 briquetas con diferentes golpes como se aprecia en la tabla 56, lo que permite estimar un número aproximado de golpes con la gráfica 43, para aplicarlo en la mezcla asfáltica lo cual genera $7 \pm 0.5\%$ de vacíos.

Tabla 58:

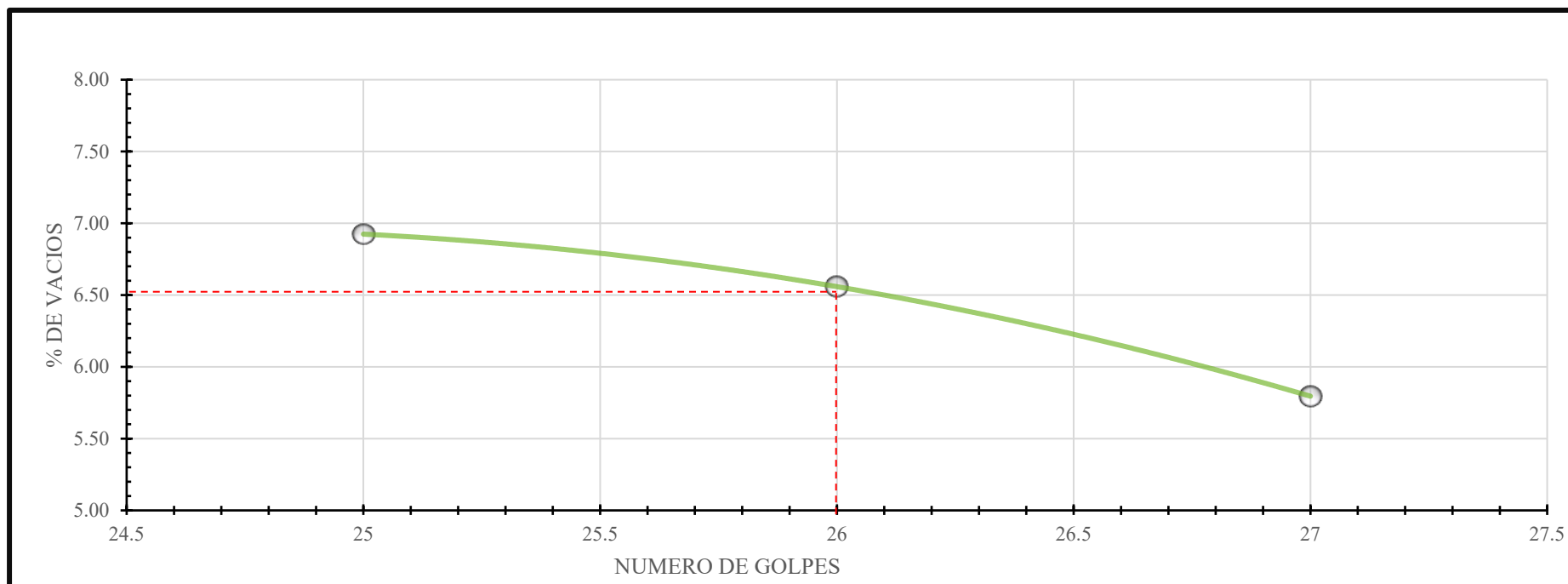
Numero de golpes de mezcla compactada con filler polvo de arena y adicionada con aditivo – TSR.

Parámetros	Und.	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
Número de Golpes	-	25	26	27
C.A en peso de la mezcla	%	5	5	5
% de grava en peso de la mezcla	%	48.71	48.71	48.71
% de arena en peso de la mezcla	%	43.93	43.93	43.93
% de filler en peso de la mezcla	%	2.87	2.87	2.87
Peso específico aparente del CA	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02
Peso específico bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78
Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81
Peso específico bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62
Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66
Peso específico aparente del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68
Volumen de la probeta	cm ³	512.36	505.10	506.60
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.34	2.35	2.37
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54
% de vacíos - Va	%	6.92	6.56	5.80
Absorción	%	1.17	1.03	0.46

Fuente: Elaboración propia.

Gráfica 43:

Número de golpes vs % de vacíos de mezcla compactada con filler polvo de arena y adicionada con aditivo.



# Golpes	25	26	27
% de Vacios	6.92	6.56	5.80

Fuente: Elaboración propia.

Después de analizar la gráfica 43 se determinó que el número necesario para generar 7 ± 0.5 % de vacíos de la mezcla con filler de cal hidratada y adicionada con aditivo es de 26 golpes por ambas caras.

5.1.8.1. Resultados TSR – Mezcla asfáltica con material llenante polvo de arena y adicionada con aditivo.

Tabla 59:

Ensayo TSR – Mezcla asfáltica compactada con material llenante polvo de arena y adicionada con aditivo.

ENSAYO TSR - MEZCLA ASFALTICA COMPACTADA CON ADICION DE ADITIVO									
DATOS	Und.	MUESTRAS EN SECO				MUESTRAS ACONDICIONADAS			
Identificación de probeta	-	C-1	C-2	C-3	PROM	C-7	C-8	C-9	PROM
Altura promedio de la probeta	mm	65.68	64.05	65.38		64.55	65.07	64.96	
Diámetro promedio del espécimen	mm	100.98	101.00	100.87		101.02	101.17	101.20	
Volumen de la probeta	cm ³	510.60	505.90	507.60		506.6	505.1	505.2	
Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.34	2.33	2.33	2.33	2.37	2.35	2.35	2.36
Peso específico máximo	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52	2.52
Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54	2.54
% de vacíos	%	7.30	7.49	7.70	7.49	5.89	6.65	6.59	6.38
Absorción	%	0.96	0.71	0.93	0.87	0.46	1.03	0.97	0.82
Volumen de vacíos de aire (Va)	cm ³	37.27	37.88	39.07		29.83	33.59	33.29	
Peso de probeta saturada con superficie seca después de la saturación parcial al vacío (B')	gf	-	-	-		1225.10	1213.70	1214.40	
Volumen de agua absorbida en centímetros cúbicos (J')	cm ³	-	-	-		23.64	25.50	25.19	
Grado de saturación (S')	%	-	-	-		79.25	75.91	75.67	
Carga máxima	kN	7.52	6.60	6.33	6.82	7.82	8.55	8.30	8.22
Esfuerzo a la tensión (St1) del subgrupo seco	kPa	72.18	64.95	61.11	66.08	-	-	-	
Esfuerzo a la tensión (St2) del subgrupo acondicionado	kPa	-	-	-		76.35	82.68	80.38	79.80
Tipo de falla	-	Fracturado	Ambos	Fracturado		Fracturado	Desprendido	Desprendido	
Escala de daño por humedad	-	2	3	2	2	1	2	1	1
RAZÓN DE RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA								120.77%	

Fuente: Elaboración propia.



CAPÍTULO VI

**6. ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE
RESULTADOS.**

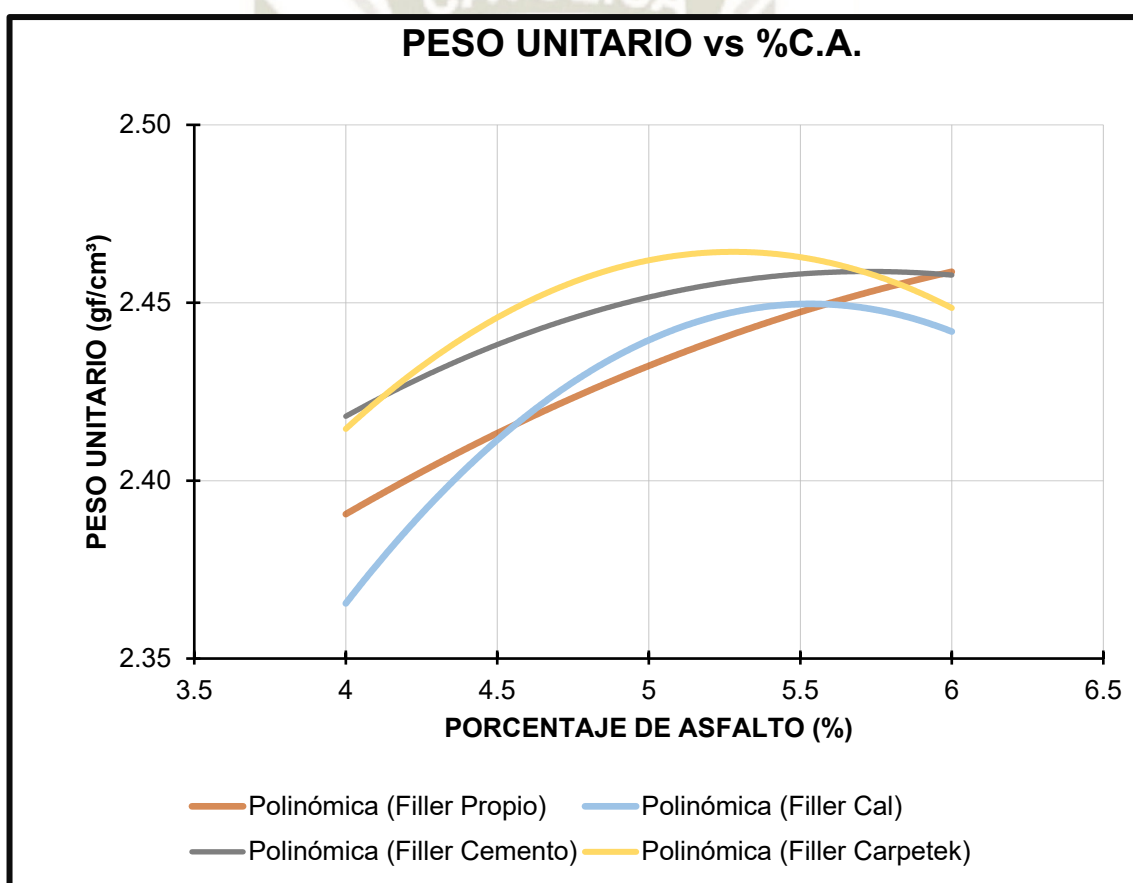
6.1. Comparación y análisis de propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica.

En las gráficas siguientes se puede analizar y comparar las diferentes propiedades volumétricas de las mezclas asfálticas compactadas de todos los diseños realizados en esta investigación (Diseño Filler Propio, Diseño Filler Cal, Diseño Filler Cemento y Diseño Filler puzolana micronizada).

6.1.1. Análisis de pesos específicos vs tipo de mezcla con variación de filler.

Gráfica 44:

Comparación de pesos unitarios vs % C.A. entre mezclas asfálticas.



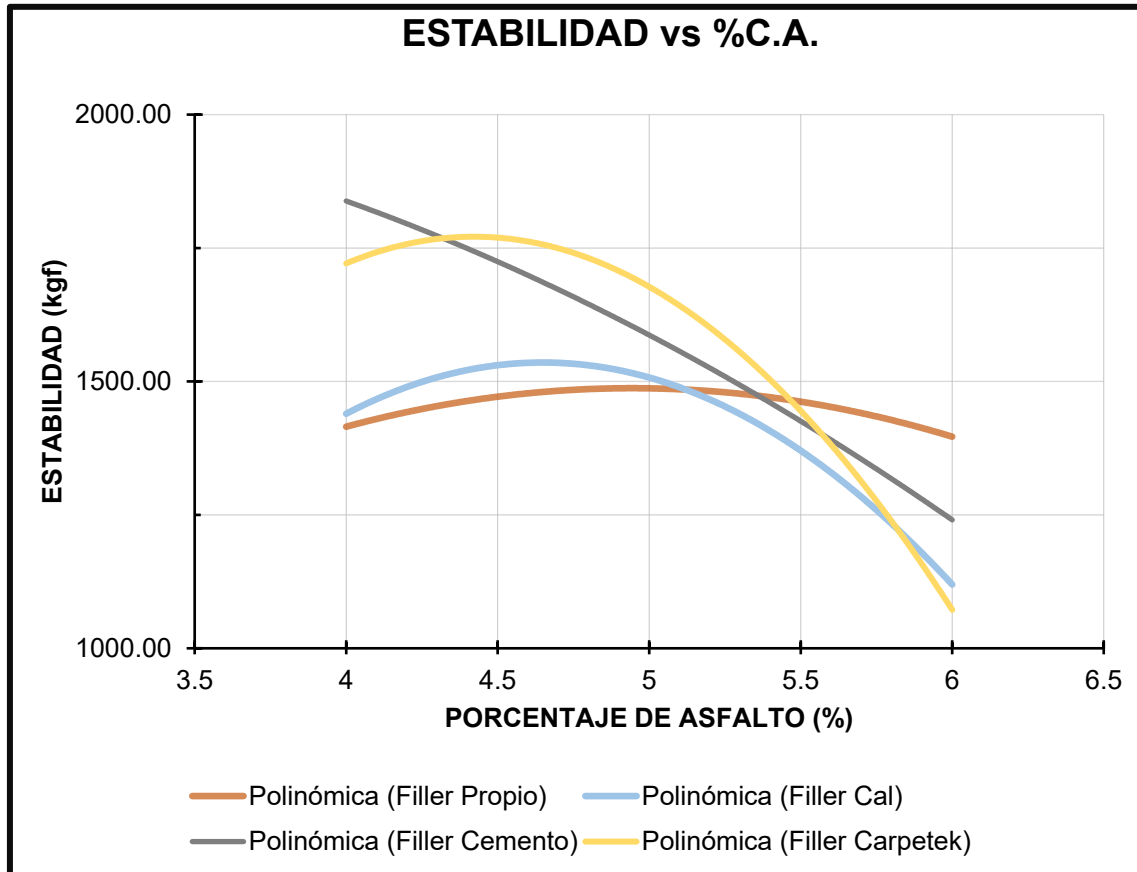
Fuente: Elaboración propia

En todos los casos se puede notar que el peso unitario se incrementa conforme se aumenta la cantidad de cemento asfáltico en la mezcla hasta que llega un punto que procede a descender. Podemos notar que el diseño con filler puzolana micronizada y el diseño con filler cemento presentan un peso unitario mayor a los demás.

6.1.2. Análisis de estabilidad vs tipo de mezcla con variación de filler.

Gráfica 45:

Comparación entre estabilidad vs %C.A. entre mezclas asfálticas



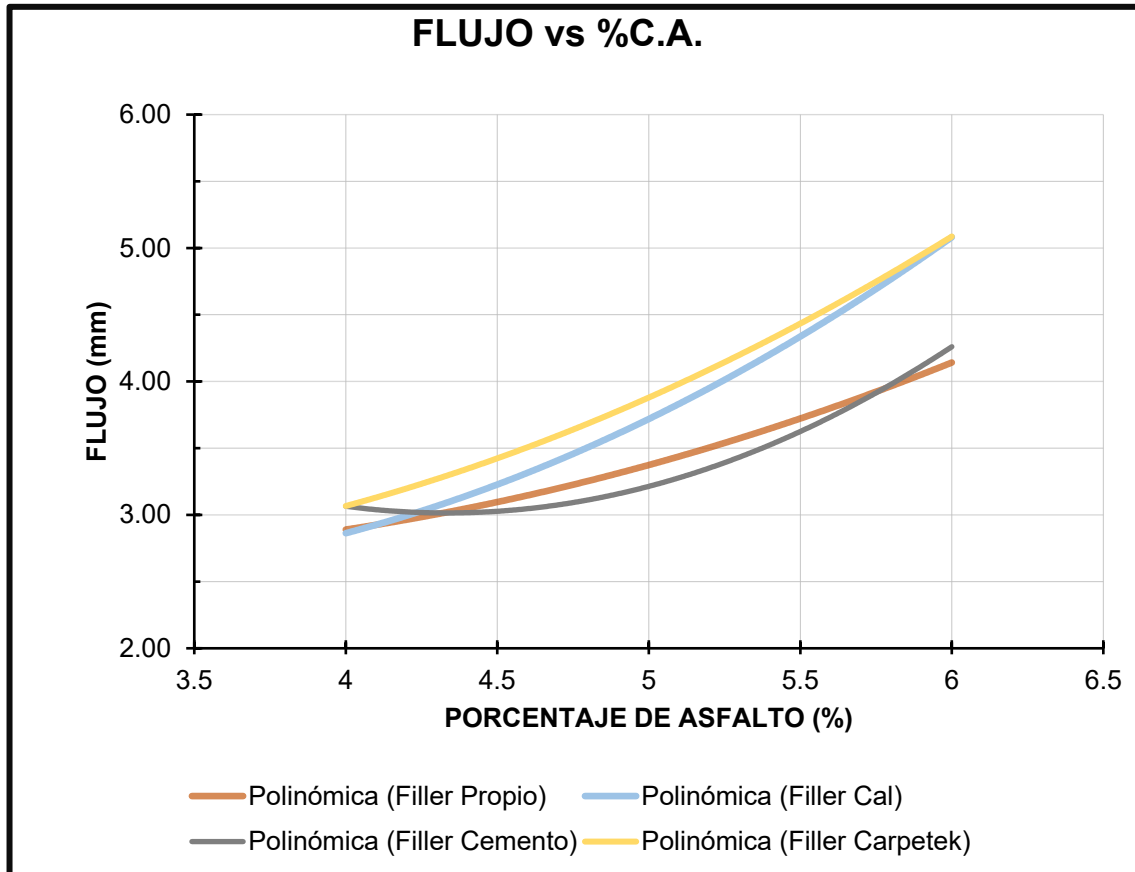
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica podemos seguir observando la similitud entre los diseños de filler puzolana micronizada y cemento, siendo sus valores de estabilidad mayores a los otros, pero disminuyen bruscamente cuando se incrementa el porcentaje de cemento asfáltico.

6.1.3. Análisis de flujo vs tipo de mezcla con variación de filler.

Gráfica 46:

Comparación entre flujo vs %C.A. entre mezclas asfálticas.



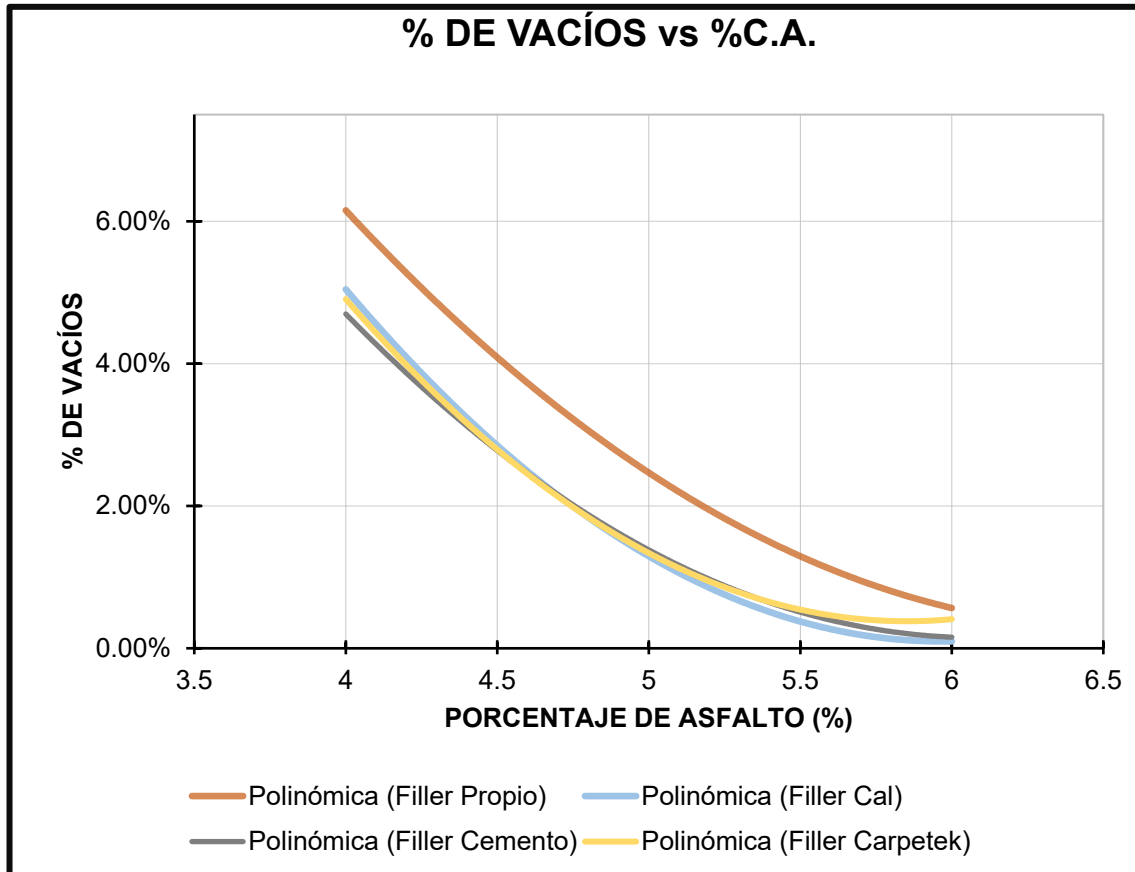
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica podemos observar que las propiedades entre el diseño con filler cemento y el diseño con filler puzolana micronizada siguen teniendo similitudes, los diseños con filler cal y filler propio presentan un mayor valor de fluencia.

6.1.4. Análisis de % de vacíos vs tipo de mezcla con variación de filler.

Gráfica 47:

Comparación entre % de vacíos vs %C.A. entre mezclas asfálticas.



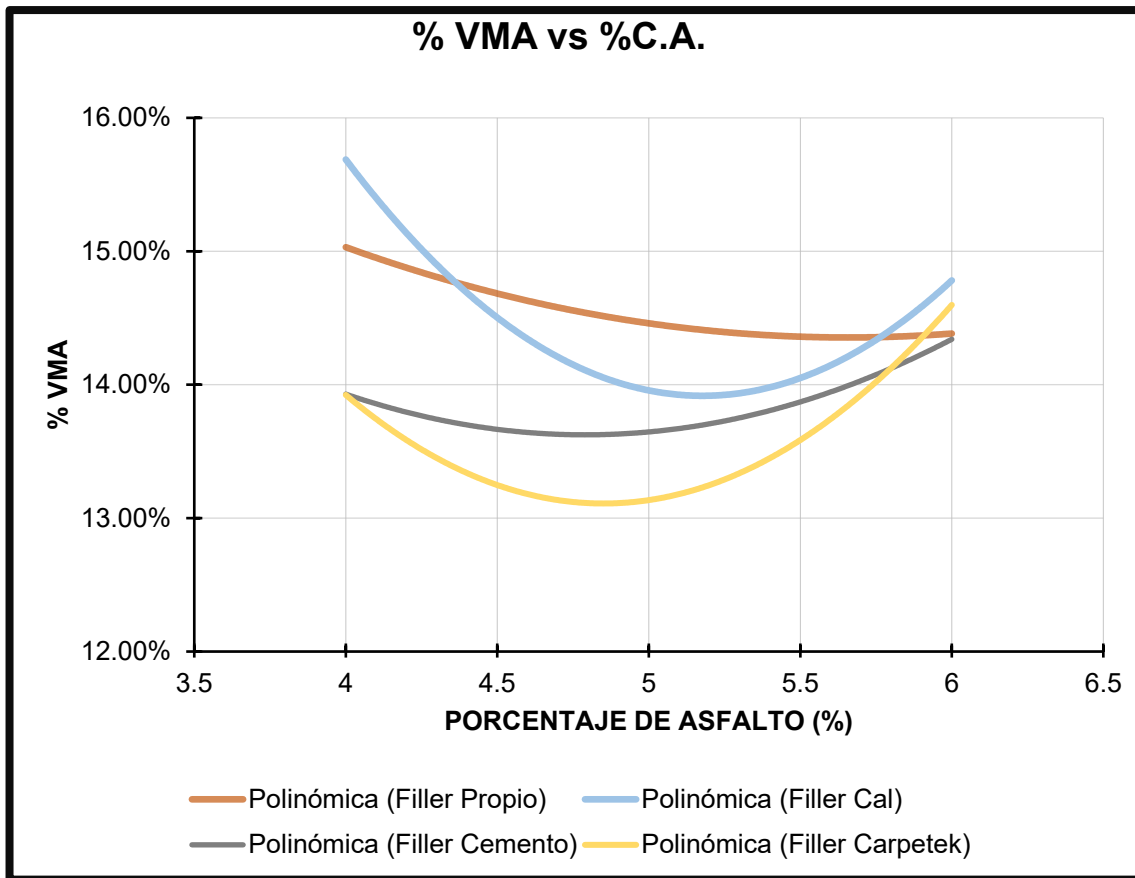
Fuente: Elaboración propia

En la gráfica podemos observar que el diseño con filler propio presenta mayor porcentaje de vacíos que los demás diseños, por esa razón tal vez, es el que peor desempeño tiene en el ensayo TSR.

6.1.5. Análisis de % de V.M.A. vs tipo de mezcla con variación de filler.

Gráfica 48:

Comparación entre % V.M.A. vs % C.A. entre mezclas asfálticas.



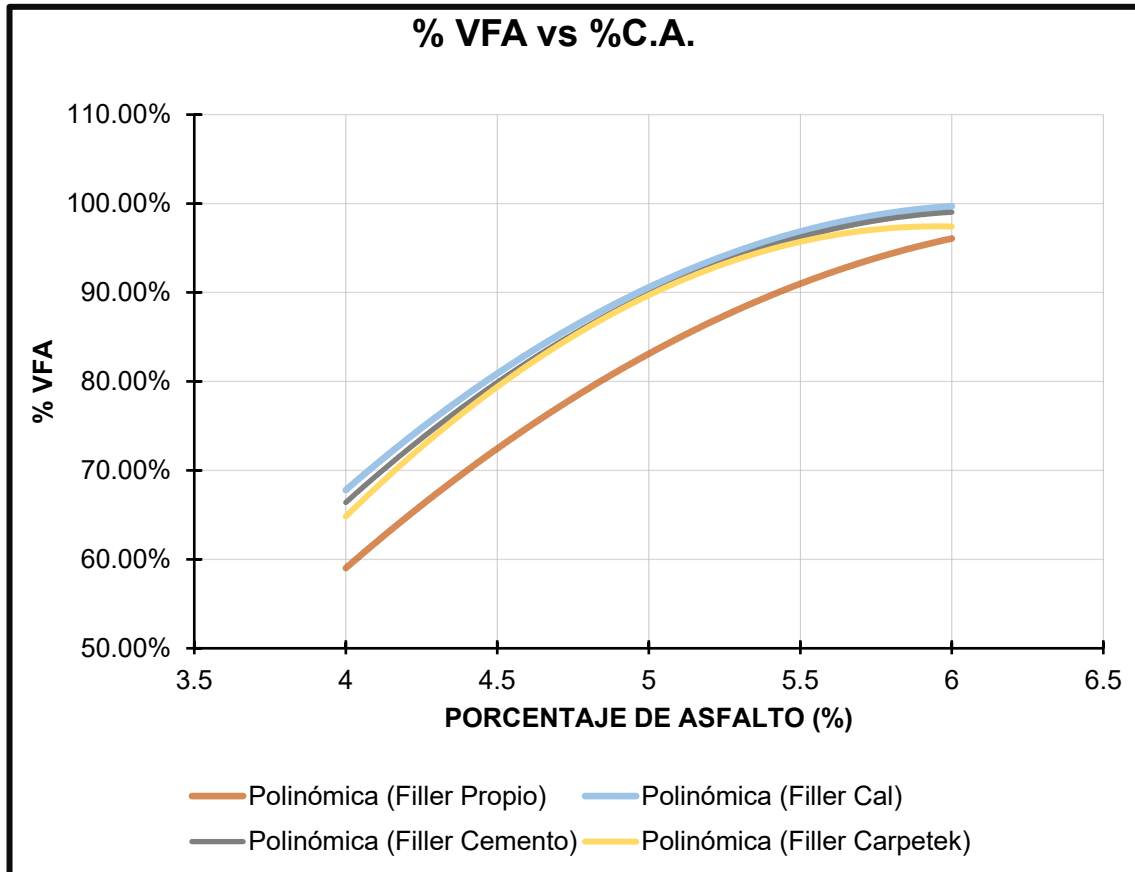
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico podemos observar que el diseño con filler propio y el diseño con cal son mayores al 14%, en cambio, los otros diseños son menores a este valor, lo cual indica la dependencia de esta propiedad a la variabilidad de filler.

6.1.6. Análisis de % de V.F.A. vs tipo de mezcla con variación de filler.

Gráfica 49:

Comparación entre % V.F.A. vs % C.A. entre mezclas asfálticas.



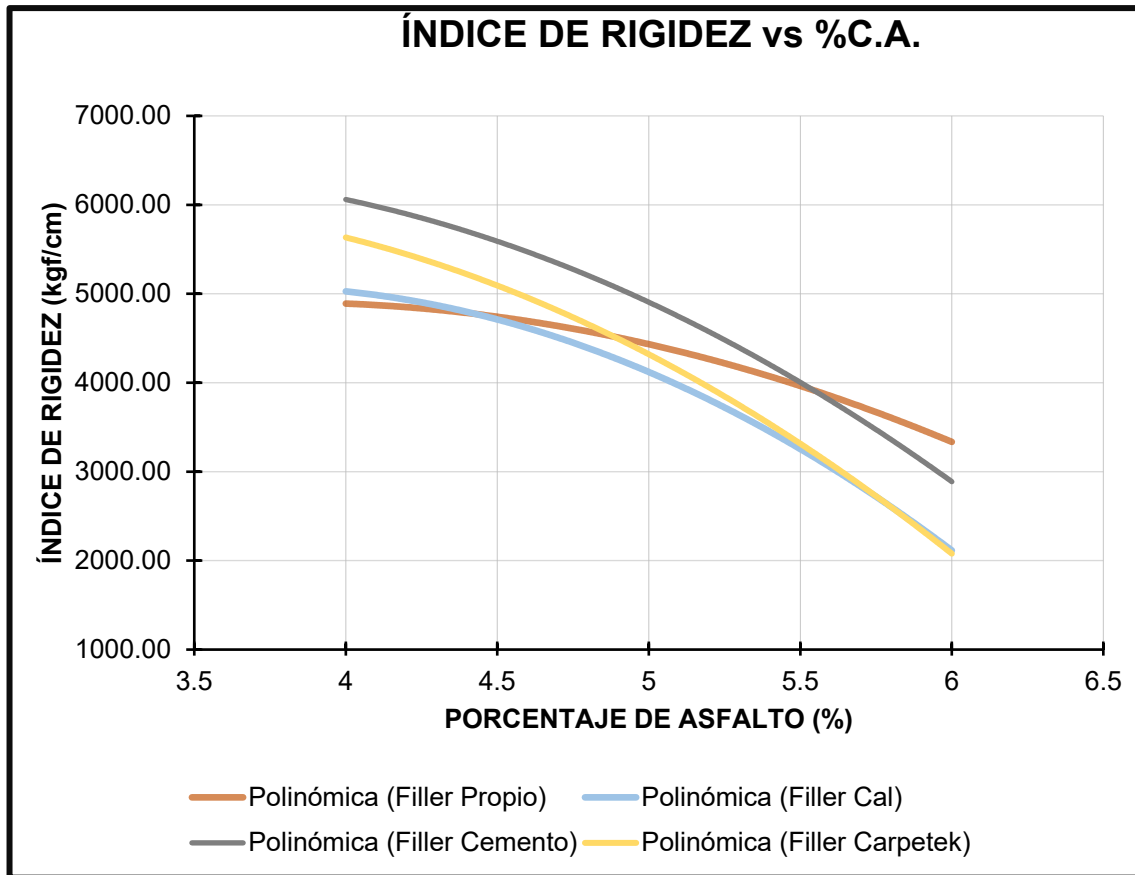
Fuente: Elaboración propia

En el gráfico podemos observar que todos los diseños, excepto el diseño con filler propio, tienen resultados similares. El diseño con filler propio presenta menos porcentaje de vacíos llenos con asfalto.

6.1.7. Análisis de Índice de rigidez vs tipo de mezcla con variación de filler

Gráfica 50:

Comparación entre Índice de rigidez vs %C.A. entre mezclas asfálticas.



Fuente: Elaboración propia

En la gráfica nos damos cuenta de que el diseño con filler cemento presenta mayores valores de rigidez a comparación de los demás diseños. También podemos mencionar que los valores del diseño con filler propio no descienden tan bruscamente como los demás diseños.

6.2. Comparación y análisis de desempeño por humedad de la mezcla asfáltica.

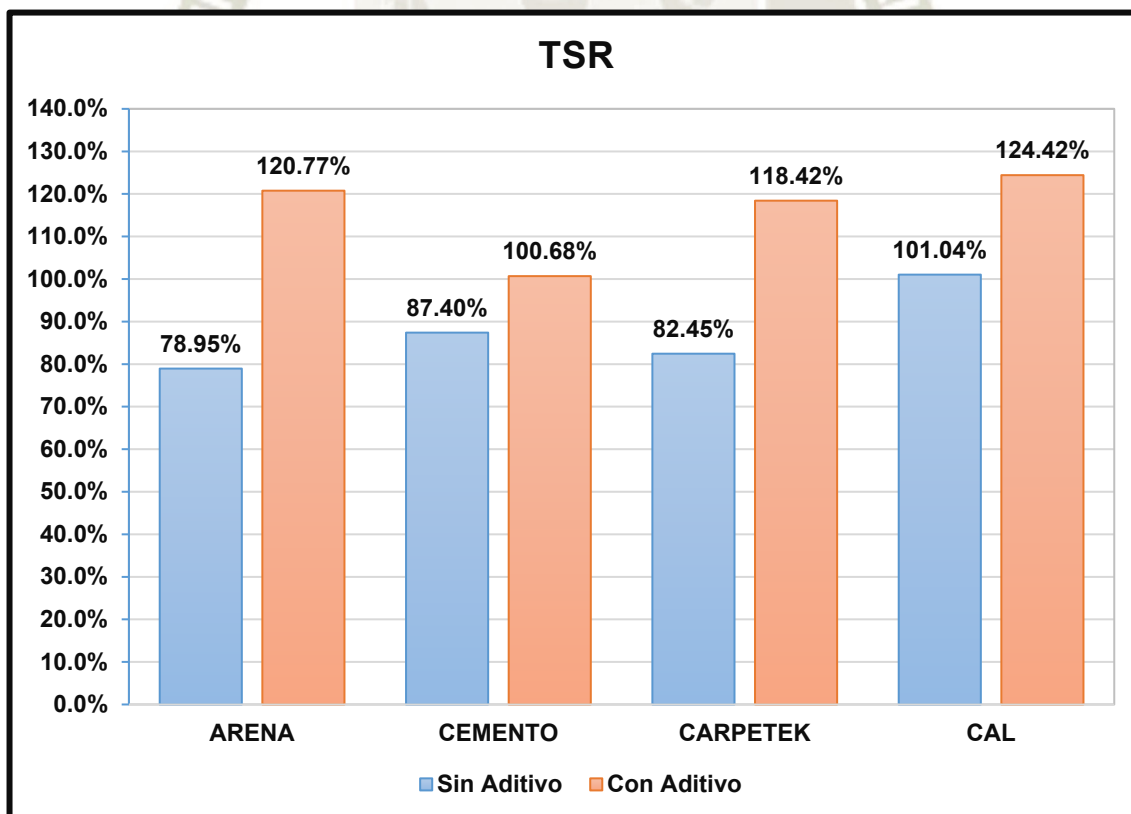
6.2.1. Comparación y análisis por daño por humedad – resistencia conservada en el ensayo de tracción indirecta – TSR.

Previamente definidos en el capítulo V, los porcentajes de daño por humedad inducidos tanto de la mezclas convencionales y mezclas adicionadas se llega a la conclusión de lo siguiente:

En la gráfica 51 se representa en un gráfico de barras los resultados del ensayo TSR (ensayo de resistencia al daño inducido por humedad), en azul los valores de la mezcla asfáltica convencional, sin aditivo; en naranja podemos observar los valores de esta mezcla asfáltica adicionando el aditivo antistripping utilizado en esta investigación.

Gráfica 51:

Daño inducido por humedad en mezclas asfálticas convencionales vs mezclas adicionada.



Fuente: Elaboración propia

Se puede mencionar que el filler Cal es el más efectivo contra el daño por humedad, logrando un valor cercano al 100% sin usar aditivo. Los siguientes valores más altos fueron

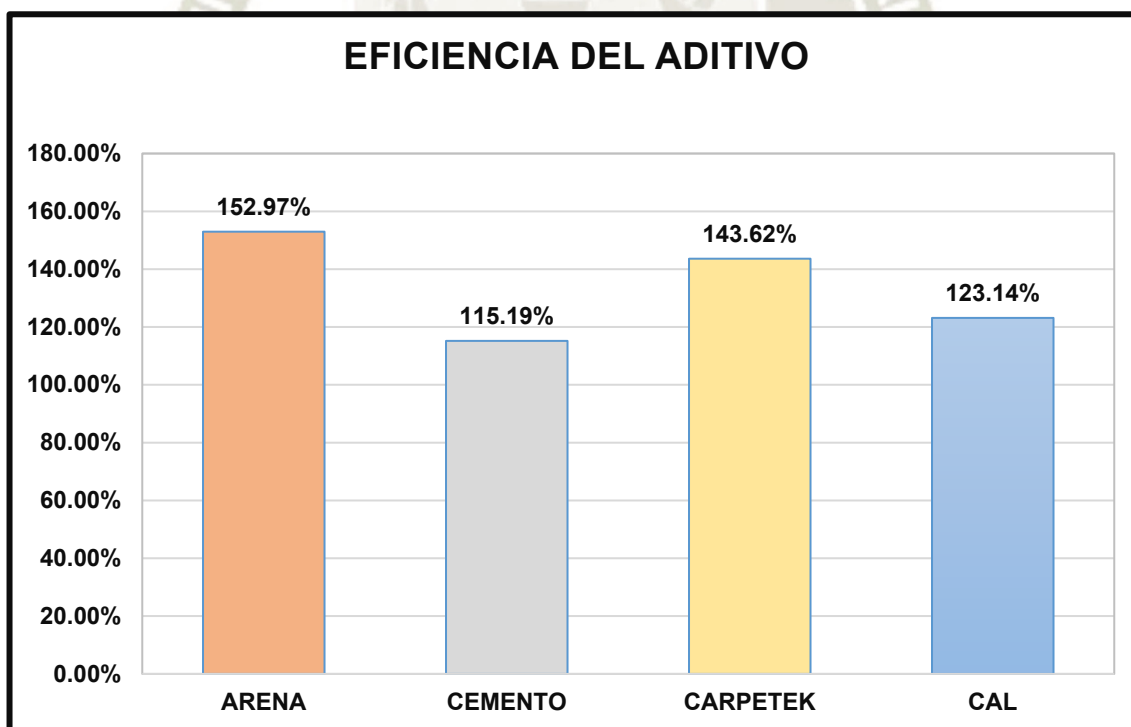
los diseños que utilizaron filler cemento y filler puzolana micronizada, siendo el primero un poco mayor, ambos pasando la barrera del 80% que dicta la norma. El diseño con filler propio se queda atrás, no cumpliendo los requisitos de la norma y por lo tanto no apto si queremos un pavimento resistente a la humedad y durable.

Asimismo, se advierte también que el uso de aditivo en 1% aumenta de forma significativa la resistencia a la humedad, con todos los valores cercanos al 120%, lo cual indica la gran efectividad del uso de este material.

Es necesario indicar también que el uso del aditivo antistripping resultó menos eficiente en el diseño en que se utilizó cemento como llenante a comparación de los demás diseños. En la gráfica 52 se puede observar más claramente este suceso:

Gráfica 52:

Eficiencia del aditivo en la mezcla asfáltica.



Fuente: Elaboración propia

Se puede mencionar que el diseño con filler propio, que resultó con menor valor en el ensayo TSR y que no cumplía con la norma, obtuvo muy buenos resultados cuando se le

agregó aditivo mejorador de adherencia, superando incluso al diseño con filler cemento y puzolana micronizada.





CAPÍTULO VII

7. ANALISIS ECONOMICO

7.1. Mezcla asfáltica convencional con filler y adicionada con aditivo.

Se realizó el análisis económico de la mezcla asfáltica, tomando el m³ como unidad.

Las cantidades y precios que se muestran en el análisis de precios unitarios son considerados como trabajo en planta.

No se realizará análisis de precios unitarios de transporte ni de colocación de mezcla asfáltica porque en nuestra investigación solo va a variar los materiales de preparación de la mezcla.

7.1.1. Mezcla Asfáltica Convencional para pavimentos.

En la siguiente tabla se puede observar el porcentaje de peso total de la mezcla por cada tipo de filler.

Tabla 60:

Dosificación de mezcla asfáltica

	Peso (gf)			
	Cal	Cemento	Puzolana micronizada	Arena
	5.0%	5.0%	5.0%	4.5%
Grava 1/2"	48.45%	48.45%	48.45%	48.71%
Arena	43.70%	43.70%	43.70%	43.93%
Filler	2.85%	2.85%	2.85%	2.86%
Cemento Asfáltico	5.00%	5.00%	5.00%	4.50%
	100%	100%	100%	100%

Fuente: Elaboración propia

7.1.2. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cal hidratada.

Tabla 61:

Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cal hidratada.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Totales
	1/2"	Arena	Filler		
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.45	1.012	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2450	1012	
% óptimo de mezcla en peso	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	100.00%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	581.40	524.40	34.20	60.00	1200.00
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2436.39				
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1180.43	1064.70	69.44	121.82	2436.39
% de mezcla	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.81	0.68	0.03	0.12	1.64
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			69.44	120.37	
gal (Cem. Asf.)				31.80	
Corrección (2% desperdicio)	0.83	0.70	70.83	32.44	

Fuente: Elaboración propia

7.1.3. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cemento Portland IP.

Tabla 62:

Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cemento Portland.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Totales
	1/2"	Arena	Filler		
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.82	1.012	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2820	1012	
% óptimo de mezcla en peso	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	100.00%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	581.40	524.40	34.20	60.00	1200.00
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2448.63				
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1186.36	1070.05	69.79	122.43	2448.63
% de mezcla	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.82	0.69	0.02	0.12	1.65
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			69.79	120.98	
gal (Cem. Asf.)				31.96	
Corrección (2% desp.)	0.83	0.70	71.18	32.60	

Fuente: Elaboración propia

7.1.4. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler puzolana micronizada.

Tabla 63:

Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler puzolana micronizada.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Totales
	1/2"	Arena	Filler		
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.82	1.012	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2820	1012	
% óptimo de mezcla en peso	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	100.00%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	581.40	524.40	34.20	60.00	1200.00
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2456.80				
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1190.32	1073.62	70.02	122.84	2456.80
% de mezcla	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.82	0.69	0.02	0.12	1.65
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			70.02	121.38	
gal (Cem. Asf.)				32.07	
Corrección (2% desp.)	0.83	0.70	71.42	32.71	

Fuente: Elaboración propia

7.1.5. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=4.5% y con filler polvo de arena.

Tabla 64:

Aporte de la mezcla asfáltica con 4.5% de C.A con filler Polvo de arena.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Totales
	1/2"	Arena	Filler		
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.68	1.012	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2680	1012	
% óptimo de mezcla en peso	48.71%	43.93%	2.86%	4.50%	100.00%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	584.46	527.16	34.38	54.00	1200.00
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2436.39				
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1186.64	1070.30	69.80	109.64	2436.39
% de mezcla	48.71%	43.93%	2.86%	4.50%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.82	0.69	0.03	0.11	1.64
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			69.80	108.34	
gal (Cem. Asf.)				28.62	
Corrección (2% desp.)	0.83	0.86	0.00	29.20	

Fuente: Elaboración propia

7.1.6. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cal hidratada, adicionado con aditivo.

Tabla 65:

Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cal hidratada, adicionada con aditivo.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Aditivos Ricot 3000	Totales
	1/2"	Arena	Filler			
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.45	1.012	0.996	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2450	1012	996	
% óptimo de mezcla en peso	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	0.05%	100.05%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	581.40	524.40	34.20	60.00	0.60	1200.60
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2436.39					
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1180.43	1064.70	69.44	121.82	1.22	2437.61
% de mezcla	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	0.05%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.81	0.68	0.03	0.12	0.0012	1.65
kgf (filler y aditivo) - litros (Cem. Asf.)			69.44	120.37	1.22	
gal (Cem. Asf.)				31.80		
Corrección (2% desp.)	0.83	0.70	70.83	32.44	1.46	

Fuente: Elaboración propia

7.1.7. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler cemento Portland IP, adicionado con aditivo.

Tabla 66:

Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler cemento Portland, adicionada con aditivo.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Aditivos Ricot 3000	Totales
	1/2"	Arena	Filler			
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.82	1.012	0.996	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2820	1012	996	
% óptimo de mezcla en peso	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	0.05%	100.05%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	581.40	524.40	34.20	60.00	0.60	1200.60
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2448.63					
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1186.36	1070.05	69.79	122.43	1.22	2449.85
% de mezcla	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	0.05%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.82	0.69	0.02	0.12	0.0012	1.65
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			69.79	120.98	1.22	
gal (Cem. Asf.)				31.96		
Corrección (2% desp.)	0.83	0.70	71.18	32.60	1.25	

Fuente: Elaboración propia

7.1.8. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=5.0% y con filler puzolana micronizada, adicionado con aditivo.

Tabla 67:

Aporte de la mezcla asfáltica con 5% de C.A con filler puzolana micronizada, adicionada con aditivo.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Aditivos	Totales
	1/2"	Arena	Filler		Ricot 3000	
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.82	1.012	0.996	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2820	1012	996	
% óptimo de mezcla en peso	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	0.05%	100.05%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	581.40	524.40	34.20	60.00	0.60	1200.60
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2456.80					
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1190.32	1073.62	70.02	122.84	1.23	2458.03
% de mezcla	48.45%	43.70%	2.85%	5.00%	0.05%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.82	0.69	0.02	0.12	0.0012	1.66
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			70.02	121.38	1.23	
gal (Cem. Asf.)				32.07		
Corrección (2% desp.)	0.83	0.70	71.42	32.71	1.25	

Fuente: Elaboración propia

7.1.9. Aporte de la mezcla asfáltica con C.A.=4.5% y con filler polvo de arena.

Tabla 68:

Aporte de la mezcla asfáltica con 4.5% de C.A con filler polvo de arena, adicionada con aditivo.

	Agregados			Cemento Asfáltico	Aditivos	Totales
	1/2"	Arena	Filler		Ricot 3000	
Pe suelto (gf/cm ³)	1.455	1.557	2.68	1.012	0.996	
Pe suelto (kgf/m ³)	1455	1557	2680	1012	996	
% óptimo de mezcla en peso	48.71%	43.93%	2.86%	4.50%	0.04%	100.04%
Para 1200 kgf se necesita x kgf de mezcla	584.46	527.16	34.38	54.00	0.54	1200.54
Peso volumétrico de la mezcla compactada (kgf/m ³)	2436.39					
Para el peso volumétrico, cuanto de material necesito en peso por m ³ de mezcla	1186.64	1070.30	69.80	109.64	1.10	2437.48
% de mezcla	48.71%	43.93%	2.86%	4.50%	0.04%	100%
Volumen de insumos en m ³ para 1 m ³ de mezcla asfáltica	0.82	0.69	0.03	0.11	0.0011	1.64
kgf (filler) - litros (Cem. Asf.)			69.80	108.34	1.10	
gal (Cem. Asf.)				28.62		
Corrección (2% desp.)	0.83	0.86	0.00	29.20	1.32	

Fuente: Elaboración propia

7.2. Análisis de precios unitarios de la preparación de mezclas asfálticas.

En todos los casos, los rendimientos, la Mano de Obra y los equipos son iguales, ya que, la única variable se encuentra en la cantidad de materiales, el tipo de filler y el precio de éste.

Tabla 69:

Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cal hidratada.

1.01		PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON FILLER CAL HIDRATADA			Junio - 2021	
m ³ /DIA	360.0000	EQ.	360.0000	Costo por m ³ :	635.02	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		32.4392	13.00	421.71	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8275	70.00	57.93	
ARENA GRUESA	m ³		0.6975	60.00	41.85	
CAL HIDRATADA	kgf		70.8257	0.74	52.55	
					621.24	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 70:

Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cemento Portland IP.

1.02		PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON FILLER CEMENTO IP				Junio - 2021
m ² /DIA	360.0000	EQ.	360.0000	Costo por m ² :	614.98	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		32.6021	13.00	423.83	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8317	70.00	58.22	
ARENA GRUESA	m ³		0.7010	60.00	42.06	
CEMENTO PORTLAND 1	kgf		71.1815	0.42	29.90	
					601.20	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 71:

Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler puzolana micronizada.

1.03		PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON FILLER PUZOLANA MICRONIZADA.				Junio - 2021
m ² /DIA	360.0000	EQ.	360.0000	Costo por m ² :	615.40	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		32.7109	13.00	425.24	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8345	70.00	58.41	
ARENA GRUESA	m ³		0.7033	60.00	42.20	
FILLER CARPETEK	kgf		71.4191	0.40	28.57	
					601.62	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 72:
Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler polvo de arena.

1.04		PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE FILLER PROPIO			Junio - 2021	
m ³ /DIA	360.0000	EQ.	360.0000	Costo por m ³ :	545.31	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		28.9079	13.00	375.80	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8237	70.00	57.66	
ARENA GRUESA	m ³		0.8477	60.00	50.86	
FILLER ARENA	kgf		0.0000	0.00	0.00	
					531.52	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 73:
Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cal hidratada, adicionada con aditivo.

1.05		PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON FILLER CAL HIDRATADA CON ADITIVO			Junio - 2021	
m ³ /DIA	360.0000	EQ.	360.00	Costo por m ³ :	660.17	
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		32.4392	13.00	421.71	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8275	70.00	57.93	
ARENA GRUESA	m ³		0.6975	60.00	41.85	
CAL HIDRATADA	kgf		70.8257	0.74	52.55	
ADITIVO RICOT 3000	kgf		1.2426	20.24	25.15	
					646.39	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 74:
Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler cemento Portland IP, con aditivo.

1.06 PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON FILLER CEMENTO I CON ADITIVO		EQ. 360.0000		Costo por m ³ :	640.26	Junio - 2021
m ³ /DIA	360.0000					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		32.6021	13.00	423.83	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8317	70.00	58.22	
ARENA GRUESA	m ³		0.7010	60.00	42.06	
CEMENTO PORTLAND 1	kgf		71.1815	0.42	29.90	
ADITIVO RICOT 3000	kgf		1.2488	20.24	25.28	
					626.48	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 75:
Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler puzolana micronizada, con aditivo.

1.07 PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE CON FILLER PUZOLANA MICRONIZADA CON ADITIVO		EQ. 360.0000		Costo por m ³ :	641.48	Junio - 2021
m ³ /DIA	360.0000					
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
OPERARIO	hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56	
PEON	hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49	
					3.05	
Materiales						
PETROLEO	gal		4.0000	11.80	47.20	
ASFALTO PEN 85-100	gal		32.7109	13.00	425.24	
PIEDRA CHANCADA 1/2"	m ³		0.8345	70.00	58.41	
ARENA GRUESA	m ³		0.7033	60.00	42.20	
FILLER CARPETEK	kgf		71.4191	0.41	29.28	
ADITIVO RICOT 3000	kgf		1.2530	20.24	25.36	
					627.70	
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES	%mo		5.0000	3.05	0.15	
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP	hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95	
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h	hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63	
					10.73	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 76:
Precio unitario de mezcla asfáltica en caliente con filler polvo de arena, con aditivo.

1.08 PREPARACIÓN MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE FILLER PROPIO CON ADITIVO		Junio - 2021				
m ² /DIA	360.0000	EQ.	360.0000	Costo por m ³ :	567.72	
Descripción Recurso		Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra						
OPERARIO		hh	3.0000	0.0667	23.44	1.56
PEON		hh	4.0000	0.0889	16.76	1.49
						3.05
Materiales						
PETROLEO		gal		4.0000	11.80	47.20
ASFALTO PEN 85-100		gal		28.9079	13.00	375.80
PIEDRA CHANCADA 1/2"		m ³		0.8237	70.00	57.66
ARENA GRUESA		m ³		0.8477	60.00	50.86
FILLER ARENA		kgf		0.0000	0.00	0.00
ADITIVO RICOT 3000		kgf		1.1073	20.24	22.41
						553.94
Equipos						
HERRAMIENTAS MANUALES		%mo		5.0000	3.05	0.15
CARGADOR SOBRE LLANTAS DE 125-135 HP		hm	1.0000	0.0222	177.95	3.95
PLANTA DE ASFALTO CALIENTE M.E. 50.65 - 115 ton/h		hm	1.0000	0.0222	298.51	6.63
						10.73

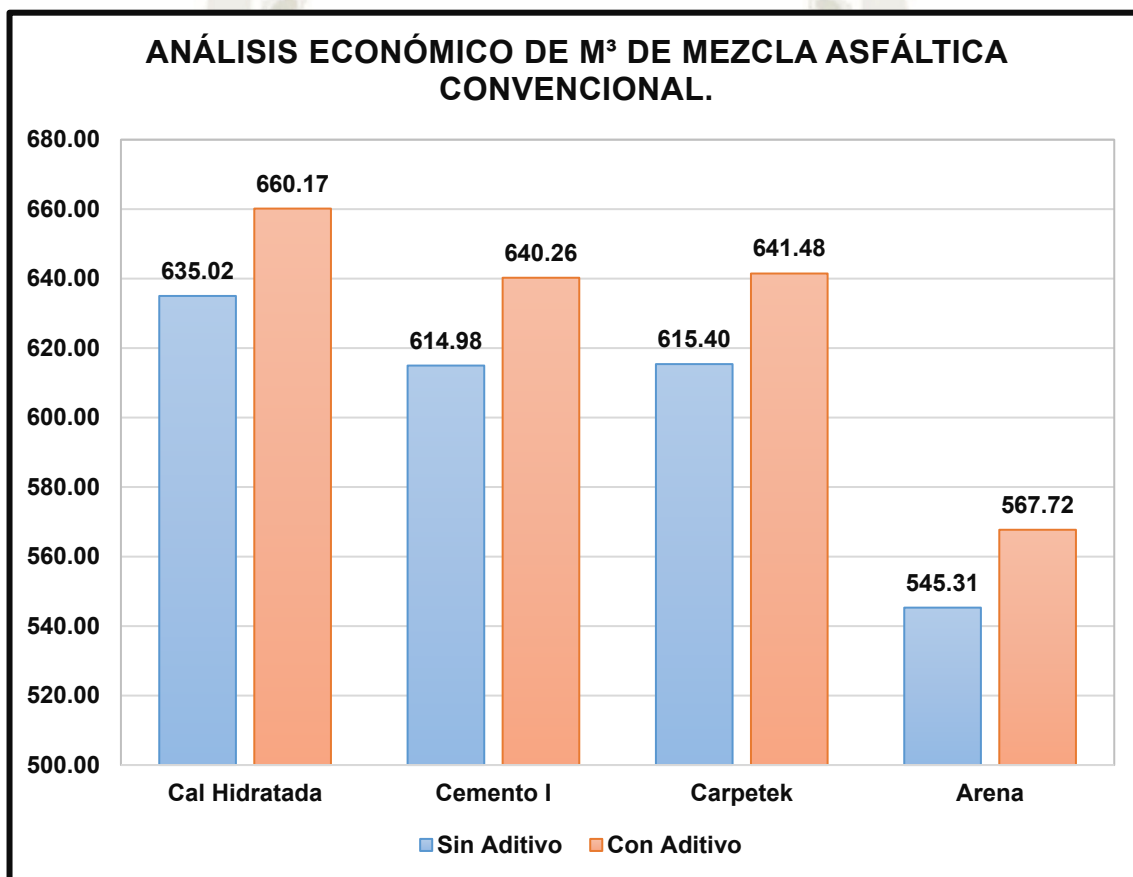
Fuente: Elaboración propia

7.2.1. Análisis y comparación económica de mezclas asfálticas convencionales y con filler distinto

En el gráfico de barras siguiente se muestran los precios de metro cúbico de mezcla asfáltica de cada diseño:

Gráfica 53:

Comparación económica de mezclas asfálticas convencionales con filler distinto.



Fuente: Elaboración propia

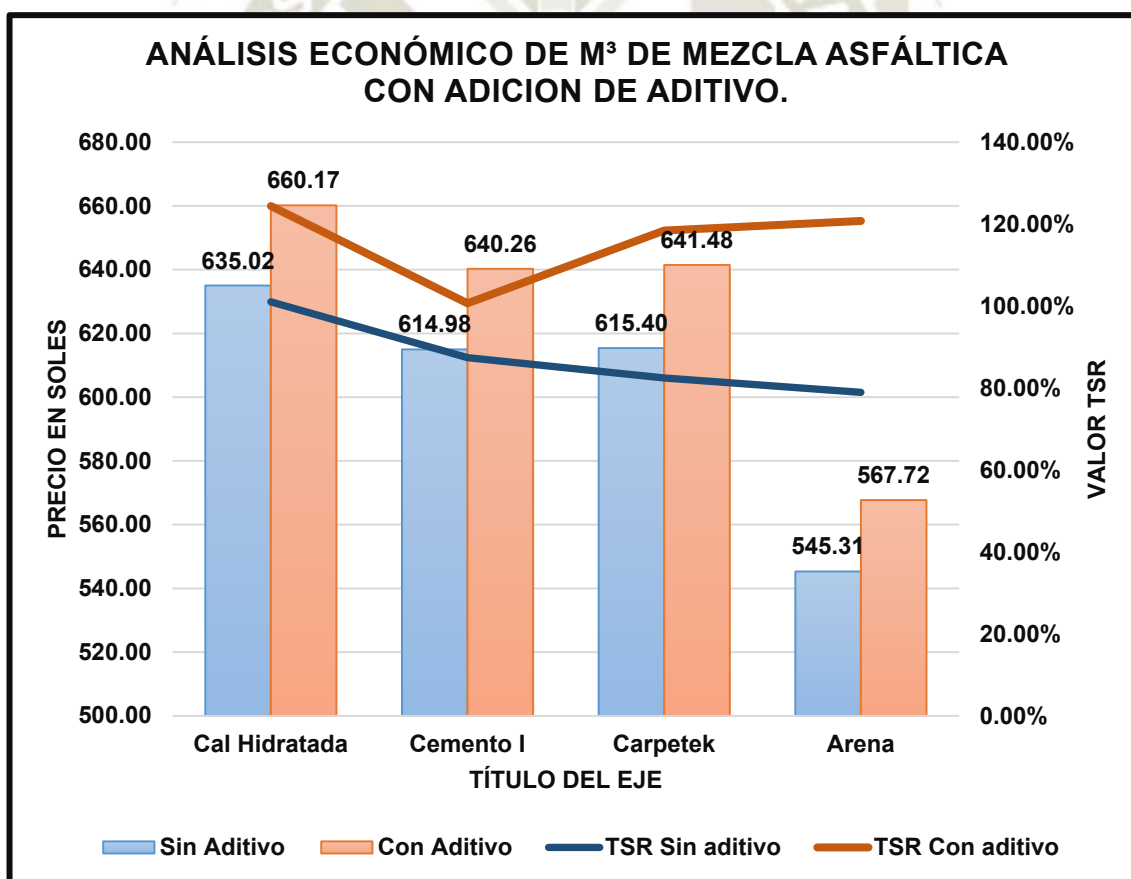
El gráfico nos indica que, como era de suponerse, una mezcla asfáltica que no requiera filler va a ser mucho más barata que uno que si lo requiera, pues se dejaría de utilizar un material relativamente costoso como el filler. Pero encontrar una arena que se adapte a los requerimientos granulométricos que dicta la norma es muy complicado, por eso es que para esta investigación fue necesario tamizar la arena para utilizar el pasante de la malla N°200 como llenante y cumplir con los requisitos de la norma. Si se encontrara un tipo de arena que

cumpla con los requisitos granulométricos, lo más probable es que esta tenga un índice de plasticidad no apto y no sea aceptada; y si incluso la plasticidad cumpliera con la norma, habría que observar que su valor de TSR supere el 80%, pues talvez no sea un agregado que ayude a resistir el daño por humedad en la mezcla asfáltica. Por lo tanto, es necesario mencionar que el diseño de mezcla con filler propio es totalmente teórico, utilizado en esta investigación solamente como punto de comparación y análisis.

7.2.1. Análisis y comparación económica de mezclas asfálticas convencionales y con adición de aditivo.

Gráfica 54:

Comparación económica de mezclas asfálticas convencionales con adición de aditivo.



Fuente: Elaboración propia

Del gráfico anterior se puede analizar costo y eficiencia ante el daño por humedad, pudiendo rescatar que, si bien el uso de cal hidratada como llenante tiene impresionantes

resultados al otorgar gran resistencia al factor humedad, es más costoso que utilizar cemento o puzolana micronizada como filler.

Los costos de la mezcla con filler cemento y con filler puzolana micronizada son muy parecidos, y su valor de resistencia a la humedad también, siendo la mezcla con cemento ligeramente superior.



CONCLUSIONES

1. Las mezclas asfálticas con filler cemento y puzolana micronizada alcanzaron porcentajes TSR de 87.40% y 82.45%, respectivamente; y la mezcla asfáltica utilizando filler del pasante de la malla N°200 de la arena obtuvo un factor de 78.95%.
2. Usar cal hidratada como filler otorga gran resistencia al daño por humedad a la mezcla asfáltica, en esta investigación, la cal hidratada obtuvo un valor TSR de 101.04%, lo cual la califica como el filler que mayor resistencia otorga a comparación de los demás materiales llenantes que se probaron en esta investigación.
3. Cuando a la mezcla asfáltica convencional se le agrega un aditivo mejorador de adherencia o antistripping mejora notoriamente su resistencia al daño por humedad. En esta investigación la mezcla con filler arena que sin aditivo alcanzó un factor TSR de 78.95%, con aditivo obtuvo un valor de 120.77%; la mezcla con filler cemento obtuvo sin aditivo un valor de 87.4%, con aditivo mejoró a razón de 100.68%; la mezcla con filler puzolana micronizada que alcanzó un valor TSR de 82.45% sin aditivo, con aditivo llegó a 118.42%; la mezcla con cal hidratada que obtuvo buenos resultados sin aditivo al llegar a 101.04%, con aditivo consiguió 124.42% de valor TSR.
4. Al usar aditivo en todas las mezclas usadas en esta investigación, seguimos notando una notoria superioridad de la cal hidratada a comparación de las demás; siendo la mezcla con filler cemento, la que con aditivo logró menos resistencia al daño por humedad, pues el aditivo en la mezcla con filler cemento lo mejora en un 115.19%, la menor efectividad en todos los casos probados. El valor TSR, usando aditivo en la mezcla con cal hidratada adicionó una resistencia de 123.14% a comparación de la mezcla sin aditivo. En la mezcla con filler puzolana micronizada el aditivo tuvo una eficiencia de un 143.62% y en la mezcla con filler propio, el aditivo alcanzó una eficiencia notoria de 152.97%.

5. En el análisis cualitativo de los diferentes especímenes ensayados por la mordaza Lottman se puede determinar en 3 grupos, los especímenes ensayados en seco presentan en su mayoría daño por fractura en la grava en un 40%. Mientras que los especímenes acondicionados dependiendo su filler utilizado presento desprendimiento, cal hidratada en 60%, cemento Portland en 60%, puzolana micronizada en 80% y polvo de arena 80%. En el tercer grupo adicionado con aditivo y en estado de acondicionamiento dependiendo su filler utilizado presento desprendimiento, cal hidratada en 20%, cemento Portland en 40%, puzolana micronizada en 40% y polvo de arena 20%.
6. Se determino el contenido óptimo de cemento asfáltico para las distintas mezclas asfálticas en caliente con distinto material de relleno, para las mezclas con material de relleno cal hidratada, cemento Portland y puzolana micronizada es 5% y su dosificación está distribuida 48.45% de grava, 43.70% de arena y 2.85% de filler; en el caso del contenido óptimo de la mezcla con material de relleno de polvo de arena es 4.5% y su dosificación está distribuida 48.71% de grava, 43.93% de arena y 2.87% de filler.
7. Para los diseños óptimos de mezcla asfáltica en caliente, se utilizó en los cálculos, el peso específico teórico máximo obtenidos mediante el ensayo RICE, este influencio de manera significativa en el momento de seleccionar el contenido óptimo de asfalto comparándolo con el peso específico teórico máximo hallado en formula.
8. Las propiedades volumétricas y funcionales de la mezcla asfáltica dependen directamente de los agregados, siendo el filler uno de ellos, a pesar del pequeño porcentaje de éste que se usa en la mezcla (en este caso 3%), provocando variaciones en las propiedades, no solo en la resistencia al año por humedad, sino también en el peso unitario, porcentaje de vacíos, VMA, VFA, Flujo y estabilidad.
9. El costo del m³ de mezcla asfáltica de la mezcla cuando se usa filler cemento y filler puzolana micronizada es similar, siendo 614.98 y 615.40 soles respectivamente, y cuando

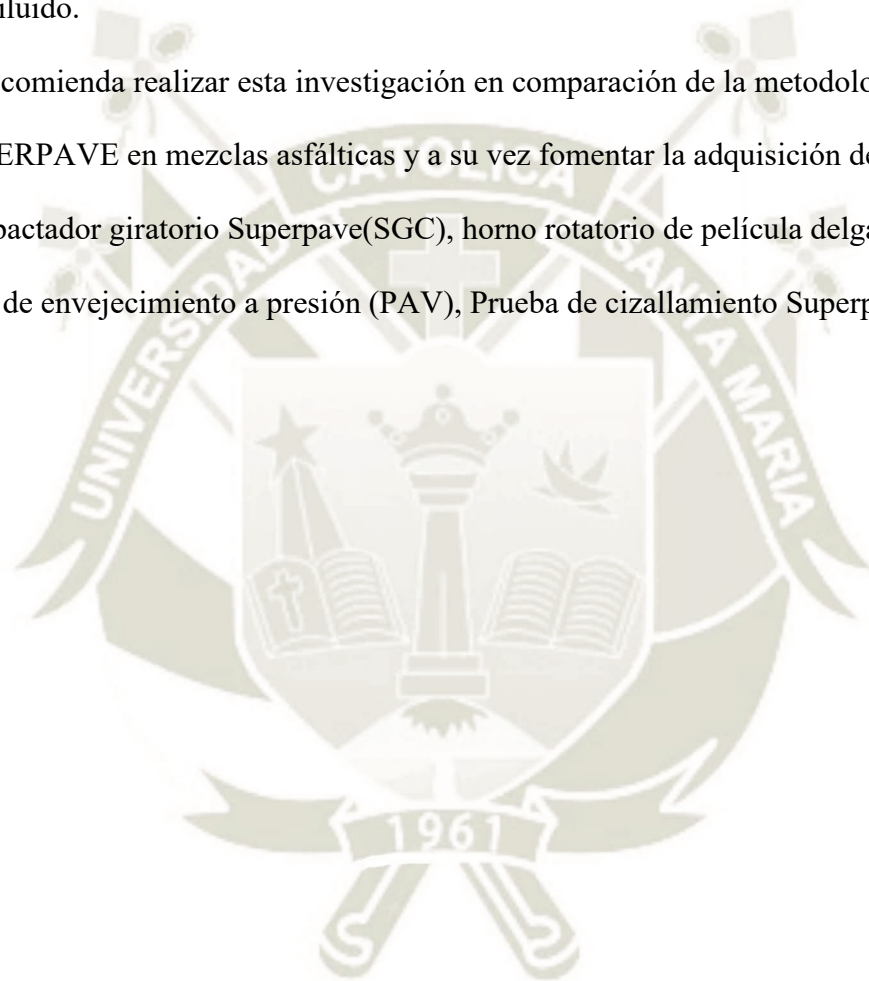
se agrega aditivo alcanzan los 640.26 y 641.28 soles, respectivamente. EL m³ de mezcla con filler cal hidratada es de 635.02 soles y con aditivo es de 660.17 soles. En el caso de que una mezcla no necesitara filler es mucho más barata, en el hipotético caso que presentamos, alcanza un costo de 545.31 soles y con aditivo cuesta 567.12 soles. La mezcla asfáltica usando la cal hidratada como filler es más costoso que las demás, pero claramente con mejores resultados en relación con la resistencia al agua. Asimismo, usar aditivo aumenta el costo del m³ de mezcla, pero logra una resincia al daño por humedad superlativa.

10. En la caracterización de agregados con los cuales se diseñaron y elaboraron las mezclas asfálticas provienen de la cantera “La Poderosa” de la ciudad de Arequipa, como resultado de dicha caracterización se concluye que el agregado fino tiene resultados óptimos y dentro de los límites a excepción de la absorción, por ende se recurrió a la excepcionalidad de la norma donde se verifica las propiedades de durabilidad de la mezcla asfáltica; mientras que el agregado grueso cumple en su totalidad los parámetros establecidos por el Manual de Carreteras del Perú – EG 2013.
11. Tras el análisis de la información obtenida de los ensayos realizados en las distintas mezclas asfálticas, se puede concluir que el ensayo TSR es un buen acercamiento para evaluar la susceptibilidad de daño por humedad para mezclas convencionales en caliente, siendo fundamental tenerlo en consideración al momento de realizar diseños de mezclas.
12. Resaltamos la importancia de ensayar las mezclas asfálticas mediante el ensayo TSR para lograr carreteras más durables, tratando de que se tome conocimiento y conciencia de la importancia de identificar la susceptibilidad al daño por humedad de las mezclas asfálticas.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda el uso de aditivo mejorador de adherencia o “antistripping” en casos de que la mezcla no supere el requisito TSR que no pide la norma, pues en esos casos la eficiencia del aditivo será máxima.
2. Es recomendable el uso de la cal hidratada en mezclas asfálticas destinadas a vías continuamente sometidas al agua, así como en aquellas que todos los años se deben estar parchando pues el daño que provocan las lluvias es evidente.
3. Se recomienda investigar la eficiencia de la cantidad de aditivo que se usa en la mezcla asfáltica, en relación con la resistencia que la mezcla asfáltica al ensayo TSR.
4. Es recomendable la investigación de otros materiales que se pueden adicionar a la mezcla asfáltica para mejorar su resistencia al daño por humedad como SBS, cauchos, termoplásticos, otros modificadores químicos o fibras; y compararlas con las presentes en la presente investigación.
5. Según el AASHTO T 283 se tiene que realizar un análisis visual, para el cual se recomienda utilizar el microscopio electrónico de barrido (SEM: Scanning Electron Microscope), el cual examina las muestras con mayor precisión.
6. Para complementar los ensayos volumétricos realizados, en caso alguna propiedad volumétrica no tenga los resultados esperados (como el VFA, VMA o Índice de Rigidez) es necesario realizar un ensayo de desempeño como el ensayo de Rueda de Hamburgo.
7. El almacenaje de los agregados utilizados en la mezcla asfáltica tales como, grava, arena y filler, deberán mantenerse en todo momento conservado en un ambiente secos o si es posible empacarlos, para poder obtener resultados apropiados en los ensayos de granulometría y caracterización de agregados en general.

8. Para los ensayos de probetas compactas del ensayo TSR es recomendable realizar 02 especímenes adicionales, debido que estas pueden fallar en los ensayos de acondicionamiento previos al ensayo propiamente dicho.
9. Se recomienda utilizar el aditivo adherente junto después de verter el cemento asfáltico en el agregado, debido que la temperatura que alcanza el cemento asfáltico es ideal para ser diluido.
10. Se recomienda realizar esta investigación en comparación de la metodología SUPERPAVE en mezclas asfálticas y a su vez fomentar la adquisición de equipos como compactador giratorio Superpave(SGC), horno rotatorio de película delgada (RTFOT), vaso de envejecimiento a presión (PAV), Prueba de cizallamiento Superpave(SST).



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

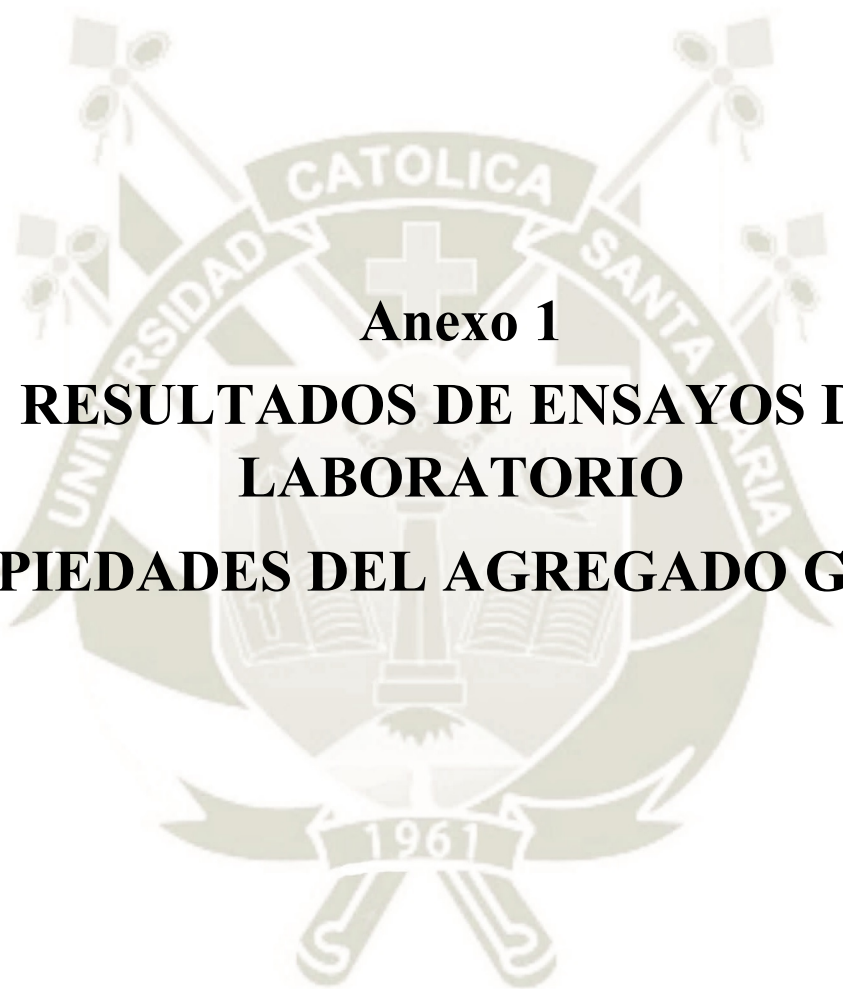
- Aguiar, J. (2014) Caracterización del daño por humedad en mezclas asfálticas. Boletín Técnico Vol. 5 No. 54. PITRA. LANammeUCR.
- Aguilar Velásquez, D. A. (2019). Análisis de desempeño por humedad de una mezcla asfáltica convencional con gradación Marshall y SUPERPAVE. Arequipa, Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Aranda, J. (2017) Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas en caliente utilizando Ensayo TSR. Universidad Técnica Federico Santa María.
- ASTM D4867, 2014. Standard Test Method for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures.
- Caro-Spinel, S. y A. Alvarez-Lugo, 2011. Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas empleando propiedades termodinámicas. Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquia.
- Cubillos Estrella, C., & Núñez Galeano, C. (2013). ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD AL DAÑO POR HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA PARA RODADURA EMPLEANDO ASFALTOS SUMERGIDOS. Bogotá D.C. Colombia.: Pontificia Universidad Javeriana Colombia FACULTAD DE INGENIERÍA, Maestría en Ingeniería Civil.
- Figueroa, A. (2015) Investigación sobre el efecto del agua en el asfalto y su impacto en la mezcla asfáltica. Pontificia Universidad Javeriana.
- Gonzales Prado, G. (2018, 7 abril). Requisitos de la cal hidratada para su uso en mezcla asfáltica en caliente. Wordpress.
- Howard, I., Gallivan, V., Huber, G. (2012) Workshop Introduction, Moisture Damage to Hot-Mix Asphalt Mixtures - Synopsis of a Workshop. Transportation Research Circular E-C198.

- Jiménez, M., Sibaja, D. (2009). Mezclas asfálticas en frío en Costa Rica, conceptos, ensayos y especificaciones.
- Kringos, N., Azari, H. y Scarpas A. (2009) Identification of Parameters Related to Moisture Conditioning That Cause Variability in Modified Lottman Test. Transportation Research Record, Journal of the Transportation Board.
- Kringos, N., T. Scarpas, C. Kasbergen y P. Selvadurai, 2008. Modelling of combined physical-mechanical moisture-induced damage in asphalt mixes, Part 1: governing processes and formulations.
- Lottman, R.P., 1982. Laboratory test method for Predicting moisture-induced damage to asphalt concrete. NCHRP Report 246, Transp Res Rec J Transport Res Board.
- Lu, Q., Harvey, J. (2005) Investigation of Conditions for Moisture Damage in Asphalt Concrete and Appropriate Laboratory Test Methods. Research Report No. UCPRC-RR-2005-15. University of California Pavement Research Center.
- Mamani, L. A. (2018) Incidencias de la adición de Zeolita natural a la mezcla asfáltica en su comportamiento mecánico. Universidad Ricardo Palma.
- Mehrara, A. y A. Khodai, 2013. A review of state of the art on stripping phenomenon in asphalt concrete. Constr Build Mater 38.
- Menéndez, J. (2013). Ingeniería de Pavimentos. ICG.
- Menéndez, P. P., 2015. Determinación de los efectos de la incorporación de cal hidratada como filler activo en una mezcla asfáltica en caliente bajo la metodología Marshall. Universidad Del Valle De Guatemala.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2008). Glosario de términos de uso frecuente en proyectos de infraestructura vial. Lima, Perú.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2013). Manual de Carreteras Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG - 2013. Lima, Perú.

- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). Manual de Carreteras Ensayos de Materiales 2016. Lima, Perú.
- Miranda, F. (2017). Daño por humedad en mezclas asfálticas. PITRA.
- Norma AASHTO T 167 (2015) Compressive Strength of Hot Mix Asphalt.
- Norma AASHTO T 245 (2003). Standard Method of Test Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture Induced Damage.
- Norma AASHTO T 283 (2011). Standard Method of Test for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Rondón-Quintana, H. y L. Moreno-Anselmi, 2010. Influencia del agua en el fenómeno de stripping en mezclas asfálticas: estudio sobre el ligante. Ing. Univ. Bogotá (Colombia).
- Rondón-Quintana, H. y L. Moreno-Anselmi, 2010. Influencia del agua en el fenómeno de stripping en mezclas asfálticas: estudio sobre el ligante. Ing. Univ. Bogotá (Colombia).
- Root, D. (1984) Use of Antistripping Additives in Asphaltic Concrete Mixtures. Transportation Research Board, NCHRP.
- Ruiz, C. (1960). “Concentración Crítica de Filler. Su origen y significado en la dosificación de mezclas asfálticas.
- Salazar, A., Delgado, H., Garnica, P., Terán, R. 2013. Evaluación del desempeño de una mezcla asfáltica en caliente, nivel I-II con aditivos mejoradores de adherencia y asfalto modificado tipo SBS.
- Sandoval, I. (2011) Estudio del efecto del tipo de filler en las propiedades reológicas del “mástico”. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

- Spinel, S. (2010) Evaluación de la susceptibilidad al daño por humedad de mezclas asfálticas empleando propiedades termodinámicas.
- Tacca, C. 2018. Influencia de los aditivos mejoradores de adherencia en el diseño Marshall de mezclas asfálticas en caliente compuestas por agregados de la cantera “Taya Taya”, San Román – Puno.
- Teresa López & Rodrigo Miró. (2017). El daño por humedad en las mezclas asfálticas. Cuadernos Tecnológicos De La PTC, 5, 90.
- The Asphalt Institute Handbook MS-2. (2007). Manual Series N°.4 7th edición. Estados Unidos: Asphalt Institute.
- The Asphalt Institute MS-2. (2014). Métodos de diseño de mezcla de asfalto. Estados Unidos: Asphalt Institute.
- The Asphalt Institute. (1997). En *tecnología del asfalto y prácticas de construcción*. Estados Unidos de Norteamérica: Traducido por la Comisión Permanente del Asfalto de la República de Argentina.
- UNE-EN 12697-23, 2004. Mezclas bituminosas. Métodos de ensayo para mezclas bituminosas en caliente. Parte 23: Determinación de la resistencia a la tracción indirecta de probetas bituminosas.
- Urrego, E., Ruiz, C. (2016) Determinación de la adherencia en mezclas asfálticas elaboradas con asfaltos convencionales y materiales de peña y río. Universidad Católica de Colombia.
- Vargas. A., Leiva. F., Aguiar. J., Loría, L. (2014). Evaluación del daño por humedad en mezclas asfálticas mediante el ensayo de módulo dinámico. UCR.

ANEXOS



Anexo 1
RESULTADOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO
PROPIEDADES DEL AGREGADO GRUESO

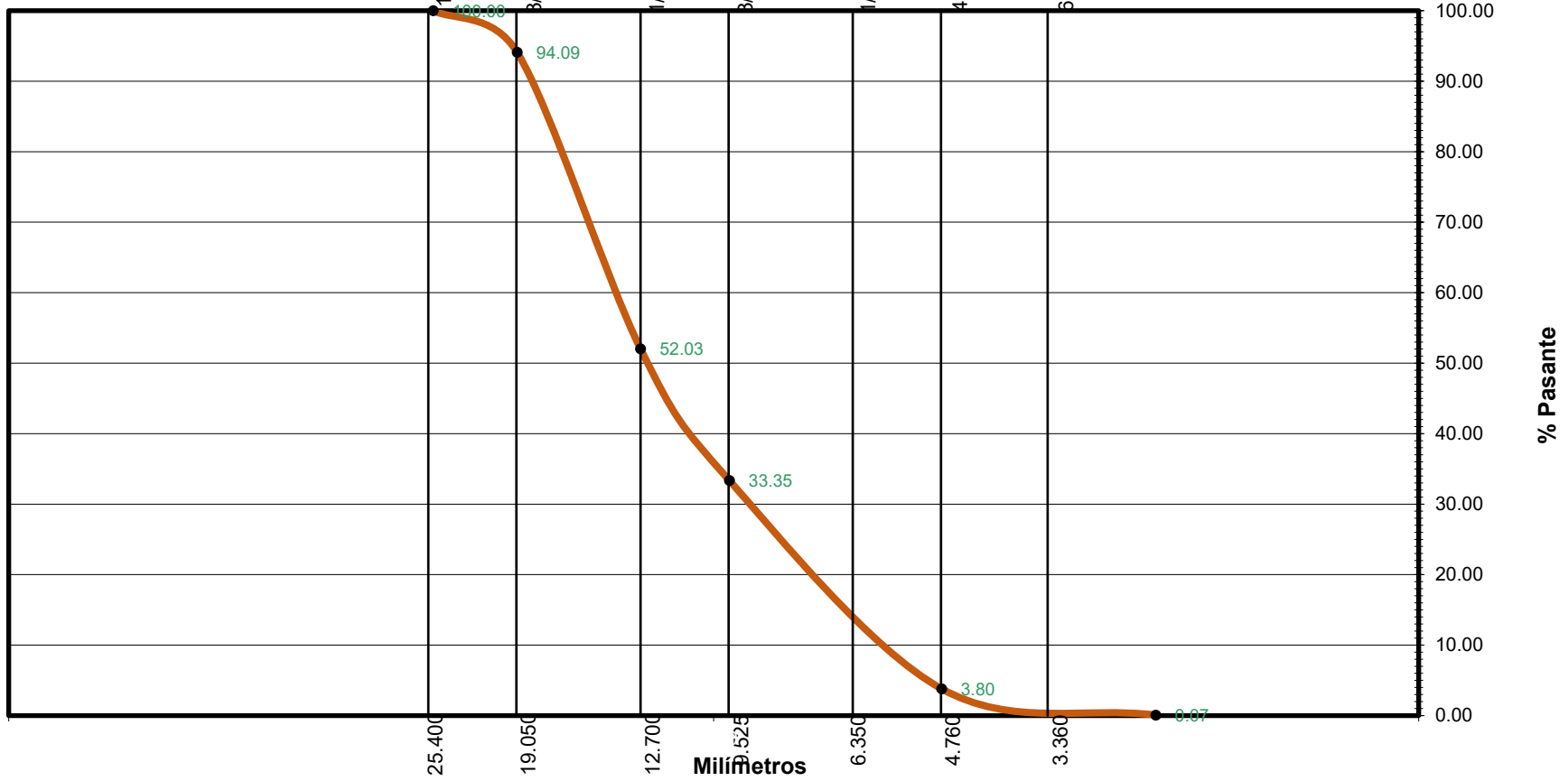
INFORME DE ENSAYO
ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESO
MTC E 204

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

	Grava ½			5027.9	Grava 1/2			5056.8	Grava 1/2			5011.8	Promedio		
	M-1	% Ret	% Ret	%	M-2	% Ret	% Ret	%	M-2	% Ret	% Ret	%	% Ret	% Ret	%
			acum	pasante			acum	pasante			acum	pasante		acum	pasante
1	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
3/4	264.6	5.27	5.27	94.73	253.6	5.02	5.02	94.98	373.2	7.45	7.45	92.55	5.91	5.91	94.09
1/2	2075.8	41.31	46.58	53.43	2095	41.44	46.46	53.54	2174.6	43.43	50.88	49.12	42.06	47.97	52.03
3/8	906.1	18.03	64.61	35.39	890	17.61	64.06	35.94	1020.8	20.39	71.27	28.73	18.67	66.65	33.35
4	1569.8	31.24	95.85	4.15	1598.1	31.61	95.68	4.32	1292.1	25.80	97.07	2.93	29.55	96.20	3.80
8	206.1	4.10	99.95	0.05	213.5	4.22	99.90	0.10	143.1	2.86	99.93	0.07	3.73	99.93	0.07
10	0.88	0.02	99.97	0.03	1.60	0.03	99.93	0.07	1.50	0.03	99.96	0.04	0.03	99.95	0.05
16	0.22	0.00	99.97	0.03	1.00	0.02	99.95	0.05	0.20	0.00	99.96	0.04	0.01	99.96	0.04
30	0.26	0.01	99.98	0.02	0.40	0.01	99.96	0.04	0.25	0.01	99.97	0.03	0.01	99.97	0.03
40	0.06	0.00	99.98	0.02	0.20	0.00	99.96	0.04	0.15	0.00	99.97	0.03	0.00	99.97	0.03
50	0.11	0.00	99.98	0.02	0.22	0.00	99.97	0.03	0.12	0.00	99.97	0.03	0.00	99.97	0.03
80	0.22	0.00	99.98	0.02	0.20	0.00	99.97	0.03	0.21	0.00	99.98	0.02	0.00	99.98	0.02
100	0.51	0.01	99.99	0.01	0.13	0.00	99.97	0.03	0.11	0.00	99.98	0.02	0.00	99.98	0.02
200	0.12	0.00	100.00	0.00	0.42	0.01	99.98	0.02	0.33	0.01	99.99	0.01	0.01	99.99	0.01
Fondo	0.23	0.00	100.00	0.00	0.87	0.02	100.00	0.00	0.72	0.01	100.00	0.00	0.01	100.00	0.00
	5025.01	100.00			5055.2	100.00			5007.39	100.00			100.00		

Curva Granulométrica Grava 1/2"



DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO

MTC E 209

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

TAMAÑO DE MALLAS		Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (gf)	Peso ret. después del ensayo (gf)	Pérdida total (%)	%
PASA	RETIENE					Corregida
1 1/2"	1"	-	-	-	-	
1"	3/4"	5.71	674.9	672	0.43%	0.02%
3/4"	1/2"	43.34	300.9	296.6	1.43%	0.62%
1/2"	3/8"	19.35	309.5	304.5	1.62%	0.31%
3/8"	N°4	26.99	-	-	-	
TOTAL			1285.3	1273.1	3.47%	0.96%

ABRASIÓN LOS ÁNGELES

MTC E 207

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

TMN	1/2"
Gradación de muestra	B

Material		Peso Inicial (gf)	Peso final (gf)	Masa perdida después de 500 revoluciones (%)	Desgaste (%)
Pasa	Retiene				
38.1 mm (1 1/2")	25.4 mm (1")				
25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")				
19.0 mm (3/4")	12.5 mm (1/2")	2502			
12.5 mm (1/2")	6.3 mm (3/8")	2508			
-	-	-	-	-	-
Total		5010	4210.2	786	15.69%

% de desgaste	16%
---------------	-----

INDICE DE DURABILIDAD

MTC E 214

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

CONDICIONES DE ENSAYO

Solución de Stock	Cloruro de Calcio
Agua	Destilada
Temperatura	20

PROCEDIMIENTO "A" – AGREGADO GRUESO

GRADACION		% Peso Retenido		Peso Inicial Real Seco (gf)	h(cm)
PASANTE	RETIENE	INICIAL	DE ENSAYO		
3/4	1/2	1069.8	6.5	1063.3	0.09
1/2	3/8	559	3.7	555.3	0.1
3/8	Nº4	909	7.3	901.7	0.09
TOTAL		2537.8	17.5	2520.3	

RESULTADOS

Tiempo de Lavado en Solución	10 min
Tiempo de decantado	20 min
Altura máxima de sedimentación (cm)	0.09
DC	96.60
INDICE DE DURABILIDAD Dc	97.00

ADHERENCIA EN AGREGADO GRUESO

MTC E 517

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

Solución	Agua Destilada
Tiempo de inmersión	16-18 horas
Temperatura	25±2 °C

MATERIAL	PROCEDENCIA	Peso Inicial (gf)	% Área Superficial Visual
Agregado Grueso	SUPERMIX	100	0.02

ÁREA REVESTIDA	98%
-----------------------	------------

PARTÍCULAS CHATAS Y ALARGADAS

ASTM 4791

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

Tamaño		Peso Total	Peso Ch/Al	% en peso Ch/Al
Pasa Tamiz	Ret. Tamiz	(gf)	(gf)	
2	1 1/2			
1 1/2	1			
1	3/4			
3/4	1/2	686	63.6	9.27%
1/2	3/8	384.1	30.5	7.94%
3/8	N°4	100	8.8	8.80%
		1170.1	102.9	26.01%

Porcentaje de partículas chatas y alargadas	9%
--	-----------

PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS

MTC E 210

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

CON UNA CARA FRACTURADA

TAMAÑO		PESO (gf)	PESO (gf)		%	
Pasa Tamiz	Ret. Tamiz	Muestra	1 cara Frac.	%	Retenido	Promedio
1 1/2	1				-	-
1	3/4				-	-
3/4	1/2	1200	1086.9	90.58	80	72.46
1/2	3/8	300	230.3	76.77	20	15.35
TOTAL		1500	1317	167.34	100	87.81

Porcentaje de una cara fracturada (%)	87.81
---------------------------------------	-------

CON DOS O MAS FRACTURADA

TAMAÑO		PESO (gf)	PESO (gf)		%	
Pasa Tamiz	Ret. Tamiz	Muestra	2 o más C.F.	%	Retenido	Promedio
1 1/2	1				-	-
1	3/4				-	-
3/4	1/2	1200	687.7	57.31	80.00	45.85
1/2	3/8	300	128.4	42.80	20.00	8.56
TOTAL		1500	816.1	100.11	100.00	54.41

Porcentaje dos o más caras fracturadas (%)	54.41
--	-------

SALES SOLUBLES TOTALES

MTC E 209

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

Parámetros	A	B	C	Promedio
1.- Peso recipiente. (gf)	81.96	96.09	81.52	
2.- Peso de muestra de agregado + recipiente. (gf)	1001.30	1001.30	1001.30	
3.- Peso de muestra de agregado seco "A" (2-1) (gf)	919.34	905.21	919.78	
4.- Aforo "B" (gf)	500.00	500.00	500.00	
5.- Volumen de muestra homogeneizada "C"	100.00	100.00	100.00	
6.- Peso recipiente(gf)	81.96	96.09	81.52	
7.- Peso de muestra cristalizada + recipiente (gf)	81.98	96.14	81.54	
8.- Peso de muestra cristalizada seca "D" (7-6) (gf)	0.02	0.05	0.02	
9.- % de sales solubles $(1/((5*1)/(8*4)))*100$	0.01	0.03	0.01	0.02
10.- % de sales solubles $(9*10000)$	108.79	276.26	108.73	164.59

Sales Solubles Totales	0.02 %
-------------------------------	---------------

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN

MTC E 206

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

Propiedades		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Peso de la muestra Seca (gf)	A	3425	3718	3406	
Peso de la muestra SSS (gf)	B	3439	3733	3417.5	
Peso en el agua de la muestra sumergida (gf)	C	2204	2397.5	2191.5	
Peso específico de masa(gf/cm ³)	Pem	2.77	2.78	2.78	2.78
Peso específico saturado(gf/cm ³)	Pesss	2.78	2.80	2.79	2.79
Peso específico aparente(gf/cm ³)	Pea	2.81	2.82	2.80	2.81
Absorción (%)	Abs %	0.41	0.40	0.34	0.38

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO

MTC E 203

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

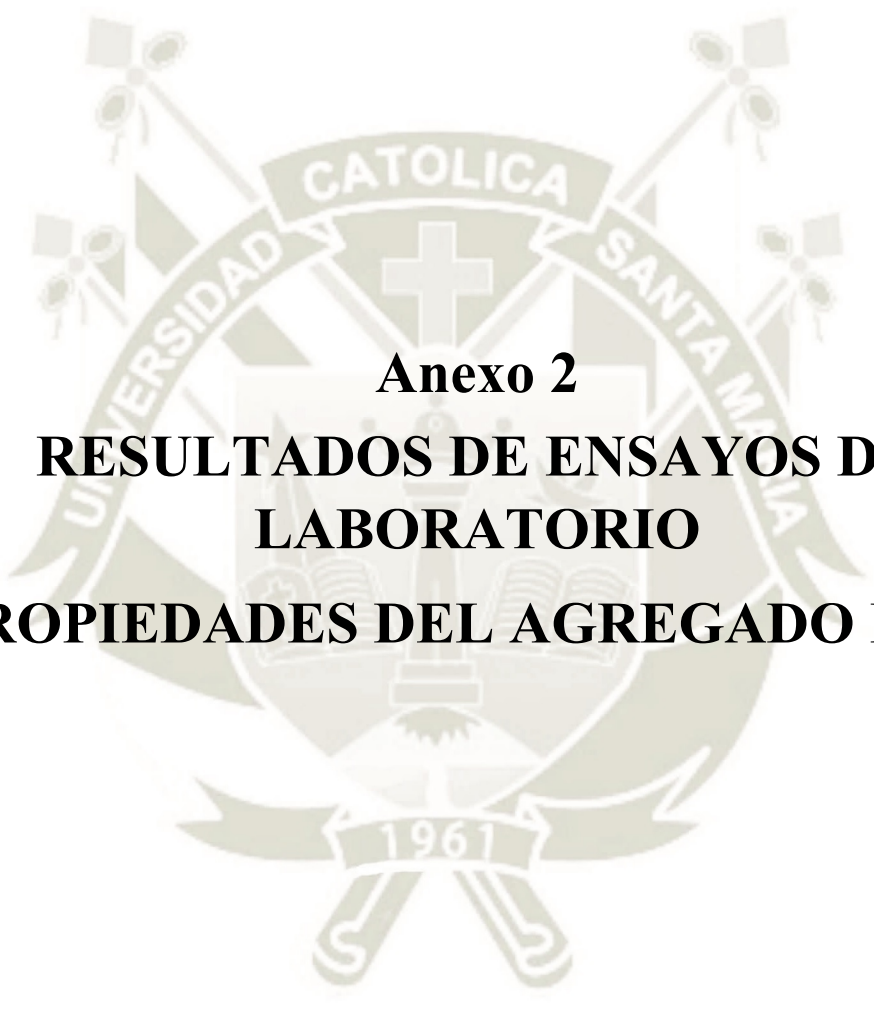
LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

PESO UNITARIO SUELTO

Peso Unitario Suelto		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Recipiente + Agregado	gf	18821	18666	18969	
Peso del Recipiente	gf	5010	5010	5010	
Volumen del Recipiente	cm ³	9490.056	9490.056	9490.056	
Peso unitario	kgf/m ³	1.455	1.439	1.471	1.455

PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso Unitario Compactado		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Recipiente + Agregado	gf	20336	20259	20186	
Peso del Recipiente	gf	5010	5010	5010	
Volumen del Recipiente	cm ³	9490.056	9490.056	9490.056	
Peso unitario	kgf/m ³	1.615	1.607	1.599	1.607



Anexo 2
RESULTADOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO
PROPIEDADES DEL AGREGADO FINO

INFORME DE ENSAYO

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS FINO

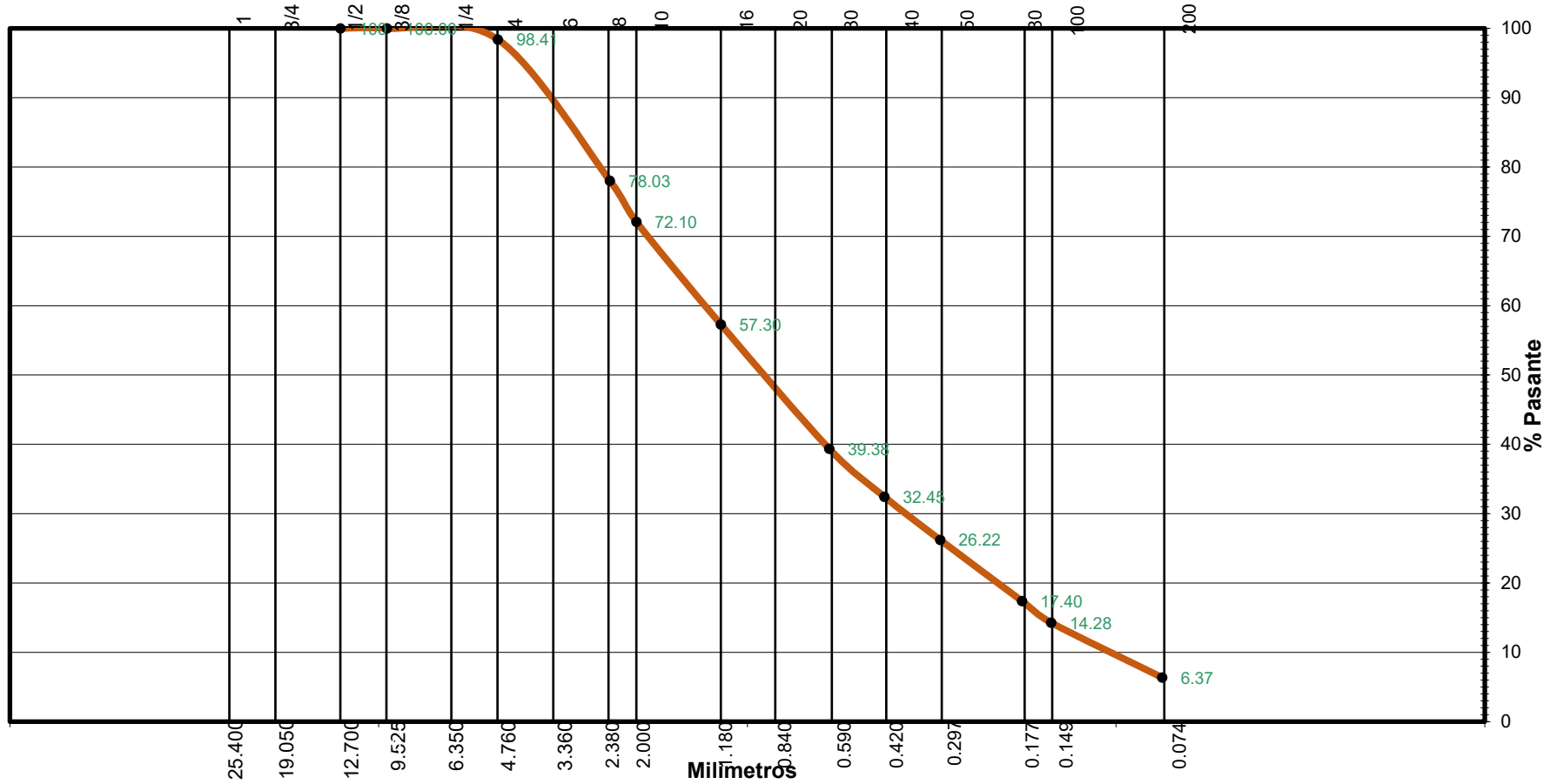
MTC E 204

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

	Arena 1				Arena 1				Arena 1				Promedio		
	M-1	% Ret	% Ret	%	M-2	% Ret	% Ret	%	M-2	% Ret	% Ret	%	% Ret	% Ret	%
			acum	pasante			acum	pasante			acum	pasante		acum	pasante
1															
3/4															
1/2				100				100					100		100
3/8	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0	0.00	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
4	10.4	1.60	1.60	98.40	11.8	1.67	1.67	98.33	10.2	1.51	1.51	98.49	1.59	1.59	98.41
8	128.6	19.73	21.33	78.67	143.2	20.31	21.99	78.01	142.6	21.08	22.59	77.41	20.37	21.97	78.03
10	39.3	6.03	27.36	72.65	40.2	5.70	27.69	72.31	41.1	6.08	28.66	71.34	5.94	27.90	72.10
16	93.7	14.38	41.73	58.27	103.6	14.70	42.38	57.62	103.7	15.33	43.99	56.01	14.80	42.70	57.30
30	119.7	18.37	60.10	39.90	126.4	17.93	60.31	39.69	118.1	17.46	61.45	38.55	17.92	60.62	39.38
40	45.3	6.95	67.05	32.95	49.1	6.97	67.28	32.72	46.6	6.89	68.34	31.66	6.93	67.55	32.45
50	41	6.29	73.34	26.66	46.6	6.61	73.89	26.11	39.1	5.78	74.12	25.88	6.23	73.78	26.22
80	62.5	9.59	82.93	17.08	59.8	8.48	82.37	17.63	56.7	8.38	82.50	17.50	8.82	82.60	17.40
100	15.6	2.39	85.32	14.68	28.8	4.09	86.45	13.55	19.5	2.88	85.38	14.62	3.12	85.72	14.28
200	55.7	8.55	93.86	6.14	53.4	7.57	94.03	5.97	51.6	7.63	93.01	6.99	7.92	93.63	6.37
Fondo	40	6.14	100.00	0.00	42.1	5.97	100.00	0.00	47.3	6.99	100.00	0.00	6.37	100.00	0.00
	651.8	100.00			705	100.00			676.5	100.00			100.00		

Curva Granulométrica Arena



EQUIVALENTE DE ARENA

MTC E 114

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

Método empleado	Manual
Tamaño máximo (pasa #4)	4.76 mm
Temperatura	21±2 °C

DESCRIPCIÓN	LECTURAS		
	1	2	3
Tiempo de saturación	10 min	10 min	10 min
Tiempo de decantado	20 min	20 min	20 min
Altura máxima Arcilla (cm)	14.8	14.1	14
Altura máxima arena (cm)	10.6	10.5	10.5
Relación (%)	71.62%	74.47%	75.00%
Equivalente de Arena (%)	72	74	75

Equivalente de Arena Promedio	74.00%
-------------------------------	--------

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO

MTC E 222

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

ITEM	DESCRIPCION	Unidades	Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
1	Volumen del molde	cm ³	97.85	97.85	97.85
2	Peso de molde	g.	253.4	253.4	253.4
3	Peso de molde + muestra	g.	387.2	386.6	386.2
4	Peso de Muestra	g.	133.8	133.2	132.8
5	Gravedad especifica	gf/cm ³	2.51	2.51	2.51
			45.52	45.77	45.93

Angularidad (%)	45.74 %
------------------------	----------------

AZUL DE METILENO

AASHO TP 57

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

CONDICION DE ENSAYO

TITULO	AZUL DE METILENO
AGUA	DESTILADA
TEMPERATURA	20 ± 2 °C

DATOS	
DESCRIPCION	UNIDADES
Peso de muestra seca (gf)	10
Tiempo total de ensayo (min)	30
Volumen de la solucion (ml)	10
VA (mgf/gf)	5

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO – AG. FINO

MTC E 111

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

Ensayo 1

TAMAÑO DE MALLAS		Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (gf)	Peso ret. Después del ensayo (gf)	Pérdida total (%)	%
PASA	RETIENE					Corregida
3/8"	Nº4	1.59	-	-	-	
Nº4	Nº8	20.37	107	98.4	8%	1.64%
Nº8	Nº16	14.80	106	102.3	3%	0.52%
Nº16	Nº30	17.92	107	100.3	6%	1.12%
Nº30	Nº50	6.23	112	104.3	7%	0.43%
Nº50	Nº100	3.12	-	-	-	
Nº100		7.92	-	-	-	
TOTAL		71.95	432	405.3	25%	3.70%

Ensayo 2

TAMAÑO DE MALLAS		Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (gf)	Peso ret. Después del ensayo (gf)	Pérdida total (%)	%
PASA	RETIENE					Corregida
3/8"	Nº4	1.59	-	-	-	
Nº4	Nº8	20.37	103	96.1	7%	1.36%
Nº8	Nº16	14.80	106	100.7	5%	0.74%
Nº16	Nº30	17.92	105	98.9	6%	1.04%
Nº30	Nº50	6.23	114	107.7	6%	0.34%
Nº50	Nº100	3.12	-	-	-	
Nº100		7.92	-	-	-	
TOTAL		71.95	428	403.4	23%	3.49%

Ensayo 3

TAMAÑO DE MALLAS		Gradación original (%)	Peso de la fracción ensayada (gf)	Peso ret. Después del ensayo (gf)	Pérdida total (%)	%
PASA	RETIENE					Corregida
3/8"	Nº4	1.59	-	-	-	
Nº4	Nº8	20.37	104	96.29	7%	1.51%
Nº8	Nº16	14.80	108	97.5	10%	1.44%
Nº16	Nº30	17.92	105	95.3	9%	1.66%
Nº30	Nº50	6.23	112	103.5	8%	0.47%
Nº50	Nº100	3.12	-	-	-	
Nº100		7.92	-	-	-	
TOTAL		71.95	429	392.59	34%	5.08%

PROMEDIO	4.09%
-----------------	--------------

ÍNDICE DE DURABILIDAD – AG. FINO

MTC E 214

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

CONDICIONES DE ENSAYO

Solucion de Stock	Cloruro de Calcio
Agua	Destilada
Temperatura	20

Procedimiento “B” Agregado Fino

DESCRIPCIÓN	LECTURAS		
	1	2	3
Tiempo de saturación	10 min	10 min	10 min
Tiempo de decantado	20 min	20 min	20 min
Altura máxima Arcilla (cm)	12.6	12.8	11.9
Altura máxima arena (cm)	12.1	12.4	11.3
Relación (%)	96.0%	96.9%	95.0%

INDICE DE DURABILIDAD	96.0%
------------------------------	--------------

SALES SOLUBLES TOTALES – AG. FINO

MTC E 214

TESISTAS: Diego Martin Chalco Perez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

Parámetros	A	B	C	Promedio
1.- Peso recipiente (gf)	82.72	97.30	92.76	
2.- Peso de muestra de agregado + recipiente	182.50	197.30	192.80	
3.- Peso de muestra de agregado seco "A" (2-1) (gf)	99.78	100.00	100.04	
4.- Aforo "B" (gf)	500.00	500.00	500.00	
5.- Volumen de muestra homogeneizada "C"	100.00	100.00	100.00	
6.- Peso recipiente(gf)	82.72	97.30	97.76	
7.- Peso de muestra cristalizada + recipiente(gf)	82.80	97.41	97.85	
8.- Peso de muestra cristalizada seca "D" (7-6)	0.08	0.11	0.09	
9.- % de sales solubles $(1/((5*1)/(8*4)))*100$	0.40	0.55	0.45	0.47
10.- % de sales solubles (9*10000)	4024.95	5530.42	4518.53	4691.30

PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DE AGREGADOS FINOS

MTC E 205

TESISTAS: Diego Martin Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

Propiedades		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Volumen de la fiola	ml	500	500	500	
Peso de la muestra Sup. Seca	gf	500	500	500	
Peso de la fiola	gf	160.01	161.91	156.95	
Peso de la fiola +muestra + agua	gf	969.87	971.33	965.84	
Temperatura del agua	°C	23.7	23	24	
Peso del posillo	gf	104.11	109.72	105.07	
Peso de la muestra + posillo	gf	601.02	606.97	601.49	
Factor K		0.99737	0.99754	0.99729	
Peso Seco	gf	496.91	497.25	496.42	
Peso del agua	gf	310.677	310.183	309.728	
Peso específico de masa (Pem)	gf/cm ³	2.62	2.62	2.61	2.62
Peso específico de masa sss (Pesss)	gf/cm ³	2.64	2.63	2.63	2.63
Peso específico aparente (Pea)	gf/cm ³	2.67	2.66	2.66	2.66
Absorción (Abs)	%	0.62%	0.55%	0.72%	0.63%

PESO UNITARIO SUELTO Y COMPACTADO – AG. FINO

MTC E 203

TESISTAS: Diego Martín Chalco Pérez - Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO GRUPO RPG SAC

PESO UNITARIO SUELTO

Peso Unitario Suelto		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Recipiente + Agregado	gf	5715	5661	5927	
Peso del Recipiente	gf	1561	1561	1561	
Volumen del Recipiente	cm ³	2701.86	2701.86	2701.86	
Peso unitario	kgf/m ³	1.537	1.517	1.616	1.557

PESO UNITARIO COMPACTADO

Peso Unitario Compactado		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Promedio
Recipiente + Agregado	gf	6592	6566	6596	
Peso del Recipiente	gf	1561	1561	1561	
Volumen del Recipiente	cm ³	2701.86	2701.86	2701.86	
Peso unitario	kgf/m ³	1.862	1.852	1.864	1.859

DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO (LL), LIMITE PLASTICO (L.P) Y INDICE DE PLASTICIDAD (IP)

MTC E 110 – 111


TESISTAS: Diego Martín Chalco Perez & Luiz Carlos Muñoz Manrique

LABORATORIO: LABORATORIO RCF SRL

CUADRO DE RESULTADOS

Limite liquido (LL)	%	NP
Limite plástico (LP)	%	-
Índice de plasticidad (IP)	%	-

NP: No pudo determinarse



Anexo 3
RESULTADOS DE ENSAYOS DE
LABORATORIO – ENSAYOS MARSHALL

Diseño Mezcla Asfáltica filler propio con 4.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
			A	B	C	
1	Número de Probeta	Nº				
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.96%	48.96%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	44.16%	44.16%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.88%	2.88%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68	
	h1	mm	65.2	63.54	62.68	
	h2	mm	62.8	63.74	62.97	
	h3	mm	62.9	63.56	63.64	
	h4	mm	64.58	62.27	65.08	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.87	63.28	63.59	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1193.3	1188.3	1194.9	
14	Peso de probeta saturada	gf	1196.3	1191.8	1197.6	
15	Peso de probeta en el agua	gf	698.2	694.2	697.5	
16	Volumen de la probeta	cm ³	498.1	497.6	500.1	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.40	2.39	2.39	2.39
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.55	2.55	2.55	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.56	2.56	2.56	
20	% de vacíos	%	5.95%	6.25%	6.20%	6.13%
20a	Absorción	%	0.60%	0.70%	0.54%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.72	2.72	2.72	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.22	0.22	0.22	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.15%	84.87%	84.92%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	8.91%	8.88%	8.88%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.85%	15.13%	15.08%	15.02%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	3.79%	3.79%	3.79%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	59.97%	58.71%	58.91%	59.20%
30	Lectura del anillo de carga	kN	14.06	15.27	13.66	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1433.70	1557.08	1392.91	
32	Factor de estabilidad		0.99	1.01	1.00	
33	Estabilidad corregida	kgf	1420.44	1565.74	1389.69	1458.6
35	Fluencia	mm	2.76	3.13	3.02	2.97
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	5146.51	5002.37	4601.62	4911.19

Diseño Mezcla Asfáltica filler propio con 4.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.71%	48.71%	48.71%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.93%	43.93%	43.93%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.87%	2.87%	2.87%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68	
	h1	mm	64.41	62.15	63.43	
	h2	mm	62.51	63	62.92	
	h3	mm	63.68	61.95	63.64	
	h4	mm	63.33	60.96	65.08	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.48	62.02	63.77	
13	Peso de probeta en el aire	g	1192.1	1190.7	1199.6	
14	Peso de probeta saturada	g	1198.4	1193.2	1203.7	
15	Peso de probeta en el agua	g	699.4	704.8	706	
16	Volumen de la probeta	cm ³	499	488.4	497.7	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.39	2.44	2.41	2.41
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	
20	% de vacíos	%	5.11%	3.16%	4.26%	4.18%
20a	Absorción	%	1.26%	0.51%	0.82%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.05	0.05	0.05	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	84.46%	86.20%	85.22%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	10.43%	10.64%	10.52%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	15.54%	13.80%	14.78%	14.71%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.45%	4.45%	4.45%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	67.13%	77.11%	71.19%	71.81%
30	Lectura del anillo de carga	kN	12.66	14.76	13.61	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1290.94	1505.08	1387.81	
32	Factor de estabilidad		1.00	1.04	0.99	
33	Estabilidad corregida	kgf	1291.50	1560.95	1378.53	1410.33
35	Fluencia	mm	3.08	2.91	3.05	3.01
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4193.20	5364.10	4519.77	4680.30

Diseño Mezcla Asfáltica filler propio con 5.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.45%	48.45%	48.45%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.70%	43.70%	43.70%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.85%	2.85%	2.85%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68	
	h1	mm	61.56	63.48	63.07	
	h2	mm	63.43	60.87	61.1	
	h3	mm	62.18	61.57	61.4	
	h4	mm	62.02	62.96	63.11	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.30	62.22	62.17	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1188.7	1191.6	1186.1	
14	Peso de probeta saturada	gf	1193.6	1193.4	1190.8	
15	Peso de probeta en el agua	gf	704.5	708.4	698.6	
16	Volumen de la probeta	cm ³	489.1	485	492.2	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.43	2.46	2.41	2.43
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.49	2.49	2.49	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	
20	% de vacíos	%	2.44%	1.37%	3.26%	2.36%
20a	Absorción	%	1.00%	0.37%	0.95%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.01	0.01	0.01	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.48%	86.41%	84.75%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	12.08%	12.22%	11.98%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.52%	13.59%	15.25%	14.45%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.99%	4.99%	4.99%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	83.22%	89.90%	78.59%	83.90%
30	Lectura del anillo de carga	kN	13.67	13.31	13.22	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1393.93	1357.22	1348.04	
32	Factor de estabilidad		1.03	1.03	1.03	
33	Estabilidad corregida	kgf	1435.83	1400.65	1392.87	1409.78
35	Fluencia	mm	3.07	3.09	3.26	3.14
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4676.99	4532.85	4272.59	4489.76

Diseño Mezcla Asfáltica filler propio con 5.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.20%	48.20%	48.20%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.47%	43.47%	43.47%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.84%	2.84%	2.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.68	2.68	2.68	
	h1	mm	61.36	62.53	61.87	
	h2	mm	59.49	61.86	61.76	
	h3	mm	61.83	60.7	62.53	
	h4	mm	63.48	61.51	62.33	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.54	61.65	62.12	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1187.5	1185.5	1186.2	
14	Peso de probeta saturada	gf	1189.4	1186.9	1188.5	
15	Peso de probeta en el agua	gf	704.8	702.6	703.6	
16	Volumen de la probeta	cm ³	484.6	484.3	484.9	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	2.45
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.48	2.48	2.48	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	
20	% de vacíos	%	1.26%	1.37%	1.43%	1.35%
20a	Absorción	%	0.39%	0.29%	0.47%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.09	0.09	0.09	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.73%	85.64%	85.58%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	13.01%	12.99%	12.98%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.27%	14.36%	14.42%	14.35%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.41%	5.41%	5.41%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	91.16%	90.48%	90.07%	90.57%
30	Lectura del anillo de carga	kN	14.13	16.41	15.27	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1440.84	1673.33	1557.08	
32	Factor de estabilidad		1.05	1.05	1.03	
33	Estabilidad corregida	kgf	1514.68	1753.33	1610.70	1626.24
35	Fluencia	mm	4.17	4.26	3.92	4.12
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	3632.32	4115.81	4108.94	3950.38

Diseño Mezcla Asfáltica filler propio con 6.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.94%	47.94%	47.94%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.24%	43.24%	43.24%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.82%	2.82%	2.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
	h1	mm	60.98	63.77	60.9	
	h2	mm	60.62	63.86	61.94	
	h3	mm	60.41	64.3	62.76	
	h4	mm	60.84	62.53	61.5	
12	Altura promedio de la probeta	cm	60.71	63.62	61.78	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1175.2	1229.5	1190.3	
14	Peso de probeta saturada	gf	1175.9	1230.6	1190.8	
15	Peso de probeta en el agua	gf	698.1	730.6	706.2	
16	Volumen de la probeta	cm ³	477.8	500	484.6	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.46	2.46	2.46	2.46
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.48	2.48	2.48	
20	% de vacíos	%	0.50%	0.53%	0.64%	0.55%
20a	Absorción	%	0.15%	0.22%	0.10%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.72	2.72	2.72	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.28	0.28	0.28	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.66%	85.63%	85.54%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	13.84%	13.84%	13.82%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.34%	14.37%	14.46%	14.39%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.74%	5.74%	5.74%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	96.50%	96.34%	95.60%	96.15%
30	Lectura del anillo de carga	kN	13.12	13.59	10.89	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1337.85	1385.77	1110.45	
32	Factor de estabilidad		1.08	1.00	1.04	
33	Estabilidad corregida	kgf	1441.01	1381.79	1159.21	1327.33
35	Fluencia	mm	4.05	4.1	3.8	3.98
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	3558.04	3370.22	3050.55	3332.22

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cal Hidratada con 4.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.96%	48.96%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	44.16%	44.16%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.88%	2.88%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	
	h1	mm	64.58	64.94	64.76	
	h2	mm	65.53	63.02	64.275	
	h3	mm	65.6	62.16	63.88	
	h4	mm	64.14	64.15	64.145	
12	Altura promedio de la probeta	cm	64.96	63.57	64.27	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1189.3	1194.4	1191.9	
14	Peso de probeta saturada	gf	1192	1199.3	1195.7	
15	Peso de probeta en el agua	gf	685.1	697.4	691.3	
16	Volumen de la probeta	cm ³	506.9	501.9	504.4	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.35	2.38	2.36	2.36
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.491	2.491	2.491	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.56	2.56	2.56	
20	% de vacíos	%	5.81%	4.47%	5.14%	5.14%
20a	Absorción	%	0.53%	0.98%	0.75%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.24	0.24	0.24	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	83.62%	84.82%	84.22%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	10.56%	10.71%	10.64%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	16.38%	15.18%	15.78%	15.78%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	3.77%	3.77%	3.77%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	64.51%	70.58%	67.42%	67.50%
30	Lectura del anillo de carga	kN	13.55	14.3	13.9	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1381.69	1458.17	1419.93	
32	Factor de estabilidad		0.96	1.00	0.98	
33	Estabilidad corregida	kgf	1331.18	1455.71	1392.78	1393.22
35	Fluencia	mm	2.93	2.91	2.9	2.92
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4543.26	5002.44	4769.78	4771.30

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cal Hidratada con 4.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.71%	48.71%	48.71%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.93%	43.93%	43.93%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.87%	2.87%	2.87%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	
	h1	mm	61.05	58.94	59.53	
	h2	mm	61.91	61.69	59.73	
	h3	mm	60.52	61.9	61.62	
	h4	mm	60.99	60.64	60.89	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.12	60.79	60.44	
13	Peso de probeta en el aire	g	1165	1158.7	1151	
14	Peso de probeta saturada	gff	1166.9	1161.6	1154.1	
15	Peso de probeta en el agua	gf	684.5	682.8	678	
16	Volumen de la probeta	cm ³	482.4	478.8	476.1	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.42	2.42	2.42	2.42
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.482	2.482	2.482	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	
20	% de vacíos	%	2.70%	2.50%	2.60%	2.60%
20a	Absorción	%	0.39%	0.61%	0.65%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.24	0.24	0.24	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.63%	85.80%	85.72%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	11.67%	11.70%	11.69%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.37%	14.20%	14.28%	14.28%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.27%	4.27%	4.27%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	81.22%	82.41%	81.82%	81.82%
30	Lectura del anillo de carga	kN	12.92	16.47	14.54	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1317.45	1679.45	1482.64	
32	Factor de estabilidad		1.06	1.07	1.09	
33	Estabilidad corregida	kgf	1402.37	1804.75	1609.48	1605.53
35	Fluencia	mm	3.06	3.18	2.9	3.05
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4582.90	5675.31	5549.93	5269.80

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cal Hidratada con 5.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.45%	48.45%	48.45%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.70%	43.70%	43.70%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.85%	2.85%	2.85%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	
	h1	mm	62.73	62.47	63.72	
	h2	mm	63.45	61.1	63.18	
	h3	mm	60.96	60.27	62.62	
	h4	mm	61.05	61.6	61.48	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.05	61.36	62.75	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1192.4	1187.2	1190.4	
14	Peso de probeta saturada	gf	1193.6	1188.2	1191.5	
15	Peso de probeta en el agua	gf	702.8	702.7	702.5	
16	Volumen de la probeta	cm ³	490.8	485.5	489	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.43	2.45	2.43	2.44
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.473	2.473	2.473	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	
20	% de vacíos	%	1.76%	1.12%	1.56%	1.48%
20a	Absorción	%	0.24%	0.21%	0.22%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.24	0.24	0.24	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.69%	86.25%	85.86%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	12.55%	12.63%	12.58%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.31%	13.75%	14.14%	14.07%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.78%	4.78%	4.78%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	87.71%	91.86%	88.95%	89.51%
30	Lectura del anillo de carga	kN	14.23	16.47	13.47	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1451.03	1679.45	1373.54	
32	Factor de estabilidad		1.04	1.06	1.02	
33	Estabilidad corregida	kgf	1503.72	1774.96	1399.29	1559.33
35	Fluencia	mm	3.78	3.81	4.16	3.92
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	3978.11	4658.70	3363.68	3981.26

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cal Hidratada con 5.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.20%	48.20%	48.20%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.47%	43.47%	43.47%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.84%	2.84%	2.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	
	h1	mm	61.57	61.87	61.39	
	h2	mm	61.04	61.76	62.02	
	h3	mm	61.03	60.14	61.4	
	h4	mm	61.64	60.37	62.26	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.32	61.04	61.77	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1185.1	1188.1	1183	
14	Peso de probeta saturada	gf	1185.9	1189.1	1185.3	
15	Peso de probeta en el agua	gf	702.5	705	699.9	
16	Volumen de la probeta	cm ³	483.4	484.1	485.4	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.45	2.45	2.44	2.45
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.457	2.457	2.457	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	
20	% de vacíos	%	0.22%	0.11%	0.81%	0.38%
20a	Absorción	%	0.17%	0.21%	0.47%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.24	0.24	0.24	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.01%	86.11%	85.51%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	13.77%	13.78%	13.68%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.99%	13.89%	14.49%	14.12%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.28%	5.28%	5.28%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	98.43%	99.19%	94.43%	97.35%
30	Lectura del anillo de carga	kN	12.14	11.49	10.5	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1237.92	1171.64	1070.69	
32	Factor de estabilidad		1.06	1.07	1.04	
33	Estabilidad corregida	kgf	1309.87	1250.17	1117.95	1226.00
35	Fluencia	mm	4.11	4.64	4.01	4.25
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	3187.03	2694.34	2787.89	2882.43

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cal Hidratada con 6.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.94%	47.94%	47.94%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.24%	43.24%	43.24%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.82%	2.82%	2.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.45	2.45	2.45	
	h1	mm	62.31	62.36	62.74	
	h2	mm	60.89	62.58	64.1	
	h3	mm	60.53	61.74	61.84	
	h4	mm	62.15	61.71	60.59	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.47	62.10	62.32	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1192	1194.6	1193.4	
14	Peso de probeta saturada	gf	1193.7	1196.2	1194.5	
15	Peso de probeta en el agua	gf	707.2	708.9	703.1	
16	Volumen de la probeta	cm ³	486.5	487.3	491.4	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.45	2.45	2.43	2.44
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.445	2.445	2.445	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.48	2.48	2.48	
20	% de vacíos	%	-0.21%	-0.26%	0.67%	0.07%
20a	Absorción	%	0.35%	0.33%	0.22%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.24	0.24	0.24	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.51%	85.55%	84.76%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	14.70%	14.71%	14.57%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.49%	14.45%	15.24%	14.73%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.78%	5.78%	5.78%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	101.45%	101.83%	95.59%	99.63%
30	Lectura del anillo de carga	kN	10.68	12.43	10.38	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1089.04	1267.49	1058.45	
32	Factor de estabilidad		1.05	1.04	1.03	
33	Estabilidad corregida	kgf	1147.24	1311.93	1089.74	1182.97
35	Fluencia	mm	4.98	5.27	5.02	5.09
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	2303.69	2489.43	2170.79	2324.10

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cemento con 4.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.96%	48.96%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	44.16%	44.16%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.88%	2.88%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	
	h1	mm	63.36	62.53	63.3	
	h2	mm	63.77	63.96	61.93	
	h3	mm	61.81	61.97	62.07	
	h4	mm	62.04	63.67	64.11	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.75	63.03	62.85	
13	Peso de probeta en el aire	g	1186.4	1191.4	1198.8	
14	Peso de probeta saturada	g	1190.6	1194.8	1202.7	
15	Peso de probeta en el agua	g	697.8	704	709.8	
16	Volumen de la probeta	cm ³	492.8	490.8	492.9	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.41	2.43	2.43	2.42
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.55	2.55	2.55	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.57	2.57	2.57	
20	% de vacíos	%	5.53%	4.75%	4.56%	4.95%
20a	Absorción	%	0.85%	0.69%	0.79%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.72	2.72	2.72	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.18	0.18	0.18	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.44%	86.15%	86.31%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	9.03%	9.11%	9.12%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.56%	13.85%	13.69%	14.04%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	3.83%	3.83%	3.83%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	62.01%	65.73%	66.65%	64.80%
30	Lectura del anillo de carga	kN	17.49	16.82	16.98	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1783.46	1715.14	1731.45	
32	Factor de estabilidad		1.02	1.01	1.02	
33	Estabilidad corregida	kgf	1817.12	1735.18	1759.48	1770.59
35	Fluencia	mm	2.94	3.17	2.85	2.99
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	6180.67	5473.76	6173.61	5928.32

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cemento con 4.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.71%	48.71%	48.71%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.93%	43.93%	43.93%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.87%	2.87%	2.87%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	
	h1	mm	62.48	60.46	60.3	
	h2	mm	61.66	61.9	60.84	
	h3	mm	60.94	63.12	60.33	
	h4	mm	63.71	62.38	60.61	
12	Altura promedio de la probeta	cm	62.20	61.97	60.52	61.56
13	Peso de probeta en el aire	gf	1184.1	1174.2	1170.5	1176.27
14	Peso de probeta saturada	gf	1186.2	1175.3	1170.8	1177.43
15	Peso de probeta en el agua	gf	702.7	697.9	694.3	698.30
16	Volumen de la probeta	cm ³	483.5	477.4	476.5	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.45	2.46	2.46	2.46
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.51	2.51	2.51	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.55	2.55	2.55	
20	% de vacíos	%	2.33%	1.91%	2.04%	2.09%
20a	Absorción	%	0.43%	0.23%	0.06%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.03	0.03	0.03	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.46%	86.83%	86.72%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.54%	13.17%	13.28%	13.33%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.47%	4.47%	4.47%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	82.78%	85.49%	84.67%	84.31%
30	Lectura del anillo de carga	kN	17.44	18.58	16.68	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1778.36	1894.60	1700.86	
32	Factor de estabilidad		1.03	1.04	1.08	
33	Estabilidad corregida	kgf	1836.26	1967.31	1842.24	1881.94
35	Fluencia	mm	2.93	3.36	3.27	3.19
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	6267.11	5855.08	5633.77	5905.67

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cemento con 5.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.45%	48.45%	48.45%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.70%	43.70%	43.70%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.85%	2.85%	2.85%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	Prom
	h1	mm	62.21	62.32	62.1	
	h2	mm	60.57	62.58	61.44	
	h3	mm	60.71	62.45	60.94	
	h4	mm	61.85	62.24	61.79	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.34	62.40	61.57	61.77
13	Peso de probeta en el aire	gf	1181	1193	1187	1187.00
14	Peso de probeta saturada	gf	1183	1196.2	1188.4	1189.20
15	Peso de probeta en el agua	gf	701.6	707.6	704.1	704.43
16	Volumen de la probeta	cm ³	481.4	488.6	484.3	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.45	2.44	2.45	2.45
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.497	2.497	2.497	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.53	2.53	2.53	
20	% de vacíos	%	1.76%	2.22%	1.85%	1.94%
20a	Absorción	%	0.42%	0.65%	0.29%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.72	2.72	2.72	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.19	0.19	0.19	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.15%	85.75%	86.07%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	12.09%	12.03%	12.08%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.85%	14.25%	13.93%	14.01%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.82%	4.82%	4.82%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	87.32%	84.43%	86.73%	86.16%
30	Lectura del anillo de carga	kN	15.79	13.21	13.74	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1610.11	1347.02	1401.07	
32	Factor de estabilidad		1.06	1.03	1.05	
33	Estabilidad corregida	kgf	1702.94	1384.15	1471.67	1519.59
35	Fluencia	mm	3.13	3.28	3.19	3.20
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	5440.70	4219.97	4613.38	4748.71

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cemento con 5.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.20%	48.20%	48.20%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.47%	43.47%	43.47%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.84%	2.84%	2.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	
	h1	mm	58.18	60.86	60.08	
	h2	mm	59.27	61.06	60.77	
	h3	mm	60.47	60.34	61.97	
	h4	mm	59.94	59.92	59.92	
12	Altura promedio de la probeta	cm	59.47	60.55	60.69	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1153	1180.4	1177.4	
14	Peso de probeta saturada	gf	1154.1	1181.4	1178.8	
15	Peso de probeta en el agua	gf	687.5	703.8	701.5	
16	Volumen de la probeta	cm ³	466.6	477.6	477.3	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47	2.47
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.48	2.48	2.48	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.51	2.51	2.51	
20	% de vacíos	%	0.40%	0.38%	0.57%	0.45%
20a	Absorción	%	0.24%	0.21%	0.29%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.02	0.02	0.02	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.32%	86.34%	86.17%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	13.28%	13.28%	13.26%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.68%	13.66%	13.83%	13.72%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.48%	5.48%	5.48%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	97.08%	97.22%	95.87%	96.72%
30	Lectura del anillo de carga	kN	11.88	12.46	12.25	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1211.40	1270.55	1249.13	
32	Factor de estabilidad		1.12	1.08	1.08	
33	Estabilidad corregida	kgf	1352.04	1375.17	1346.53	1357.91
35	Fluencia	mm	3.59	3.58	3.28	3.48
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	3766.13	3841.25	4105.26	3898.31

Diseño Mezcla Asfáltica filler Cemento con 6.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.94%	47.94%	47.94%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.24%	43.24%	43.24%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.82%	2.82%	2.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.82	2.82	2.82	
	h1	mm	60.5	60.75	60.98	
	h2	mm	61.11	59.13	61.46	
	h3	mm	60.08	60.46	61.71	
	h4	mm	60.32	61.04	60.94	
12	Altura promedio de la probeta	cm	60.50	60.35	61.27	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1178.1	1174	1182.5	
14	Peso de probeta saturada	gf	1179.1	1174.8	1183.4	
15	Peso de probeta en el agua	gf	701.5	700	701.7	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.47	2.47	2.45	2.46
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.47	2.47	2.47	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.49	2.49	2.49	
20	% de vacíos	%	0.01%	-0.23%	0.49%	0.09%
20a	Absorción	%	0.21%	0.17%	0.19%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.74	2.74	2.74	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.10	0.10	0.10	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.71%	85.92%	85.30%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	14.27%	14.31%	14.21%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.29%	14.08%	14.70%	14.35%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.90%	5.90%	5.90%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	99.92%	101.62%	96.65%	99.39%
30	Lectura del anillo de carga	Kn	13.43	9.55	12.15	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1369.46	973.81	1238.94	
32	Factor de estabilidad		1.08	1.09	1.06	
33	Estabilidad corregida	kgf	1484.04	1060.09	1312.79	1285.64
35	Fluencia	mm	4.42	4.32	4.26	4.33
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	3357.56	2453.91	3081.66	2966.86

Diseño Mezcla Asfáltica filler puzolana (Carpetek) con 4.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.00%	4.00%	4.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.96%	48.96%	48.96%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	44.16%	44.16%	44.16%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.88%	2.88%	2.88%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43	
	h1	mm	64.06	63.03	63.65	
	h2	mm	61.28	63.76	62.66	
12	Altura promedio de la probeta	cm	63.58	63.27	63.37	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1198.9	1191.9	1188.2	
14	Peso de probeta saturada	gf	1203.2	1196.6	1191.2	
15	Peso de probeta en el agua	gf	708.9	701.2	696.9	
16	Volumen de la probeta	cm ³	494.3	495.4	494.3	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.43	2.41	2.40	2.41
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.56	2.56	2.56	
20	% de vacíos	%	4.60%	5.37%	5.45%	5.14%
20a	Absorción	%	0.87%	0.95%	0.61%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.26	0.26	0.26	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.47%	85.78%	85.70%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	8.93%	8.85%	8.85%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.53%	14.22%	14.30%	14.02%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	3.75%	3.75%	3.75%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	65.97%	62.24%	61.85%	63.36%
30	Lectura del anillo de carga	kN	17	16.23	14.88	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1733.49	1654.97	1517.31	
32	Factor de estabilidad		1.00	1.01	1.00	
33	Estabilidad corregida	kgf	1729.91	1664.49	1522.34	1638.91
35	Fluencia	mm	2.93	3.17	2.88	2.99
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	5904.15	5250.75	5285.90	5475.22

Diseño Mezcla Asfáltica filler puzolana (Carpetek) con 4.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	4.50%	4.50%	4.50%	Promedio
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.71%	48.71%	48.71%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.93%	43.93%	43.93%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.87%	2.87%	2.87%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43	
	h1	mm	61.61	61.57	61.09	
	h2	mm	60.57	62.22	61.67	
	h3	mm	61.21	63.35	62.61	
	h4	mm	61.68	60.48	62.48	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.27	61.91	61.96	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1194.1	1191.3	1191.8	
14	Peso de probeta saturada	gf	1195.4	1194.2	1193.9	
15	Peso de probeta en el agua	gf	709.5	708.6	707.2	
16	Volumen de la probeta	cm ³	485.9	485.6	486.7	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.46	2.45	2.45	2.45
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.51	2.51	2.51	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.54	2.54	2.54	
20	% de vacíos	%	2.02%	2.19%	2.37%	2.19%
20a	Absorción	%	0.27%	0.60%	0.43%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.01	0.01	0.01	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	87.16%	87.01%	86.85%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	10.82%	10.81%	10.79%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	12.84%	12.99%	13.15%	13.00%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.49%	4.49%	4.49%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	84.29%	83.17%	82.00%	83.15%
30	Lectura del anillo de carga	kN	18.44	18.64	18.47	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1880.33	1900.72	1883.39	
32	Factor de estabilidad		1.06	1.04	1.04	
33	Estabilidad corregida	kgf	1992.71	1976.51	1955.78	1975.00
35	Fluencia	mm	2.93	4.1	3.8	3.61
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	6801.04	4820.76	5146.79	5470.91

Diseño Mezcla Asfáltica filler puzolana (Carpetek) con 5.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.00%	5.00%	5.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.45%	48.45%	48.45%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.70%	43.70%	43.70%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.85%	2.85%	2.85%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43	
	h1	mm	59.83	61.66	63.79	
	h2	mm	62.24	60.86	63.31	
	h3	mm	62.66	61.52	60.57	
	h4	mm	61.97	62.38	59.56	
12	Altura promedio de la probeta	cm	61.68	61.61	61.81	
13	Peso de probeta en el aire	g	1185.2	1191.8	1192.2	1189.733
14	Peso de probeta saturada	g	1186.5	1192.8	1193.4	1190.9
15	Peso de probeta en el agua	g	704.8	708.9	706.2	706.6333
16	Volumen de la probeta	cm ³	481.7	483.9	487.2	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.46	2.46	2.45	2.46
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.52	2.52	2.52	
20	% de vacíos	%	1.58%	1.48%	2.11%	1.72%
20a	Absorción	%	0.27%	0.21%	0.25%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.71	2.71	2.71	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.19	0.19	0.19	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.81%	86.89%	86.33%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	11.62%	11.63%	11.55%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.19%	13.11%	13.67%	13.32%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	4.82%	4.82%	4.82%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	88.05%	88.72%	84.54%	87.10%
30	Lectura del anillo de carga	kN	14.68	14.58	14.44	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1496.92	1486.72	1472.45	
32	Factor de estabilidad		1.05	1.05	1.04	
33	Estabilidad corregida	kgf	1567.32	1559.90	1535.60	1554.27
35	Fluencia	mm	3.79	3.8	3.69	3.76
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	4135.41	4104.99	4161.52	4133.71

Diseño Mezcla Asfáltica filler puzolana (Carpetek) con 5.5% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	Nº	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	5.50%	5.50%	5.50%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	48.20%	48.20%	48.20%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.47%	43.47%	43.47%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.84%	2.84%	2.84%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.43	2.43	2.43	
	h1	mm	60.08	60.34	61.73	
	h2	mm	58.65	61.99	59.37	
	h3	mm	61.72	62.64	60.95	
	h4	mm	62.21	62.09	62.65	
12	Altura promedio de la probeta	cm	60.67	61.77	61.18	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1183.1	1192.5	1189.3	
14	Peso de probeta saturada	gff	1183.8	1193.8	1190.1	
15	Peso de probeta en el agua	g	705.2	708.8	705.9	
16	Volumen de la probeta	cm ³	478.6	485	484.2	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.47	2.46	2.46	2.46
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.48	2.48	2.48	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.50	2.50	2.50	
20	% de vacíos	%	0.24%	0.78%	0.88%	0.63%
20a	Absorción	%	0.15%	0.27%	0.17%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.69	2.69	2.69	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.14	0.14	0.14	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	86.75%	86.29%	86.20%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	13.00%	12.93%	12.92%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	13.25%	13.71%	13.80%	13.59%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.37%	5.37%	5.37%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	98.17%	94.34%	93.63%	95.38%
30	Lectura del anillo de carga	kN	13.3	13.37	12.22	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1356.20	1363.34	1246.07	
32	Factor de estabilidad		1.08	1.04	1.06	
33	Estabilidad corregida	kgf	1462.79	1423.62	1324.15	1403.52
35	Fluencia	mm	4.05	4.56	4.61	4.41

Diseño Mezcla Asfáltica filler puzolana (Carpetek) con 6.0% de C.A.						
Item	Descripción	Unidad	Muestra			Promedio
1	Número de Probeta	N°	A	B	C	
2	C.a en peso de la mezcla	%	6.00%	6.00%	6.00%	
3	% de grava en peso de la mezcla	%	47.94%	47.94%	47.94%	
4	% de arena en peso de la mezcla	%	43.24%	43.24%	43.24%	
5	% de filler en peso de la mezcla	%	2.82%	2.82%	2.82%	
6	Peso específico aparente del cemento asfáltico	gf/cm ³	1.02	1.02	1.02	
7	Peso esp. bulk de la grava	gf/cm ³	2.78	2.78	2.78	
8	Peso específico aparente de la grava	gf/cm ³	2.81	2.81	2.81	
9	Peso esp. bulk de la arena	gf/cm ³	2.62	2.62	2.62	
10	Peso específico aparente de la arena	gf/cm ³	2.66	2.66	2.66	
11	Peso específico ap. del filler	gf/cm ³	2.5	2.5	2.5	
	h1	mm	61.32	62.57	59.34	
	h2	mm	58.93	61.9	60.32	
	h3	mm	59.89	61.95	61.89	
	h4	mm	63.02	62.24	62.1	
12	Altura promedio de la probeta	cm	60.79	62.17	60.91	
13	Peso de probeta en el aire	gf	1171	1196.5	1188.2	
14	Peso de probeta saturada	gf	1171.3	1196.6	1188.4	
15	Peso de probeta en el agua	gf	694.7	705.3	704.7	
16	Volumen de la probeta	cm ³	476.6	491.3	483.7	
17	Peso específico bulk de la probeta	gf/cm ³	2.46	2.44	2.46	2.45
18	Peso específico máximo	gf/cm ³	2.46	2.46	2.46	
19	Máxima densidad teórica	gf/cm ³	2.48	2.48	2.48	
20	% de vacíos	%	0.00%	0.88%	0.02%	0.30%
20a	Absorción	%	0.06%	0.02%	0.04%	
21	Peso Específico bulk del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
22	Peso específico aparente del agregado total	gf/cm ³	2.73	2.73	2.73	
23	Peso específico efectivo del agregado total	gf/cm ³	2.70	2.70	2.70	
24	C.a absorbido por el peso del agregado seco	%	0.06	0.06	0.06	
25	% del volumen del agregado / volumen bruto de la probeta	%	85.69%	84.94%	85.67%	
26	% del volumen del c.a. efectivo / vol. de la probeta	%	14.31%	14.18%	14.31%	
27	% vacíos del agregado mineral	%	14.31%	15.06%	14.33%	14.57%
28	C.a efectivo / peso de la mezcla	%	5.94%	5.94%	5.94%	
29	Relación asfalto-vacíos	%	100.00%	94.16%	99.85%	98.00%
30	Lectura del anillo de carga	kN	9.92	9.72	11.25	
31	Estabilidad sin corregir	kgf	1011.54	991.15	1147.16	
32	Factor de estabilidad		1.07	1.03	1.07	
33	Estabilidad corregida	kgf	1087.09	1024.23	1228.45	1113.26
35	Fluencia	mm	4.68	5.36	5.32	5.12
36	Relación estabilidad/fluencia	kgf/cm	2322.85	1910.87	2309.12	2174.33



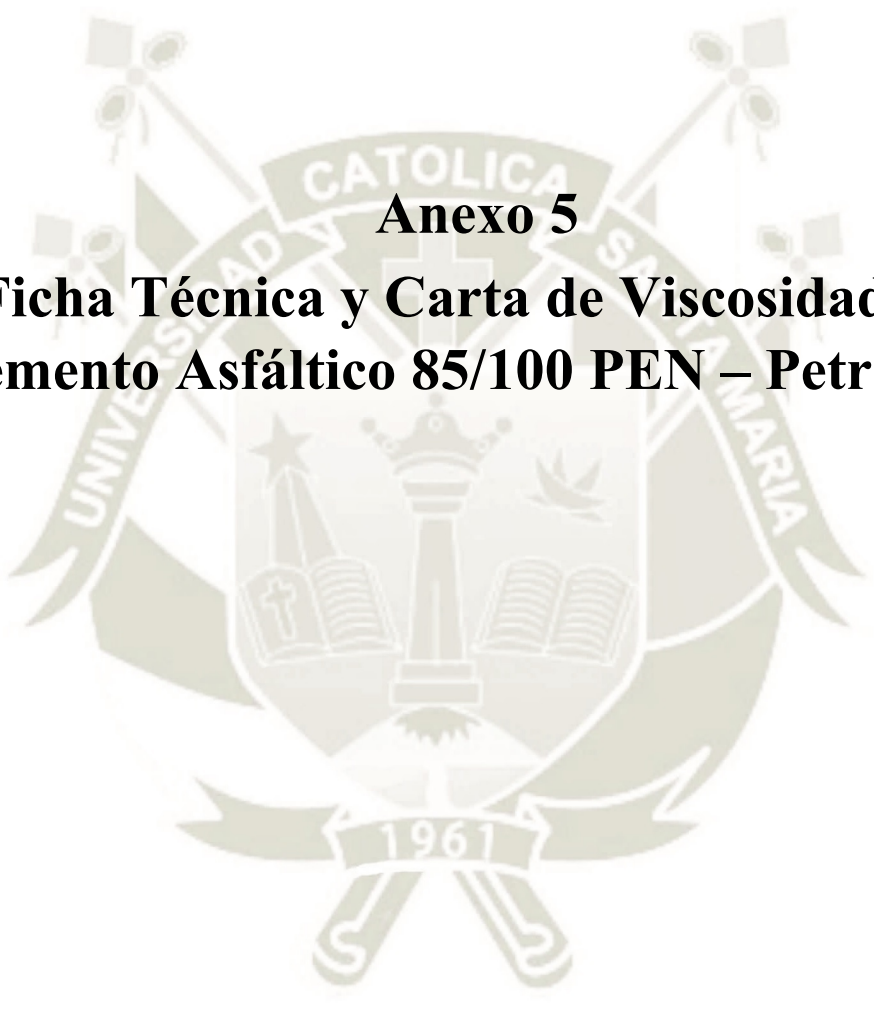
Anexo 4
Ensayos Rice – Peso Específico Teórico Máximo

Ensayo Rice para MAC con filler puzolana						
1	% Cemento Asfáltico	4.00 %	4.50 %	5.00 %	5.50 %	6.00%
2	Temperatura (°C)	25.3 °C	26.6 °C	29 °C	24.8 °C	23 °C
3	Peso Fiola + Tapa de vidrio (gf)	3065	3065	3065	3065	3065
4	Peso Fiola + Tapa + agua (gf)	9384.65	9383.66	9381.63	9385.01	9386.23
5	Peso Fiola + Tapa + muestra (gf)	5054	5058	5054	5062	5060
6	Peso Fiola + Tapa + muestra + Agua (gf)	10591.35	10582.03	10574.98	10576.18	10569.26
7	Peso de la muestra (gf)	1989	1993	1989	1997	1995
8	Volumen de la muestra (m ³)	782.30	794.6216	795.6422	805.83	811.9658
9	Peso específico teórico máximo (gf/cm ³)	2.542	2.508	2.500	2.478	2.457

Ensayo Rice para MAC con filler cemento						
1	% Cemento Asfáltico	4.00 %	4.50 %	5.00 %	5.50 %	6.00%
2	Temperatura (°C)	26 °C	30 °C	25.4 °C	25.7 °C	25.6 °C
3	Peso Fiola + Tapa de vidrio (gf)	3065	3066	3067	3068	3069
4	Peso Fiola + Tapa + agua (gf)	9384.12	9380.70	9384.58	9384.35	9384.43
5	Peso Fiola + Tapa + muestra (gf)	5058	5061	5059	5050	5056
6	Peso Fiola + Tapa + muestra + Agua (gf)	10595.09	10580.08	10578.85	10567.47	10566
7	Peso de la muestra (gf)	1993	1995	1992	1982	1987
8	Volumen de la muestra (m ³)	782.04	795.6247	797.72	798.88	805.4317
9	Peso específico teórico máximo (gf/cm ³)	2.548	2.507	2.497	2.481	2.467

Ensayo Rice para MAC con filler propio						
1	% Cemento Asfáltico	4.00 %	4.50 %	5.00 %	5.50 %	6.00%
2	Temperatura (°C)	25.1 °C	24.7 °C	28.7 °C	27.8 °C	25.4 °C
3	Peso Fiola + Tapa de vidrio (gf)	3065	3066	3067	3068	3069
4	Peso Fiola + Tapa + agua (gf)	9384.80	9385.08	9381.89	9382.67	9384.58
5	Peso Fiola + Tapa + muestra (gf)	5054	5057	5050	5051	5066
6	Peso Fiola + Tapa + muestra + Agua (gf)	10593.33	10582.06	10570.77	10566.39	10572.09
7	Peso de la muestra (gf)	1989	1991	1983	1983	1997
8	Volumen de la muestra (m ³)	780.47	794.0295	794.12	799.29	809.4852
9	Peso específico teórico máximo (gf/cm ³)	2.548	2.507	2.497	2.481	2.467

Ensayo Rice para MAC con filler cal hidratada						
1	% Cemento Asfáltico	4.00 %	4.50 %	5.00 %	5.50 %	6.00%
2	Temperatura (°C)	27.7 °C	28.4 °C	26.2 °C	26 °C	25.5 °C
3	Peso Fiola + Tapa de vidrio (gf)	3065	3066	3067	3068	3069
4	Peso Fiola + Tapa + agua (gf)	9382.76	9382.16	9383.97	9384.12	9384.50
5	Peso Fiola + Tapa + muestra (gf)	5040	5060	5059	5060	5063
6	Peso Fiola + Tapa + muestra + Agua (gf)	10582.78	10580.93	10578.25	10573.21	10570.23
7	Peso de la muestra (gf)	1975	1994	1992	1992	1994
8	Volumen de la muestra (m ³)	774.98	795.2259	797.72	802.91	808.2692
9	Peso específico teórico máximo (gf/cm ³)	2.548	2.507	2.497	2.481	2.467



Anexo 5
**Ficha Técnica y Carta de Viscosidad del
Cemento Asfáltico 85/100 PEN – Petroperú**



INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN) N° SRCO-LAB-2247-2017

FECHA DE REPORTE: 17.10.2017	FECHA DE RECEPCIÓN 16.10.2017	CÓDIGO DE MUESTRA : 16938			
HORA DE RECEPCIÓN: 09:40 HORAS	PROCEDENCIA: JEFATURA PRODUCCION	BUQUE/TANQUE: *****			
TANQUE DE MUESTREO : 9	VOLUMEN CERTIFICADO: *****	DESTINO: PLANTA CONCHÁN			
ENSAYOS	MÉTODO ASTM ^(A)	OTRO MÉTODO	RESULTADOS DEL ANALISIS	ESPECIFICACIONES	
				MIN.	MAX.
PENETRACIÓN:					
a 25°C, 100 gr, 5 seg., 1/10 mm	D 5-13		96	85	100
DUCTILIDAD:					
a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		>150	100	
FLUIDEZ:					
- Viscosidad Cinemática a 100°C, cSt	D 2170-10		1871	Reportar	-
- Viscosidad Cinemática a 135°C, cSt	D 2170-10		292	170	
SOLUBILIDAD:					
Solubilidad en Tricloroetileno, % masa	D 2042-15		99.7	99	
VOLATILIDAD:					
Punto de Inflamación, C.O.C., °C	D 92-15a		276	232	
DENSIDAD:					
Gravedad API a 60°F, °API	D 70-09 ⁽¹⁾		7.6	Reportar	
Gravedad Especifica a 60/60°F	D 70-09 ⁽¹⁾		1.017	Reportar	
SUSCEPTIBILIDAD TÉRMICA:					
Punto de Ablandamiento, °C	D 36-14e1		46.0	Reportar	
Índice de Penetración			-0.6	-1	1
Efecto de Calor y Aire (Película Fina):	D 1754-09(2014)				
- Pérdida por calentamiento, % masa			0.1		1.0
- Penetración Retenida, % del Original	D 5-13		61	47+	
- Ductilidad a 25°C, 5 cm/min, cm	D 113-07		>150	75	
OBSERVACIONES:					
1. LOS RESULTADOS CORRESPONDEN SÓLO A LA MUESTRA ANALIZADA.					
2. LA MUESTRA FUE PROPORCIONADA POR EL CLIENTE.					
La temperatura óptima de mezcla para este producto se encuentra entre 134 y 152°C					
Se adjunta Carta Viscosidad - Temperatura					
3.(A):American Society for Testing and Materials					
ORIGINAL - CLIENTE	ELABORADO POR: DORIS IMÁN LÓPEZ Ficha N° 55457		APROBADO POR: MICHAEL FIGUEROLA DUTHURBURU FICHA N° 55130 CGP N° 932		
COPIA 1 - ARCHIVO GENERAL DE INFORMES DE ENSAYO					
COPIA 2 - INFORME DE ENSAYO DE PRODUCTOS					

SRCOLAB-PT-010-F-06, Rev. 5

Pag 1 de 2

FIN DE INFORME

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU

Oficina Principal: Av. Enrique Canaval Moreyra 150, Lima 27 - Perú
Refinería Conchán: Km. 26.5, Antigua Panamericana Sur - Lima - Perú
Telfs.: (511) 625 4000, (511) 614 5000
Portal Empresarial: <http://www.petroperu.com.pe>
Sociedad inscrita en la Partida N° 11014754 del Registro de Personas Jurídicas

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL, SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU

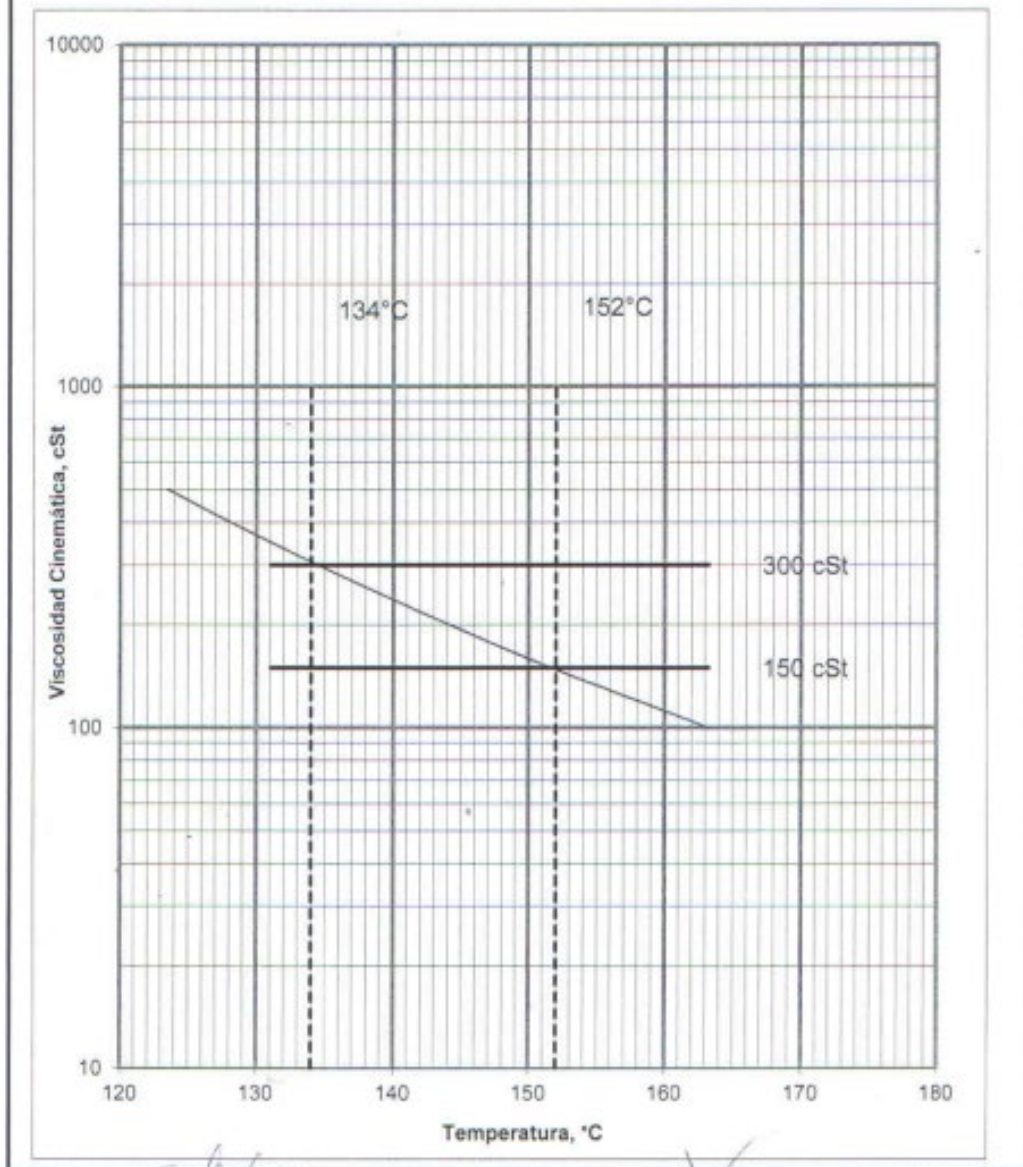


LABORATORIO REFINACIÓN CONCHÁN

INFORME DE ENSAYO (ASFALTO SÓLIDO 85/100 PEN)

N° SRCO-LAB-2247-2017

Carta Viscosidad - Temperatura ASTM D 341
Rango de Temperatura Óptima de Mezcla
TQ. 9 - C. A. 85 / 100 PEN. - 16.10.2017 - 09:40 horas



Pag 2 de 2

DORIS IMÁN LÓPEZ
Ficha N° 55457

MICHAEL AGÜERO OUTHURBURU
FICHA N° 55130
CGP N° 942

Oficina Principal: Av. Enrique Cáceres Moreyra 150, Lima 27 - Perú
Refinería Conchán: Km. 26.5, Antigua Panamericana Sur - Lima - Perú
Teléfono: (511) 625 4000, (511) 614 5000
Portal Empresarial: <http://www.petroperu.com.pe>
Sociedad inscrita en la Partida N° 11014754 del Registro de Personas Jurídicas

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL SIN AUTORIZACIÓN DE PETROPERU

Anexo 6

Ficha Técnica del Polvo de Roca – CARPETEK de ROCATECH



HOJA TÉCNICA



CARPETEK

Puzolana Micronizada

Descripción General

Material sílico-alumínico proveniente de suelos o rocas volcánicas, sometido a micronización para alcanzar granulometría específica que garantiza su homogeneidad y efecto óptimo. El cual al haber sido dividido finamente reacciona con el hidróxido de calcio formando compuestos de propiedades cementantes, con escasa solubilidad y alta resistencia según Norma ASTM 618-78. .

Campos de Aplicación Aditivo de Cemento

Hoy día, existen múltiples usos que pueden darse a la Puzolana, de entre todos ellos destaca la utilización como aditivo en la fabricación de cemento. La adición de Carpetek confiere las siguientes propiedades al cemento:

- Mayor defensa frente a los sulfatos y cloruros.
- Mayor resistencia frente al agua de mar.
- Aumento de la impermeabilidad ante la reducción de grietas en el fraguado.
- Reducción del calor de Hidratación.
- Incremento en la resistencia a la compresión.
- Incrementa la resistencia del acero a la corrosión.
- Aumenta la resistencia a la abrasión.
- Aumento en la durabilidad del cemento.
- Disminuye la necesidad de agua.

La base de todas estas mejoras es el denominado "Efecto Puzolánico" en el cemento. Los alumino-silicatos presentes en la puzolana, reaccionan con el Hidróxido de Calcio liberado en la hidratación del Cemento Pórtland. Esto se realiza en una reacción lenta, que disminuye el calor y consume el Hidróxido de Calcio, lo cual mejora su resistencia frente a ambientes ácidos, y al realizarse la reacción rellenan los espacios resultantes de la reacción de hidratación del cemento, incrementando la impermeabilidad y la resistencia mecánica.

Aditivo en Asfalto

Como componente de la **carpeta asfáltica en frío**, su granulometría le permite llenar los espacios vacíos que se producen al mezclar los agregados con el asfalto RC-250 , proporcionando mayor consistencia a la mezcla asfáltica.

Cuando la mezcla es **preparada en caliente**, origina un incremento en el efecto endurecedor, una reducción en la deformación, un incremento en el punto de ablandamiento y una reducción de la penetración. La propiedad de endurecimiento esta asociada al tamaño y forma de la partícula.

Uso Industrial y Agro-Industrial

Es un buen aislante térmico (0,21 Kcal/Hm² °C)

Por ser un material abrasivo, se usa en algunos detergentes abrasivos.

Es un sustrato inerte y aireante para cultivos hidropónicos.

Es un oxigenante para terrenos arcillosos y compactos.

Filtro natural de líquidos por su elevada porosidad.

Sustituto eficaz del pasto en zonas con carencia de agua de riego.

Datos Básicos

Aspecto	Polvo
Color	Salmón
Presentación	Bolsa de papel de 50,0 Kg. Bolsa BIG BAG de una tonelada.
Almacenamiento	Almacenar en un sitio fresco y bajo techo. Protegerlo de la humedad y de la lluvia.

Datos Técnicos

Análisis Físico

Densid. aparente (g/cm ³)	0,5 – 1,1	NT.NLT-176
Coefficiente emulsividad	0,1 – 0,6	NT.NLT-180
Retenido tamiz M-200 %	1,8 – 2,7	ASTM D-422
Retenido tamiz M-325 %	12,0 – 15,0	ASTM D-422
Peso específico (g/cm ³)	2,0 – 2,5	ASTM D-854
Humedad (%)	0,2 – 1,0	

Datos Técnicos

Análisis Químico

SiO ₂ (%)	65,46
Al ₂ O ₃ (%)	13,25
Fe ₂ O ₃ (%)	1,27
Na ₂ O (%)	3,55
K ₂ O (%)	3,73

**Instrucciones de
Seguridad**

Durante la manipulación del producto, evitar contacto directo con los ojos y vías respiratorias.

Use guantes y anteojos de seguridad.

En caso de contacto con los ojos, lavar inmediatamente con abundante agua.

Elaborado por el Área Técnica
Rocatech S.A.C.

Variante de Uchumayo Km. 6, Arequipa, Perú

E-Mail: ventas2@rocatech.com.pe / Web: www.rocatech.com.pe

Telef: (5154) 966540700 / (5154) 286382 / 51*129*1265



Anexo 7
Ficha Técnica Cal Hidratada – MYCAL VIAL

	FICHA TECNICA	Código:
	HIDROXIDO DE CALCIO – CAL HIDRATADA	Versión:004
	MYCAL VIAL	Fecha:29/04/2019

I. DESCRIPCION Y DEFINICION DEL PRODUCTO	
	<ul style="list-style-type: none"> Cal hidratada o Hidróxido de Calcio, es un compuesto inorgánico con la fórmula química Ca(OH)_2. Se trata de un polvo blanco, que resulta de la hidratación de la cal viva con agua para satisfacer su afinidad química. El análisis físico-químico se realiza bajo los lineamientos de la norma AASHTO – M303 y los procedimientos internos de la Organización. Es un producto fabricado a partir de la calcinación de la roca caliza (CaCO_3) y su posterior hidratación. Definición Nuestro producto: MYCAL VIAL Nombre Químico: Hidróxido de Calcio Formula Química: Ca(OH)_2 Estado Físico: Solido Peso Molecular: 74.09 g/mol Nombre Comercial: Cal Hidratada

II. COMPOSICION				
PROPIEDADES QUIMICAS			PROPIEDADES FISICAS	
Nombre del Compuesto	Formula	Valor	Granulometría	
Cal Activa (Cal Total)	$\text{Ca(OH)}_2 + \text{Ca(O)}$	Max 91 %	Retenido sobre Tamiz #30 (590 μm)	Max. 1.0 %
Cal no Hidratada		Max 2.5 %	Retenido sobre Tamiz #100(150 μm)	Max. 0.5 %
Cal Útil	Ca(O)	Min 70 %	Retenido sobre Tamiz #200(150 μm)	Max. 2.5 %
Humedad (Agua Libre)		$\leq 0.1 \%$	Gravedad especifica	2.65 g/cm ³
Oxido de Magnesio	MgO	$\leq 0.05 \%$		
Oxido de Silicio	SiO_2	$\leq 0.14 \%$		

III. PRESENTACION



- Sacos de polipropileno laminado de 25 Kg.
- Sacos de polipropileno laminado de 40 Kg.
- En Big Bag con Liners y rotulado de 1 TN, ½ TN
- Bombonas

IV. USOS Y BENEFICIOS DE SU APLICACIÓN EN PROYECTOS DE ASFALTO

- ✓ Su aplicación a las mezclas de asfalto aumenta la durabilidad de la superficie pavimentada en al menos un 25 %.
- ✓ Los suelos tratados con este producto reducen notablemente su índice plástico y contracción lineal.
- ✓ Aumenta el valor relativo de soporte y resistencia a la compresión de manera permanente.
- ✓ En las mezclas calientes de asfalto, funciona como un agente antidesgarrante, de relleno y regulador de la viscosidad.
- ✓ Logra reducir la sensibilidad a la humedad y aumentar el endurecimiento inicial.
- ✓ Evita el envejecimiento prematuro de la carpeta asfáltica
- ✓ Asfaltos mixtos en frío y en caliente utilizados para la construcción y el mantenimiento de carreteras.

V. ALMACENAMIENTO

- Almacenar en un lugar fresco, seco y ventilado.
- Lejos de fuentes de calor e ignición.
- Proteger contra daños físicos.
- Los envases de este material pueden ser peligrosos cuando están vacíos ya que retienen residuos del producto (polvo, sólidos).
- Mantener la bolsa herméticamente cerrada.



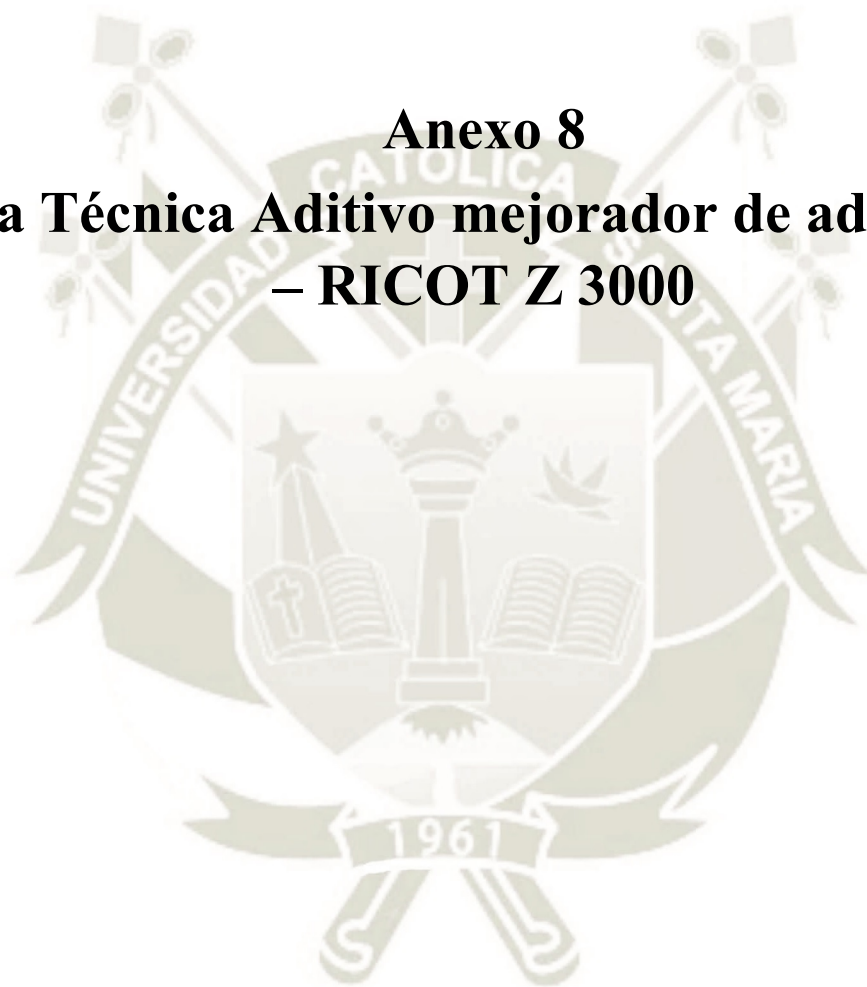
VI. PRECAUCIONES Y RECOMENDACIONES	
<p>Transporte y Manipuleo</p> <ul style="list-style-type: none"> • Proteger del agua. • Estar totalmente cubierto. • Proteger de la intemperie. • Utilizar: Crema protectora aplicada al cuello, puños, tobillos, cintura y manos. • No presenta olor • No es inflamable • No posee explosión potencial • Reacción: El óxido de calcio reacciona con ácidos, formando sales de calcio, de las cuales algunas serían solubles. 	<p>Cuidados al Contacto</p> <ul style="list-style-type: none"> • La exposición al hidróxido de calcio por las vías de inhalación, contacto con la piel, ojos o por la ingestión, puede afectar el organismo. • La exposición aguda a corto plazo, irritará ojos, nariz, garganta y piel. • La exposición a largo plazo puede producir dermatitis. • El contacto con la piel producirá irritación, quemaduras, corrosión y posible daño severo. • El contacto con los ojos produce daños graves y pérdida de visión. • La inhalación de la cal hidratada produce inflamación del aparato respiratorio. • La ingestión produce quemaduras y causticidad.

VII. INFORMACION ADICIONAL
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Para el manipuleo seguro del producto, recurrir a la hoja MSDS del producto. ➤ Por otros datos técnicos del producto y modo de empleo póngase en contacto con nosotros.

VIII. CONSIDERACIONES
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Los resultados del producto pueden variar, dado que la materia prima es un producto natural. ➤ La información y las instrucciones suministradas en esta HDT no constituye una garantía de performance técnica ni de idoneidad para aplicaciones particulares y no establece relaciones contractuales legalmente válidas. ➤ Esta versión de HDT sustituye todas las versiones anteriores.



Anexo 8
Ficha Técnica Aditivo mejorador de adherencia
– RICOT Z 3000





EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los faisanes N° 675 Urb. La Campiña - Chorrillos
Telf.: (01) 2523058 Cel.: 998 128 514/ 996 330 130

Hoja Técnica - Edición 18 - Versión 08.16

Productos para Carreteras

Ricot Z 3000

Descripción: Aditivo para mejorar el asfalto tanto en su adhesividad como impermeabilidad.

Es de color Gardner tipo Amina de cadena lineal.

PROCEDIMIENTO

Características Físicas:

- Aspecto: LÍQUIDO VISCOSO (Según requerimiento del cliente)
- Color Gardner: 13 – 15
- Peso Combinado Molecular: 362
- Punto de Fundición °C: 46 – 70 a mayores 30° C Líquido Viscoso
- Punto de Inflamación °C: 200°C INASSA ASTM D 92
- Gravedad Específica: 0.9960
- Referencia Acuosa a 25°C: 0.82 – 0.85
- Resistencia a los Rayos U. V.
- Total Aminas: 417.29, ASTM D 2073.
- Adherencia Agregado Petro.
- ASTM D 3625: + 95
- Viscosidad a 25°C: 5,000 – 8,000 CPS

Ventajas

- Resistente a las variaciones climatológicas.
- Resistente a los sulfatos y los salitres.
- Aumenta la adhesividad y permeabilidad del asfalto.
- Aumenta la manejabilidad del asfalto, lo hace más plástico.
- Tiene una compactación más pareja.
- Arquitectónicamente queda mucho más liso debido a que disminuye el porcentaje de vacíos.

Aplicación

En cuanto a la aplicación de RICOT Z 3000 recomendamos que se agregue directamente en los tanques de asfalto y a través de una tubería en forma de vaso comunicante, con una bomba recircular, para después ser enviado para el diseño de la carpeta asfáltica.

E-mail: ventas@zcorporacion.com.pe | colizacion@zcorporacion.com.pe | web site: www.zaditivos.com.pe
 ZETITA: Av. San Luis 3051 - San Borja Telf.: (01)7155745 - 998 288 456 | Av. Elmer Faucett 163 - Callao Telf.: (01)715-5770 - 998128493
 Chidlayo: Calle Los Tumbos 505 Urb. San Eduardo Telf.: (074) 223 718 - 994 278 778 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 744 Telf.: (061) 573 591 - 998128495
 Piura: Av. Bolognesi 311 Int.3 Telf.: (073) 321480 - 972001351 | Sullana: Calle Independencia 478 Telf.: (073) 509408 - 995366430
 Cuzco: Av. Tomasa Tito Condemayta 1032 - Wanchaq Telf.: (084) 257 111 - 994 086 746
 Arequipa: Calle Paucarpata 323A - Cercado Telf.: (054) 203 388 - 994044894 | Trujillo: Av. América Sur 818 Urb. Palermo Telf.: (044) 425 548 - 998127657



EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los falsanés N° 675 Urb. La Campiña - Chorrillos.
Telf.: (01) 2523058 Cel.: 998 128 514/ 996 330 130

Hoja Técnica - Edición 18 - Versión 08.16

Cuidados

- Tener cuidado con la arena por el porcentaje de salinidad.
- Revisar con un microscopio si la piedra de la arena es cóncava o redonda.
- De preferencia deberá ser cóncava debido a que armará como un rompecabezas, por poner un ejemplo se obtendrá una mejor cohesión del material.
- Al vaciar el RICOT Z 3000 deben tener cuidado y evitar que pueda salpicar el asfalto caliente.
- Se recomienda el uso de guantes, lentes y mascarilla. Para mayor detalle remitirse a la hoja de seguridad del producto.

Dosificación

- 0.5% al 1% del peso del asfalto para carpeta asfáltica.
- Bicapa 2 % del peso del asfalto (pen).
- Mayor tráfico usar Estabilizador Z con Polímeros (1% peso del cemento asfáltico)

Solubilidad

- Agua a 25 °C: Insoluble.
- Gasolina 25° : Parcialmente Soluble
- Alcohol isopropileno a 25° : Soluble

Ensayos

- Para comportamiento de los agregados y asfalto se recomienda realizar prueba Lottman ASTMD 4867.
- Se deberá realizar pruebas aumentando los porcentajes de RICOT Z 3000 en 0.25, 0.50, 0.75, 1%, hasta obtener una tabla que contenga los valores necesarios, para que se aprecie un buen recubrimiento de adherencia entre arena y asfalto según ensayo ASTM D 3625 y Resistencia a la Temperatura ASTM D 92.
- Usar el 2 % para tratamiento de Bicapas con aminas. Para mayor tráfico en la carretera utilizar resina Estabilizador Z con Polímeros al 1 % del peso del asfalto.
- Utilizar el 0.5 % de aditivo RICOT Z 3000 x cilindro de RC 250 para imprimación.

E-mail: ventas@zcorporacion.com.pe | cotizacion@zcorporacion.com.pe | web site: www.zaditivos.com.pe
ZETITA: Av. San Luis 3051 - San Borja Telf.: (01)7155745 - 998 288 456 | Av. Elmer Faucett 163 - Callao Telf.: (01)715-5770 - 998 128493
Chidayo: Calle Los Tumbos 505 Urb. San Eduardo Telf.: (074) 223 718 - 994 278 778 | Pucallpa: Jr. Coronel Portillo 744 Telf.: (061) 573 591 - 998128495
Piura: Av. Bolognesi 311 Int.3 Telf.: (073) 321480 - 972001351 | Sullana: Calle Independencia 478 Telf.: (073) 509408 - 995366430
Cuzco: Av. Tomasa Tito Condemayta 1032 - Wanchaq Telf.: (084) 257 111 - 994 086 746
Arequipa: Calle Paucarpata 323A - Cercado Telf.: (054) 203 388 - 994044894 | Trujillo: Av. América Sur 818 Urb. Palermo Telf.: (044) 425 548 - 998127657



EL MEJOR AMIGO DEL CONCRETO

Lima: Av. Los faisanes N° 675 Urb. La Campiña - Chorrillos.
Telf.: (01) 2523058 Cel.: 998 128 514/ 996 330 130

Hoja Técnica - Edición 18 - Versión 08.16

Almacenaje

La vida útil de RICOT Z 3000 cuando está bien sellado y almacenado es de 1 año.

Envases

- Cilindros de 181.4 Kg.
- Pesos Especificos

