



UNIVERSIDAD
DE PIURA

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Comparación en laboratorio de las propiedades mecánicas
y la resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica con
caucho y una mezcla asfáltica con aditivo mejorador de
adherencia**

Tesis para optar el Título de
Ingeniero Civil

**Luis Javier Guerrero Chumacero
Franco Luis Prado Cardenas**

**Asesor:
Mgtr. Ing. Francisco Benjamín Chávez More**

Piura, mayo de 2022



A Dios por ser mi fortaleza en los momentos más difíciles de mi vida.

A mis padres Luis y Celia, por ser mi guía y apoyo en el camino de la vida.

Al Mgtr. Ing. Francisco Chávez More por sus aportes y orientaciones brindados como asesor en todo el proyecto de tesis.

Luis Javier Guerrero Chumacero

A Dios por estar siempre presente en mi crecimiento profesional y personal.

A mi padre Mateo, mi madre Nory y mi hermano Teo por su amor, motivación y apoyo incondicional.

Al Mgtr. Ing. Francisco Chávez More por su asesoría durante todo este proyecto.

Franco Luis Prado Cardenas





Resumen

Con la finalidad de brindar alternativas que proporcionen mejoras en el comportamiento mecánico y resistencia a la humedad de las calzadas asfálticas de la región Piura, surge la idea de elaborar mezclas asfálticas en caliente (MAC) a base de insumos como el aditivo mejorador de adherencia o de materiales que ayuden en la preservación del medio ambiente como el caso del grano de caucho reciclado (GCR).

En base a estas premisas, la presente tesis tiene como objetivo evaluar y comparar las propiedades mecánicas y la susceptibilidad a la humedad que conlleva la adición del caucho y el aditivo mejorador de adherencia sobre una mezcla asfáltica base, mediante los parámetros Marshall (MTC E504 - E505) y el ensayo de Lottman Modificado (ASSHTO T 283) y así determinar cuál de las dos alternativas le otorga a la mezcla asfáltica un mejor comportamiento mecánico y una mayor durabilidad. Por lo cual se fabricaron cuatro mezclas asfálticas de acuerdo con la metodología Marshall (MTC E504).

La primera mezcla asfáltica fue convencional, la segunda mezcla asfáltica se define por la utilización de 1% de aditivo mejorador de adherencia Ricot Z, y las dos mezclas asfálticas restantes se caracterizaron por reemplazar pequeñas cantidades de agregado fino por partículas de GCR en el tamiz #08, en proporciones de 1% y 1.5% respectivamente, en relación con el peso total de los agregados. La utilización del GCR fue por medio de vía seca. Para todas las mezclas asfálticas se usó un agregado grueso de la cantera Sojo, un agregado fino de la cantera Cerro Mocho, cemento asfáltico PEN 60/70 y una misma gradación de combinación de agregados.

Los resultados indican que la modificación del asfalto con 1% de aditivo mejorador de adherencia permite potenciar las propiedades mecánicas y la resistencia a la humedad de una mezcla asfáltica tradicional. Por su parte, la mezcla asfáltica con 1% de GCR logra cumplir con los requisitos mínimos de los parámetros Marshall, presentar una mayor resistencia a la tracción indirecta (ITS) en condición húmeda y resistencia retenida (TSR) que la mezcla convencional, y entre las mezclas asfálticas modificadas es la menos costosa.

Se concluye que la incorporación del aditivo Ricot Z le otorga a la mezcla asfáltica un mejor comportamiento mecánico y una mayor durabilidad, que el GCR. Y si bien la utilización del caucho o aditivo eleva un poco el costo de fabricación de las mezclas asfálticas, ambos materiales permitirán reducir gastos de mantenimiento en los pavimentos.



Tabla de contenido

Introducción	15
Capítulo 1 Marco teórico.....	17
1.1 Caucho.....	17
1.1.1 Generalidades	17
1.1.2 Uso del caucho	19
1.1.3 Problemática.....	25
1.1.4 Método de utilización en mezclas asfálticos	31
1.2 Aditivo mejorador de adherencia	35
1.2.1 Generalidades	35
1.2.2 Funcionamiento	36
1.2.3 Efectos en la mezcla asfáltica.....	38
Capítulo 2 Caracterización de los materiales y plan experimental.....	43
2.1 Materiales	43
2.1.1 Agregados.....	43
2.1.2 Asfalto.....	44
2.1.3 Grano de caucho reciclado (GCR)	45
2.1.4 Aditivo mejorador de adherencia	47
2.2 Caracterización de los agregados y del grano de caucho reciclado.....	48
2.3 Especificaciones para el diseño de mezclas asfálticas	56
2.4 Especificaciones para el ensayo de Tracción Indirecta (Resistencia a la humedad)	58
Capítulo 3 Resultado del diseño de las mezclas asfálticas y la resistencia a la humedad	61
3.1 Mezcla asfáltica base	61

3.1.1 Diseño de la mezcla.....	61
3.1.2 Resistencia a la humedad	63
3.2 Mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia	64
3.2.1 Diseño de mezcla	64
3.2.2 Resistencia a la humedad	66
3.3 Mezcla asfáltica con caucho mediante el proceso seco	67
3.3.1 Diseño de Mezcla	67
3.3.2 Resistencia a la humedad	72
Capítulo 4 Análisis de resultados	75
4.1 Comparación de resultados en laboratorio	75
4.1.1 Parámetros Marshall	75
4.1.2 Resistencia a la humedad	87
4.2 Aspecto económico.....	91
4.2.1 Mezcla asfáltica base.....	91
4.2.2 Mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia.....	92
4.2.3 Mezcla asfáltica con caucho mediante proceso seco (M2-A).....	94
4.2.4 Mezcla asfáltica mediante proceso seco (M2-B).....	95
Conclusiones.....	97
Recomendaciones	99
Referencias bibliográficas	101
Apéndices	105
Apéndice A. Archivo fotográfico	106
A.1 Grano de caucho reciclado (GCR) del tamiz #08.....	106
A.2 Densidad Rice de la mezcla asfáltica patrón con 6% de contenido óptimo de asfalto ...	106
A.3 Modificación del asfalto PEN 60/70 con aditivo mejorador de adherencia Ricot Z.....	107
A.4 Colocación de asfalto modificado con aditivo	107
A.5 Mezcla asfáltica modificada con 1% de caucho (mezcla M2-A)	108
A.6 Colocación de las mezclas asfálticas modificadas con caucho en horno (proceso de digestión).....	108
A.7 Mezcla asfáltica modificada con caucho retirada del horno	109

A.8 Muestras de las diferentes mezclas asfálticas del ensayo Marshall.....	109
A.9 Espécimen de mezcla asfáltica patrón para ensayo Lottman modificado	110
A.10 Especímenes de mezcla asfáltica modificada con 1.5% de caucho (mezcla M2-B) para ensayo Lottman modificado.....	110
A.11 Muestra en condición seca en máquina de prueba	111
A.12 Ruptura ITS del espécimen en condición seca de la mezcla asfáltica M1	111
Anexos	113
Anexo A. Caracterización del agregado grueso – piedra chancada	114
A.1 Análisis granulométrico	114
A.2 Peso específico y absorción	115
A.3 Partículas chatas y alargadas.....	116
A.4 Caras fracturadas	117
A.5 Abrasión de Los Ángeles.....	118
A.6 Durabilidad al sulfato de magnesio	119
Anexo B. Caracterización del agregado fino – arena gruesa	120
B.1 Análisis granulométrico.....	120
B.2 Peso específico y absorción	121
B.3 Durabilidad al sulfato de magnesio.....	122
B.4 Angularidad del agregado fino.....	123
B.5 Equivalente de arena	124
Anexo C. Caracterización del grano de caucho reciclado (GCR) como agregado fino.....	125
C.1 Análisis granulométrico.....	125
C.2 Peso específico y absorción	126
C.3 Durabilidad al sulfato de magnesio.....	127
C.4 Angularidad del agregado fino.....	128
C.5 Equivalente de arena	129
Anexo D. Ensayo de adhesividad Riedel y Weber de los agregados finos.....	130
D.1 Mezcla de arena gruesa con asfalto convencional	130
D.2 Mezcla de arena gruesa con asfalto modificado con aditivo Ricot Z	131
D.3 Mezcla de grano de caucho reciclado con asfalto convencional	132

Anexo E. Ensayo Marshall	133
E.1 Mezcla MP	133
E.2 Mezcla M1	140
E.3 Mezcla M2-A.....	147
E.4 Mezcla M2-B.....	154
Anexo F. Ensayo Lottman modificado.....	161
F.1 Mezcla MP	161
F.2 Mezcla M1	162
F.3 Mezcla M2-A.....	163
F.4 Mezcla M2-B.....	164
F.5 Peso específico máximo (RICE).....	165



Lista de tablas

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del caucho	20
Tabla 2. Composición del neumático	20
Tabla 3. Estructuras químicas de los diferentes aditivos mejoradores de adherencia	39
Tabla 4. Efectividad de los aditivos	41
Tabla 5. Selección del tipo de cemento asfáltico	45
Tabla 6. Caracterización del cemento asfáltico PEN 60/70	45
Tabla 7. Granulometría del grano de caucho reciclado	46
Tabla 8. Datos técnicos del aditivo Ricot Z	48
Tabla 9. Combinación de agregados usado en todas las mezclas	49
Tabla 10. Caracterización de los agregados minerales y GCR	51
Tabla 11. Adherencia Riedel – Weber de los agregados finos	53
Tabla 12. Índice de adhesividad de la mezcla arena gruesa-asfalto convencional	54
Tabla 13. Índice de adhesividad de la mezcla arena gruesa-asfalto modificado con aditivo Ricot Z	54
Tabla 14. Índice de adhesividad de la mezcla GCR-asfalto convencional	56
Tabla 15. Diseño Marshall para probetas de 1200 gr de peso (MP)	61
Tabla 16. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla MP	63
Tabla 17. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla MP	64
Tabla 18. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla M1	66
Tabla 19. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla M1	67
Tabla 20. Diseño Marshall con 1% de GCR para probetas de 1200 gr de peso (M2-A)	67
Tabla 21. Diseño Marshall con 1.5% de GCR para probetas de 1200 gr de peso (M2-B)	68
Tabla 22. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla M2-A	72

Tabla 23. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla M2-A	72
Tabla 24. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla M2-B	73
Tabla 25. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla M2-B.....	73
Tabla 26. Resumen de los resultados del ensayo Marshall	82
Tabla 27. Resumen de resultados del ensayo Lottman modificado	87
Tabla 28. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica patrón	92
Tabla 29. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia.....	93
Tabla 30. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica con GCR mediante el proceso seco (M2-A)	94
Tabla 31. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica con GCR mediante el proceso seco (M2-B).....	95



Lista de figuras

Figura 1. Árbol de caucho.....	17
Figura 2. Mercado del caucho	19
Figura 3. Primeros neumáticos.....	21
Figura 4. Composición del neumático.....	22
Figura 5. Estructura del césped artificial.....	23
Figura 6. Producción mundial de vehículos de motor 1950 – 2013	26
Figura 7. Ventas europeas de neumáticos de repuesto, marzo de 2020	27
Figura 8. Gestión de NFU en España	28
Figura 9. Gestión de NFU en Europa	28
Figura 10. Producción de neumáticos en el Perú.....	29
Figura 11. Proyección de la cantidad de neumáticos sin uso en La Libertad	30
Figura 12. Fabricación de asfalto modificado con caucho por vía.....	32
Figura 13. Fabricación de asfalto modificado con caucho por vía seca.....	34
Figura 14. Unión de las moléculas de una gota de asfalto.....	36
Figura 15. Ángulo de contacto entre una gota de asfalto con el.....	37
Figura 16. Unión de moléculas de asfalto y agregado	38
Figura 17. Enlace químico entre agregados y un aditivo	39
Figura 18. Diagrama de flujo del método de Riedel y Weber	40
Figura 19. Método AASHTO T-283	41
Figura 20. Agregado grueso-piedra chancada	43
Figura 21. Agregado fino-arena gruesa de Cerro Mocho.....	44
Figura 22. Grano de caucho reciclado (GCR).....	46
Figura 23. Curva granulométrica del grano de caucho reciclado	47

Figura 24. Aditivo Ricot Z.....	47
Figura 25. Curva granulométrica de la combinación de agregados.....	50
Figura 26. Ensayo Riedel–Weber para	55
Figura 27. Gráficas Marshall para la mezcla MP	62
Figura 28. Gráficas Marshall para la mezcla M1	65
Figura 29. Gráficas Marshall para la mezcla M2-A.....	70
Figura 30. Gráficas Marshall para la mezcla M2-B.....	71
Figura 31. % Vacíos de las mezclas asfálticas.....	76
Figura 32. Peso específico de las mezclas asfálticas	77
Figura 33. %VMA de las mezclas asfálticas.....	78
Figura 34. %VFA de las mezclas asfálticas.....	79
Figura 35. Estabilidad de las mezclas asfálticas.....	80
Figura 36. Flujo de las mezclas asfálticas.....	81
Figura 37. Resumen de estabilidad.....	84
Figura 38. Resumen de flujo.....	85
Figura 39. Resistencia a la tracción de muestras asfálticas secas (resistencia seca).....	88
Figura 40. TSR de las distintas mezclas asfálticas.....	89
Figura 41. Comparación económica de las mezclas asfálticas.....	96

Introducción

Los pavimentos asfálticos son uno de los elementos estructurales de tipo vial, que sostienen el proceso de desarrollo y demanda en la región Piura. Durante el Fenómeno El Niño Costero del año 2017, las vías principales de la región sufrieron graves daños, especialmente debido a la poca resistencia a la humedad que presentan las mezclas asfálticas convencionales.

Algunos estudios indican que uno de los principales problemas del deterioro temprano de los pavimentos se debe al uso de agregados silicios, de naturaleza ácida, los cuales son hidrofílicos y no desarrollan una buena adherencia con el asfalto. En Piura y en la mayor parte del Perú predominan este tipo de agregados (Rolando, 2002) (Chávez F., 2019, p.2).

Frente a este problema, la presente tesis explora la utilización del aditivo mejorador de adherencia como modificador del ligante y con el cual se podría reducir notablemente la susceptibilidad al daño por humedad de una mezcla asfáltica en caliente (Vargas, Leiva, Aguiar & Loria, 2015). Además del aditivo se considera la incorporación del grano de caucho reciclado (GCR) como parte del peso total de agregados de una mezcla asfáltica en caliente (MAC), pues el caucho es un material elástico y de propiedades hidrofóbicas que podría posibilitar una mejora en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica (Ramírez, 2006).

Es importante mencionar que la reutilización del caucho como modificador de mezclas asfálticas ayuda en la preservación del medio ambiente. El alto porcentaje de residuos de caucho, generalmente provenientes de neumáticos fuera de uso en todo el mundo, ha generado toda una corriente de técnicas de reciclaje y reutilización para contrarrestar esta problemática ambiental (Reciclaje Verde, 2012).

La investigación se ha estructurado en cuatro capítulos. El capítulo uno abarca fundamentos teóricos acerca del grano de caucho reciclado, así como métodos de utilización de este material en mezclas asfálticas; también se menciona el funcionamiento del aditivo mejorador de adherencia y sus efectos en la mezcla asfáltica.

El capítulo dos se enfoca en la caracterización de los materiales utilizados para la fabricación de las mezclas asfálticas, y en la comparación entre el agregado fino y el grano de caucho reciclado con el fin de determinar si el GCR puede ser utilizado como reemplazo de la arena natural.

En el capítulo tres se mencionan los resultados del ensayo Marshall y del ensayo Lottman modificado de las mezclas asfálticas diseñadas.

Por último, el capítulo 4 se ha centrado en la evaluación y comparación de los resultados de las mezclas asfálticas, determinando que alternativa, mejorador de adherencia o caucho, le otorga a la MAC mejores propiedades mecánicas y una mejor resistencia a la humedad. Además, de una breve comparación económica de los precios en la elaboración y construcción de cada una de las mezclas asfálticas propuestas.



Capítulo 1

Marco teórico

1.1 Caucho

1.1.1 Generalidades

El caucho es un material obtenido a partir de las secreciones tipo lechosa, que son producidas por un árbol de la familia de las euforbiáceas que se conoce popularmente como árbol de caucho (Figura 1). Asimismo, el caucho se puede extraer de otras plantas que contienen látex como el ficus y el diente de león común.



Figura 1. Árbol de caucho
Fuente: (GESTYRE, 2018)

Tiene como lugar de origen el sur y centro de América, donde grupos indígenas del Amazonas lo llamaban “el árbol que llora” o en quechua: cautchouc, término del cual deriva su nombre actual. Las primeras evidencias del uso del caucho se remontan al año 1600 a.C., fecha en la que datan antiguas pelotas halladas en Mesoamérica, las cuales según crónicas españolas eran utilizadas en un juego practicado por los aztecas (De la Peña, 2006). Por lo que se puede afirmar que el uso del caucho se dio mucho antes de la llegada de los europeos a

América, el cual servía principalmente para la elaboración de vasijas y láminas impermeables (Wade, 1996).

Tras el descubrimiento del caucho se realizaron muchos estudios, uno de ellos es el del naturalista, geógrafo y matemático Charles Marie de La Condamine, el cual volvió a París en 1744 luego de una expedición geográfica a América del Sur hecho por el gobierno francés. Dicha expedición tenía como misión explorar científicamente la zona para poder así recolectar información en esta parte del mundo. De entre todos los datos recopilados hubo un gran interés general y científico por el caucho, sustancia obtenida del látex que emana de la corteza de determinados árboles, debido a lo cual se empezó a estudiar sus propiedades y a darle nuevos usos. (Ullán, 2004) afirma:

Hacia 1760 se impermeabilizaban botas y morrales con caucho, hacia 1768 se empezaban a fabricar tubos y catéteres, en 1769 se inventa la goma de borrar, hacia 1785 se utilizaba en la construcción de globos, hacia 1800 Belem do Pará exportaba ya zapatos de caucho en cantidades significativas a Nueva Inglaterra y en 1813 se abría en Francia una fábrica de ligas hechas de caucho. Su explotación a escala industrial estaba, sin embargo, limitada todavía por su gran sensibilidad a los cambios de temperatura, que alteraban notablemente la calidad del producto. (p.2)

En la década de 1820 el caucho estaba empezando a atraer más y más interés. Los cargamentos de Brasil rumbo a Europa eran cada vez más frecuentes, pero el problema del caucho con la temperatura hacía que todos aquellos objetos hechos de este material en épocas frías durante el invierno estos se tornasen duros, mientras que en verano durante el calor se derretían y se convertían en una especie de sustancia viscosa.

En 1839 Charles Goodyear, inventor estadounidense, encontró la solución a este problema por pura casualidad al derramar un recipiente de azufre y caucho sobre una estufa, endureciéndose la mezcla y volviéndose impermeable, esta no perdía elasticidad al enfriarse ni solidez al calentarse; este proceso fue llamado vulcanización en honor al dios Vulcano, deidad romana de los metales, el fuego y las fraguas.

El proceso de vulcanización genera que moléculas elásticas del caucho queden unidas entre sí mediante enlaces cruzados o puentes, dando así mayor estabilidad a la temperatura además de añadir mucha más durabilidad y resistencia al ataque químico en comparación a la que tenía en su estado natural. La vulcanización puso las bases definitivas para la explotación industrial del caucho, el cual tendría un impulso definitivo con la introducción de los neumáticos en 1888 por John Boyd Dunlop (Dominguez & Gómez, 1990).

La importancia que adquirió el caucho a nivel mundial hizo que se creara un monopolio en la región amazónica de producción y comercialización del caucho, lo que ocasionó que el precio de la materia prima creciera exorbitantemente. En búsqueda de soluciones, Charles de La Condamine descubrió que el caucho estaba compuesto por cadenas de hidrocarburo, lo

que abrió la posibilidad de producir caucho de manera artificial. A fines del siglo XIX se desarrolló el caucho sintético, el cual es un tipo de polímero que en comparación con el caucho natural tiene propiedades mecánicas mejoradas, como una mayor deformación elástica bajo estrés y retorno a su forma inicial sin deformación permanente (Bustillo & Quintero, 2016).

Actualmente, el caucho sintético es más producido que el caucho natural alrededor del mundo, sin embargo, este último se sigue produciendo sobre todo en épocas de encarecimiento del petróleo ya que dificulta la producción del caucho sintético. La Figura 2 muestra el consumo y producción del caucho en el mundo.

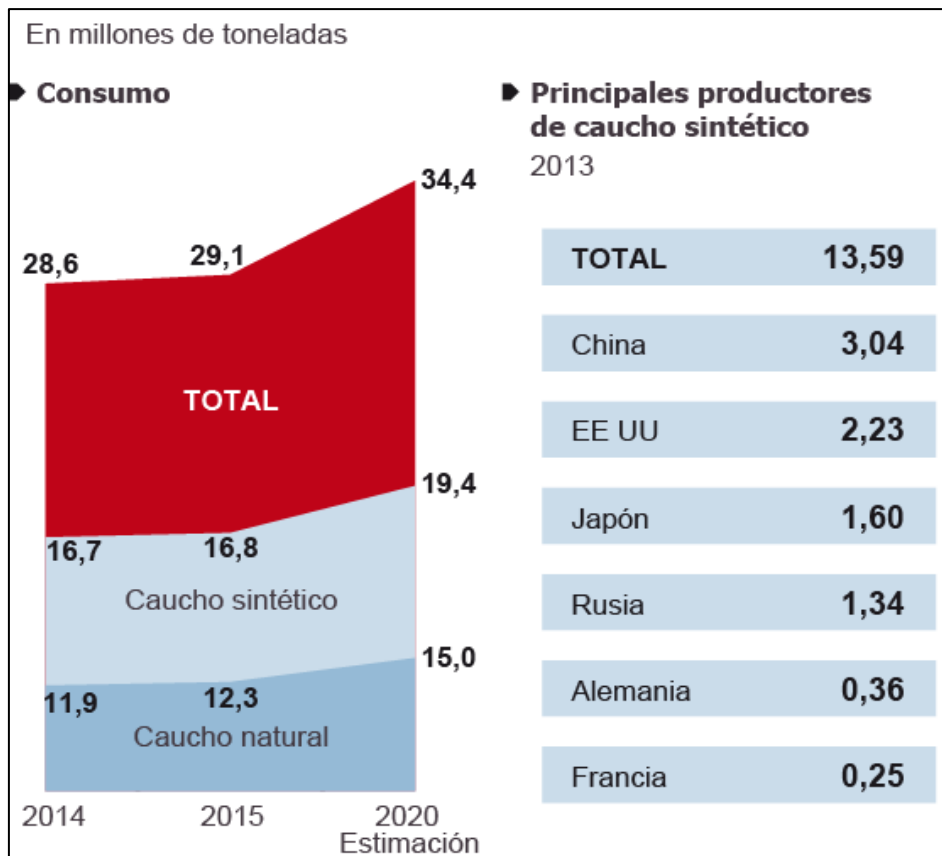


Figura 2. Mercado del caucho

Fuente: (International rubber study group y statista, 2015)

1.1.2 Uso del caucho

El caucho es un tipo de polímero elástico (sustancia compuesta de grandes moléculas formadas a su vez de moléculas más simples llamadas monómeros, unidas a través de enlaces químicos que les confiere estabilidad), el cual como muchos de ellos tienen gran importancia y uso en nuestra vida cotidiana gracias a las propiedades que estos poseen.

El caucho en específico tiene una gran variedad de aplicaciones, las cuales varían en función a la necesidad de cada sector de la industria. En la Tabla 1 se muestra las propiedades físicas y químicas que posee el caucho:

Tabla 1. Propiedades físicas y químicas del caucho

Propiedades	Resultados
Adhesión a metales	Excelente
Adhesión a telas	Excelente
Resistencia al desgarramiento	Muy buena
Resistencia a la abrasión	Excelente
Deformación por compresión	Buena
Resistencia dieléctrica	Excelente
Electro aislamiento	Bueno a excelente
Permeabilidad a los gases	Bastante baja
Ácido resistencia diluido	Regular a buena
Ácido resistencia concentrado	Regular a buena
Resistencia a hidrocarburos alifáticos	Pobre
Resistencia a hidrocarburos aromáticos	Pobre
Resistencia a solventes oxigenados	Buena
Resistencia a disolventes de lacas	Pobre

Fuente: (Criollo, 2014)

Las aplicaciones del caucho usado como materia prima son los siguientes:

a) Neumáticos

El caucho es parte importante del neumático, debido a propiedades como su resistencia al desgarre, deformabilidad y estabilidad térmica.

Adicionalmente cabe mencionar que es el material con mayor porcentaje en cuanto a la composición de un neumático (Tabla 2).

Tabla 2. Composición del neumático

Componentes	Tipo de vehículo	
	Automóviles (% en peso)	Camiones (% en peso)
Caucho natural	14	27
Caucho sintético	27	14
Negro de humo	28	28
Acero	14 - 15	14 - 15
Material textil	16 - 17	16 - 17

Fuente: (Rubber manufacturers association, 2008)

La producción mundial de neumáticos ha crecido enormemente a través de los años, actualmente constituye el 60% de toda la industria del caucho anualmente (Castro, 2008). De hecho, los primeros neumáticos solían ser ruedas de madera o de acero recubiertas con una

goma blanca (Figura 3) debido al color natural del caucho, el problema de los primeros neumáticos fue que se ensuciaban con mucha facilidad.



Figura 3. Primeros neumáticos

Fuente: (i-Neumáticos, 2013)

En 1985 la compañía de neumáticos B.F. Goodrich decidió fabricar un tipo de ruedas negras como alternativa de solución al nivel de suciedad que alcanzaban las ruedas blancas con el tiempo, por lo que se añadió negro de carbón (material producido de la combustión parcial de productos derivados del petróleo) como pigmento a la mezcla.

Conforme se le dio uso a este tipo de rueda se notó que esta duraba más, debido a que el tinte negro absorbía los rayos ultravioletas que son en parte uno de los causantes del agrietamiento de la goma de caucho. Para sorpresa de la compañía, se descubrió que las ruedas a las que se les añadió negro de carbón eran cinco veces más resistentes que las ruedas no coloreadas (Menéndez, 2012).

Actualmente debido a la gran variedad de vehículos que existen y a las diferentes solicitudes que cada uno de ellos requiere, los neumáticos han ido evolucionando hasta convertirse en un complejo montaje de numerosos elementos que en conjunto brindan seguridad, eficiencia, estabilidad y confort dentro de la carretera. En la Figura 4 se muestra como está compuesto el neumático:

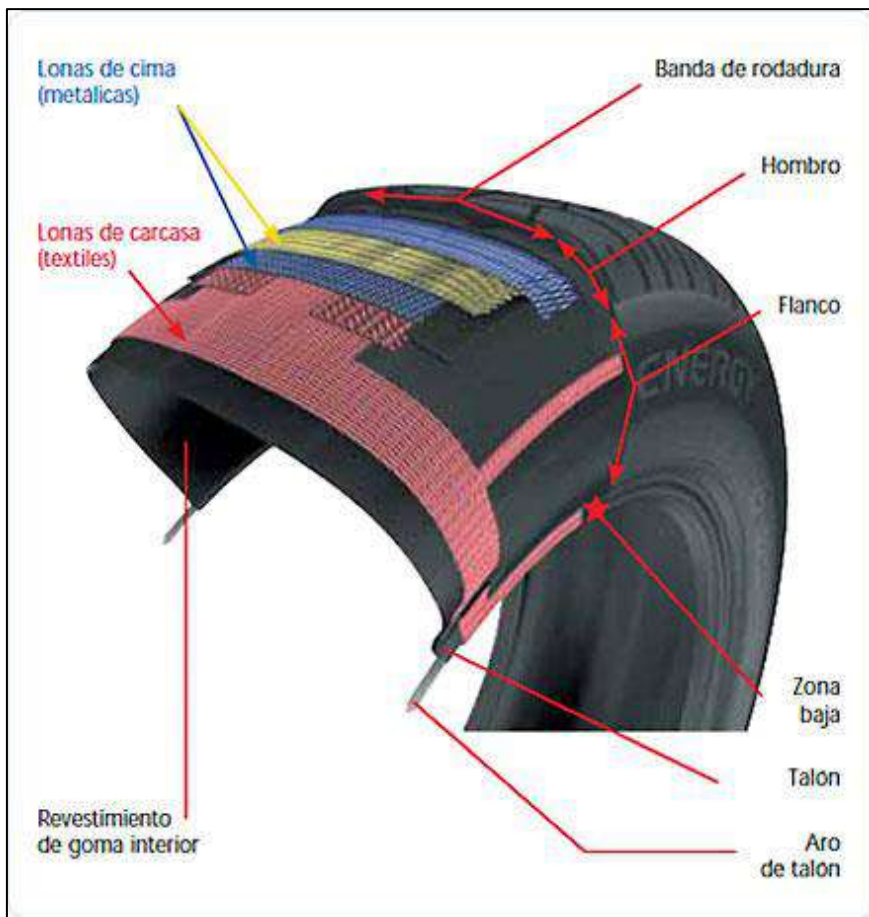


Figura 4. Composición del neumático
Fuente: (Neumáticos Torrevieja, 2018)

El neumático está estructurado de la siguiente manera:

El revestimiento de goma interior es una lámina de caucho en la capa inferior del neumático que cumple la función de evitar pérdidas de aire, y en los neumáticos más modernos reemplaza a las cámaras de aire. Esta está revestida por lonas de carcasa (fibras textiles), las cuales brindan resistencia a la presión durante el uso del neumático y por lonas de cima (hilos metálicos), las cuales garantizan robustez y flexibilidad (Santiago, 2017).

El talón es la parte interior del neumático la cual está compuesta por alambres de acero que cambian de forma en función del tamaño de la rueda, tiene como función de fijar el neumático al aro del vehículo evitando que esta patine.

La parte visible del neumático es de caucho y está compuesta por el flanco, hombro y la banda de rodadura; tienen las siguientes características:

- El flanco es la parte lateral del neumático, es la más flexible para adaptarse a las deformaciones que se generan en la fase de rodadura del vehículo. Protege al neumático de golpes laterales.

- El hombro es la parte más gruesa de todo el neumático, tiene como función garantizar que la trayectoria en una curva sea estable para el vehículo, así como disipar el calor que se acumula en el neumático durante el rodamiento.
- La banda de rodadura es la parte del neumático que está en contacto con la carretera, proporciona adherencia a la calzada y mayor resistencia al desgaste.

b) Mezclas asfálticas modificadas

El principal objetivo de las mezclas asfálticas modificadas es lograr propiedades mecánicas de alto desempeño, las cuales no son obtenidas en asfaltos producidos con técnicas convencionales. El caucho, un material elástico y de propiedades hidrofóbicas, ha demostrado mediante ensayos generar un mejor comportamiento mecánico y un mejor desempeño al daño por humedad dentro de una mezcla asfáltica (Pereda & Cubas, 2015).

Asimismo, la presencia del caucho en una mezcla asfáltica disminuye la textura y el ruido en la capa de rodadura, esto genera mayor regularidad del pavimento y una baja sonoridad la cual es producida por el contacto del neumático y el asfalto; dichas propiedades generan confort en las personas al momento de conducir.

La implementación del uso de mezclas asfálticas modificadas es importante dentro del tema de la problemática vial (falta de durabilidad, resistencia al desgaste y a la humedad), asimismo, promueve la reutilización de neumáticos fuera de uso, el cual actualmente es una gran problemática mundial.

c) Rellenos de campos de césped artificial

En la actualidad el uso del césped artificial se ha extendido bastante, su bajo costo de mantenimiento respecto al uso del césped natural ha generado que los estadios de fútbol, así como las plataformas deportivas de uso público generalicen su uso. El césped artificial está estructurado de la siguiente manera (Figura 5).

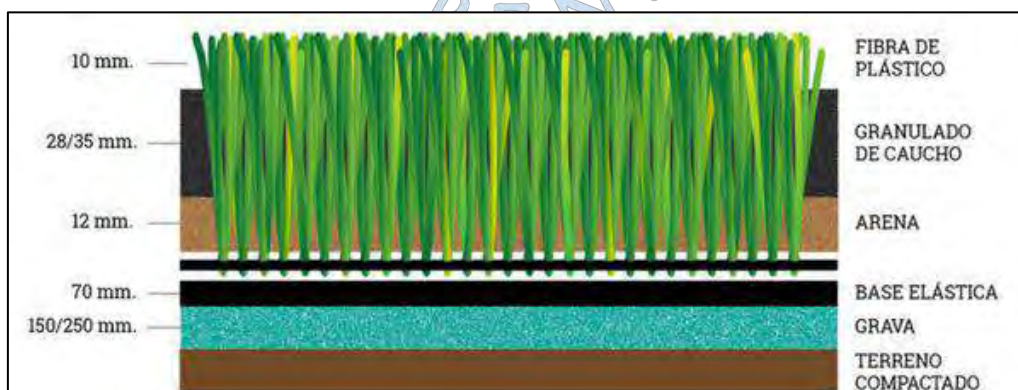


Figura 5. Estructura del césped artificial

Fuente: (Sistema integrado de gestión de neumáticos usados, 2021)

El uso del caucho granulado en los campos de césped artificial es importante debido a las propiedades que este tipo de material ofrece, el hecho de que el caucho sea deformable permite que este pueda absorber fácilmente el impacto de caída, evitando así el riesgo de lesiones musculares y sobrecargas en las rodillas y articulaciones de los jugadores. La amortiguación de los granos de caucho permite también que el balón pueda dar bote y desplazarse de manera adecuada, brindando así una sensación similar a la que los campos con césped natural ofrecen (SIGNUS, 2017).

El caucho es un material termoestable, lo que significa que el campo de juego se mantendrá en las mismas condiciones de desempeño sin importar la temperatura ambiente. Asimismo, al ser un gran aislante eléctrico, elimina las cargas producidas por la electricidad estática generada a partir de la interacción de las fibras de plástico en la hierba artificial.

Al encontrarse los gránulos de caucho en la parte alta de las fibras de plástico, estos otorgan rigidez y verticalidad a la hierba. Es importante saber que el uso del caucho es económico si lo comparamos con otro tipo de material, debido a que el caucho granulado en su mayoría proviene de los neumáticos fuera de uso que son reutilizados. En España por ejemplo la mitad de todo el caucho granulado es destinado a campos de fútbol de césped artificial, lo que supone el reciclado de más de 30 mil toneladas de neumáticos (López, 2017).

d) Suelos de caucho:

Las baldosas de caucho tienen un uso muy extensivo en parques infantiles y guarderías, ya que el hecho de que el caucho sea capaz de absorber los impactos, lo hace un material idóneo para las actividades que realizan los niños en los parques infantiles y guarderías como saltar, correr y deslizarse a través de los columpios.

Los suelos antideslizantes en gimnasios son importantes ya que, el apoyar las pesas sobre el piso genera un desgaste considerable de la superficie de un piso común, además del molesto ruido que estas generan. La capacidad que tiene el caucho de retornar a su posición inicial y de aislar acústicamente al atenuar el sonido que lo atraviesa, hace que los suelos de caucho sean imprescindibles no solo en lugares donde se realice actividades de entrenamiento físico, sino que también en el uso de protectores de polideportivos y paneles de insonorización.

e) Cables recubiertos por caucho

Debemos mencionar que el caucho no es un conductor eléctrico, por lo cual es perfecto como un material aislante, logrando así estar presente tanto en los cableados como instalaciones eléctricas domésticas. Se caracterizan por su gran flexibilidad, por lo que hace más simple la instalación de este tipo de cables en pequeños espacios donde la colocación generalmente es dificultosa.

Además, son muy útiles en aplicaciones industriales en las que existe una elevada agresión mecánica. El recubrimiento de caucho brinda a los cables una buena resistencia al

calor y a la humedad, asimismo gracias a sus propiedades como su estabilidad térmica y su resistencia sobresaliente a los ácidos y a los solventes químicos, hace del caucho un material idóneo de tipo industrial (Top Cable, 2019).

f) Suelas de caucho

Aunque existan distintos tipos de materiales para elaboración de suelas para calzado además del caucho, este sigue utilizándose por sus propiedades. En la industria de fabricación de calzados existen los llamados T.R también conocidos como cauchos termoplásticos, que además de ser reciclables absorben color rápidamente, lo que permite la elaboración de un sinnúmero de opciones de calzados. El uso de caucho para calzados de alta resistencia se explica por su alta resistencia al desgarre, la abrasión, el desgaste y la tracción, además de su amplia capacidad de amortiguación y flexibilidad, sin importar las temperaturas a los que sea expuesto (Coca, 2015).

g) Mangueras

El uso de las mangueras es muy importante tanto en nuestra vida cotidiana, como en el ámbito más especializado como laboratorios y en el ámbito industrial. Debido a que en estos tipos de rubros utilizan líquidos o gases a flujo constante y a alta presión, es necesario que el material del cual esté hecho las mangueras garantice que no se corra el riesgo de romper o de generar fugas que represente un peligro durante su uso, el caucho es un material altamente utilizado para la producción de mangueras gracias a su flexibilidad y su alta resistencia a sustancias abrasivas y ácidas.

Las mangueras transportan productos tan diversos como sustancias químicas (aldehídos, ésteres y cetonas), hidrocarburos (propano, butano, metano, gasolina), disolventes (alcoholes como el etanol, isopropanol y metanol), pinturas (esmaltes sintéticos, lacas y barnices) y alimentos (leche, vino, zumos y cervezas).

Todos estos materiales pueden causar en las mangueras todo tipo de daños como abrasiones que desgasten y acorten la vida útil, además las condiciones en las cuales son usadas, como la temperatura y las elevadas presiones generan exigencias en cuanto al control del uso de las mangueras, de las cuales el caucho como materia prima garantiza seguridad, desempeño y durabilidad; siendo todas estas indispensables dentro de este rubro.

1.1.3 Problemática

Con el enorme desarrollo de la industria automovilística durante los años (Figura 6) se ha generado un crecimiento vertiginoso del uso de los neumáticos. Tras el fin de su vida útil dan paso a la existencia de neumáticos gastados o dañados que necesitan ser sustituidos, los cuales en su mayoría son desechados.

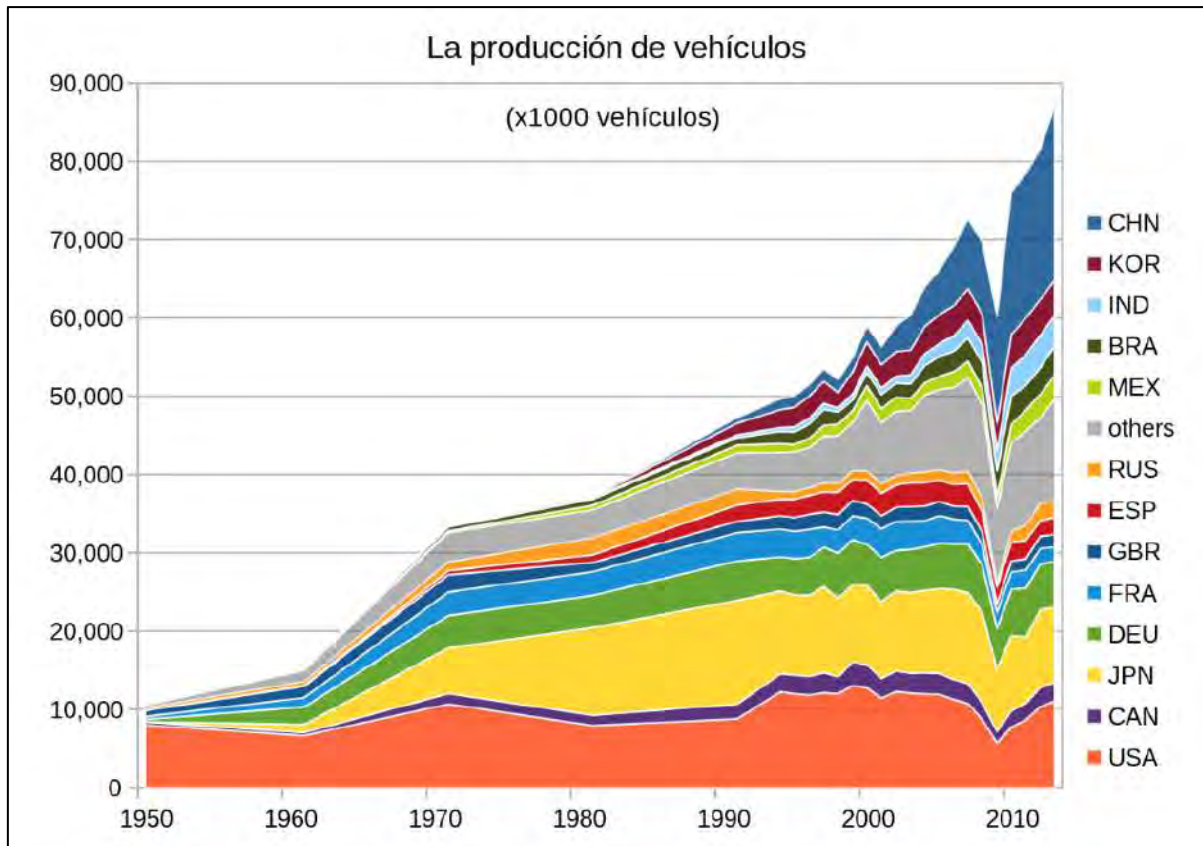


Figura 6. Producción mundial de vehículos de motor 1950 – 2013

Fuente: (Wikipedia, 2014)

Para darse una idea de la magnitud en la producción de neumáticos, según La Asociación Europea de Fabricante de Neumáticos (ETRMA), en el primer trimestre del año 2019 en el mercado de neumáticos europeo, las firmas asociadas han comercializado un total de 57 266 000 de unidades, un 2% menos que en el mismo periodo de 2018, cuando se vendieron 58.454.000 neumáticos (Alonso, Alonso, & Teodoro, 2019) a pesar de la crisis mundial generada por el COVID-19, donde la venta en el mercado de neumáticos ha disminuido drásticamente (Figura 7) debido a que el movimiento ha sido restringido en la mayoría de los países alrededor del mundo. Al no existir movilización de vehículos no existirá un desgaste en los neumáticos.

Asimismo, la crisis económica trae consigo un período de escasez en la producción, comercialización y consumo de productos y servicios, que no solo afectará al mercado automotriz, sino que la mayoría de los rubros industriales.

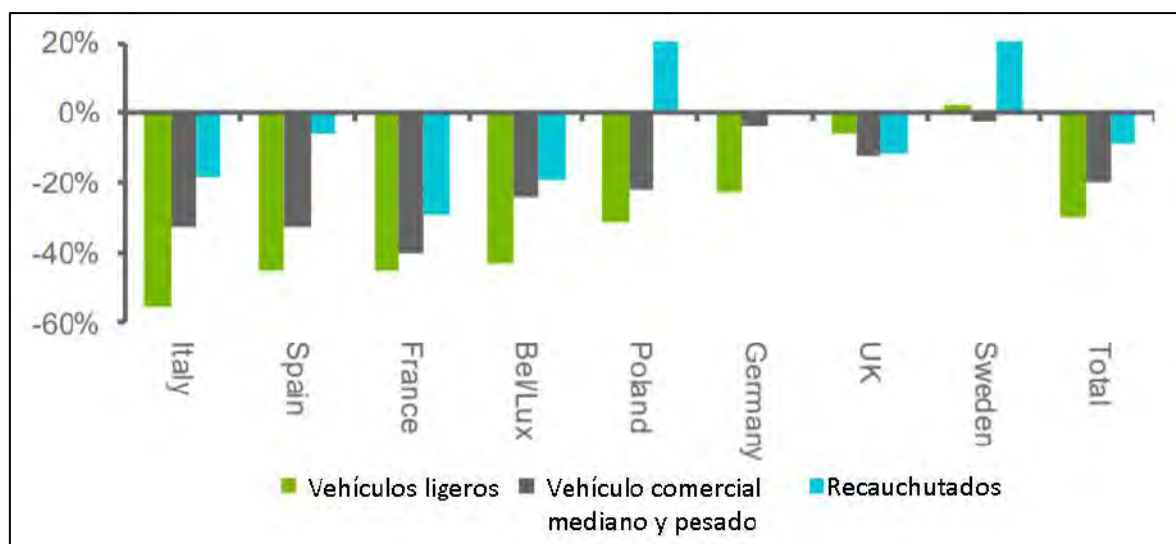


Figura 7. Ventas europeas de neumáticos de repuesto, marzo de 2020

Fuente: (European tyre & rubber manufacturers association, 2020)

Jaime Scott, Retail Marketing Manager de Euromaster, una red especialista en neumáticos y mantenimiento de automóviles, al ser consultado sobre el tema del coronavirus en la industria automotriz, afirma que una vez superada la crisis sanitaria no se llegará a los volúmenes de negocio habituales previos al COVID-19, aunque se espera un repunte de los ingresos en los tres primeros meses debido a las reparaciones y mantenimiento pospuestos por la población durante la cuarentena, caso evidenciado en Wuhan - China, una de las ciudades más afectadas por el coronavirus, en donde ya se ha abierto la mayoría de sus concesionarios y los ingresos recibidos están por encima de las cifras pre-COVID-19 (Alonso, Alonso, & Teodoro, 2020). Aunque esto signifique que la industria de neumáticos se recupere y siga creciendo, la continua acumulación de neumáticos fuera de uso también lo hará.

La mayor preocupación con los neumáticos fuera de uso es la descontrolada manera en la que la gran parte de todos ellos son simplemente desechados, el problema con su forma hace que su almacenamiento no sea para nada eficiente y simplemente terminan sin utilización alguna. Además de representar un gran problema para el medioambiente a mediano y a largo plazo por su lenta descomposición y por ser un material altamente inflamable.

La solución más inteligente consiste en el reciclaje o reutilización de este material una vez entre en desuso, sin embargo, el porcentaje de neumáticos a la que se le da un nuevo uso sigue siendo insuficiente para una correcta gestión de estos residuos. En España, por ejemplo, el 82% de todos los neumáticos fuera de uso van a los vertederos (Figura 8), siendo un valor relativamente alto si lo comparamos en relación con su propio continente, donde los neumáticos en desuso son mejor aprovechados (Figura 9).

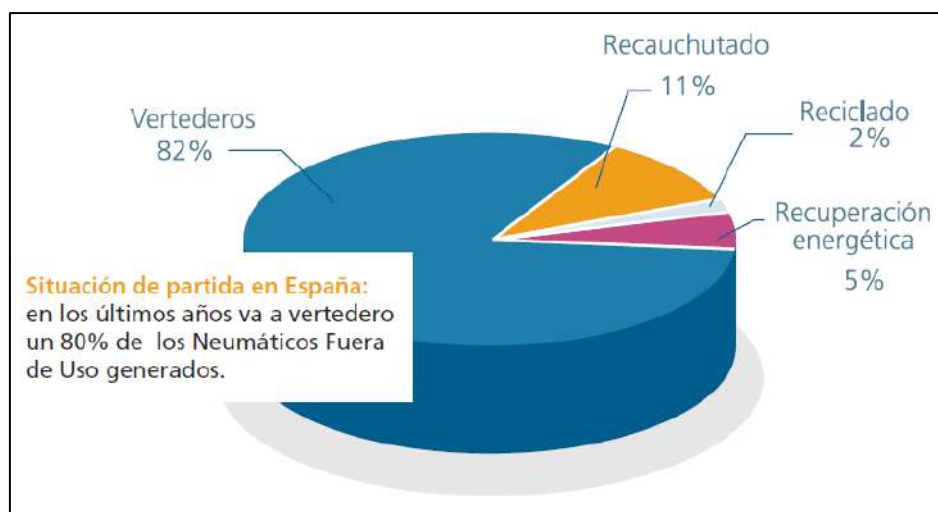


Figura 8. Gestión de NFU en España

Fuente: (Plan nacional de neumáticos fuera de uso, 2006)

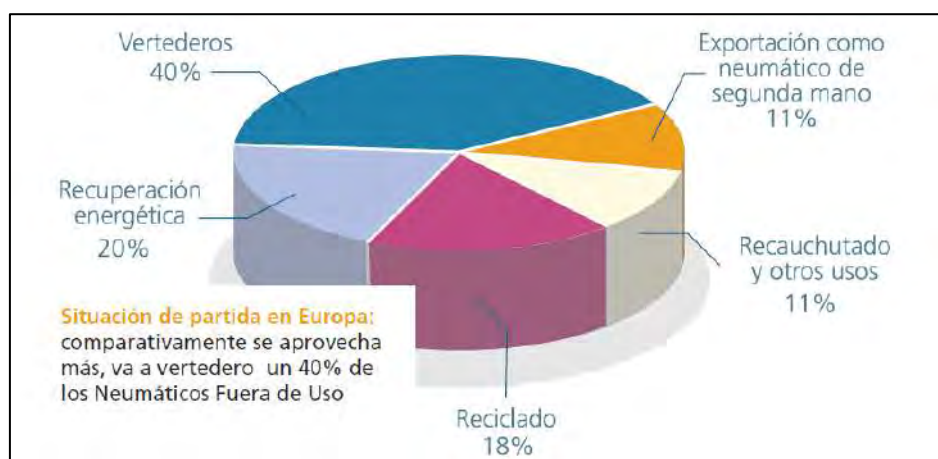


Figura 9. Gestión de NFU en Europa

Fuente: (Plan nacional de neumáticos fuera de uso, 2006)

En España las cifras parecen desalentadoras, no obstante, se ha tomado medidas en el asunto; con resolución de la Secretaría General del Medio Ambiente en 2001, se aprobó en Plan Nacional de Neumáticos Fuera de Uso con la principal finalidad de establecer una mejor gestión de estos residuos en todo el territorio español.

En este plan se establecen mecanismos de carácter ecológico mediante los cuales se contempla llegar a valores de reutilización de neumáticos de hasta el 20% para el recauchutado y para segundo uso, el 35% de los residuos se emplearán como valorización del material para asfaltos, pistas deportivas y obras civiles; y el 45% restante para valorización energética en cementeras como combustible de sustitución (Cano, Cerezo, & Urbina, 2007).

En Japón la Asociación Japonesa de Fabricantes de Neumáticos para Automóviles Inc. (JATMA: Japan Automobile Tyre Manufacturers Association Inc.) estableció un plan operativo de la eliminación gradual de sitios informales de acumulación de neumáticos en el año 2005, en el cual desde su implementación hasta el año 2019 ha logrado la clausura de 22 vertederos

ilegales y realizó una correcta gestión de residuos de 2 966 306 neumáticos, además de fomentar la investigación y el desarrollo de soluciones a esta problemática (Japan Automobile Tyre Manufactures Association , s.f.).

En nuestro propio continente, en Argentina, el Instituto Nacional de Tecnología Industrial (INTI) creó una Comisión Permanente de Trabajo de Reciclado de Neumáticos. Se analizó el impacto que producen los neumáticos para poder brindar soluciones efectivas a la comunidad, de esta manera se impulsó el desarrollo de una planta recicladora que actualmente recupera casi 2 millones de neumáticos cada año, de los cuales el 95% se transforma en relleno para canchas de pasto sintético y el resto en caucho en polvo que se incorpora a la industria del mismo sector (Cánaves, 2018).

Si nos centramos en nuestro país, en el Perú no existe tales regulaciones específicas para el manejo de neumáticos fuera de uso, no obstante, existe la Ley General de Salud N° 26842 en su artículo N° 104 donde el Ministerio de Salud (1997) señala que:

Toda persona natural o jurídica está impedida de efectuar descargas de desechos o sustancias contaminantes en el agua, el aire o el suelo, sin haber adoptado las precauciones de depuración en la forma que señalan las normas sanitarias y de protección del ambiente. (p.20)

Asimismo, se tiene la Ley General de Residuos Sólidos N° 27314, en la cual se regula la competencia de los gobiernos locales, provinciales y distritales respecto a la gestión de residuos sólidos de origen domiciliario, comercial e industrial.

Es primordial que se tome medidas con respecto a la problemática de los neumáticos en el Perú, ya que la producción de estos viene aumentando considerablemente en el transcurso de los últimos años (Figura 10) y aún no se ha establecido un plan para la reutilización y disposición final de estos residuos, el cual claramente puede ser un recurso aprovechable.

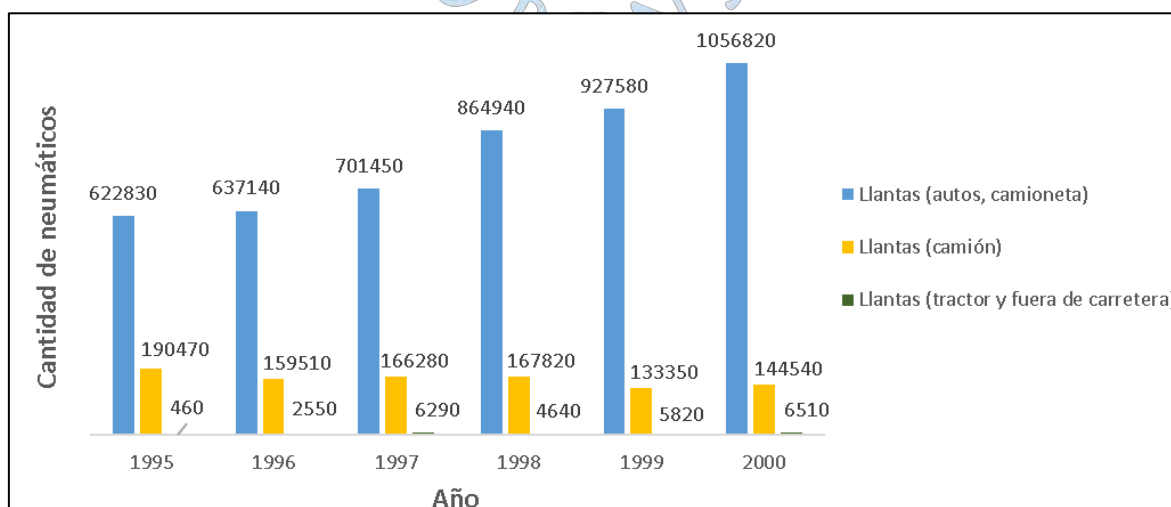


Figura 10. Producción de neumáticos en el Perú

Fuente: (MTC, 2001)

Según proyecciones hechas en el departamento de La Libertad (Figura 11), el cual es el segundo departamento con mayor parque automotor luego de Lima y el Callao (Posada, 2018); se estima que la cantidad de neumáticos sin uso aprovechable seguirá creciendo sin tener un plan de manejo ambiental que pueda controlar la situación.

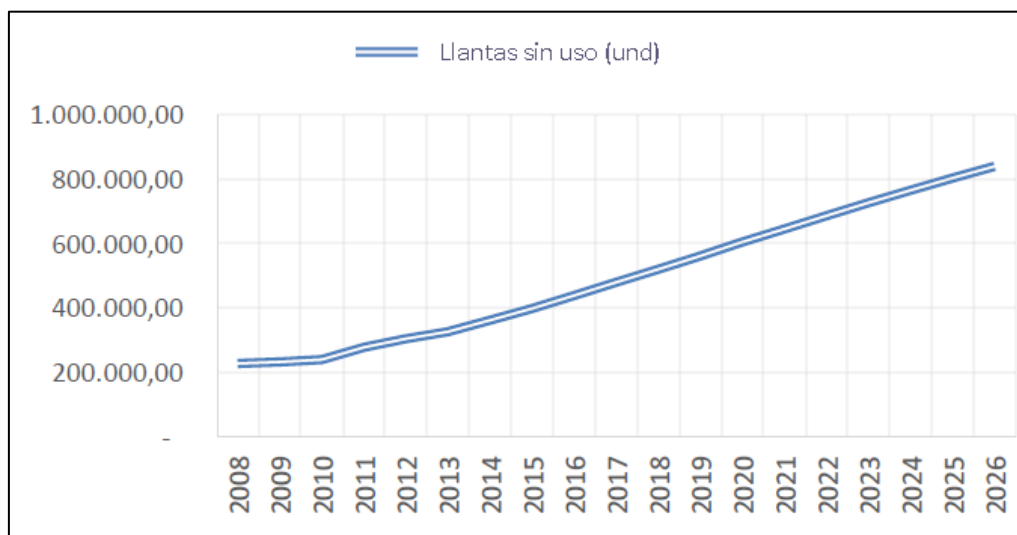


Figura 11. Proyección de la cantidad de neumáticos sin uso en La Libertad

Fuente: (Mas, 2016)

Si bien se están tomando medidas alrededor del mundo como alternativas de solución para el problema de los neumáticos fuera de uso, este se debe basar en un plan conjunto entre el gobierno, fabricantes de neumáticos y usuarios.

Por su parte el gobierno como máxima autoridad que dirige, controla y administra el aparato estatal dentro de un país, en búsqueda de soluciones a la correcta gestión de residuos de neumáticos, puede establecer acciones al respecto, tales como la creación de normativas para una adecuada disposición final de los neumáticos fuera de uso y la instauración de entes regulatorios que fiscalicen y garanticen su cumplimiento.

Las industrias de neumáticos con ayuda del gobierno pueden establecer la creación de plantas recicladoras, vertederos especializados y centros de acopio de los cuales pueden sacar provecho no solo las empresas fabricantes de neumáticos sino la industria en general. Los neumáticos pueden ser reutilizados y valorizados en diversas aplicaciones en diferentes sectores, como en el caso ya mencionado de España.

Actualmente existen tecnologías novedosas que permiten de forma eficiente, ecológica y segura el aprovechamiento de los materiales provenientes del neumático. Tal es el caso de la Pirólisis, el cual es un procedimiento que consiste en el calentamiento del neumático en ausencia de oxígeno, el cual logra descomponer el elemento para poder así reutilizar sus componentes. Dicha descomposición genera un 40 % de líquidos y un 16 % de gases, utilizables como una alternativa para combustibles fósiles; el 44 % restante se trata de negro de humo, filamentos y cordones de acero del neumático, los cuales pueden ser reutilizados o reciclados independientemente (Laresgoiti, 2010).

Si bien es cierto que el neumático forma parte importante de nuestra vida cotidiana en la actualidad, es importante también que las personas como principales usuarios y por tanto los primeros responsables de la acumulación descontrolada e incorrecta de los residuos de neumáticos, empecemos a tomar conciencia de la realidad por la contaminación ambiental que se vive hoy en día. Esto permitirá impulsar una mejor gestión no solo de los desechos de neumáticos sino con todos los residuos en general, creando así un entorno de sostenibilidad con el medio ambiente.

1.1.4 Método de utilización en mezclas asfálticas

a) Vía húmeda

El proceso húmedo consiste en la modificación previa del ligante con el caucho para su posterior mezclado con los agregados, en el cual el grano de caucho reciclado (GCR), en su mayoría de tamaño máximo de 0.85 mm, es mezclado con el cemento asfáltico a temperaturas entre 180-210° C por 1 a 4 horas, produciendo así un ligante modificado que se denomina asfalto-caucho, el porcentaje de caucho añadido por el proceso de incorporación de por vía húmeda varía entre el 18 al 24% con respecto al peso del ligante (Ramírez N. , 2006).

La reacción que existe entre el GCR y el cemento asfáltico al entrar en contacto durante el mezclado no es de tipo química, pues cuando el GCR o polvo de caucho se incorpora a un betún a temperatura elevada, las partículas del caucho se reblandecen debido a la absorción de aceites aromáticos provenientes de los componentes más ligeros del betún para proceder a hincharse, esto hace que sea necesario la existencia de catalizadores que den un pretratamiento al caucho con la finalidad de mejorar la estabilidad de la mezcla (Vega, 2016).

El comportamiento del GCR se puede asemejar al de una esponja, pues a medida que el caucho interactúa con el betún este se hincha y se ablanda, ocasionando que las partículas que han reaccionado sean más pegajosas y desarrollen una capacidad adhesiva. Con este hinchamiento se disminuye la distancia entre partículas y el ligante se hace más viscoso, lo que permite, mediante su aplicación en el asfaltado de autopistas, beneficiar la característica de adherencia mejorando así la estabilidad y agarre de los neumáticos.

Este fenómeno de hinchamiento se denomina “digestión o maduración” (Gruas, 2009). El grado de modificación que sufre el ligante debido al caucho en especial su característica de viscosidad depende de varios factores entre los cuales se encuentran: el tamaño, textura y proporción del GCR; tipo del cemento asfáltico; tiempo y temperatura de mezclado; grado de agitación mecánica durante la reacción de la mezcla; el componente aromático del cemento asfáltico y el uso conveniente de otros aditivos (Pereda & Cubas, 2015). Ver Figura 12.



Figura 12. Fabricación de asfalto modificado con caucho por vía húmeda

Fuente: (Bisso, 2010)

Las técnicas más usadas en el proceso húmedo son: el mezclado por bachadas o tecnología McDonald, mezclado continuo, y mezclado terminal.

- Tecnología por Bachadas

Las primeras aplicaciones en el proceso húmedo fueron bachadas que se basaron en la tecnología McDonald la cual produce mezclas asfálticas modificadas con caucho, fue desarrollada a comienzos de los años 1960 por Charles McDonald, y patentada en los años 1970 por la Arizona Refining Company (ARCO).

Dicho proceso consta de un tanque el cual está cerrado con una serie de tornillos para asegurar la circulación de la mezcla del betún con el GCR, con el fin que exista una reacción óptima entre estos dos materiales durante un periodo de tiempo entre 45 y 60 minutos; paralelo a esto se calientan los agregados pétreos para una mezcla posterior con el cemento asfáltico modificado y poder así ser transportado al lugar de construcción.

En este transporte se debe mantener una temperatura específica que va desde los 160°C a los 190°C, para evitar problemas de manejabilidad del material en el campo y pérdidas de propiedades mecánicas (Ramírez N. , 2006).

- Tecnología continua

Este proceso consiste en un sistema de producción de mezclas asfálticas modificadas con caucho, donde un tamaño fino de GCR de 0.18 mm (tamiz No 80) es mezclado con el cemento asfáltico en un proceso continuo. Este método fue desarrollado en Florida a finales

de los años 1980 y es conocida como Florida Wet Process. La tecnología de Florida se diferencia del proceso McDonald en varios aspectos: emplea bajos porcentajes de GCR entre 8 y 10%, el tamaño de la partícula de caucho requerida es más pequeña, la temperatura y tiempo de mezclado es menor (Ramírez N. , 2006).

- Tecnología terminal

La tecnología de mezclado terminal es un proceso húmedo que brinda la capacidad de combinar el cemento asfáltico con el GCR y conservar el producto durante amplios períodos de tiempo, por lo cual puede ser mezclado en la refinería donde se produce el cemento asfáltico mediante las dos tecnologías antes mencionadas: metodología continua o por batchadas. Las aplicaciones que se le puede dar al cemento asfáltico modificado con GCR mediante el proceso húmedo terminal es en la reparación de grietas y sello de juntas, tratamientos superficiales, membranas retardantes de fisuras y en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente (Ramírez N. , 2006)

b) Vía seca

El proceso de incorporación de caucho por vía seca en una mezcla asfáltica consiste en la adición de granos de caucho como parte sustituta de la fracción fina de la mezcla antes de la incorporación del ligante.

El caucho en presencia del ligante reacciona en dos fases, la primera en la cual las partículas más finas (en su mayoría las que pasan por el tamiz 0.5 mm) interactúan con el ligante a temperaturas elevadas logrando modificar su reología, mediante un proceso similar a la de la vía húmeda (proceso de digestión); y la segunda fase, en la cual las partículas más gruesas debido a su superficie específica reducida, no tienen tiempo suficiente para que la digestión se desarrolle en toda la masa de estos granos de caucho, creando una interfase ligante/caucho la cual crea cohesión entre ambos materiales (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007).

El proceso de digestión en la mezcla será más rápido mientras más fino sea el polvo de caucho y menor sea su proporción en la mezcla, el cual puede estar entre el 1 al 3% del peso total de los agregados de la mezcla asfáltica (Gallego & Prieto). Este proceso en laboratorio se realiza previo a la compactación de la probeta, en el cual la mezcla se calienta en el horno en un rango de temperatura de 150 – 170 °C en un tiempo de una a dos horas (Ramírez, 2006). En la Figura 13 se muestra el proceso de fabricación del asfalto modificado con caucho en vía seca:



Figura 13. Fabricación de asfalto modificado con caucho por vía seca

Fuente: (Bisso, 2010)

Las tecnologías más usadas en el proceso de incorporación de caucho por vía seca son:

- PlusRide

Tecnología desarrollada en Suecia a finales de 1960, en la cual el caucho es agregado a la mezcla en proporciones que van del 1 al 3% del peso total de los agregados. En este sistema se utiliza partículas de caucho relativamente grandes que van desde los 4.2 mm hasta los 2 mm (tamiz N° 10) y tienen una granulometría discontinua.

El contenido de vacíos con aire va desde el 2 al 4% y por lo general el contenido del ligante está entre el 7.5 al 9%. Originalmente esta tecnología se desarrolló como un sistema anticongelante, ya que la presencia de partículas más gruesas de caucho que se comportan como áridos elásticos y se deforman en la superficie tras las cargas de los vehículos, provocan la rotura del hielo en su formación evitando así el congelamiento de la capa de rodadura (Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, 2007).

- Genérica

Tecnología desarrollada por el Dr. Barry Takallou a finales de los años 1980 con el objetivo de producir mezclas asfálticas en caliente con una granulometría densa. Esta tecnología usa los granos de caucho (finos y gruesos) para uniformizar la granulometría de los agregados obteniendo una mezcla asfáltica mejorada. A diferencia de la tecnología PlusRide, en la metodología genérica, la granulometría del caucho se divide en dos fracciones: la parte fina, la cual interactúa con el cemento asfáltico mientras la parte gruesa se comporta como un agregado elástico. En este sistema, el contenido de caucho incorporado no debe exceder el 2% del peso total de la mezcla (Ramírez N. , 2006).

- Convencional

Tecnología desarrollada en España, con el objetivo de reutilizar el material de neumático desechado, que en la actualidad es ampliamente utilizada en muchos países, esta metodología se basa en la desarrollada por el Dr. Takallou, pero que necesita un menor uso del cemento asfáltico en la mezcla en comparación con las tecnologías anteriores. El contenido de caucho dentro de la mezcla asfáltica no supera el 2% de peso total de los agregados, y su granulometría no es mayor a 0.5 mm (Vega, 2016).

1.2 Aditivo mejorador de adherencia

1.2.1 Generalidades

Los aditivos mejoradores de adherencia son productos químicos tensoactivos que mejoran las características de adhesión entre el asfalto y los agregados, logrando una mayor durabilidad de la carpeta asfáltica (Rojas, Bonifaz, Curco, & León, 2014). Además, es una sustancia que permite modificar la energía de enlace en el exterior de la gota de asfalto, reduciendo así la fuerza que se opone al mojado de los agregados (Marcozzi & Morea, 2005). Estos pueden ser aplicados en estado líquido, siendo este último el más preferidos debido a su costo y facilidad de aplicación al asfalto (Ayala, 2015).

Existen diferentes aditivos, algunos pueden modificar el comportamiento reológico de los asfaltos (cera o parafina) mientras que otros, permiten que las propiedades reológicas se mantengan inalteradas (aditivos químicos) (Morea, Marcozzi, & Castaño, 2012). Los agentes mejoradores de adherencia más comerciales son los siguientes:

- a) Líquidos: Productos de alta estabilidad al calentamiento, que incorporado al asfalto favorece las propiedades químicas y físicas necesarias para minimizar la separación del ligante asfáltico y el agregado en la mezcla. Los agentes líquidos más usados son aminas, diaminas, polímeros líquidos (Xiao.F & Amirkhanian, 2010).
- b) Sólidos: Como cemento Portland, cenizas y polvo de combustión (Xiao.F & Amirkhanian, 2010).
- c) Cal: Existen dos tipos de cal utilizados para reducir la susceptibilidad al agua en mezclas asfálticas (MTC, 2013).
 - Tipo I. Cal hidratada con alto contenido de calcio.
 - Tipo II. Magnesio o cal dolomítica que contiene magnesio.

El muestreo de la cal para los ensayos indicados anteriormente se debe realizar de acuerdo con la norma AASHTO T 218.

1.2.2 Funcionamiento

La adhesividad, en el campo de mezclas asfálticas, es definida como la capacidad que presenta un asfalto para quedar fijo en el agregado, con el fin de recubrirlo sin peligro de sufrir desplazamiento debido a la presencia de agua, tráfico o cambios bruscos de temperatura.

El asfalto puede llegar a presentar buena o mala adhesividad según el tipo de árido que se utilice en la mezcla, para que exista dicha adherencia entre los dos materiales se debe cumplir con la condición que sus superficies estén en contacto, es ahí donde se produce el fenómeno de adherencia y esta dependerá de las características de ambas superficies, por lo cual en mezclas asfálticas en caliente es muy importante calentar el asfalto y el agregado a elevadas temperaturas para conseguir así que el ligante quede distribuido en toda la superficie específica del árido, es decir, el asfalto moja el agregado (Gutiérrez, 2008).

Por otro lado, en la Figura 14 se muestra como están enlazadas las moléculas de una gota de asfalto, se puede observar que dichas moléculas se encuentran unidas mediante una energía de enlace que se encuentra en equilibrio, esta energía es mayor en las moléculas exteriores, debido a que no tienen contacto con otras similares, dando paso así a la formación de la gota de asfalto.

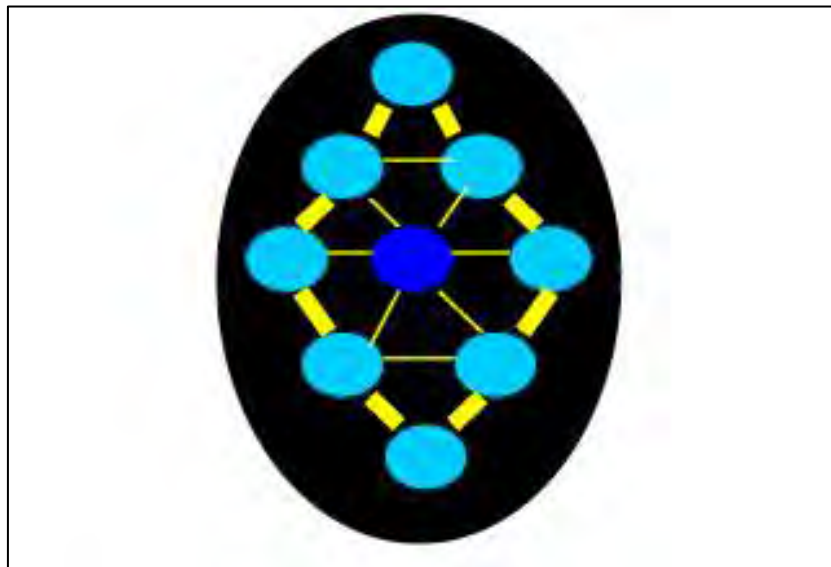


Figura 14. Unión de las moléculas de una gota de asfalto
Fuente: (Gutiérrez, 2008)

Al depositar esta gota de asfalto sobre la superficie de un agregado, se puede dar teóricamente dos situaciones extremas y toda una serie continua de intermedios. En la Figura 15 se muestra dos secciones (a y b) del ángulo de contacto entre una gota de asfalto y el árido.

El caso real que se produce entre las superficies del asfalto y el agregado al estar en contacto está comprendido entre los ángulos de 90° y 180° , sección (a), lo que indica que, ante la presencia de agua esta tiende a desplazar el ligante ocasionando que la adhesividad se base solo en circunstancias mecánicas, tales como la textura superficial del agregado, su porosidad,

la ausencia de humedad, etc. Caso contrario sucede cuando el ángulo de contacto es menor de 90°, sección (b), pues el ligante logra desplazar el agua ocasionando una mejor adherencia.

Esta última situación es lo ideal, por lo que se debe conseguir que la energía de unión de las moléculas exteriores de la gota de asfalto sea similar a las energías de unión de las moléculas del agregado, para así obtener ángulos de contacto menores a 90°. Esto es posible mediante el uso de aditivos, que al disminuir la tensión interfacial entre el asfalto y el agua permite la reducción de este ángulo de contacto (López & Miró, 2017).

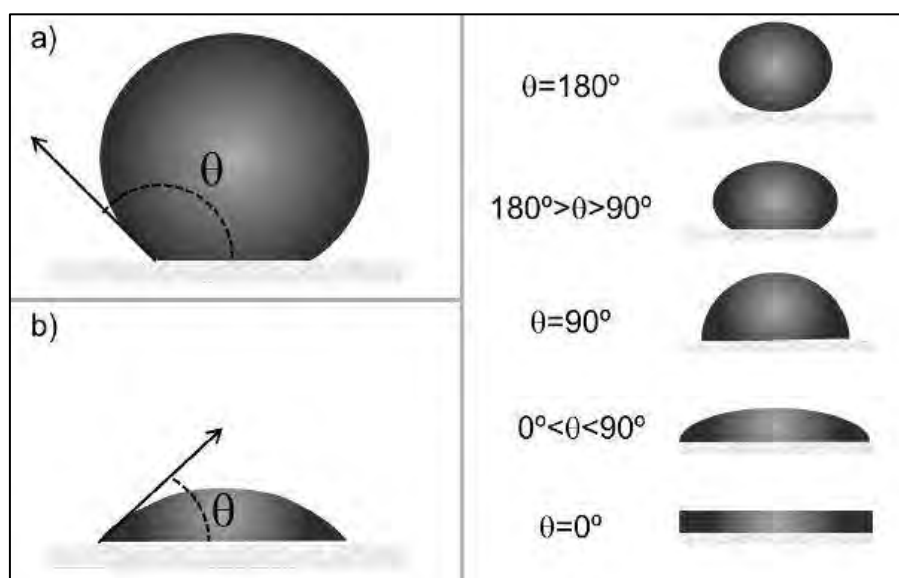
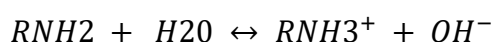


Figura 15. Ángulo de contacto entre una gota de asfalto con el agregado. a) Ligante con baja adherencia y b) Ligante con alta adherencia

Fuente: (López & Miró, 2017)

Las sustancias que ayudan a modificar las energías de enlace en el exterior de la gota de asfalto son los llamados aditivos mejoradores de adhesión o tensoactivos; estos productos actúan como agente de superficie, que incorporado al asfalto mejoran la adherencia orientando las moléculas más polares del ligante hacia el árido para neutralizar las cargas electrostáticas de la superficie mineral (Rebollo, Botasso, Soengas, & Cuattrocchio, 2008) (Ayala, 2015, p.43).

La mayor parte de este tipo de aditivos son compuestos amínicos, los cuales al momento de ser incorporados al ligante asfáltico su cadena hidrocarbonada de naturaleza hidrófoba se compatibiliza al seno del asfalto mientras que el segundo grupo amínico de naturaleza hidrófilo se sitúa en la superficie del agregado, reduciendo así la diferencia de energía de enlace entre el ligante y el árido, logrando humedecer el material y convirtiendo la unión más resistente. Ver Figura 16. Cuando el asfalto con el aditivo incorporado (RNH_2) hace contacto con la humedad que contienen los áridos, el aditivo se hidroliza (RNH_3^+), según la siguiente ecuación descrita por Botasso, y otros (2011).



Donde:

- RNH₂: Amina primaria
- H₂O: Molécula de agua
- RNH₃⁺: Ion amonio
- OH⁻: Hidróxido

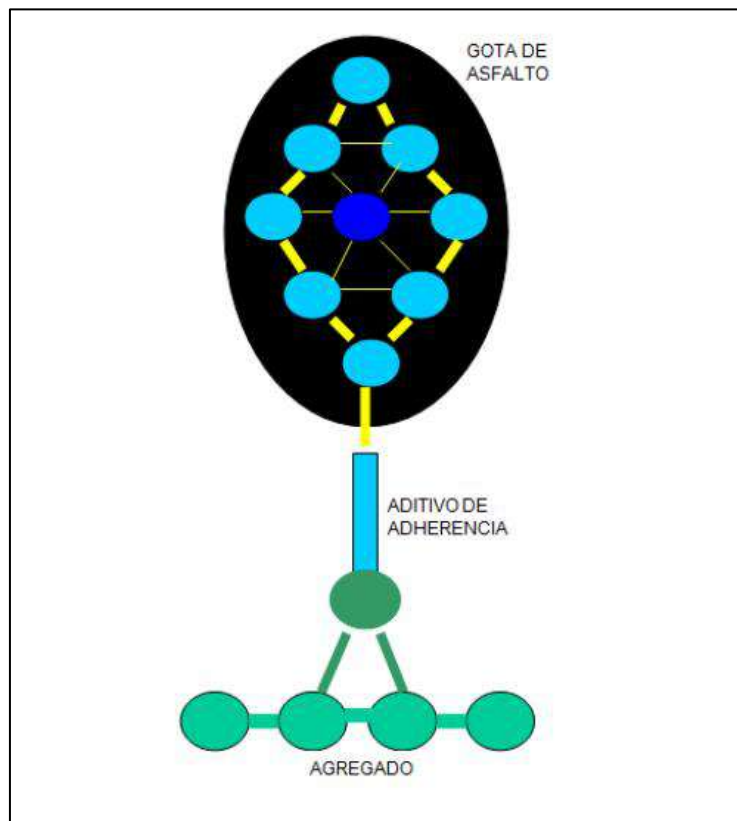


Figura 16. Unión de moléculas de asfalto y agregado
Fuente: (Gutiérrez, 2008)

1.2.3 Efectos en la mezcla asfáltica

Otra de las condiciones para que exista adherencia entre los dos materiales es que la unión asfalto-agregado sea resistente a los cambios bruscos de temperatura y a la humedad, este efecto, como ya se mencionó antes, se logra gracias a la implementación del aditivo, que reduce la tensión interfacial generada entre el asfalto y el agregado (Gutiérrez, 2008).

Cuando se usan aditivos cuya parte compatible con el agregado es una amina ocurren una serie de reacciones químicas, que dependen de la naturaleza química del agregado, el cual puede ser calizo o silíceo. Ver Tabla 3.

Tabla 3. Estructuras químicas de los diferentes aditivos mejoradores de adherencia

Parte compatible con asfalto	Parte compatible con el agregado
Cadena de 20 carbonos (R20)	Aminas
Cadena de 20 carbonos (R18)	Carbonilos
Cadena de 20 carbonos (R12)	Oxidrilos
Cadena de 20 carbonos (R10)	Imidazolinias
Mezclas de los anteriores	Amidas

Fuente: (Gutiérrez, 2008)

De tratarse de un pétreo calizo; que, así como posee una agrupación de moléculas de carbonato de calcio, cuenta con superficies minerales que en presencia de humedad se ionizan en el ion carbonato (CO_3^{2-}) y en el ion Calcio (Ca^{2+}); lo primero que sufre el material al usar aditivos mejoradores de adherencia es un ataque por parte de los glóbulos de asfalto, es decir, los aniones carbonato (con carga negativa debido a la presencia de pequeñas cantidades de agua sobre la superficie del pétreo) atraen al asfalto cargado positivamente gracias a la presencia del aditivo formándose así una unión química (asfalto-agregado) acompañada de una gran adhesividad como un efecto resultante de la formación del carbonato de amina (Gutiérrez, 2008).

En cuanto a los agregados silíceos o ácidos también se ionizarían cargándose negativamente en presencia de humedad, ya que están formados por átomos de silicio tetravalente rodeado de grupos de oxígeno y cationes. Al utilizar este tipo de aditivos sobre un pétreo silíceo, los glóbulos de asfalto cargados positivamente son atraídos por los aniones del agregado (SiO_4^-), originando una unión muy resistente mediante el compuesto químico llamado silicato de amina, el cual proporciona una gran adherencia y resistencia a la presencia de agua y a los térmicos (Gutiérrez, 2008). Ver Figura 17.

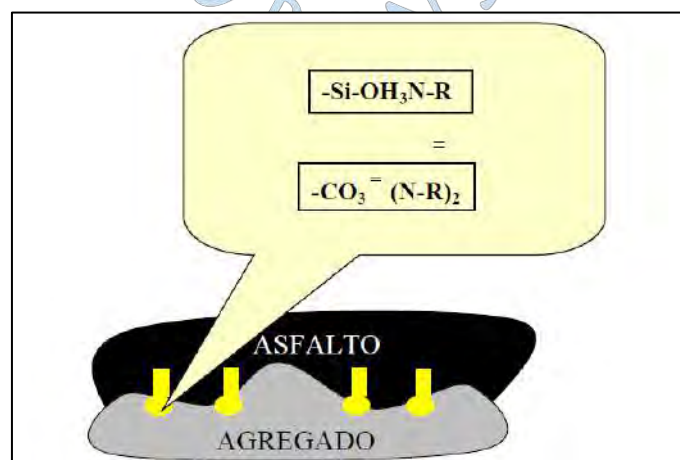


Figura 17. Enlace químico entre agregados y un aditivo base amina

Fuente: (Gutiérrez, 2008)

En mezclas asfálticas en caliente el aditivo tensoactivo o surfactante tiene un efecto positivo sobre las prestaciones mecánicas y de adherencia, como estabilidad Marshall, flujo Marshall y resistencia al daño por humedad (Marcozzi & Morea, 2005). Siendo este efecto significativo si se tiene en cuenta el cemento asfáltico utilizado, el diseño granulométrico y el rango de reducción de las temperaturas, garantizando de esta manera la calidad de la mezcla asfáltica, así como la del producto final (Tacca & Supo, 2018).

Referente a la evaluación de la adherencia resistente a la acción del agua, diferentes países utilizan varios métodos para poder evaluarla, por ejemplo, en Perú y Estados Unidos se utiliza el método ASTM D3625 y el método AASHTO T-283; en Panamá, Japón, Ecuador, Chile y España utilizan el método Riedel y Weber.

a) Método ASTM D-3625

Este método es utilizado para evaluar el efecto que tiene el agua sobre agregados con recubrimiento asfáltico, mediante agua hervida. Se caracteriza por ser un método muy práctico, por lo cual proporciona información de manera rápida sobre si la muestra asfáltica es resistente a la acción del agua, y también sobre el comportamiento de los aditivos de adherencia respecto a la dosis y tipo. Este método es utilizado mayormente en los países de Perú y Estados Unidos (Gutiérrez, 2008).

b) Método ASTM D-3625 Modificado

Este método al igual que ASTM D 3625 es utilizado para evaluar el efecto del agua sobre agregados con recubrimiento asfáltico, a diferencia del original este proceso coloca mezcla agregado – asfalto en un baño de agua a 80°C durante 24 horas en vez de 10 minutos. Es usado en Japón (Gutiérrez, 2008).

c) Método Riedel y Weber

A diferencia de los demás métodos, el método Riedel y Weber es utilizado para evaluar el efecto que tiene el agua sobre agregados de granulometría fina con recubrimiento asfáltico, mediante agua hervida. Es usado en países como Japón, Ecuador, Panamá, Chile y España (Gutiérrez, 2008). Ver Figura 18.

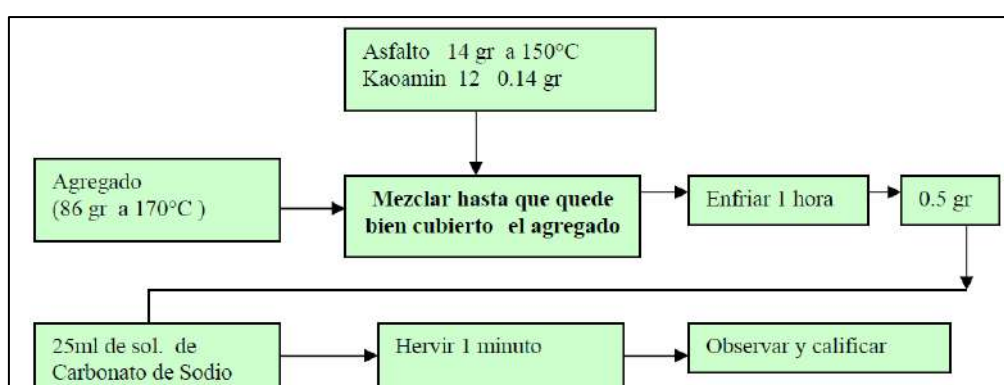


Figura 18. Diagrama de flujo del método de Riedel y Weber

Fuente: (Gutiérrez, 2008)

d) Método AASTHO T-283: Resistencia de las mezclas asfálticas compactadas al daño causado por la humedad

Este método es usado en países como Estados Unidos donde la mezcla asfáltica es compactada en moldes Marshall para después ejercer una fuerza de tensión sobre los mismos (Gutiérrez, 2008). Ver Figura 19.

En Perú, la efectividad, compatibilidad y alto rendimiento del aditivo entre el par asfalto- agregado en cada uno de los diseños de mezcla asfáltica es evaluada según AASTHO T283 (MTC, 2013). Ver Tabla 4.

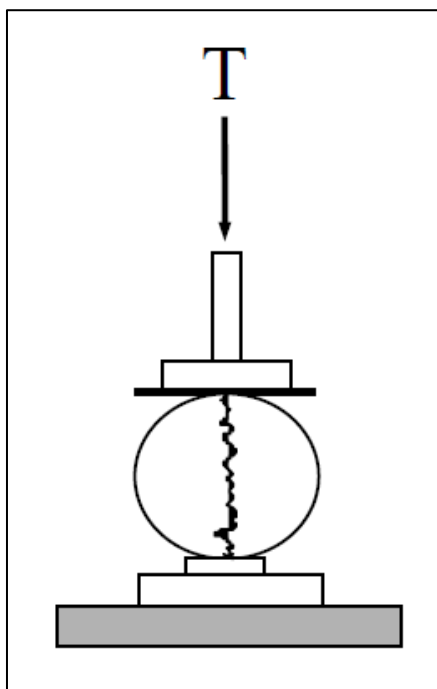


Figura 19. Método AASTHO T-283
Fuente: (Gutiérrez, 2008)

Tabla 4. Efectividad de los aditivos

Ensayos	Norma	Requerimiento
Resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta (**)	AAHSTO T 283*	80 min.

* El Ensayo AASTHO T-283 deberá ser efectuado teniendo en cuenta la aplicación de los ciclos completos de congelamiento y calentamiento

** Opcionalmente se puede efectuar el método ASTM D 4867 (Lottman Modificado) y deberá ser efectuada teniendo en cuenta la aplicación de los ciclos completos de congelamiento y calentamiento

Fuente: (MTC, 2013)



Capítulo 2

Caracterización de los materiales y plan experimental

2.1 Materiales

2.1.1 Agregados

Los agregados utilizados en el plan experimental del presente trabajo de investigación fueron: agregado grueso y agregado fino, provenientes de fuentes naturales existentes en la región de Piura.

El agregado grueso es piedra chancada, ver Figura 20, se caracteriza por ser un material denso con un alto contenido de sílice, y presentar en su superficie una textura bastante rugosa con una visible angularidad.



Figura 20. Agregado grueso-piedra chancada de Sojo

Este material proviene de la Cantera Sojo, dicho lugar es un depósito de naturaleza eólico que se encuentra ubicado en el Distrito de Miguel Checa, Provincia de Sullana, Departamento de Piura (Chávez L. , 2016).

Para el agregado fino se dispuso de arena gruesa, que se caracteriza por tener un color marrón amarillento y presentar gran cantidad de partículas finas con muy buena gradación, ver Figura 21.

Este tipo de arena proviene de la cantera Cerro Mocho, este depósito de naturaleza sedimentaria está ubicado en la carretera Sullana-Talara, en el distrito de Ignacio Escudero, Provincia de Sullana (Chávez L. , 2016).



Figura 21. Agregado fino-arena gruesa de Cerro Mocho

2.1.2 Asfalto

De acuerdo con la Normativa Peruana, los cementos asfálticos se pueden clasificar por su Viscosidad Absoluta y por su Penetración (MTC, 2016). Su óptimo empleo depende de las características climáticas de la región en donde se realizará el proyecto, con ayuda de la Tabla 5, se puede determinar el tipo de asfalto a utilizar dependiendo de la Temperatura Media Anual.

Cumpliendo con esta última condición se decidió utilizar el cemento asfáltico con un Grado de Penetración 60/70, obtenido de las refinerías de PetroPerú, debido a que la investigación se realizó en la ciudad de Piura, donde la temperatura media anual es cercana a 24 °C.

Tabla 5. 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	60-70	85-100 120-150	Asfalto Modificado
modificado			

Fuente: (MTC, 2013)

El asfalto PEN 60/70 es un cemento asfáltico sin modificadores, el cual tiene una penetración entre 60 a 70 décimas por milímetro. Este asfalto además de presentar un pH ácido se caracteriza por tener una consistencia (a temperatura ambiente) ligeramente blanda.

Además, es un material altamente cementante, termoplástico, repelente al agua y es resistente al ataque de la mayoría de los ácidos, álcalis y sales (Continental Company, 2015).

Para la fabricación de todas las mezclas asfálticas de este proyecto se utilizó el mismo cemento asfáltico, definiendo así que toda modificación presente en el comportamiento de las mezclas se deba directamente por el cambio de agregado fino y la aplicación del aditivo. Las características del cemento asfáltico se presentan en la Tabla 6.

Tabla 6. Caracterización del cemento asfáltico PEN 60/70

Ensayo	Unidad	Norma	Resultado
Penetración (100g,5s,25°C)	0.1 mm	ASTM D5-73	69
Penetración (200g,60s,4°C)	0.1 mm	ASTM D5-73	50
Ductilidad (25°C,5 cm/min)	cm	ASTM D113-79	>150
Solubilidad en tricloroetileno	% masa	ASTM D2042-76	99.3
Punto de ablandamiento	°C	ASTM D36-76	49
Punto de inflamación	°C	ASTM D92-78	300
Perdida por calentamiento	% masa	ASTM D1754-78	0.11
Gravedad específica (25°C)	g/cm ³	ASTM D70-76	1.012
Viscosidad cinemática a 135°C	cSt	ASTM D2170-85	350

2.1.3 Grano de caucho reciclado (GCR)

El grano de caucho reciclado utilizado en la fabricación de las mezclas modificadas es procedente de la trituración de neumáticos fuera de uso (NFU), proceso logrado a través de un trabajo puramente mecánico, donde el material entra en un molino y es reducido de tamaño mediante corte por la acción de cuchillas (Ramírez N. , 2006).

Es un material de color negro producto del negro de carbón y está constituido por partículas que han sido separadas de los tejidos, metales e impurezas extrañas del neumático. De igual forma está compuesto principalmente por azufre, cauchos naturales y sintéticos vulcanizados, ver Figura 22.



Figura 22. Grano de caucho reciclado (GCR)

Según su granulometría mostrada en la Tabla 7, las partículas del caucho presentan una gradación discontinua con un tamaño máximo nominal de 1/4" y un menor tamaño en el tamiz #80.

También se puede apreciar que en el tamiz #08 se retiene el mayor porcentaje de material, dando indicio que su granulometría es propia de un agregado fino y aunque su módulo de fineza de 4.4 es levemente mayor para considerarlo como tal, se podría prever que el grano de caucho reciclado tiene la facultad para ser usado como reemplazo de la arena gruesa a partir de este tamiz. La curva granulométrica es presentada en la Figura 23.

Tabla 7. Granulometría del grano de caucho reciclado

Tamiz	Abertura (mm)	Peso retenido (gr)	Porcentaje parcial retenido (%)	Porcentaje acumulado	
				Retenido (%)	Que pasa (%)
3/8"	9.50	0.00	0.00	0.00	100.00
1/4"	6.30	3.63	1.50	1.50	98.50
#4	4.75	5.32	2.10	3.60	96.40
#8	2.36	104.86	41.90	45.50	54.50
#10	2.00	79.77	31.90	77.40	22.60
#16	1.18	44.73	17.90	95.30	4.70
#20	0.84	8.26	3.30	98.60	1.40
#30	0.60	1.54	0.60	99.20	0.80
#50	0.30	0.50	0.20	99.40	0.60
#60	0.25	0.06	0.00	99.50	0.50
#80	0.18	0.03	0.00	99.50	0.50

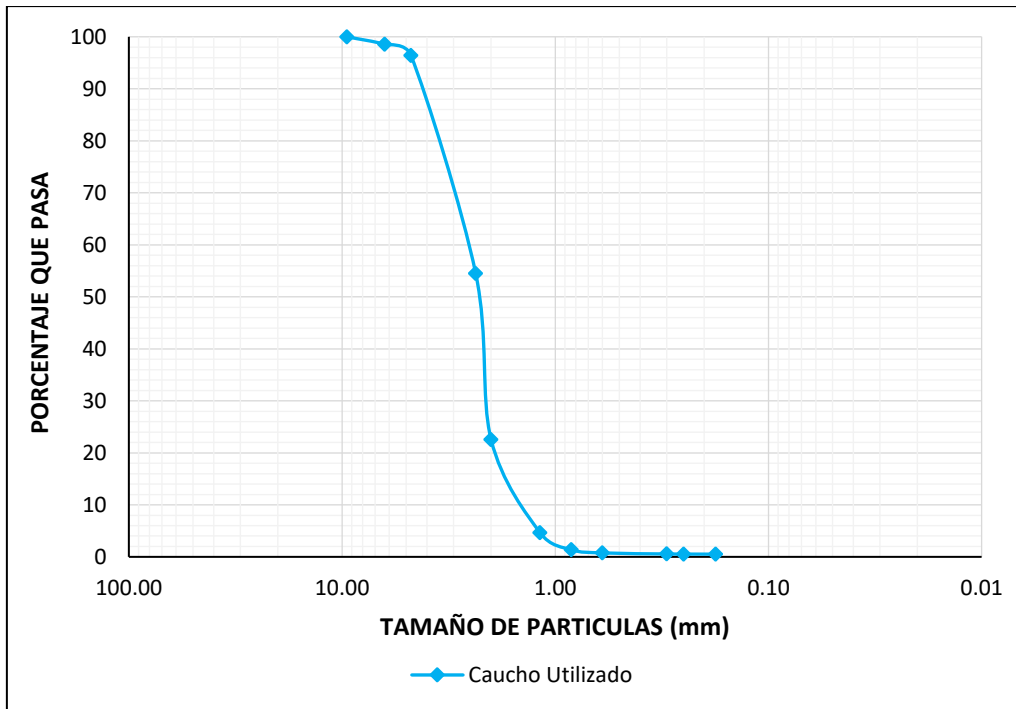


Figura 23. Curva granulométrica del grano de caucho reciclado

2.1.4 Aditivo mejorador de adherencia

El aditivo utilizado en la fabricación de la mezcla asfáltica modificada es Ricot Z, es un producto químico tensoactivo de aspecto viscoso con un característico color marrón oscuro. Es empleado en mezclas que se utilizan en la carpeta asfáltica de pavimentos flexibles, como pistas y carreteras. Al tratarse de un agente modificador tiene la funcionalidad de mejorar tanto la adhesividad e impermeabilidad del asfalto como las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica. Ver Figura 24.



Figura 24. Aditivo Ricot Z

Según datos técnicos del Aditivo Ricot Z, presentados en la Tabla 8, una de las ventajas que ofrece este tipo de aditivo mejorador de adherencia es su resistencia a las variaciones

climatológicas, al añadirse al asfalto y durante el mezclado, este debería proporcionar una mejoría en la resistencia de los agregados ante la presencia de sulfatos, posibilitando así que posteriormente las mezclas asfálticas sean menos susceptibles ante los cambios de temperatura y la intemperie.

El aditivo al tener base de tipo amina, incrementa la adhesión e impermeabilidad del asfalto logrando una adherencia estimada con el agregado pétreo de más del 95 %, por lo mismo se espera obtener una alta resistencia al daño causado por la humedad, la cual será evaluada posteriormente con el ensayo de resistencia conservada en la prueba de tracción indirecta AASHTO T283/MTC E 522 sobre las mezclas asfálticas (MTC, 2016).

Al mejorar la adherencia del asfalto con el agregado, este aditivo ayudará a disminuir el porcentaje de vacíos, y por ende aumentará la densidad de la mezcla asfáltica, mejorando así el acabado y dejará una superficie mucho más lisa. Además de aumentar la manejabilidad y mejorar la fluidez de la mezcla asfáltica, y obtener una compactación más pareja de las muestras. Estas propiedades se evaluarán posteriormente con el ensayo Marshall AASHTO T245/MTC E 504.

Adicionalmente, el aditivo Ricot Z posee una buena resistencia a los Rayos UV y su respectiva aplicación tal como lo indica el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2013) debe ser en porcentaje del peso del material bituminoso de la mezcla asfáltica. Dentro de sus especificaciones técnicas se recomienda su aplicación dentro del rango de porcentajes de 0.5% a 1% del peso del asfalto.

Tabla 8. Datos técnicos del aditivo Ricot Z

Datos	Resultados
Aspecto	Viscoso
Color	Marrón oscuro
Punto de inflamación (ASTM D92)	200°C
Densidad	0.95 ± 0.05 g/Cm3
Gravedad específica (25°C)	0.9960 g/cm3
Total, Amino (ASTM D2073)	417.29 mg KOH/g
Adherencia Agregado Pétreo (ASTM D3625)	+ de 95%
Agua a 25°C	Insoluble
Gasolina 25°C	Parcialmente soluble
Alcohol isopropílico a 25°C	Soluble

Fuente: (Z Aditivos, 2021)

2.2 Caracterización de los agregados y del grano de caucho reciclado

Los agregados naturales fueron caracterizados según las recomendaciones establecidas por los estándares ASTM, AASHTO y el Manual de Ensayos de Materiales del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2016).

Y con la finalidad de verificar la calidad y posterior desempeño de los agregados dentro de la fabricación de las mezclas asfálticas los resultados de sus ensayos se evaluaron según los rangos establecidos en el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2013).

Con respecto al GCR se ensayó como un agregado fino; pues como se mencionó anteriormente, sus partículas presentan un módulo de finura que se asemeja al de este tipo de material pétreo; y de esta manera poder comparar sus propiedades con los demás agregados minerales.

Según las granulometrías del agregado grueso y fino mostradas en la Tabla 9, las proporciones necesarias para su combinación fueron 48% de agregado grueso y 52% de agregado fino, con la finalidad que al mezclarlos la granulometría resultante se encuentre dentro de los límites especificados por MTC, como se muestra en la Figura 25.

Por lo mismo, al utilizar un alto contenido de material fino con una gradación continua, se decidió trabajar con mezclas densas de agregados, siendo los diseños de este tipo de mezclas los más usados en la región de Piura, en donde el nivel de tráfico es medio a alto (Chávez F. , 2019).

De esta forma se optó por trabajar con el huso granulométrico MAC-1 y tamaño máximo nominal de 1/2". Se utilizó la misma gradación para todos los diseños, con el propósito de evitar su influencia en el desempeño de las mezclas asfálticas, independientemente si contiene o no caucho.

Tabla 9. Combinación de agregados usado en todas las mezclas

Tamiz	Abertura (mm)	% pasa				
		AG (48%)	AF (52%)	Mezcla	Especificación	
1"	25.40	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
3/4"	19.10	100.00	100.00	100.00	80.00	100.00
1/2"	12.70	67.20	100.00	84.24	67.00	85.00
3/8"	9.50	27.30	100.00	65.10	60.00	77.00
#4	4.76	1.20	97.10	51.03	43.00	54.00
#8	2.36	0.50	86.70	45.31	31.00	47.00
#16	1.18	0.50	65.40	34.24	23.00	38.00
#30	0.60	0.50	41.40	21.76	17.00	29.00
#50	0.30	0.50	25.40	13.44	11.00	21.00
#100	0.15	0.50	13.80	7.41	7.00	15.00
#200	0.08	0.40	7.80	4.25	4.00	8.00

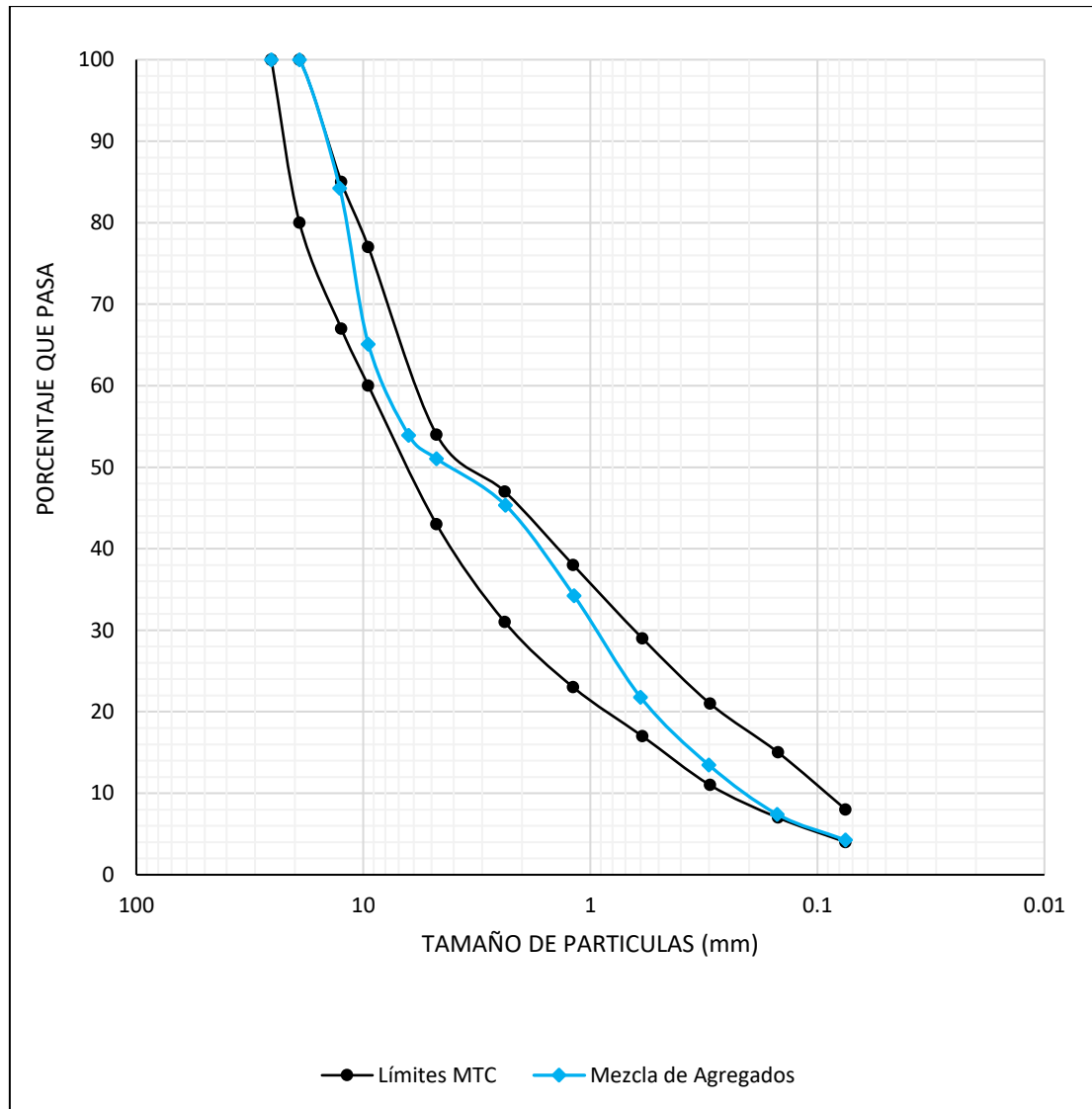


Figura 25. Curva granulométrica de la combinación de agregados

De igual manera los resultados de los ensayos de caracterización de agregados se muestran en la Tabla 10, en donde se aprecia que el agregado grueso y fino presentaron valores de absorción muy cercanos de 0.84% y 0.7% respectivamente, a diferencia del grano de caucho reciclado que presentó un porcentaje de absorción de 0.4%, demostrando de esta forma que el caucho tiene una porosidad menor en comparación con los agregados naturales, debido a la poca presencia de fisuras o huecos permeables en su estructura.

Esta poca penetración del agua en los poros de las partículas del caucho se debe también a la propiedad hidrófoba que este material posee, como consecuencia del proceso previo de vulcanización al que ha sido sometido durante su producción industrial, lo que le permite comportarse como un material impermeable en presencia de agua. Por lo cual se hipotetiza que el caucho podría producir una “aparente” capacidad de absorción pobre.

Tabla 10. Caracterización de los agregados minerales y GCR

Ensayo	Norma Prin.	Piedra Triturada	Arena Gruesa	GCR (A.F.)	Lim. MTC
Gsb	ASTM C 127	2.72	2.59	1.72	-
Absorción (%)	ASTM C 127	0.84	0.7	0.4	-
Planas y alargadas (%)	ASTM D 4791	10	-	-	Max. 10
Caras fracturadas (%)	ASTM D 5821	87/54	-	-	Min. 85/50
Abrasión Los Ángeles	ASTM C 131	18.2	-	-	Max. 40
Durabilidad (%)	AASHTO T 104	12.6	12.3	11.9	Max. 18
Angularidad (%)	AASHTO T 304	-	42.9	44.3	Min. 30
Equivalente de arena (%)	AASHTO T 176	-	57	(*)	Min. 60

(*): Las condiciones del ensayo de equivalente de arena no son las adecuadas para evaluar la limpieza del caucho, debido a su menor gravedad específica que ocasiona una lectura poco confiable, en este caso de 42%.

También se puede observar que el GCR como agregado fino obtuvo una gravedad específica de 1.72, demasiado baja si se compara con la gravedad específica de la arena gruesa que es de 2.59 y de la piedra chancada que es cercano a 2.72, evidenciando así que el caucho posee la menor densidad de los tres materiales y que al reemplazarlo en peso de agregado fino modificaría el volumen de la mezcla asfáltica.

Otro de los ensayos realizados mostró que el agregado grueso presenta 10% de partículas chatas y alargadas a la vez, cumpliendo ajustadamente con el valor máximo establecido por la normativa. Este porcentaje elevado se debe a la presencia de partículas chatas en su composición, así como la aparición de un porcentaje menor de partículas alargadas. Las mismas podrían romperse durante la fabricación de mezclas asfálticas ocasionando un leve cambio en la granulometría y una posible reducción en la durabilidad del pavimento. Aunque este valor conlleve a reducir las expectativas del buen comportamiento de la grava, cabe mencionar que aún faltan evaluar sus demás parámetros y por el momento sigue siendo un agregado aceptable que cumple con el límite especificado.

Continuando con el análisis de resultados, según el porcentaje 87/54 de caras fracturadas que presenta la piedra chancada, se puede indicar que el 87% de las partículas presenta al menos una cara fracturada y el 54% dos o más caras fracturadas. Estos valores admisibles se deben al proceso de trituración al cual es sometido la piedra chancada, además gracias a este procedimiento las partículas del agregado grueso presentan una superficie con una textura bastante rugosa, permitiendo obtener una mejor adherencia con el asfalto y una mayor estabilidad de la mezcla asfáltica.

Adicionalmente, la piedra chancada presentó un valor aceptable de abrasión de 18.2%, este valor demostraría que se trata de un agregado suficientemente fuerte y resistente, capaz de transferir cargas de forma eficiente durante su período de servicio. Además, este resultado

indicaría que es adecuado para soportar la manipulación y el proceso de producción de las mezclas asfálticas, sin afectar drásticamente la gradación global de las mismas.

La Tabla 10 también muestra que el agregado grueso presenta una pérdida de durabilidad por sulfatos de 12.6%, a pesar de que este valor puede ser vistosamente alto, se encuentra dentro del límite permitido, por lo que presenta una buena resistencia frente a la desintegración producto de la intemperie y de cambios bruscos de clima. Definiendo así, para este caso, a la piedra chancada como agregado grueso de buena calidad, favorable para la fabricación de mezclas asfálticas.

La arena gruesa por su parte presentó una pérdida de durabilidad por sulfatos de 12.3%, siendo más resistente a la intemperie que el agregado grueso, debido a que provienen de fuentes diferentes con composición mineralógica distinta. En cambio, el grano de caucho reciclado como agregado fino presentó una menor pérdida de durabilidad por sulfatos de 11.9%, y aunque no existan requerimientos para el agregado fino, este valor indica que el caucho es el menos susceptible a cambios bruscos de temperatura e intemperie de entre los tres materiales.

De acuerdo con el ensayo de angularidad en agregados finos, la arena gruesa presentó un valor aceptable de 42.9%, este porcentaje se debe al posible pulimiento de los bordes de las partículas de la arena ocasionado por el medio de transporte fluvial que caracteriza a este tipo de árido natural. Por otra parte, el caucho granular obtuvo una mayor angularidad de 44.3%, debido al proceso mecánico de trituración al que son sometidos los neumáticos fuera de uso, los cuales son procesados mediante el corte de cuchillas, permitiendo obtener así partículas con forma angulosa.

Aunque ambos resultados de angularidad se encuentran dentro del rango exigido por el MTC, para este ensayo, el GCR demuestra tener un buen desempeño como agregado fino para la fabricación de mezclas asfálticas. La forma angular de sus partículas mejoraría la estabilidad de la mezcla, disminuyendo posibles problemas de ahuellamientos y flujo.

Por otra parte, la arena gruesa presenta un valor de equivalente de arena de 57%, lo que indica que es un agregado poco limpio y con un cierto contenido de arcilla o polvillo. Por lo cual puede presentar problemas de adherencia con el asfalto y ocasionar que la película del ligante se desprenda del agregado. En cambio, el grano de caucho reciclado obtuvo un equivalente de arena de 42%, resultado inferior al valor mínimo exigido.

Tras el proceso mecánico, ya antes mencionado, al que son sometidos los NFU, se esperaba que el caucho muestre una mejor limpieza de impurezas que la arena gruesa. Si bien los resultados indican lo contrario, tal parece que las condiciones del ensayo de equivalente de arena no son las adecuadas para evaluar la limpieza del caucho, debido sobre todo a su menor gravedad específica que ocasiona una lectura poco confiable. Y tal como se mostró en la Figura 22, las partículas del GCR no muestran impurezas que impidan su buena adherencia.

Por último, debido que uno de los objetivos de esta investigación es comprobar cómo el aditivo genera un incremento en las propiedades mecánicas y en la resistencia a la humedad de la mezcla asfáltica, se consideró necesario analizar la capacidad de adherencia solo en los agregados finos frente al asfalto mediante el ensayo Riedel-Weber, norma MTC E220, resaltando así lo importante de la evaluación de esta propiedad en el desarrollo del proyecto, aun cuando dentro de los estándares de AASHTO y Manual de Carreteras – EG 2013 no esté considerado la caracterización de los agregados frente a la adherencia en zonas menores de 3000 msnm como es el caso de la provincia de Piura.

En la Tabla 11 se muestra el resumen de los valores del Índice de adhesividad de la arena gruesa frente al asfalto convencional, así como frente al asfalto modificado con el aditivo Ricot Z, además del resultado de adherencia entre el GCR como agregado fino y el asfalto tradicional.

Tabla 11. Adherencia Riedel – Weber de los agregados finos

Ensayo	Norma Prin.	Arena Gruesa ^a	Arena Gruesa ^b	GCR (A.F.) ^a	Lim. MTC
Adherencia Riedel-Weber	MTC E220	4	9	8	Min. 4

a: frente el asfalto convencional

b: frente el asfalto modificado con aditivo Ricot Z

La mezcla arena gruesa - asfalto convencional presentó un índice de adhesividad de 04, es decir un desprendimiento total del asfalto en el tubo de ensayo N° 04, con una molaridad de carbonato de sodio M/32. Este valor indica que existe una débil adherencia entre la arena gruesa y el asfalto.

En la Tabla 12, se puede observar que desde el tubo de ensayo N°0 con tan solo agua destilada ya existe un desprendimiento parcial del agregado con el asfalto, esta separación se incrementa a medida que la molaridad de la solución aumenta. Esto se debe al contenido mineralógico de sílice y potasio que poseen las partículas de la arena gruesa, que, al entrar en contacto con agua se cargan negativamente produciendo una separación con los ácidos libres del asfalto, ocasionando el desprendimiento del ligante de las superficies de las partículas de la arena.

Tabla 12. Índice de adhesividad de la mezcla arena gruesa-asfalto convencional

Tubo de Ensayo	Concentración	Observación	Índice de Adhesividad
0	Agua Destilada	Desprendimiento Parcial	0
1	M/256	Desprendimiento Parcial	1
2	M/128	Desprendimiento Parcial	2
3	M/64	Desprendimiento Parcial	3
4	M/32	Desprendimiento Total	4

Por su parte la mezcla arena gruesa - asfalto modificado con aditivo Ricot Z presentó una mejor adherencia de 09, con una molaridad M/1. Este valor indica que existe una excelente adherencia entre la arena gruesa y el asfalto cuando se usa el aditivo Ricot Z. Este buen resultado se debe a la composición hidrocarbonada (naturaleza hidrófoba) y amínica (naturaleza hidrófila) que presenta el aditivo al ser incorporados al ligante asfáltico y al entrar en contacto con el agregado.

Estas propiedades permiten reducir la diferencia de energía de enlace entre el ligante y el árido, logrando humedecer por completo el agregado y convirtiendo la unión en una más resistente. Por lo mismo, en la Tabla 13 , se puede ver que el desprendimiento del asfalto empieza recién a partir del tubo de ensayo N°04, pero no es hasta el tubo de ensayo N°09, que se genera el desplazamiento total del ligante de las partículas de arena gruesa.

Tabla 13. Índice de adhesividad de la mezcla arena gruesa-asfalto modificado con aditivo Ricot Z

Tubo de Ensayo	Concentración	Observación	Índice de adhesividad
0	Agua destilada	No hay desprendimiento	0
1	M/256	No hay desprendimiento	1
2	M/128	No hay desprendimiento	2
3	M/64	No hay desprendimiento	3
4	M/32	Desprendimiento Parcial	4
5	M/16	Desprendimiento Parcial	5
6	M/8	Desprendimiento Parcial	6
7	M/4	Desprendimiento Parcial	7
8	M/2	Desprendimiento Parcial	8
9	M/1	Desprendimiento Total	9

La Tabla 11 también muestra que la mezcla GCR - asfalto convencional alcanzó un índice de adhesividad de 08, con una molaridad M/2. Este valor indica que el caucho tiene una buena capacidad de adherencia con el asfalto, ver Figura 26.



Figura 26. Ensayo Riedel-Weber para la mezcla GCR- asfalto

Como se explicó en el Capítulo 1, la reacción que existe entre el GCR y el cemento asfáltico, al entrar en contacto bajo una temperatura elevada, ocasiona que las partículas del caucho se reblandezcan e hinchen al absorber los aceites aromáticos provenientes de los componentes más ligeros del ligante, originando así su capacidad de adherencia al modificar la reología del asfalto. Dicha capacidad aumenta mientras más tiempo dure la reacción entre los dos materiales.

A diferencia de la mezcla arena gruesa-asfalto modificado con aditivo, el grano de caucho reciclado presentó un desprendimiento parcial del asfalto en el tubo de ensayo N°2 con una molaridad M/128, ver Tabla 14. Esta temprana separación se debe a que las partículas del GCR no han reaccionado en su totalidad al estar a una temperatura poco elevada durante un breve tiempo, como indica el ensayo, ocasionando que presente problemas prematuros de adherencia con el ligante.

Tabla 14. Índice de adhesividad de la mezcla GCR-asfalto convencional

Tubo de Ensayo	Concentración	Observación	Índice de Adhesividad
0	Agua Destilada	No hay desprendimiento	0
1	M/256	No hay desprendimiento	1
2	M/128	Desprendimiento Parcial	2
3	M/64	Desprendimiento Parcial	3
4	M/32	Desprendimiento Parcial	4
5	M/16	Desprendimiento Parcial	5
6	M/8	Desprendimiento Parcial	6
7	M/4	Desprendimiento Parcial	7
8	M/2	Desprendimiento Total	8
9	M/1	Desprendimiento Total	9

Los resultados obtenidos del ensayo de adherencia Riedel-Weber, son los esperados. A pesar de que las partículas de la arena gruesa presentan una aparente mejor limpieza que las partículas del grano de caucho reciclado (tal como se indicó en el ensayo de equivalente de arena), no generan una reacción capaz de modificar la reología del ligante que favorezca a la adherencia, como sí lo logra el caucho.

Si bien la capacidad de adherencia del GCR es mayor en comparación con el valor obtenido de la mezcla arena gruesa-asfalto convencional y menor en comparación con el valor obtenido de la mezcla arena gruesa - asfalto modificado con aditivo Ricot Z, este resultado no deja de ser destacable, pues cumple ampliamente con el límite establecido por el Manual de Carreteras – EG 2013, aun cuando dentro de sus mismos estándares y los estándares de AASHTO no esté considerada la caracterización de los agregados frente a la adherencia en zonas como Piura.

De acuerdo con este último ensayo y a los realizados anteriormente, se ha determinado que cuando se analiza el grano de caucho reciclado como agregado fino, los resultados cumplen con la mayoría de los requisitos mínimos, y en algunos casos, muestra mejores valores que la arena gruesa, como poseer una gran angularidad y resistencia a los sulfatos, lo que evidencia que el GCR es un material apto para usarse como agregado fino en la fabricación de mezclas asfálticas.

2.3 Especificaciones para el diseño de mezclas asfálticas

Una vez definida la proporción de los áridos en la Tabla 9, se procedió a la realización de los diseños de mezclas asfálticas en caliente por medio del método Marshall, especificado en la norma técnica MTC E504, que permite determinar el contenido óptimo de asfalto y los parámetros de comportamiento. Cabe mencionar que las mezclas de agregados se basaron en una gradación densa, sin filler añadido.

En un inicio, al no contar con estudios previos, el cálculo del porcentaje de asfalto se realizó de acuerdo con la granulometría de la mezcla de agregados; este método es propuesto por el Instituto del asfalto; obteniendo así un valor correspondiente de 5% para todas las mezclas asfálticas, el cual varía 0.5%.

Posteriormente el contenido óptimo de asfalto (%OA) se determinó al promediar los valores de porcentaje de asfalto correspondientes al máximo peso específico, máxima estabilidad y un porcentaje de vacíos igual al 4%. Con el óptimo calculado se evalúan los demás parámetros de las mezclas asfálticas: flujo, vacíos mínimos de agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA); comparándolas con las especificaciones para concreto asfáltico en caliente establecidas por el Manual de Carreteras – EG 2013.

De acuerdo con el procedimiento estipulado en la norma MTC E504, los agregados y el asfalto se precalentaron, para después mezclarse a una temperatura de 160°C. Por su parte cada probeta se fabricó con un peso promedio de 1200 gr. y una compactación de 75 golpes en cada cara usando el martillo Marshall, la cual simula el tráfico moderadamente alto que presenta la ciudad de Piura. En total para cada mezcla asfáltica se ensayaron 3 probetas por cada porcentaje de asfalto.

El procedimiento antes descrito se realizó para todas las mezclas asfálticas, a excepción de la mezcla modificada con caucho, donde el proceso de fabricación tuvo variaciones de tiempo y temperaturas al complementar un tratamiento para el GCR, conocido como proceso de digestión.

Con respecto a las mezclas asfálticas, para este proyecto se realizó 3 tipos de mezclas, cada una con diferente variación en su diseño, llevando por regla general la misma utilización de agregados pétreos y cemento asfáltico. La primera mezcla asfáltica se basó en el diseño convencional, el cual no presenta ningún modificador en el ligante, así como ninguna variación de material en su granulometría. Esta mezcla se denominó Mezcla Patrón (MP), que cumplirá la función de referencia, para la posterior comparación de los resultados de sus ensayos con las demás mezclas asfálticas.

La segunda mezcla asfáltica a diferencia de las demás se definió por la utilización del aditivo mejorador de adherencia Ricot Z, cuya función principal es potenciar las propiedades mecánicas de la mezcla por medio de la modificación del asfalto. Esta mezcla asfáltica fue nombrada Mezcla 1 (M1), donde para obtener un mejor rendimiento del aditivo, este se tuvo que aplicar entre el rango de 0.5% a 1% del peso del ligante.

Finalmente, la tercera mezcla asfáltica se caracterizó por poseer grano de caucho reciclado (GCR) en su granulometría. En este caso el método de utilización para el GCR fue por medio de vía seca (PlusRide). El caucho se reemplazó por pequeñas proporciones de agregado fino, pues como se mencionó anteriormente este material presenta buenas características para ser usado como árido. Este tipo de mezcla se nombró Mezcla 2 (M2).

Y con la finalidad de disminuir las variables independientes, se optó por reemplazar el caucho en un solo tamiz, #08, cumpliendo así con el rango de utilización para la tecnología PlusRide, y además porque en este tamaño de tamiz sus partículas muestran una buena homogenización que favorecería a la fabricación de mezclas densas, a pesar de que presente una granulometría discontinua.

2.4 Especificaciones para el ensayo de Tracción Indirecta (Resistencia a la humedad)

La realización de este ensayo se basó en la metodología especificada en las normas ASSHTO T 283 y MTC E 522, en donde mediante el ensayo de Lottman modificado es posible medir la sensibilidad a la humedad de las mezclas asfálticas, al relacionar la resistencia a la tracción indirecta (ITS) de probetas asfálticas en condiciones húmedas con respecto a su resistencia en condiciones secas (Santamaria, 2020).

El ITS se obtiene al aplicar una carga de compresión diametral a una velocidad constante a los especímenes hasta lograr que fallen producto de las tensiones a tracción; por otra parte, la relación que existe entre la resistencia húmeda y la resistencia seca de las probetas ensayadas es conocido como ratio de resistencia a la tracción (TSR) o resistencia retenida.

Normalmente los investigadores utilizan un valor mínimo de TSR de 0.8 (80%) para que la mezcla asfáltica se considere de buen desempeño frente a la humedad, sin embargo, otros consideran como aceptable un valor de 0.7 (70%) (López & Miró, 2017). Para la presente investigación se consideró un valor aceptable de TSR como mínimo de 80%.

De acuerdo con el procedimiento establecido en la norma AASHTO T 283, para cada tipo de mezcla asfáltica se elaboró seis probetas con un porcentaje de vacíos de $7 \pm 0.5\%$, el cual se logró alcanzar al ajustar la cantidad de golpes por cara, obteniendo así una compactación de 25 golpes para todas las mezclas. Asimismo, para cada tipo de mezcla asfáltica se fabricó los especímenes utilizando el contenido óptimo de asfalto (%OA) obtenido del ensayo Marshall. Todas las probetas tienen aproximadamente un diámetro de 100 mm y una altura de 63.5 ± 2.5 mm.

Una vez realizadas las probetas se dividen en dos grupos de tres especímenes cada uno, de tal forma que el promedio de vacíos de aire de los dos grupos sea aproximadamente igual (MTC, 2016). La primera mitad será de control, es decir tres probetas estarán en condiciones secas, se mantendrán a temperatura ambiente y antes de comenzar el ensayo se sumergirán en agua, pero al interior de bolsas de plástico, a 25°C (López & Miró, 2017).

Las tres probetas restantes serán sometidas a condiciones de saturación y temperatura, siendo sumergidas en agua y aplicando un vacío (13 a 67 KPa de presión absoluta) durante un periodo de 5 a 10 min hasta conseguir un nivel de saturación que se encuentre entre el 70-80%.

Luego, este grupo se somete a un ciclo de hielo-deshielo, colocando las probetas en bolsas con agua en un congelador a $-18 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante un periodo de 16 horas como mínimo. Terminado esta etapa, los especímenes entran en un estado de descongelación, se introducen en un baño de agua durante 24 horas a 60°C , y, por último, 2 horas antes de su rotura, se someten a un baño de agua a $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ (López & Miró, 2017).





Capítulo 3

Resultado del diseño de las mezclas asfálticas y la resistencia a la humedad

3.1 Mezcla asfáltica base

3.1.1 Diseño de la mezcla

a) Disposiciones previas

Tal como se mencionó en el Capítulo 2, la primera mezcla asfáltica en ser fabricada se denominó Mezcla Patrón (MP), nombrada también como mezcla de referencia o de base, y se basó en el diseño convencional, donde solo se usaron agregados naturales sin ninguna presencia de modificadores en el ligante. De acuerdo con el valor obtenido del porcentaje de asfalto para el diseño de las mezclas, se utilizaron porcentajes de asfalto de 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%. Ver Tabla 15.

Tabla 15. Diseño Marshall para probetas de 1200 gr de peso (MP)

Grupo	A	B	C	D	E
% de asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del asfalto (gr)	48.00	54.00	60.00	66.00	72.00
Peso total de agregados (gr)	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00
Peso del agregado grueso (piedra chancada) (gr)	552.96	550.08	547.20	544.32	541.44
Peso del agregado fino (arena gruesa) (gr)	599.04	595.92	592.80	589.68	586.56
Total (gr)	1200	1200	1200	1200	1200

b) Determinación del porcentaje óptimo de asfalto (%OA)

En la Figura 27 se muestran las gráficas de los parámetros de comportamiento Marshall de la mezcla MP. Al promediar los valores de contenido de asfalto del máximo peso específico, máxima estabilidad y un porcentaje de vacíos de 4%, se obtiene un porcentaje óptimo de asfalto (%OA) de 5.43%.

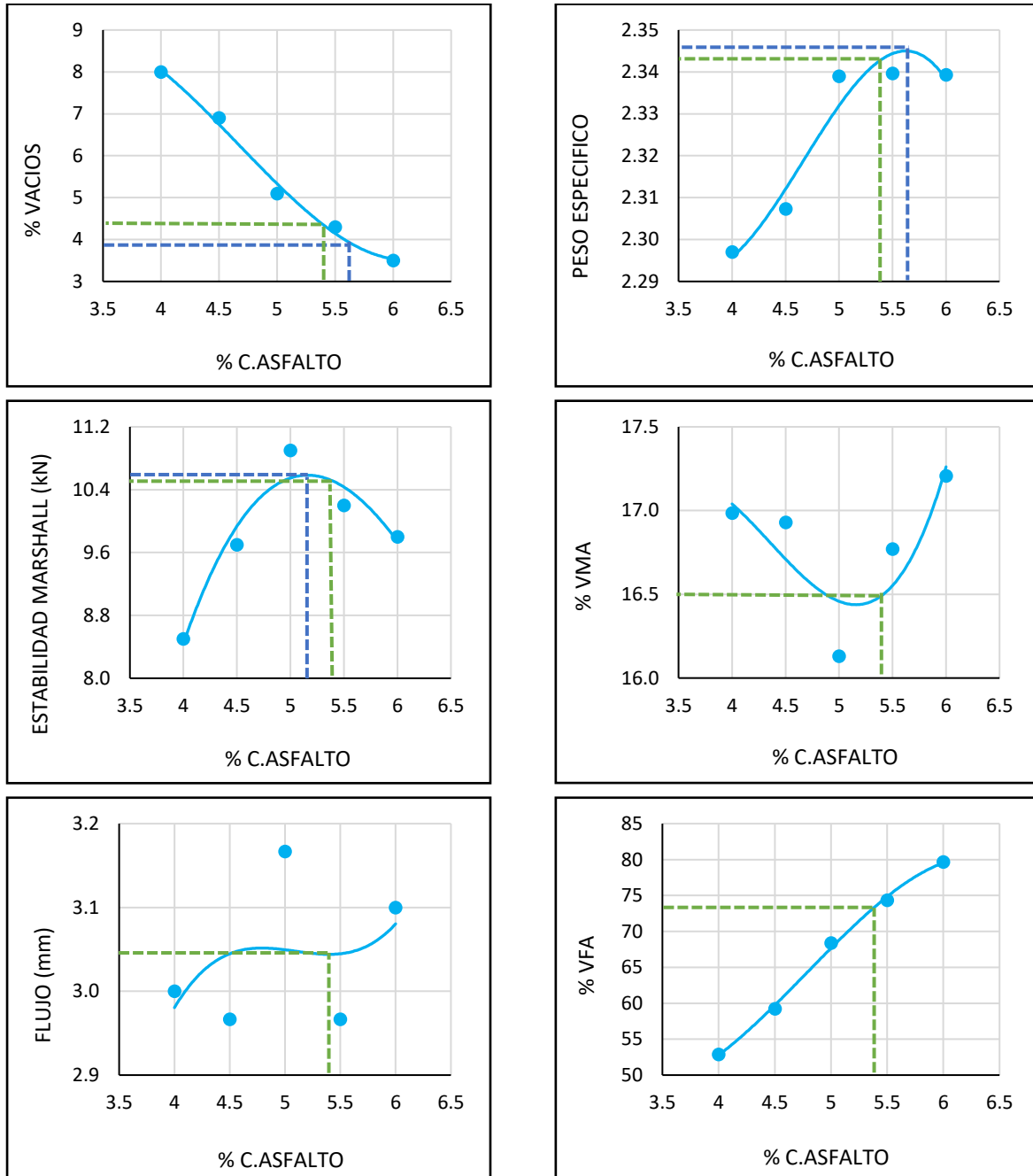


Figura 27. Gráficas Marshall para la mezcla MP

Al evaluar los parámetros de comportamiento Marshall de la mezcla patrón con un contenido óptimo de asfalto de 5.43%, se observa que la mezcla cumple con todos los requisitos establecidos por la Normativa Peruana. Alcanza un valor de estabilidad superior a

8.15 kN, que es el mínimo exigido, demostrando tener buena resistencia durante la compactación.

Al presentar un valor del porcentaje de vacíos dentro del rango de 3 y 5%, y un VMA mayor de 15%, se espera que en servicio la mezcla asfáltica no presente problemas de durabilidad o grietas por fatiga. Por lo mismo en la gráfica de VFA se muestra que con el porcentaje óptimo de asfalto la mezcla alcanza un valor de 73.8%, resultado cercano al límite extremo del rango de (65 – 75%) para mezclas asfálticas con nivel de compactación de 75 golpes, indicando que la mezcla no debería presentar problemas de exudación.

Por otra parte, la mezcla asfáltica presenta valores de flujo dentro de los límites permitidos de 0.08” – 0.14” (2mm - 3.5mm), indicando que con un contenido de asfalto de 5.43% la mezcla no debería ser susceptible de sufrir deformaciones permanentes.

3.1.2 Resistencia a la humedad

En la Tabla 16 se muestra la resistencia a la tracción indirecta (ITS) de la mezcla MP, en donde se puede observar que su resistencia seca es superior a su resistencia húmeda, evidenciando que en condiciones de congelamiento y descongelamiento la mezcla patrón es muy susceptible a sufrir una pérdida alta de resistencia.

Tabla 16. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla MP

Probeta	Carga de Tracción Indirecta húmeda (Kg)	Carga de Tracción Indirecta Seca (Kg)	Re. Húmeda (Kg/cm²)	Re. Seca (Kg/cm²)
1	172.00	492.00	1.62	4.56
2	160.00	477.00	1.50	4.42
3	165.00	480.00	1.54	4.44
Promedio	165.67	483.00	1.55	4.47

La resistencia retenida (TSR) de la mezcla MP mostrada en la Tabla 17 presenta un porcentaje de 34.68%, este valor es menor al límite permitido e indica que la mezcla MP al estar en condiciones de humedad podría presentar problemas de durabilidad.

Este resultado es esperado, y se debe a la propia composición mineralógica y características de los materiales pétreos, que bajo ciertas condiciones llegan a afectar la cohesión de la mezcla asfáltica. Como se mencionó en el capítulo 2, el agregado fino presenta un porcentaje de equivalente de arena bajo, que indica que el material no es tan limpio y podría generar problemas de adherencia con el asfalto al contener arcilla o polvillo.

Este efecto se comprobó al analizar la capacidad de adherencia de la arena gruesa con el asfalto. El agregado fino al contener sílice en su composición ocasiona un pronto desprendimiento del ligante de la superficie del árido al entrar en contacto con el agua.

Debido a lo antes mencionado, y a pesar de que la mezcla patrón demuestra tener un buen ITS en condiciones secas, se puede deducir que no es ideal su utilización en zonas con cambios bruscos de temperatura y expuestos a humedad.

Tabla 17. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla MP

Re. Retenida TSR (%)	Norma Princ.	Limite MTC
34.68	AASHTO T 283	Min. 80

3.2 Mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia

3.2.1 Diseño de mezcla

a) Disposiciones previas

Para la elaboración de la segunda mezcla asfáltica nombrada Mezcla 1 (M1), se utilizó el aditivo mejorador de adherencia Ricot Z. Para este proyecto se decidió usar el 1% de este aditivo con respecto al peso del ligante, siendo este el mayor valor posible dentro del rango especificado en el capítulo anterior.

La utilización de este máximo porcentaje de agente modificador se debe a la finalidad de comparar las mejores propiedades que puede presentar la mezcla asfáltica al modificar el ligante con una elevada concentración de aditivo mejorador de adherencia, frente las propiedades que presentan las demás mezclas sin aditivo.

Existen investigaciones que evidencian un mejor comportamiento de la mezcla asfáltica cuando se usa porcentajes altos de aditivos. Por ejemplo, Prado y Vigil (2020) reportaron que, al incorporar una mayor cantidad de aditivo a las mezclas asfálticas, se obtiene una gran mejoría del porcentaje de resistencia a la tracción indirecta.

Cahuana (2018), por su parte, investigó la mejora del comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica al incorporar altos porcentajes de aditivo Warmix, encontrando que la estabilidad se incrementa en un 30.15% en comparación con la mezcla convencional.

De acuerdo con las disposiciones generales para el diseño, los porcentajes de asfalto que se utilizaron para este tipo de mezcla asfáltica modificada son los mismos que se usaron en la Mezcla Patrón, 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%; con la finalidad de mantener las mismas condiciones para todas las mezclas. El diseño Marshall es el mismo de la mezcla MP. Ver Tabla 15.

b) Determinación del porcentaje óptimo de asfalto (%OA)

El contenido óptimo de asfalto que se obtuvo al promediar los valores del máximo peso específico, máxima estabilidad y un porcentaje de vacíos de 4%, de la mezcla M1 fue de 5.25%. Los resultados de los parámetros Marshall se muestran en la Figura 28. Al evaluar las propiedades de la mezcla M1 con un contenido de asfalto de 5.25%, se puede observar que la mezcla cumple ampliamente con el requerimiento mínimo de estabilidad y un porcentaje de vacíos de 4%.

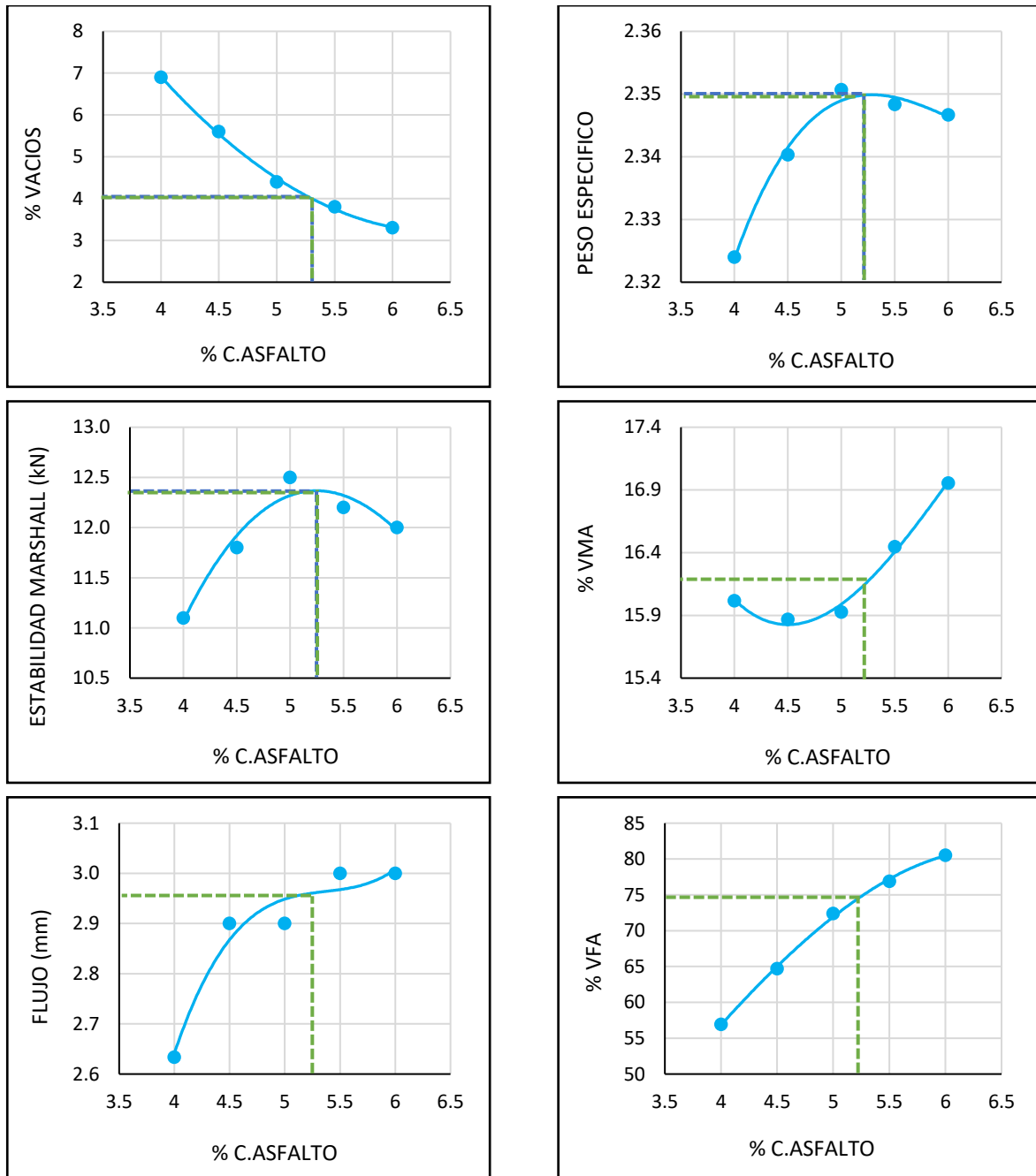


Figura 28. Gráficas Marshall para la mezcla M1

La gráfica de flujo presenta valores dentro de los límites establecidos de 0.08" – 0.14" (2mm - 3.5mm), demostrando que para un %OA de 5.25% se obtiene un valor casi intermedio de los límites, es decir la mezcla parece ser poco flexible.

Con respecto a la gráfica de VMA, se muestra valores cercanos al mínimo exigido, siendo el menor de 15.9 % para un contenido de asfalto de 4.5%, y un valor aproximado de 16.2% para el porcentaje óptimo de asfalto. Esto se debe a que el VMA se encuentra relacionado directamente con el porcentaje de vacíos, y al presentar vacíos bajos puede ocasionar que no exista el espacio suficiente entre los agregados minerales para que el asfalto los llene por completo produciendo una posible excedencia de asfalto.

Esto último se comprueba al analizar la gráfica de VFA, que también se encuentra ligado al porcentaje de vacíos y al VMA, donde muestra algunos valores mayores al máximo permitido, evidenciando que puede existir problemas de exudación si no se utiliza un porcentaje de asfalto adecuado. A pesar de lo antes descrito, para un %OA de 5.25% la mezcla M1 presenta un porcentaje aceptable cercano al máximo valor del límite permitido de (65-75%).

De acuerdo con la evaluación realizada a los parámetros Marshall de la mezcla M1 con un contenido óptimo de asfalto de 5.25%, se puede indicar que la mezcla asfáltica modificada con 1% de aditivo Ricot Z cumple con todos los requisitos mínimos.

3.2.2 Resistencia a la humedad

El (ITS) en condición seca de la mezcla M1 es levemente mayor que su resistencia en condiciones húmedas, como se observa en la Tabla 18, evidenciando que en condiciones de congelamiento y descongelamiento la mezcla M1 es poco susceptible a sufrir pérdida de resistencia.

Tabla 18. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla M1

Probeta	Carga de Tracción Indirecta húmeda (Kg)	Carga de Tracción Indirecta Seca (Kg)	Re. Húmeda (Kg/cm²)	Re. Seca (Kg/cm²)
1	508	571	4.80	5.29
2	507	575	4.80	5.33
3	509	570	4.74	5.27
Promedio	508.00	572.00	4.78	5.30

Por otra parte, la resistencia retenida (TSR) de la mezcla M1 mostrada en la Tabla 19, obtiene un porcentaje de 90.19%, este valor es mayor al límite permitido e indicaría que si la mezcla M1 estuviera en servicio la carpeta asfáltica no presentaría problemas de durabilidad, ni problemas de seguridad o falta de confort.

El resultado guarda relación con la excelente capacidad de adherencia de la arena gruesa con el asfalto modificado con aditivo Ricot Z demostrado anteriormente, en donde se mencionó que este buen comportamiento se debe a la composición química del aditivo.

Gracias al mejoramiento del enlace entre el cemento asfáltico y el árido, la cohesión interna de la mezcla no se ve afectada notablemente por la presencia de humedad, facilitando la utilización de este tipo de mezclas asfálticas en zonas donde habitualmente existe grandes cambios de temperatura, sin preocupación de la aparición temprana de problemas de desprendimiento del ligante de la superficie del agregado.

Tabla 19. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla M1

Re. Retenida TSR (%)	Norma Princ.	Limite MTC
90.19	AASHTO T 283	Min. 80

3.3 Mezcla asfáltica con caucho mediante el proceso seco

3.3.1 Diseño de Mezcla

a) Disposiciones previas

En la fabricación de la tercera mezcla asfáltica denominada Mezcla 2 (M2), se utilizó grano de caucho reciclado (GCR) como agregado fino en reemplazo de pequeñas cantidades de arena gruesa. Los porcentajes de sustitución serán con respecto al peso total de los agregados.

Para lograr que las proporciones de GCR fueran adecuadas y que no afecten la granulometría de los agregados minerales, se decidió reemplazar el caucho solo en el tamiz donde el tamaño de sus partículas presente una buena homogenización, siendo este tamiz el #08. Se diseñó dos mezclas asfálticas con diferentes porcentajes de caucho: 1%, nombrada Mezcla 2-A (M2-A), y 1.5%, nombrada Mezcla 2-B (M2-B).

Siguiendo con la idea de mantener las mismas condiciones en todas las mezclas asfálticas, para este tipo de mezclas modificadas se utilizó los mismos porcentajes de asfalto de los anteriores diseños, 4%, 4.5%, 5%, 5.5% y 6%. Ver Tabla 20 y Tabla 21.

Tabla 20. Diseño Marshall con 1% de GCR para probetas de 1200 gr de peso (M2-A)

Grupo	A	B	C	D	E
% de asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del asfalto (gr)	48.00	54.00	60.00	66.00	72.00
Peso total de agregados (gr)	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00
Peso del agregado grueso (piedra chancada) (gr)	552.96	550.08	547.20	544.32	541.44
Peso del agregado fino (arena gruesa + GCR) (gr)	599.04	595.92	592.80	589.68	586.56
Peso de arena gruesa (gr)	587.52	584.46	581.40	578.34	575.28
Peso de GCR (1% del peso total de agregados) (gr)	11.52	11.46	11.40	11.34	11.28
Total (gr)	1200	1200	1200	1200	1200

Tabla 21. Diseño Marshall con 1.5% de GCR para probetas de 1200 gr de peso (M2-B)

Grupo	A	B	C	D	E
% de asfalto	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del asfalto (gr)	48.00	54.00	60.00	66.00	72.00
Peso total de agregados (gr)	1152.00	1146.00	1140.00	1134.00	1128.00
Peso del agregado grueso (piedra chancada) (gr)	552.96	550.08	547.20	544.32	541.44
Peso del agregado fino (arena gruesa + GCR) (gr)	599.04	595.92	592.80	589.68	586.56
Peso de arena gruesa (gr)	581.76	578.73	575.70	572.67	569.64
Peso de GCR (1.5% del peso total de agregados) (gr)	17.28	17.19	17.10	17.01	16.92
Total (gr)	1200	1200	1200	1200	1200

La incorporación del grano de caucho reciclado en la mezcla asfáltica fue por vía seca mediante la tecnología de PlusRide, en donde el método Marshall se ve afectado levemente por la incorporación del proceso de digestión del GCR. Este procedimiento se caracteriza por el tiempo y temperatura en que la mezcla asfáltica estará colocada en el horno para generar una mejor interfase entre el caucho y el ligante. Para la presente investigación el tiempo y temperatura de digestión fueron de 2 horas y 170°C respectivamente.

La finalidad de la utilización del caucho en el diseño de mezclas asfálticas radica en los beneficios que puede aportar sus características en el mejoramiento de las propiedades mecánicas de las mezclas. Vega (2016) determinó que, para mejorar la resistencia a la compresión de una mezcla asfáltica, es necesario utilizar un menor porcentaje de polvo de caucho como agente modificador y tener un adecuado tiempo de digestión en la elaboración de la mezcla ya que la Estabilidad y el Flujo se ven afectados por el porcentaje de caucho utilizado.

Por otra parte, Ramírez (2006) estudió el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas modificadas con la incorporación de caucho como material granular fino, identificando que se obtienen mejores resultados de Tracción Indirecta y parámetros Marshall para porcentajes menores de caucho y para contenidos mayores, la Estabilidad tiende a disminuir y la fluidez a aumentar. Además, verificó que el proceso por vía seca no difiere en gran medida del proceso convencional, salvo por los parámetros de tiempo y temperatura de digestión del caucho.

b) Determinación del porcentaje óptimo de asfalto (%OA) para la mezcla M2-A

El contenido óptimo de asfalto que se obtiene al promediar los valores del máximo peso específico, máxima estabilidad y un porcentaje de vacíos de 4% de la mezcla M2-A fue de 5.7%. Los resultados de los parámetros Marshall se muestran en la Figura 29.

Al evaluar las propiedades Marshall de la mezcla M2-A con un contenido óptimo de asfalto de 5.7%, se observa que la mezcla cumple con todos los estándares especificados en la normativa peruana.

Aunque en comparación con las mezclas asfálticas anteriores su valor de estabilidad no es tan grande, esta mezcla cumple con el valor mínimo requerido, por lo tanto, puede brindar una buena capacidad que permita resistir desplazamientos y deformaciones bajo las cargas del tránsito.

De esta manera, para un valor de 5.7% de OA la mezcla asfáltica presenta un flujo de 3.35 mm que cumple con las especificaciones de la norma al encontrarse dentro de los límites de 0.08"– 0.14" (2mm - 3.5mm). Este resultado se obtiene en el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

El porcentaje de vacíos de la mezcla M2-A está dentro del rango de 3 – 5%, por lo que esto garantiza que es durable y tiene una adecuada permeabilidad. Asimismo, el valor de VMA supera el valor mínimo de 15%, indicando que la mezcla presenta un adecuado porcentaje de vacíos en el agregado mineral.

Por otro lado, en la gráfica de VFA se muestra que con el contenido óptimo de asfalto la mezcla alcanza un valor de 74.1%, porcentaje cercano al límite extremo del rango de (65 – 75%) para mezclas asfálticas con nivel de compactación de 75 golpes.

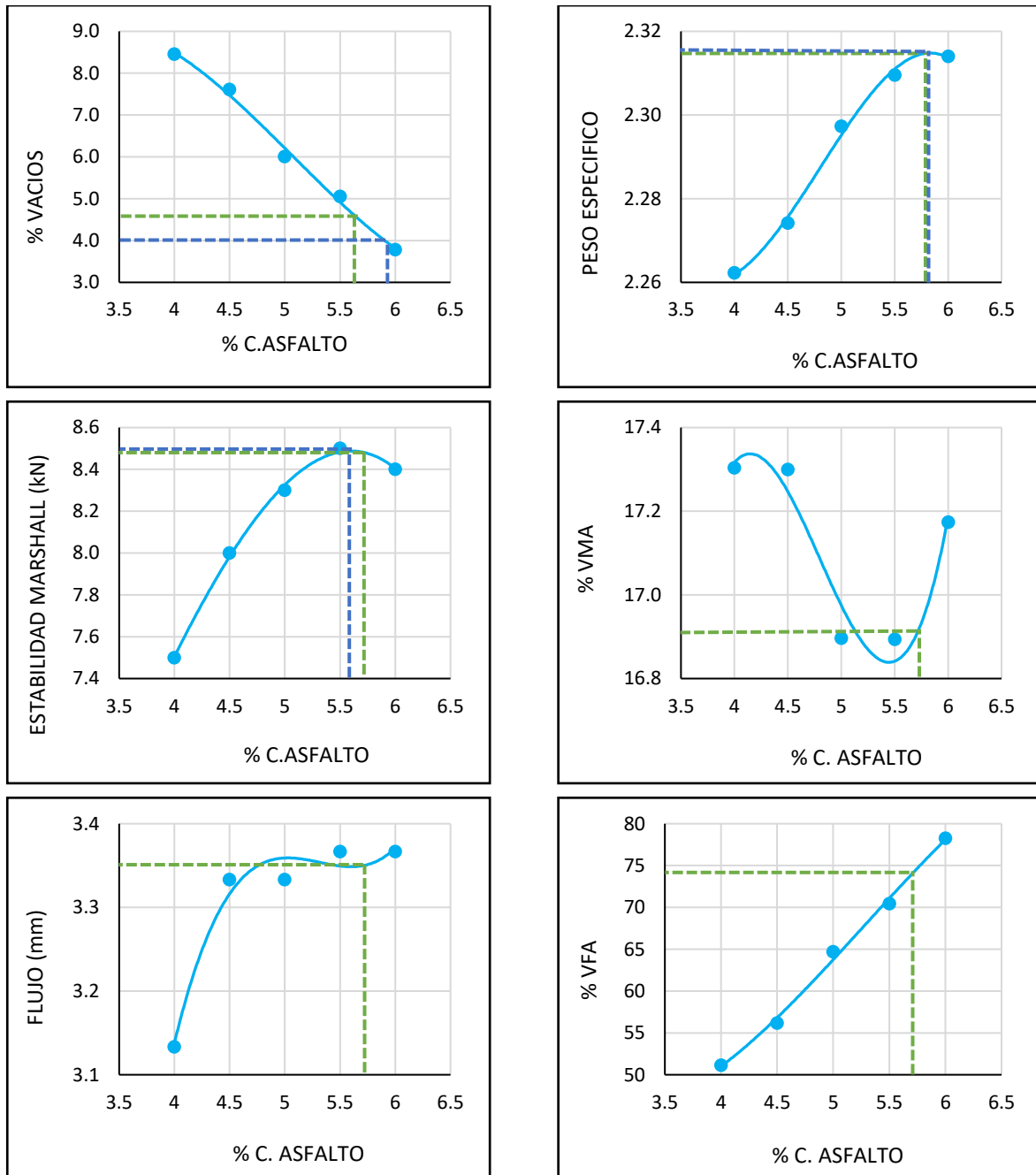


Figura 29. Gráficas Marshall para la mezcla M2-A

c) Determinación del porcentaje óptimo de asfalto (%OA) para la mezcla M2-B

Para la mezcla asfáltica M2-B se obtuvo un valor de 5.9% de OA, valor obtenido al promediar los valores del máximo peso específico, máxima estabilidad y un porcentaje de vacíos de 4%, en la Figura 30 se muestran los resultados de los parámetros Marshall.

Al evaluar las propiedades Marshall de la mezcla M2-B con un contenido óptimo de asfalto de 5.9%, se observa que la mezcla cumple con el requisito mínimo de estabilidad de 8.15 kN, y, al igual que en la mezcla M2-A, su valor de estabilidad no es tan grande.

De esta manera, para un valor de 5.9% de OA, la mezcla presenta un valor de 3.5mm de flujo. Al encontrarse este valor dentro de los límites establecidos por la norma de 0.08" – 0.14" (2mm – 3.5mm"), asegura que el pavimento esté libre de ahuellamientos y ondulaciones que generen problemas en la capa de rodadura.

El porcentaje de vacíos de la mezcla asfáltica M2-B es de 4.25%, el cual está dentro del rango de 3 – 5%, por lo que esto garantiza que el grado de compactación sea el adecuado para evitar que el ingreso de agua y aire puedan causar deterioro del pavimento. Asimismo, el porcentaje de VMA supera el valor mínimo de la normativa de 15%.

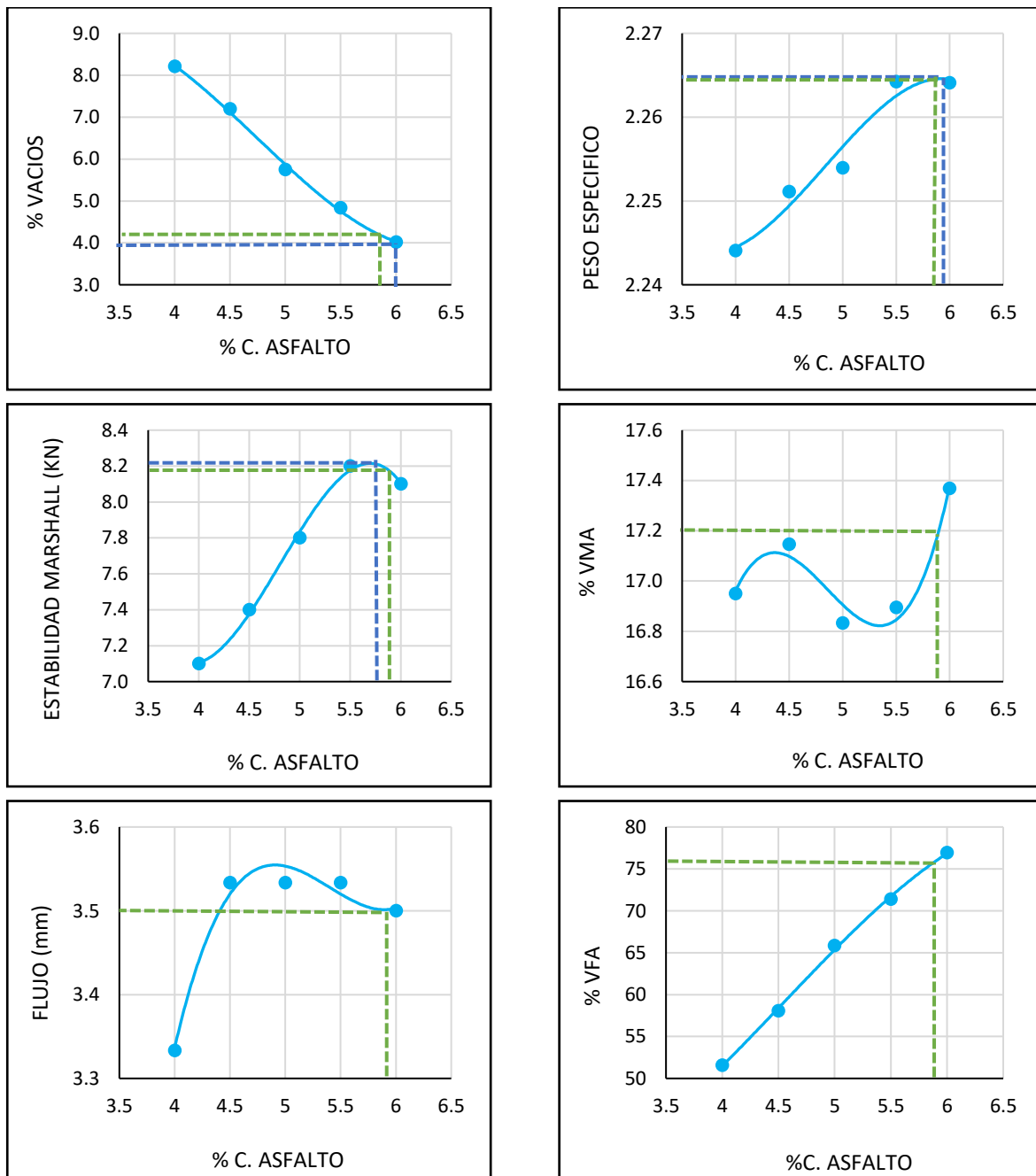


Figura 30. Gráficas Marshall para la mezcla M2-B

Por otro lado, en la gráfica de VFA se muestra que con el porcentaje óptimo de asfalto la mezcla alcanza un valor de 75.4%, este valor era de esperarse debido al elevado porcentaje de vacíos en el agregado mineral, el hecho de existir mayor espacio intergranular en la mezcla hace que exista mayor espacio disponible para acomodar asfalto en la misma. A pesar de que el valor supera el rango de (65 – 75%), este no lo excede por mucho.

3.3.2 Resistencia a la humedad

a) Resistencia a la humedad de la mezcla M2-A

En la Tabla 22 se muestra la resistencia a la tracción indirecta (ITS) de la mezcla M2-A, en donde se puede observar que la resistencia seca es tan solo 1.21 veces más grande que la resistencia húmeda, es decir la mezcla asfáltica con caucho en condiciones donde exista la presencia de agua tiende a sufrir poco daño.

Tabla 22. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla M2-A

Probeta	Carga de Tracción Indirecta húmeda (Kg)	Carga de Tracción Indirecta Seca (Kg)	Re. Húmeda (Kg/cm ²)	Re. Seca (Kg/cm ²)
1	394	481	3.66	4.53
2	397	471	3.69	4.43
3	392	478	3.74	4.42
Promedio	394.33	476.67	3.69	4.46

Por otra parte, la resistencia retenida (TSR) de la mezcla M2-A mostrada en la Tabla 23, obtiene un porcentaje de 82.74%, este valor es mayor al límite permitido e indicaría que si la mezcla M2-A estuviera en funcionamiento, la carpeta asfáltica no presentaría problemas de durabilidad, falta de confort o problemas de seguridad.

Se puede determinar que la incorporación del caucho por vía seca contribuye directamente a la mejora de la resistencia por humedad. Esto se debe a que, al momento de adicionar GCR en la mezcla asfáltica, bajo temperaturas elevadas, se llega a modificar la reología y posteriormente se crea una interfase ligante/caucho, la cual permite generar una excelente cohesión entre ambos materiales. Y gracias a las propiedades hidrofóbicas que el caucho posee se logra mejorar considerablemente la resistencia al daño por humedad respecto a la mezcla asfáltica patrón.

Tabla 23. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla M2-A

Re. Retenida TSR (%)	Norma Princ.	Límite MTC
82.74	AASHTO T 283	Min. 80

b) Resistencia a la humedad de la mezcla M2-B

En la Tabla 24 se muestra la resistencia a la tracción indirecta (ITS) de la mezcla M2-B, en donde se puede observar que la resistencia seca es casi 1.16 veces la resistencia húmeda. Esto da a entender que, aunque la mezcla asfáltica M2-B tiene cierta susceptibilidad a perder resistencia en presencia de agua, su capacidad es mejor si la comparamos con la mezcla M2-A.

Tabla 24. Carga y resistencia a la tracción indirecta de la mezcla M2-B

Probeta	Carga de Tracción Indirecta húmeda (Kg)	Carga de Tracción Indirecta Seca (Kg)	Re. Húmeda (Kg/cm ²)	Re. Seca (Kg/cm ²)
1	304	355	2.87	3.34
2	301	354	2.81	3.33
3	302	356	2.89	3.29
Promedio	302.33	355.00	2.85	3.32

Por otra parte, la resistencia retenida (TSR) de la mezcla M2-B mostrada en la Tabla 25 obtiene un porcentaje de 85.84%, este valor es mayor al obtenido en la mezcla M2-A, demostrando así que, ante un mayor porcentaje de caucho, en este caso 1.5% de caucho incorporado, la mezcla presenta una gran mejoría en la resistencia al daño inducido por humedad.

Los resultados obtenidos muestran que, la incorporación de los granos de caucho en ambas mezclas, generan una menor pérdida de la resistencia por efecto del agua y por ende menor daño por humedad.

Tabla 25. Resistencia al daño inducido por humedad de la mezcla M2-B

Re. Retenida TSR (%)	Norma Princ.	Limite MTC
85.84	AASHTO T 283	Min. 80



Capítulo 4

Análisis de resultados

4.1 Comparación de resultados en laboratorio

Una vez realizado los ensayos Marshall y Lottman modificado de las mezclas asfálticas, se procedió al análisis comparativo entre sus propiedades con el fin de evaluar que mezcla presenta mejores resultados en su comportamiento mecánico y resistencia frente a la humedad.

4.1.1 Parámetros Marshall

En la Figura 31 se presenta las gráficas del porcentaje de vacíos (VA) de las mezclas asfálticas en estudio, en donde se aprecia que para cada tipo de mezcla el valor disminuye a medida que se aumente el contenido de asfalto.

En forma general, para cualquier porcentaje de ligante la mezcla modificada con aditivo Ricot Z (M1) presenta menores vacíos, seguido por la mezcla patrón (MP) y por las mezclas modificadas con presencia de caucho en su granulometría (M2-A y M2-B). Esta tendencia indica que la mezcla M1 presentaría un mayor peso específico que la mezcla MP.

En cambio, las dos mezclas asfálticas modificadas con caucho presentarían menor peso específico que la mezcla convencional, debido a la densidad del grano de caucho reciclado (GCR) que es inferior a la densidad de los agregados minerales. Al tener mayores porcentajes de vacíos que la mezcla MP, implicaría que para este tipo de mezclas se necesite más ligante para llenar los espacios necesarios de asfalto, cubrir una mayor área de las partículas, y así evitar posibles problemas de permeabilidad.

De entre los dos diseños de mezclas asfálticas con caucho, la mezcla con 1% de GCR (M2-A) presenta más vacíos de aire, excepto bajo un contenido de asfalto de 6%, donde la mezcla con 1.5% de GCR (M2-B) tiene mayores vacíos. Siguiendo la lógica de a mayor espacios menor densidad, se espera que la mezcla M2-B sea más densa que la mezcla M2-A.

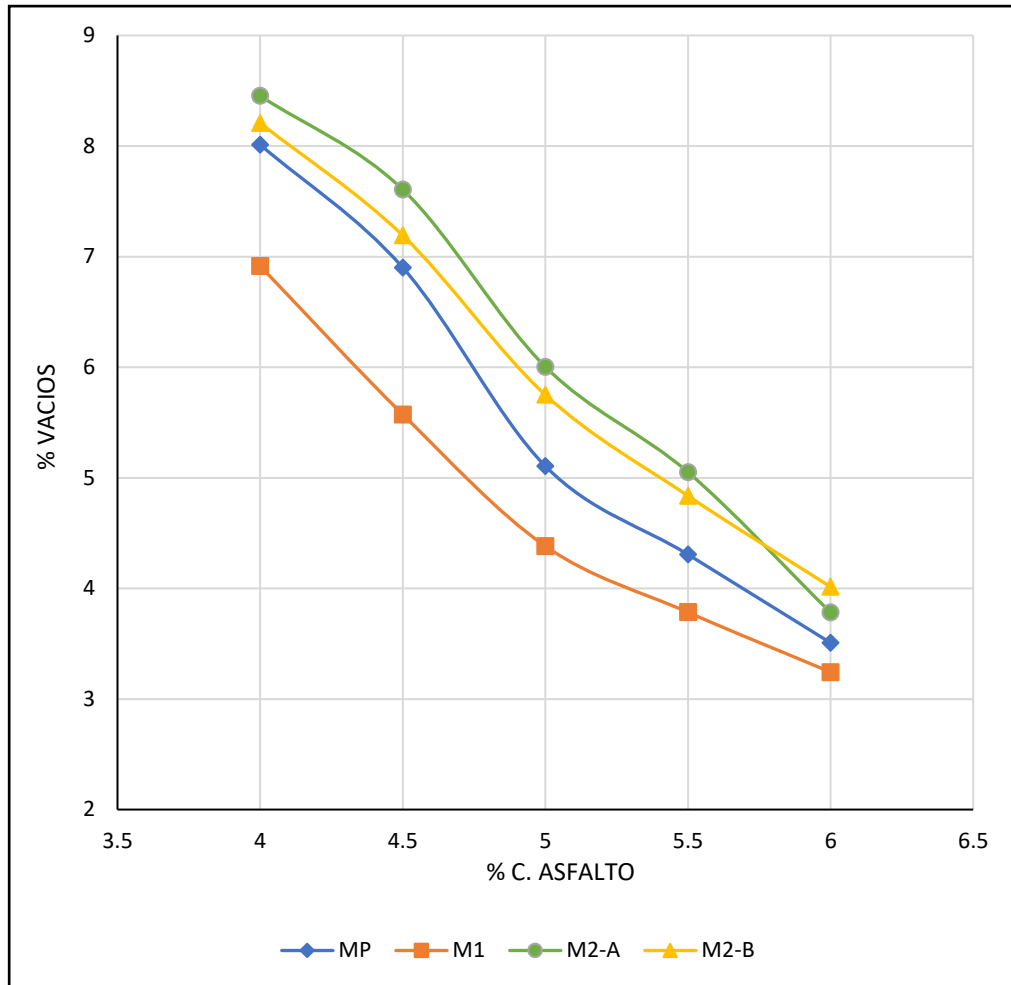


Figura 31. % Vacíos de las mezclas asfálticas

Esto último se verifica en las gráficas de peso específico mostrada en la Figura 32, donde contrario a los antes mencionado la mezcla M2-B presenta una menor densidad que la mezcla M2-A. Esto se debe a que la mezcla M2-B contiene una mayor cantidad de caucho y como se indicó el GCR tiene menor densidad que los áridos ocasionando que el volumen de la mezcla aumente y sea menos densa. Es decir, el peso específico de las dos mezclas asfálticas modificadas con caucho siempre será menor que el peso específico de la mezcla MP.

También se puede afirmar que en comparación con la mezcla MP, las mezclas asfálticas M1 y M2-B poseen mayor y menor peso específico respectivamente. Y que tanto la mezcla MP como la mezcla M1 muestran una tendencia a presentar un mayor valor de peso específico en un contenido de asfalto de 5%, y a partir de este porcentaje el parámetro se mantiene constante a medida que se aumenta el ligante, a diferencia de las mezclas modificadas con caucho, donde el peso específico aumenta al incrementar el asfalto. En este sentido, se puede decir que para este caso las mezclas M2-A y M2-B adquieren un menor volumen a medida que se aumenta el asfalto, a diferencia de las demás mezclas asfálticas.

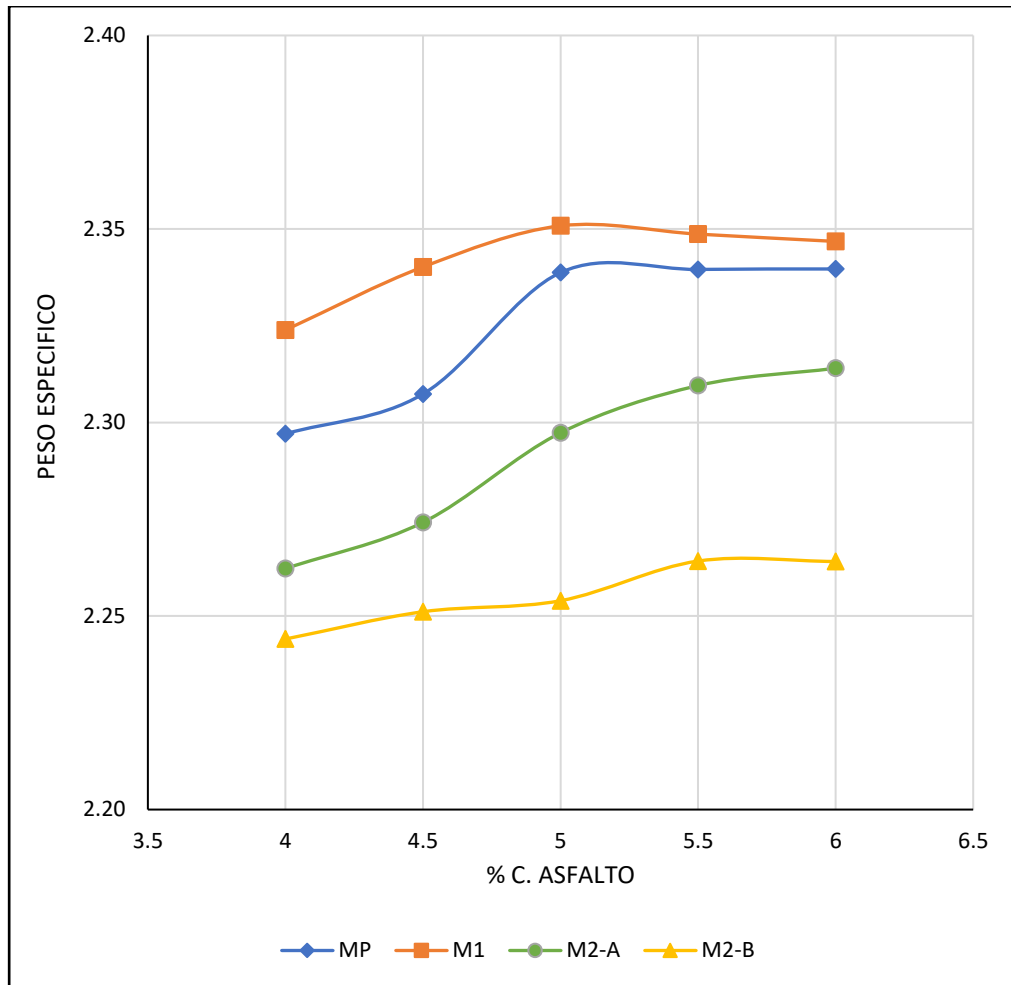


Figura 32. Peso específico de las mezclas asfálticas

Además de poseer una buena densidad se debe tener en cuenta que una adecuada mezcla asfáltica densa debe contener vacíos necesarios entre los agregados y espacios disponibles para el acomodo del volumen efectivo del asfalto, la propiedad que abarca estas características son los vacíos en el agregado mineral (VMA).

Según las gráficas presentadas en la Figura 33, todas las mezclas asfálticas presentan una caída de VMA cercano a un contenido de asfalto de 5%, siendo más notorio en la mezcla MP. Y al contrario de la gráfica de porcentajes de vacíos, las mezclas muestran una tendencia de disminuir hasta un valor dado límite y aumentar los espacios de agregados mineral a medida que se aumente el asfalto.

Para este caso se continúa afirmando que la mezcla M1 es más densa que la mezcla MP y que las demás mezclas asfálticas; y al presentar espacios pequeños de aire es un poco más propensa a desarrollar problemas de películas de asfalto delgadas si no se utiliza un contenido de ligante ideal. De igual forma se confirma que las mezclas con más vacíos y con más espacio disponible para ser llenados con asfalto son M2-A y M2-B.

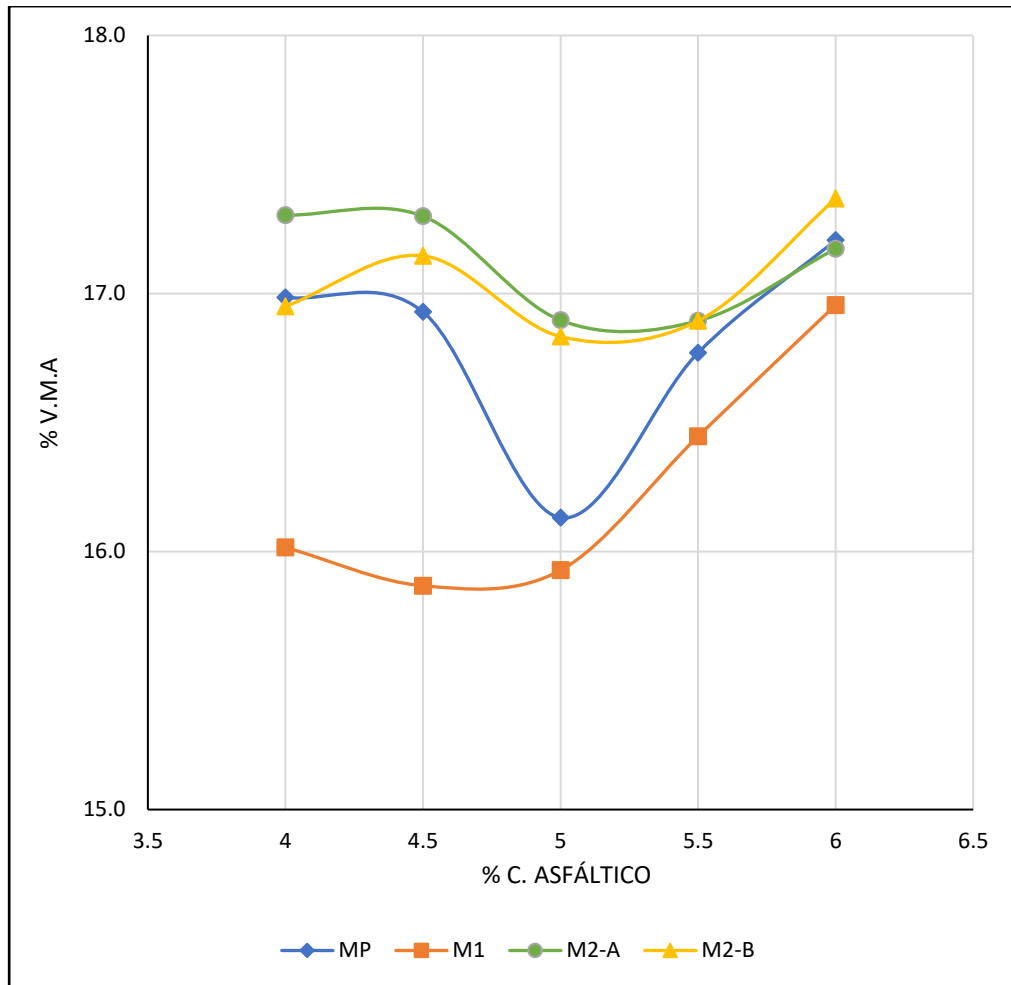


Figura 33. %VMA de las mezclas asfálticas

De acuerdo con el análisis realizado, es probable que la mezcla asfáltica M1 contenga más vacíos llenos de asfalto (VFA) que la mezcla MP. Esto se comprueba en las gráficas mostradas en la Figura 34, en donde además se observa que para cualquier contenido de asfalto las mezclas modificadas con caucho obtienen menores valores que la mezcla MP.

Es decir, a pesar de presentar espacios suficientes para ser ocupados por el ligante, este no es suficiente, fortaleciendo la hipótesis de que para este tipo de mezclas se necesita más cemento asfáltico. La Figura 34, también muestra un crecimiento de VFA con el incremento del porcentaje de asfalto, evidenciando que los vacíos se llenarán cuanto mayor cantidad de ligante se use.

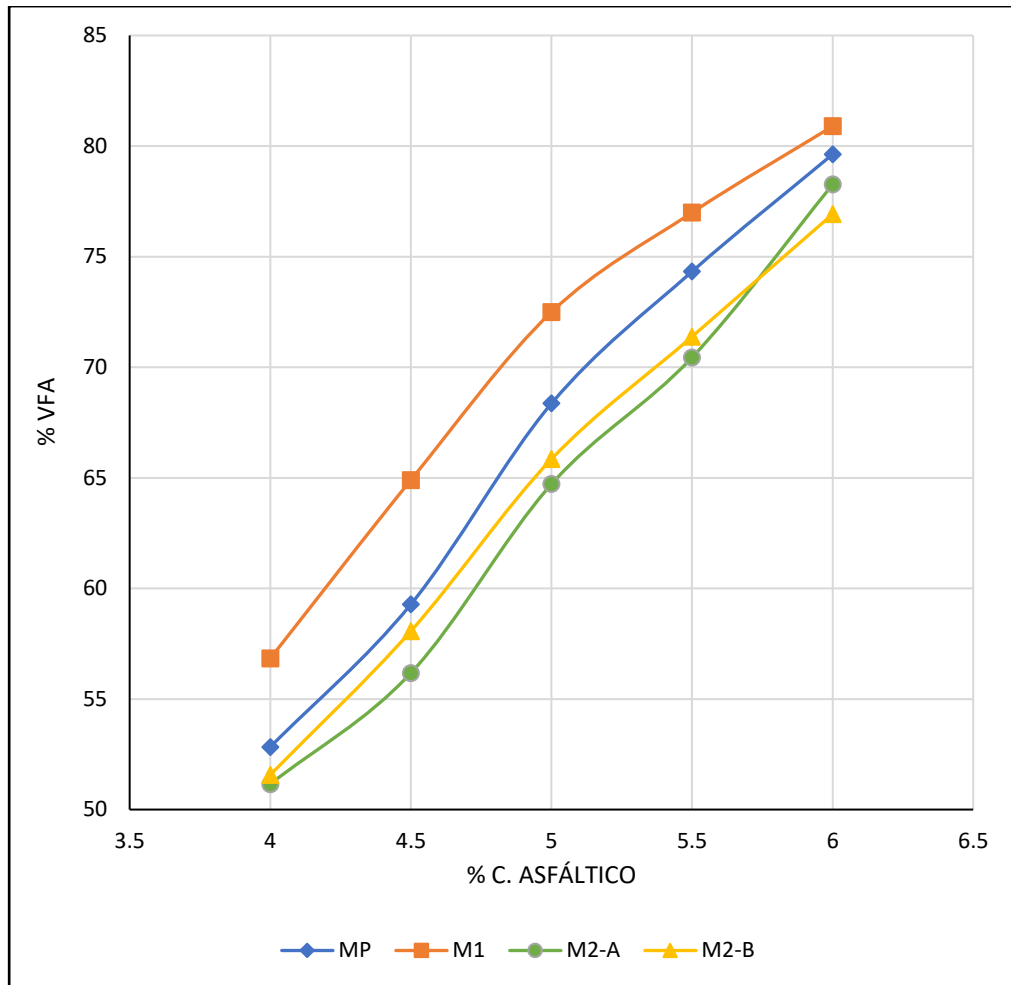


Figura 34. %VFA de las mezclas asfálticas

Si bien los porcentajes de vacíos y peso específico son parámetros con gran importancia para definir la calidad y el comportamiento de la mezcla asfáltica en servicio, no se deben desestimar la estabilidad y el flujo, que son propiedades relevantes para la evaluación del desempeño de la mezcla. En la Figura 35 y Figura 36, se puede ver las gráficas de estabilidad y flujo respectivamente de las mezclas asfálticas, donde la mezcla M1 presenta mayor estabilidad y menor fluidez que la mezcla MP, debido a la presencia del aditivo mejorador de adherencia.

Por su parte las mezclas M2-A y M2-B se muestran menos estables que la mezcla MP, demostrando que al agregar caucho en la mezcla asfáltica ocasiona una disminución notable de la estabilidad, y a la vez genera un flujo mayor. Esto último puede generar problemas de ondulaciones y ahuellamiento en una mezcla asfáltica convencional, porque ante un flujo mayor las mezclas asfálticas tienden a presentar una plasticidad alta y a deformarse bajo las cargas de servicio (Alvarez & Carrera, 2017). Sin embargo, para las mezclas asfálticas modificadas con caucho es poco probable que suceda esta problemática, pues el GCR al poseer partículas más elásticas y deformables que la arena gruesa proporcionaría una

deformación elástica bajo estrés con retorno a su forma inicial sin deformación permanente, es decir el flujo se mantiene en el x -rango elástico (Bustillo & Quintero, 2016).

También se puede ver que la gráfica de estabilidad de la mezcla convencional y la mezcla M1 presenta un mayor valor (pico) en un contenido de ligante de 5%, y la gráfica tiende a decaer a medida que se aumenta el cemento asfáltico. El mismo comportamiento se ve en las mezclas con caucho, la única diferencia es que el “pico” de la gráfica se encuentra cerca de un contenido de asfalto de 5.5%.

Adicionalmente en la Figura 35 también se observa que la mezcla M2-B es menos estable que la mezcla M2-A, por lo mismo en la Figura 36 la mezcla M2-B muestra mayor fluidez que la mezcla M2-A. Esto indicaría que a mayor porcentaje de caucho la mezcla es menos estable y más fluida, y el usar más asfalto del necesario no sería conveniente. Por otra parte, las mezclas asfálticas presentan un aparente flujo constante a partir de 5% de contenido de asfalto, a excepción de la mezcla MP que muestra valores dispersos pero coherentes.

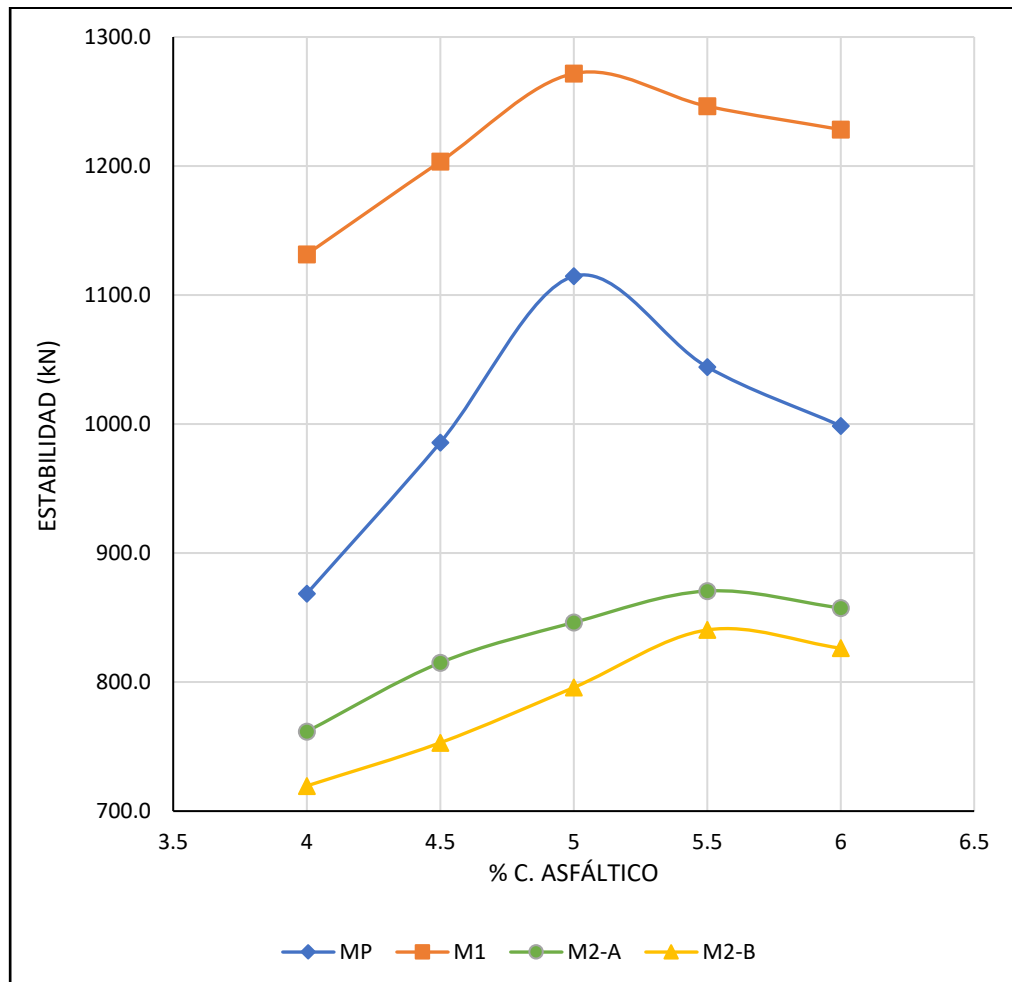


Figura 35. Estabilidad de las mezclas asfálticas

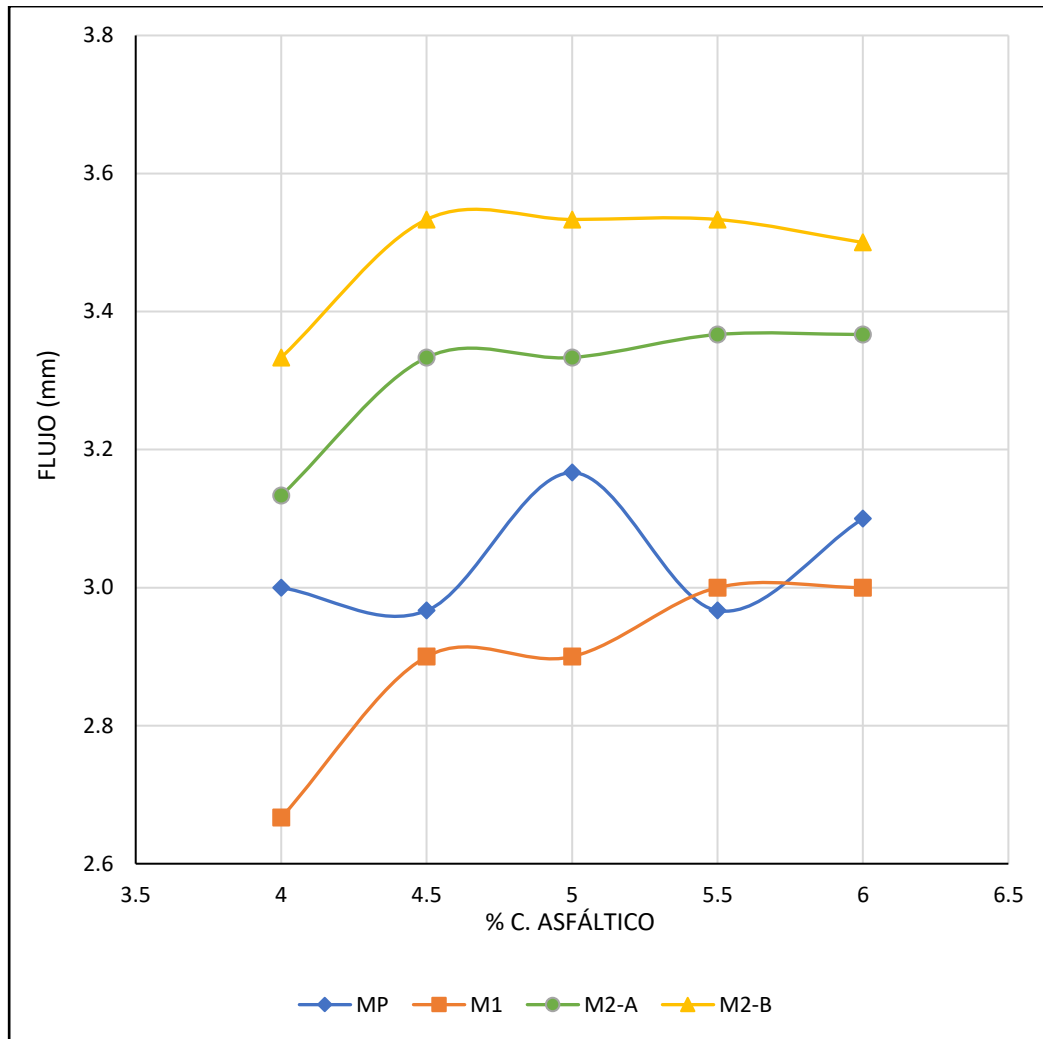


Figura 36. Flujo de las mezclas asfálticas

Si bien cada mezcla asfáltica presenta resultados cercanos a los límites establecidos por las normativas, es de interés de la presente investigación el evaluar los parámetros de comportamiento de cada mezcla acorde con su respectivo contenido óptimo de asfalto (%OA). Conforme a la evaluación realizada en el Capítulo 2, en la Tabla 26 se muestra un resumen de los resultados del ensayo Marshall de la mezcla patrón y de las mezclas asfálticas modificadas con aditivo y caucho.

Tal y como se vio anteriormente en la comparación general de los parámetros de las mezclas asfálticas, se puede observar que a diferencia de la mezcla MP, la mezcla M1 (con 1% de aditivo) y mezcla M2-B (con 1.5% de caucho) necesitan de una menor y mayor cantidad de ligante respectivamente. Cabe mencionar que los porcentajes óptimos de asfalto de las mezclas son cercanos, encontrándose dentro del rango de 5 a 6 %.

Tabla 26. Resumen de los resultados del ensayo Marshall

Ensayo	MP	M1	M2-A	M2-B	Norma Prin.	Especificación
OA (%)	5.43	5.25	5.70	5.90		-
VA (%)	4.30	4.00	4.68	4.25		3 - 5
VFA (%)	73.8	74.8	74.1	75.4		65-75
P.E.	2.34	2.35	2.31	2.26	MTC E504	-
E.M (kN)	10.5	12.4	8.51	8.18		8.15
Flujo (mm)	3.05	2.96	3.35	3.50		2 - 3.5
CM (kN/mm)	3449	4183	2543	2338		1700 - 4000
VMA (%)	16.5	16.2	16.9	17.2	MTC E505	Min. 15

La razón de que la mezcla M1, con 5.25% de OA, requiera menos asfalto que la mezcla convencional, con 5.43% de OA, se encuentra en la propiedad de adherencia que brinda el aditivo. Al modificar el ligante, la unión que existe con el agregado es mejor generando una disminución de vacíos, siendo necesario así una menor cantidad de asfalto para cumplir con los requisitos mínimos para una mezcla asfáltica densa, a pesar de que se utiliza los mismos áridos minerales con la misma capacidad de absorción, dejando en evidencia la efectividad del aditivo.

En comparación con la mezcla MP las mezclas asfálticas con caucho muestran un porcentaje óptimo de asfalto mayor, de 5.70% (mezcla M2-A) y 5.90% (mezcla M2-B), indicando que a mayor porcentaje de caucho se necesita mayor asfalto, esto se debe a la densidad y capacidad de absorción del GCR, que son menor en comparación con las propiedades de los agregados. Al reemplazar el caucho en peso por agregado fino se estaría produciendo un mayor volumen de la mezcla ocasionando que se necesite más cemento asfáltico para poder cubrirlo, confirmando la hipótesis antes planteada. Y si bien el caucho podría producir una “aparente” capacidad de absorción pobre como se había indicado, esto solo aplica para la presencia de agua en cambio en presencia de asfalto su comportamiento es diferente.

Como parte del proceso de modificación de la reología del ligante, las partículas del GCR al entrar en contacto con el asfalto a temperaturas elevadas, se hinchan y reblandecen debido a la absorción de aceites aromáticos provenientes de los componentes más ligeros del betún, es por este motivo que se necesita más asfalto para ocupar la demanda de absorción del caucho.

Otro efecto que genera la adición del caucho en la mezcla asfáltica es la variación del porcentaje de vacíos de aire, espacios o también llamados huecos en la mezcla (VA). A diferencia de la mezcla convencional que presenta un valor de 4.30% de vacíos de aire, la mezcla M2-A presenta un porcentaje mayor de 4.68%, y la mezcla M2-B un resultado cercano de 4.25%. Es decir que, al utilizar 1% de caucho en la mezcla los vacíos aumentarán a diferencia

de cuando se usa 1.5% de caucho, donde los vacíos de aire son parecidos a la mezcla patrón. Este comportamiento confirma la idea de que si no se utiliza un porcentaje de grano de caucho reciclado (GCR) adecuado la mezcla asfáltica podría ser más susceptible de presentar problemas prematuros de permeabilidad, como así lo evidencia Alvares y Carrera (2017), quienes explican que el GCR al ser un material más flexible que los agregados minerales proporciona un mayor volumen a la mezcla asfáltica originando una posible permeabilidad temprana.

De manera general se puede ver que las dos mezclas modificadas con caucho presentan valores de vacíos de aire similares o mayores a la mezcla convencional. Esto depende de la cantidad de GCR, que a medida que aumenta disminuyen los espacios, hasta alcanzar un valor cercano a la mezcla patrón, debido a la interacción que existe entre el asfalto y el caucho donde se va ocupando los huecos vacíos en la mezcla (Ramírez N. , 2006).

Cabe resaltar que todas las mezclas asfálticas cumplen con los límites de vacíos, siendo la mezcla M1 la que menor valor de VA presenta (4.00%), en base a solo este parámetro se podría indicar que es la mezcla menos permeable y podría presentar una mejor vida útil.

Adicional a esto último, se observa que la mezcla modificada con aditivo presenta un peso específico de 2.35, es decir es ligeramente más densa que la mezcla MP y más compacta que las mezclas M2-A y M2-B que presentan un peso específico de 2.3 aproximadamente. Demostrando así el gran efecto que genera la adición de aditivo en la mezcla asfáltica; y la disminución de la densidad de la mezcla ocasionada por el GCR, que al igual que los vacíos, los valores de peso específico disminuyen entre más cantidad de caucho se incorpore (Vega, 2016).

Con respecto al porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA), todas las mezclas asfálticas presentan resultados mayores al mínimo exigido. De entre las cuatro mezclas, la mezcla M1 muestra un VMA menor de 16.2%, y la mezcla M2-B el mayor valor de 17.2%.

Si bien las mezclas asfálticas MP, M1 y M2-A muestran que los VMA están relacionados directamente con los VA, esta relación no aplica para la mezcla M2-B que obtiene un mayor VMA a pesar de presentar un valor de vacíos de aire parecido a la mezcla convencional. Esto indica que en la mezcla M2-B se estaría ocupando demasiados espacios llenos de ligante al utilizar una gran cantidad de asfalto para una mayor proporción de caucho, dejando un menor porcentaje de vacíos de aire y generando una posible excedencia de asfalto. De cualquier modo, al parecer la cantidad de GCR, con menor densidad, es la principal causa del incremento de VMA en comparación con la mezcla patrón (Sánchez, 2021).

Evidentemente, con respecto a lo antes mencionado, en la Tabla 26 se muestra que la mezcla asfáltica M2-B obtiene un mayor porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA), incluso sobrepasando por poco al límite máximo permitido. En cuanto a las demás mezclas asfálticas, presentan porcentajes de VFA cercanos al 75% aproximadamente, cumpliendo de forma

ajustada con el rango establecido por el Manual de Carreteras - Especificaciones Técnicas Generales para Construcción del Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC, 2013), evitando así presentar problemas de exudación, condición donde el exceso de asfalto es exprimido hacia la superficie (Aranda, 2017).

A pesar de que en la comparación general de los parámetros de las mezclas asfálticas se vio que las mezcla MP y M1 obtuvieron mayores valores de VFA que las mezclas modificadas con GCR, se comprueba que, con un correspondiente contenido óptimo de asfalto este tipo de mezclas con caucho logran tener resultados similares que la mezcla convencional o la mezcla modificada con aditivo.

Por otra parte, se puede observar que todas las mezclas asfálticas cumplen con la estabilidad mínima requerida de 8.15 kN (MTC, 2013). En la Figura 37, se muestra de una forma más visible la comparación entre la estabilidad de las mezclas. Es notable la superioridad de la mezcla M1 y el acrecentamiento que se logra con 1% de aditivo Ricot Z, su estabilidad es mayor a la mezcla convencional por casi 2kN, y es mucho más rígida que las mezclas M2-A y M2-B. Evidenciando así que los aditivos favorecen el aumento del valor de estabilidad en las mezclas asfálticas (Rojas, Bonifaz, Curco, & León, 2014).

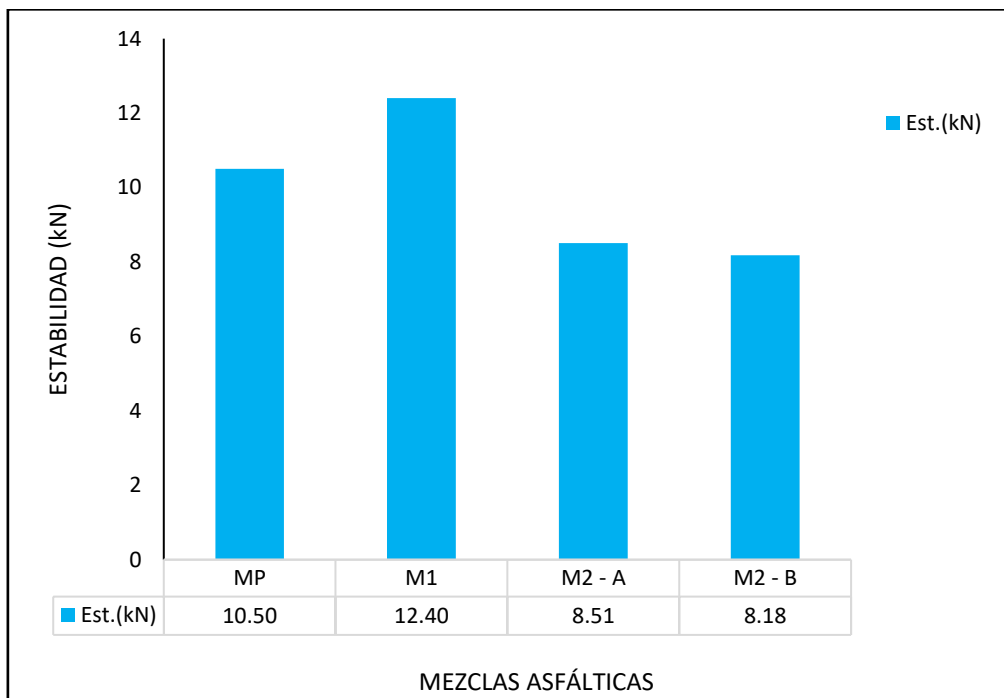


Figura 37. Resumen de estabilidad

Además, se puede ver que las mezclas modificadas con GCR son menos estables que la mezcla MP, y que este comportamiento se ve más afectado cuanto más caucho y asfalto se utilice (Vega, 2016). Entonces, aunque la mezcla M2-B presentó un VMA alto que indicaría que su película de asfalto será más durable y gruesa al tener aparentemente un mejor recubrimiento de las partículas del agregado, esto no garantizaría su resistencia a cargas de tráfico elevadas durante un periodo prolongado de tiempo; en cambio la mezcla M2-A si

tendría mayores posibilidades de presentar una mejor resistencia a pesar de obtener una estabilidad inferior que la mezcla convencional.

Los valores de flujo de las mezclas asfálticas, mostrado en la Figura 38, cumplen con el umbral establecido. La mezcla M1 al tener una gran estabilidad, posee un flujo menor a comparación de las demás mezclas, obedeciendo en gran parte con las expectativas presentadas en sus especificaciones técnicas. Por tal motivo los aditivos mejoradores de adherencia ayudan a disminuir el valor del flujo (Rojas, Bonifaz, Curco, & León, 2014).

Por su parte las mezclas M2-A y M2-B presentan un gran aumento de la fluidez, y al igual que el contenido de ligante, este valor tiende a crecer a medida que se incrementa el caucho. Esto se debe a la interacción que existe entre el caucho y el asfalto, al estar bajo una temperatura de 170°C, una parte las partículas de GCR se diluyen en el ligante mejorando la adherencia y la cohesión entre las partículas de los demás agregados, volviendo a la mezcla menos rígida, más flexible y deformable (Romero, 2018). De cierta forma la obtención de una mezcla asfáltica más fluida y que permita deformaciones elásticas, como las mezclas modificadas con caucho, es aceptable, pues evita la producción de un pavimento demasiado rígido, propenso a fallar por fatiga y por lo tanto menos durable.

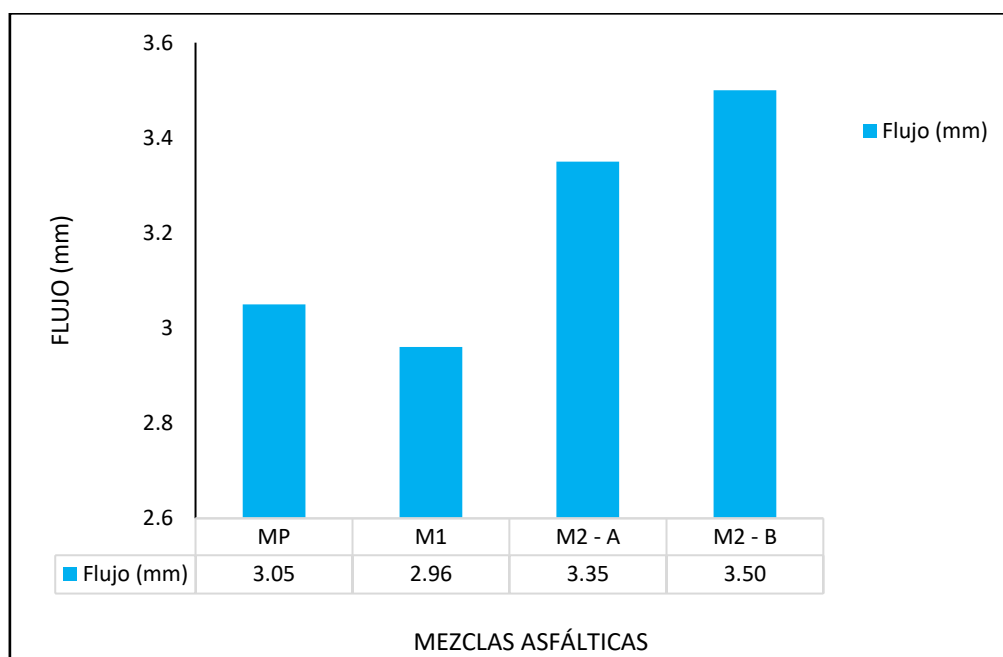


Figura 38. Resumen de flujo

Al analizar el comportamiento de las mezclas asfálticas modificadas con caucho, se deduce que a menor porcentaje de GCR y menor contenido de ligante, como la mezcla M2-A con 1% de caucho, se puede lograr un valor de estabilidad y flujo más cercano a la mezcla MP, o incluso mejores resultados, como así lo evidencia Ramírez (2006), quien explica que con 0.5% de caucho se obtiene una mayor estabilidad y un mejor flujo que la mezcla convencional. Aun así, se debe tener en cuenta que el porcentaje de vacíos no resulte demasiado afectado.

En este caso, a pesar de tener una mejor angularidad que la arena gruesa, el caucho no mejora la estabilidad como se estimaba, tal parece que, al tener una textura superficial poco áspera, perjudica la fricción interna entre las partículas de los agregados; sin embargo, si es posible que ayude a disminuir los problemas de ahuellamientos y flujo al proporcionar un cierto grado de flexibilidad a las mezclas asfálticas, pues el caucho es un material con partículas más elásticas y deformables que el árido mineral.

Por último, en la Tabla 26 se muestra que el índice de Rigidez o también conocido como Coeficiente Marshall (CM) de la mezcla convencional y de las mezclas modificadas con caucho, cumple con las especificaciones de la normativa peruana EG2013, donde se menciona que una mezcla asfáltica con un adecuado comportamiento debe tener un valor de CM entre 1700 kg/cm y 4000 kg/cm. Cabe mencionar que el índice de Rigidez es la relación entre la estabilidad y el flujo de una mezcla.

En cambio, la mezcla M1 presenta un índice de Rigidez de 4183 kg/cm, indicando que a pesar de tener una buena estabilidad presenta un flujo demasiado bajo impidiendo su buen comportamiento, lo cual ocasionaría problemas de agrietamiento temprano por cambios de temperatura y la acción de cargas repetidas durante su etapa de uso (Chávez F. , 2019). Además, se debe recordar que para la dosificación de esta mezcla asfáltica se utilizó el máximo porcentaje de aditivo permitido, por lo que esto sería la causa de la gran rigidez que se ha obtenido.

La mezcla MP presenta un valor de CM de 3449 kg/cm, cercano al límite máximo, por lo tanto, es más propensa a sufrir agrietamientos que las mezclas M2-A y M2-B. Esta última es la que mayor flexibilidad presenta, aún con un resultado bajo de 2338 kg/cm es poco probable que presente problemas de ahuellamiento pues contiene partículas elásticas en su dosificación, sin embargo, esta premisa puede ser tema de discusión para otras investigaciones, con el fin de averiguar hasta que grado de Índice de Rigidez la mezcla modificada con GCR proporciona una flexibilidad óptima.

La mezcla M2-A por su parte presenta un valor de CM de 2543 kg/cm, este resultado indicaría que la mezcla asfáltica no es tan flexible ni tan rígida. Aunque presente un porcentaje de vacíos y flujo alto en comparación con la mezcla convencional, se esperaría que puesta en obra logre un mejor comportamiento mecánico al obtener con facilidad deformaciones dentro del rango elástico.

De acuerdo con el análisis realizado a los parámetros Marshall se puede decir que la mezcla M1 obtuvo mejores resultados, la utilización del aditivo mejorador de adherencia incrementa notablemente las propiedades mecánicas de la mezcla asfáltica en caliente (MAC), sin embargo, queda demostrado que una adición máxima de este tipo de aditivo genera mezclas demasiado rígidas. Si bien la mezcla asfáltica M2-A no obtuvo resultados tan resaltantes como la mezcla con aditivo, si logró presentar un buen comportamiento mecánico.

Tal parece que las partículas de GCR en pequeñas cantidades benefician el buen desempeño de la MAC.

4.1.2 Resistencia a la humedad

En la Tabla 27 se muestra un resumen de los valores obtenidos del ensayo Lottman modificado realizado a las probetas de las mezclas asfálticas, donde se aprecia que el promedio de vacíos en condición seca y húmeda cumple con el límite de $7 \pm 0,5$ especificado en la norma AASHTO T283.

Tabla 27. Resumen de resultados del ensayo Lottman modificado

Ensayo	MP	M1	M2-A	M2-B	Norma Prin.	Límites
Vacíos prom. seco (%)	6.61	6.31	7.05	7.03		$7 \pm 0,5$
Vacíos prom. húmedo (%)	6.96	6.58	7.22	7.35		$7 \pm 0,5$
Saturación (%)	70.99	66.09	50.36	49.11	AASHTO T 283	70 - 80
Re. Seca (kg/cm ²)	4.47	5.30	4.46	3.32		-
Re. húmeda (kg/cm ²)	1.55	4.78	3.69	2.85		-
TSR (%)	34.68	90.19	82.74	85.84		80

También se puede observar que solo la mezcla MP presenta una saturación que se encuentra entre el rango esperado de 70 a 80%. Las mezclas M1 (con 1% de aditivo Ricot Z), M2-A y M2-B (con 1% y 1.5 % de GCR respectivamente) presentaron una saturación menor que la mezcla convencional debido a la presencia de sus agentes modificadores.

En el caso del aditivo mejorador de adherencia, al tener base de tipo amina, no solo mejora la adhesión del asfalto con los agregados sino también la impermeabilidad de la mezcla asfáltica, al modificar el ligante.

Por su parte las partículas de grano de caucho reciclado (GCR) al poseer características hidrofóbicas y una baja porosidad, estimulan el desarrollo de una mezcla asfáltica menos permeable. En comparación con la mezcla M1, la capacidad de repeler agua de las mezclas M2- A y M2-B es superior, a pesar de que las mezclas modificadas con caucho presentaron mayores valores de vacíos de aire que la mezcla M1 y la mezcla MP.

Sin embargo, al observar el promedio de la resistencia a tracción indirecta (ITS) de los especímenes asfálticos secos y acondicionados, mostrada en la Figura 39, se evidencia que con 1% de aditivo (mezcla M1) se logra un mejor ITS en condición seca que las mezclas modificadas con caucho; y gracias a este porcentaje de aditivo la resistencia a la tracción en seco aumenta casi un 20% con respecto a la mezcla MP.

Además, se puede ver que con 1% de caucho como reemplazo del agregado fino (mezcla M2-A), se obtiene una resistencia a la tracción seca cercana a la mezcla convencional,

pero que con 1.5% de caucho (mezcla M2-B) la resistencia disminuye casi un 30% con respecto a la mezcla de referencia. Relacionando así de forma inversa el ITS en condición seca con el porcentaje de GCR.

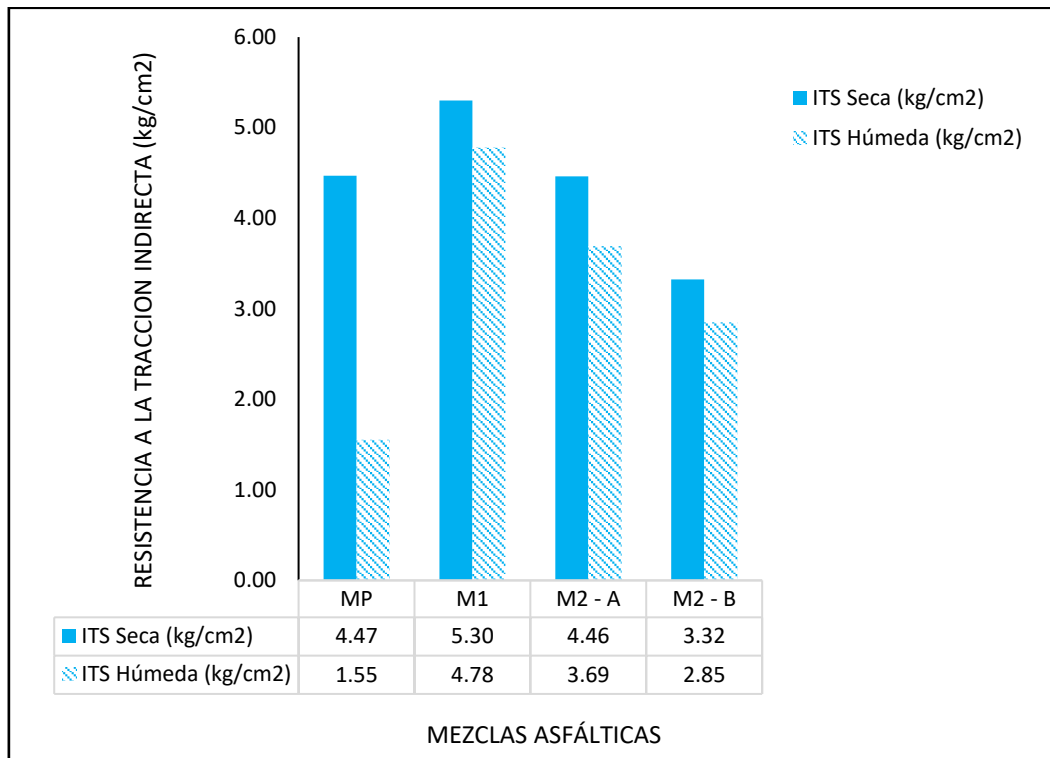


Figura 39. Resistencia a la tracción de muestras asfálticas secas (resistencia seca) y acondicionadas (resistencia húmeda)

En cambio, en condición húmeda se observa en la Figura 39 que la mezcla patrón es menos resistente que las mezclas modificadas, presentando un promedio de ITS húmedo de 1.55 kg/cm², valor que es menos de la tercera parte de la resistencia húmeda de la mezcla asfáltica M1 y casi menos de la mitad de la resistencia obtenida por la mezcla M2-A y mezcla M2-B. Cabe mencionar que todas las probetas asfálticas acondicionadas presentaron una pérdida en su resistencia debido al daño causado por el agua.

Al comparar solo la resistencia a la tracción en condiciones húmedas de las mezclas asfálticas modificadas con aditivo y caucho se aprecia que las gráficas muestran una tendencia de comportamiento parecido a condiciones secas, es decir, al observar el ITS húmedo, se ve que con 1% de aditivo (mezcla M1) se logra una mejor resistencia bajo acondicionamiento que las mezclas modificadas con caucho. Y con 1% de caucho como reemplazo del agregado fino (mezcla M2-A), se obtiene una resistencia a la tracción húmeda mayor que con 1.5% de caucho (mezcla M2-B). Demostrando que a menor porcentaje de GCR se obtiene mejor resistencia de la mezcla bajo condiciones húmedas.

Esta gran diferencia de ITS húmedo que existe entre las mezclas con agentes modificadores y la mezcla de referencia, dejaría en evidencia que tanto la utilización del

caucho como del aditivo mejorador de adherencia si beneficia la resistencia de una mezcla convencional en condiciones desfavorables de humedad.

Esta última afirmación queda representada en la Figura 40, en donde se grafica la ratio de resistencia a la tracción (TSR), conocido también como resistencia retenida o conservada, de las diferentes mezclas asfálticas, y en donde se ve que la mezcla patrón presenta un valor de TSR de 34.68% que es menor al límite de 80% establecido por la norma AASHTO T283. Siendo la mezcla con mayor susceptibilidad a perder resistencia frente al agua y ante la acción de la humedad.

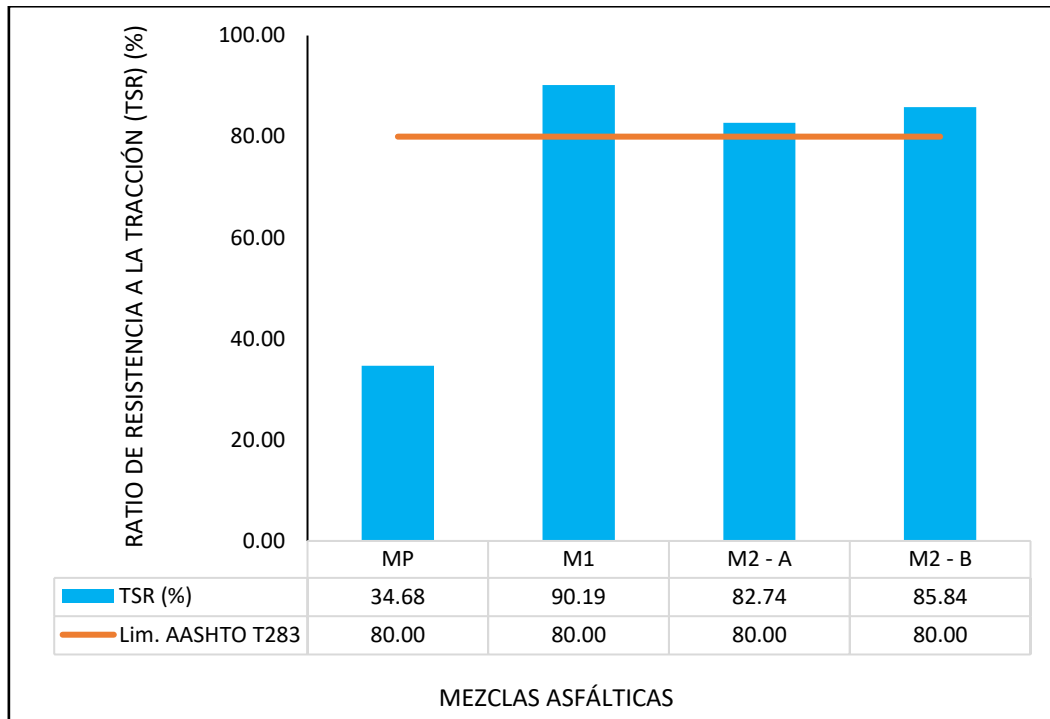


Figura 40. TSR de las distintas mezclas asfálticas

Este bajo rendimiento se debe al desprendimiento que sufre la mezcla asfáltica con respecto a la separación del ligante de las superficies de las partículas de los áridos al entrar en contacto con agua. Se debe recordar que, aun cuando los agregados naturales presentaron una tolerable pérdida de durabilidad por sulfatos, estos materiales poseen una composición mineralógica de sílice y potasio capaz de generar problemas de adherencia y posteriormente problemas de resistencia. Condición comprobada en el ensayo Riedel-Weber y en este ensayo.

Por otra parte, la mezcla M1 obtuvo un porcentaje mayor de TSR de 90.19%, valor que es ampliamente superior al límite requerido. Este resultado verificaría las hipótesis planteadas anteriormente en base a los beneficios que debía proporcionar el aditivo a las mezclas asfálticas con respecto al incremento de la resistencia al daño causado por la humedad.

Evidentemente en este caso se comprueba que el aditivo mejorador de adherencia Ricot Z si posibilita que las mezclas sean menos susceptibles a perder resistencia a causa de la humedad, de cambios bruscos de temperatura y de la intemperie. Se puede decir que, al

modificar el asfalto si aumenta la resistencia de los agregados ante la presencia de sulfatos y variaciones climatológicas.

Por lo mismo los aditivos mejoran los asfaltos tradicionales en resistencia y sensibilidad al agua, dando origen a mezclas asfálticas más estables (Aranda, 2017). Y propiciando una mejor respuesta estructural de la mezcla asfáltica en caliente frente a posibles precipitaciones pluviales al incrementar su impermeabilidad (Prado & Vigil, 2020).

En la Figura 40 también se puede observar que tanto la mezcla M2-A como la mezcla M2-B obtuvieron un valor de TSR mayor que la mezcla convencional por casi 50% de diferencia, superando el límite de resistencia conservada especificada por la norma.

En este sentido y tal como se indicó en los anteriores capítulos, se comprueba que la incorporación del grano de caucho reciclado en la mezcla asfáltica por vía seca genera una menor pérdida de la resistencia por efecto del agua y un menor daño por humedad. Este excelente comportamiento se debe a la interacción que existe entre el GCR y el asfalto durante el proceso de digestión. Para este caso, de lo determinado anteriormente, se muestra que la mezcla con caucho al estar a una temperatura de 170°C durante dos horas logra modificar la reología del asfalto a tal grado de alcanzar una mejor capacidad de adherencia que la vista en el ensayo Riedel-Weber, la cual se obtuvo en menos tiempo. Lográndose mediante este proceso térmico un importante mejoramiento en la resistencia a la humedad de las mezclas modificadas con caucho (Ramírez N. , 2006).

Es decir, en estas condiciones de temperatura y tiempo de digestión las partículas de GCR que han reaccionado son más pegajosas y desarrollan una mejor capacidad adhesiva volviendo la mezcla más flexible. Esto también se puede entender que, al utilizar un solo tamaño de grano de caucho de 2.36 mm aproximadamente (tamiz #08), una parte de estas partículas tiendan a comportarse como un agregado elástico el cual ayuda a que la mezcla sea más flexible y recupere con facilidad su estado normal (Sánchez, 2021). Adicionalmente, gracias a la buena resistencia a la intemperie y a la propiedad hidrofóbica que el caucho posee, se logra obtener mezclas menos permeables mejorando considerablemente la resistencia al daño inducido por humedad.

Si bien las dos mezclas asfálticas modificadas con caucho superan el límite requerido, es la mezcla M2-B la que obtiene un mejor TSR con valor de 85.84%, ante un porcentaje de 82.74% de la mezcla M2-A, al parecer mientras mayor cantidad de caucho exista en la mezcla menos vulnerable será a la acción del agua.

De acuerdo con el análisis realizado a los resultados obtenidos del ensayo Lottman modificado de las mezclas asfálticas se puede decir que la mezcla M1 fue la que obtuvo una menor vulnerabilidad al daño causado por humedad. Sin embargo, no se debe descartar las mezclas M2-A y M2-B, que obtuvieron una buena resistencia retenida a diferencia de la mezcla MP. Si se tomara en cuenta el comportamiento mecánico de las mezclas asfálticas en base a

sus parámetros Marshall, la mezcla M2-A sería otra buena opción aparte de la mezcla con aditivo, además porque presenta un ITS tanto en condición seca como en condición humedad mayor que la mezcla M2-B. Terminando de indicar que el GCR en pequeñas cantidades mejora las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

De todas maneras, los resultados indican que la adición de un porcentaje alto de aditivo en la modificación del ligante le otorga a la mezcla asfáltica en caliente mejores propiedades mecánicas y una mejor resistencia a la humedad. Además, la utilización de mezclas modificadas con caucho puede resultar más beneficioso que la utilización de una mezcla convencional.

4.2 Aspecto económico

Además de la evaluación del desempeño de las propiedades mecánicas de cada una de las mezclas asfálticas, se ha creído pertinente evaluarlas de manera económica.

El aspecto económico influye en la determinación de la relación costo – beneficio en la elaboración y posterior desempeño durante la vida útil de cada una de las mezclas. A continuación, se detalla el análisis de precios unitarios para la elaboración de una carpeta asfáltica de 2”.

4.2.1 Mezcla asfáltica base

En la Tabla 28 se observa el análisis de precios unitarios de la Mezcla asfáltica Patrón (MP), la cual tiene un porcentaje de cemento asfáltico de 5.43 %.

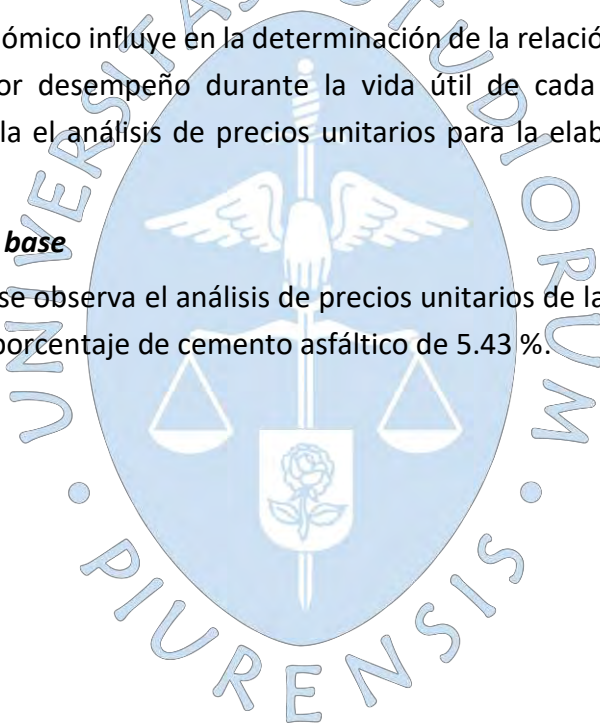


Tabla 28. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica patrón

Rendimiento: 1000 m2/día					Costo
					por m2:
					158.70
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
Mano de Obra					
Operario	hh	2.0000	0.01600	74.30	1.19
Oficial	hh	2.0000	0.01600	58.45	0.94
Peón	hh	8.0000	0.06400	52.50	3.36
					5.49
Materiales					
Asfalto PEN 60/70	gal		1.91284	72.00	137.72
Arena gruesa	m3		0.02557	50.00	1.28
Piedra chancada	m3		0.02247	70.00	1.57
					140.57
Equipos					
Herramientas manuales	%MO		3.00000	5.49	0.16
Camión volquete 15 m3	hm	4.0000	0.03200	180.00	5.76
Planta de asfalto	hm	1.0000	0.00800	234.00	1.87
Rodillo tándem vibratorio	hm	1.0000	0.00800	180.00	1.44
Rodillo neumático	hm	1.0000	0.00800	180.00	1.44
Cargador frontal	hm	1.0000	0.00800	210.00	1.68
Compactador vibratorio	hm	2.0000	0.01600	18.00	0.29
					12.64

4.2.2 Mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia

Se detalla en la Tabla 29 el análisis de precios unitarios de la Mezcla asfáltica modificada con aditivo mejorador de adherencia (M1), la cual tiene un porcentaje de cemento asfáltico de 5.25 %.

Tabla 29. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica con aditivo mejorador de adherencia

Rendimiento: 1000 m²/día					Costo por m²:	174.84
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Operario	hh	2.0000	0.01600	74.30	1.19	
Oficial	hh	2.0000	0.01600	58.45	0.94	
Peón	hh	8.0000	0.06400	52.50	3.36	
					5.49	
Materiales						
Asfalto PEN 60/70	gal		1.84943	72.00	133.16	
Aditivo mejorador de adherencia – Ricot Z	gal		0.19701	105.00	20.69	
Arena gruesa	m ³		0.02561	50.00	1.28	
Piedra chancada	m ³		0.02252	70.00	1.58	
					156.51	
Equipos						
Herramientas manuales	%MO		3.00000	5.49	0.16	
Camión volquete 15 m ³	hm	4.0000	0.03200	180.00	5.76	
Planta de asfalto	hm	1.0000	0.00800	234.00	1.87	
Rodillo tándem vibratorio	hm	1.0000	0.00800	180.00	1.44	
Rodillo neumático	hm	1.0000	0.00800	180.00	1.44	
Cargador frontal	hm	1.0000	0.00800	210.00	1.68	
Compactador vibratorio	hm	2.0000	0.01600	18.00	0.29	
					12.64	

4.2.3 Mezcla asfáltica con caucho mediante proceso seco (M2-A)

En la Tabla 30 se puede apreciar el análisis de precios unitarios de la Mezcla asfáltica modificada con caucho mediante el proceso seco (M2-A), la cual tiene un porcentaje de cemento asfáltico de 5.70 % y un contenido de grano de caucho reciclado (GCR) en peso del 1%.

Tabla 30. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica con GCR mediante el proceso seco (M2-A)

Rendimiento: 750 m²/día					Costo	
					por m²:	171.86
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial	S/.
Mano de Obra						
Operario	hh	2.0000	0.02133	74.30		1.58
Oficial	hh	2.0000	0.02133	58.45		1.25
Peón	hh	8.0000	0.08533	52.50		4.48
						7.31
Materiales						
Asfalto PEN 60/70	gal		1.99735	72.00		143.81
Grano de caucho reciclado	kg		0.64465	1.67		1.08
Arena gruesa	m ³		0.02488	50.00		1.24
Piedra chancada	m ³		0.02229	70.00		1.56
						147.69
Equipos						
Herramientas manuales	%MO		3.00000	7.31		0.22
Camión volquete 15 m ³	hm	4.0000	0.04267	180.00		7.68
Planta de asfalto	hm	1.0000	0.01067	234.00		2.50
Rodillo tándem vibratorio	hm	1.0000	0.01067	180.00		1.92
Rodillo neumático	hm	1.0000	0.01067	180.00		1.92
Cargador frontal	hm	1.0000	0.01067	210.00		2.24
Compactador vibratorio	hm	2.0000	0.02133	18.00		0.38
						16.86

4.2.4 Mezcla asfáltica mediante proceso seco (M2-B)

Se detalla en la Tabla 31 el análisis de precios unitarios de la Mezcla asfáltica modificada con caucho mediante el proceso seco (M2-B), la cual tiene un porcentaje de cemento asfáltico de 5.90 % y un contenido de GCR en peso del 1.5 %.

Tabla 31. Análisis de precios unitarios de la mezcla asfáltica con GCR mediante el proceso seco (M2-B)

Rendimiento: 750 m²/día					Costo por m²:	177.00
Descripción Recurso	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.	
Mano de Obra						
Operario	hh	2.0000	0.02133	74.30	1.58	
Oficial	hh	2.0000	0.02133	58.45	1.25	
Peón	hh	8.0000	0.08533	52.50	4.48	
					7.31	
Materiales						
Asfalto PEN 60/70	gal		2.06195	72.00	148.46	
Grano de caucho reciclado	kg		0.95250	1.67	1.59	
Arena gruesa	m ³		0.02452	50.00	1.23	
Piedra chancada	m ³		0.02218	70.00	1.55	
					152.83	
Equipos						
Herramientas manuales	%MO		3.00000	7.31	0.22	
Camión volquete 15 m ³	hm	4.0000	0.04267	180.00	7.68	
Planta de asfalto	hm	1.0000	0.01067	234.00	2.50	
Rodillo tándem vibratorio	hm	1.0000	0.01067	180.00	1.92	
Rodillo neumático	hm	1.0000	0.01067	180.00	1.92	
Cargador frontal	hm	1.0000	0.01067	210.00	2.24	
Compactador vibratorio	hm	2.0000	0.02133	18.00	0.38	
					16.86	

En la Figura 41 se muestra de forma resumida la comparación de los precios en la elaboración y construcción de cada una de las mezclas propuestas. La mezcla asfáltica

modificada con un porcentaje de caucho del 1.5% (M2-B) resulta ser la más costosa con respecto a las demás, de hecho, es un 11.53% más costosa que la mezcla patrón.

De todas las mezclas asfálticas modificadas, la Mezcla M2-A es la más viable si es que en términos económicos se refiere, sin embargo, cuesta S/. 13.16 más por metro cuadrado que la mezcla MP, es decir el precio de fabricación de una mezcla asfáltica con un contenido de 1% de GCR en su dosificación aumenta un 8.29% más que la realización de una mezcla convencional.

Se debe tener en cuenta que las mezclas asfálticas modificadas con caucho necesitan de un tiempo adicional en la preparación para conseguir una óptima digestión del caucho. La incorporación del caucho por vía seca no requiere de la utilización de maquinaria o de equipos especiales, no obstante, se necesita de procedimientos específicos de producción que garanticen una temperatura y un tiempo de digestión controlados, lo que significa que la producción será más lenta afectando directamente al rendimiento diario y por ende al costo.

En primera instancia la producción de las mezclas asfálticas modificadas significa mayores costos, sin embargo, el aporte que genera en las propiedades mecánicas como la durabilidad, resistencia al desgaste y al daño por humedad no solo genera beneficios inmediatos en la carpeta asfáltica, sino que otorgarán una mayor vida de servicio y menor costo de mantenimiento debido a que las fallas sobre la carpeta asfáltica disminuirán considerablemente (Quispe, 2006).

El hecho de que la mezcla sea la más o la menos costosa no determina que esta es mejor o peor respectivamente, también se tiene que analizar las propiedades mecánicas de cada mezcla asfáltica y así poder determinar cuál es la más beneficiosa.

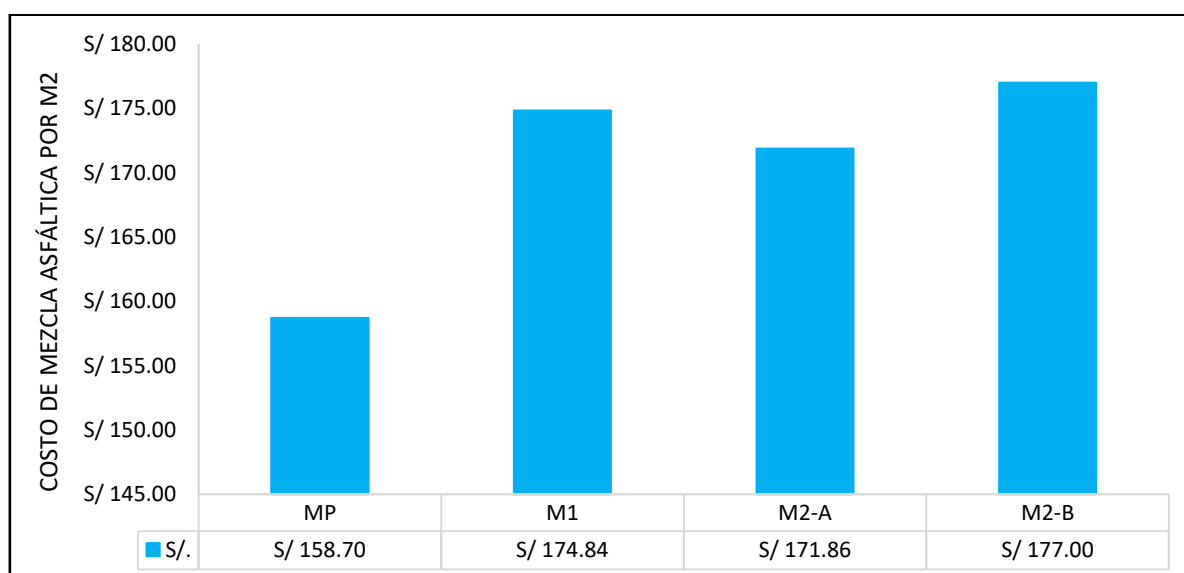


Figura 41. Comparación económica de las mezclas asfálticas

Conclusiones

El aditivo mejorador de adherencia Ricot Z aumenta el índice de adhesividad de la mezcla arena gruesa - asfalto convencional. Gracias a la composición química del aditivo que permite modificar el ligante, reduciendo la diferencia de energía de enlace entre el asfalto y el árido, logrando humedecer por completo el agregado y convirtiendo la unión en una más resistente.

La adición de 1% de aditivo Ricot Z disminuye el contenido óptimo de asfalto en una mezcla asfáltica en caliente, debido a la propiedad adhesiva que brinda el aditivo y que ocasiona una gran disminución de vacíos de aire. Asimismo, el aditivo también disminuye el flujo y aumenta la estabilidad y el peso específico, produciendo una mezcla asfáltica más densa y de cierto modo propensa a sufrir problemas de agrietamiento al presentar un índice de rigidez demasiado elevado.

El aditivo Ricot Z tiene como principal efecto disminuir la permeabilidad en una mezcla asfáltica en caliente, logrando obtener un valor de resistencia retenida (TSR) mayor que el límite requerido, otorgando a la mezcla una mayor resistencia frente a la presencia del agua y ante la acción de la humedad.

El grano de caucho reciclado (GCR) puede ser utilizado como reemplazo del agregado fino en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente porque cumple con la mayoría de las propiedades del agregado natural para mezclas asfálticas densas.

El GCR como agregado fino permite obtener un mejor índice de adhesividad que la arena gruesa, al estar con contacto con el asfalto a temperaturas elevadas modifica la reología del ligante y vuelve pegajosas las partículas del caucho. Por lo mismo cumple con el límite especificado por la norma MTC E220.

La densidad del caucho influye en el comportamiento mecánico de la mezcla asfáltica, porque disminuye el peso específico y la estabilidad de la mezcla convencional, a la vez aumenta los vacíos de aire, el contenido óptimo de asfalto y el flujo, convirtiendo a la mezcla en una más flexible.

La mezcla M2-A (con 1% de GCR como reemplazo del agregado fino) cumple de manera adecuada con todos los requisitos establecidos por la norma MTC E504 y MTC E505, en comparación con la mezcla M2-B.

A menor cantidad de grano de caucho reciclado que se reemplace en la mezcla asfáltica mejores resultados del ensayo Marshall y ensayo Lottman modificado se obtendrán.

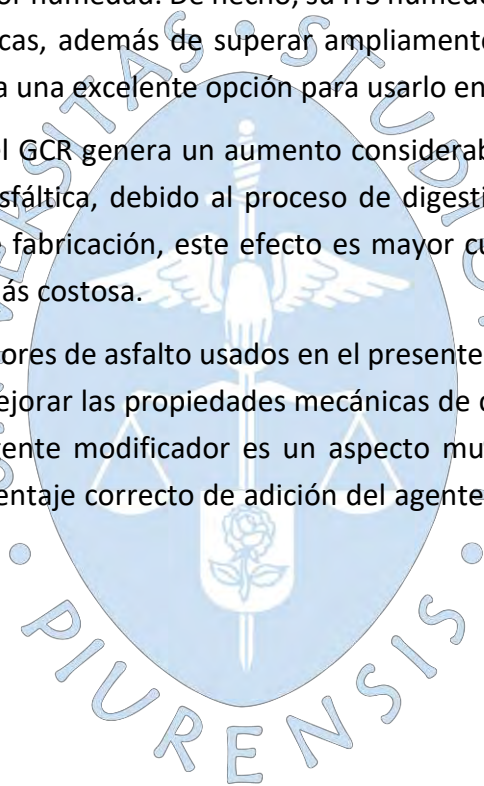
El grano de caucho reciclado como reemplazo de un porcentaje del agregado fino disminuye la susceptibilidad de las mezclas asfálticas en caliente a perder resistencia frente al daño por humedad.

La mezcla asfáltica modificada M2-A es aquella con la mejor relación costo – beneficio, ya que ofrece propiedades que cumplen con un buen y aceptable desempeño mecánico y además es la mezcla más económica y con el menor incremento en el costo respecto a la mezcla MP.

Si bien es cierto, la mezcla M1 es una de la más costosas, también es aquella con la mejor resistencia al daño por humedad. De hecho, su ITS húmedo es mejor que el resto de las mezclas en condiciones secas, además de superar ampliamente el valor mínimo requerido para el TSR. Por lo que sería una excelente opción para usarlo en climas cálidos y húmedos.

La incorporación del GCR genera un aumento considerable en el costo unitario de la producción de la mezcla asfáltica, debido al proceso de digestión que ocasiona un retraso considerable de tiempo de fabricación, este efecto es mayor cuanto más caucho se utilice, siendo la mezcla M2-B la más costosa.

Todos los modificadores de asfalto usados en el presente trabajo de investigación han probado ser efectivos al mejorar las propiedades mecánicas de cada mezcla. Sin embargo, la proporción añadida del agente modificador es un aspecto muy importante para tener en cuenta ya que, con el porcentaje correcto de adición del agente, la mejora en la mezcla será óptima.



Recomendaciones

Con la intención de investigar a más detalle los beneficios que brindan los aditivos mejoradores de adherencia se recomienda realizar diseños de mezclas asfálticas con diferentes dosificaciones menores que el utilizado en este proyecto, y comparar, mediante ensayos como Marshall y Lottman modificado que porcentaje permite un mejor comportamiento que las mezclas asfálticas modificadas con caucho y las mezclas asfálticas convencionales.

Con respecto al ámbito económico se debe evitar el uso de máximos porcentajes de aditivo, ya que una excedencia ocasionaría mayores costos. Además, porque se obtendría una mezcla asfáltica demasiado densa y propensa a fallar por rigidez.

Para zonas que suelen sufrir de precipitaciones extraordinarias como la ciudad de Piura, se recomienda la utilización de agentes modificadores de asfaltos en la fabricación de mezclas asfálticas, con el fin de evitar problemas de durabilidad de la carpeta asfáltica.

La presente tesis solo ha analizado dos porcentajes de GCR como reemplazo del agregado natural, evaluando la tendencia de los resultados se recomienda investigar el uso de mezclas asfálticas con menos porcentajes de los presentados, promoviendo así la investigación y el uso de CGR, ya que no solamente da solución a los problemas que las mezclas tradicionales presentan en la región Piura, sino que además incentiva la reutilización de esta materia prima para contrarrestar la problemática ambiental.



Referencias bibliográficas

- AASHTO (1993). *Resistance of Compacted Asphalt Mixtures to Moisture-Induced Damage*. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C.
- Ayala, Y. (2015). *Influencia de un aditivo mejorador de adherencia en el desempeño mecánico de asfaltos modificados en México* (Tesis para optar el título de maestro en ingeniería de vías terrestres). Universidad Autónoma de Querétaro, Querétaro, México.
- Alvarez, L. & Carrera, E. (2017). *Influencia de la incorporación de partículas de caucho reciclado como agregados en el diseño de mezcla asfáltica* (Tesis para obtener el título de ingeniero civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Botasso, H., Rebollo, O., Soengas, C., Balige, M., Bisio, A., & Berardo, A. (2011). *Metodología para la evaluación en la incorporación de promotores de adherencia en cementos asfálticos*. Presentado en XVI Congreso Iberoamericano del Asfalto (CILA). Rio de Janeiro, Brasil.
- Bisso, R. (2010). Llantas usadas en la construcción de carreteras. *Constructivo*, 81, p.118.
- Bustillo, R., Quintero, V. (2016). *Trabajo final de procesos industriales II, caucho sintético*. Universidad de Santander, Santander, Colombia.
- Castro, G. (2008). *Materiales y Compuestos para la Industria del Neumático*. Buenos Aires: Departamento de Ingeniería Mecánica FIUBA.
- Cahuana, P. & Limas, H. (2018). *Análisis comparativo del comportamiento mecánico de una mezcla asfáltica modificada con Betutec ic + aditivo Warmix respecto a la mezcla asfáltica convencional* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de San Martín de Porres, Lima, Perú.
- Chávez, F., Marcobal, J. & Gallego, J. (2019). Laboratory evaluation of the mechanical properties of asphalt mixtures with rubber incorporated by the wet, dry, and semi-wet process. *Construction and Building Materials*, 164-174
- Chávez, F. B. (2019). *Valoración de residuo de concha de abanico para uso como agregado en mezclas asfálticas en caliente* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Chávez, L. (2016). *Evaluación geoeconómica del área costera de la región Piura orientada al estudio de agregados para concreto* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de Piura, Piura, Perú.

- Coca, C. (2015). ¿Con qué materiales se fabrican las suelas de zapatos?. Alicante, España: *Corporación Industrial del Calzado (CICASA)*. Recuperado de: <http://cicasa.es>
- Continental Company (2015). Cemento Asfáltico Pen 60/70. Lima, Perú: *Continental Company*. Recuperado de: <http://www.asfaltorc250.com.pe/>
- Criollo, A. (2014). *Caracterización de caucho reciclado proveniente de scrap y de neumáticos fuera de uso para su potencial aplicación como materia prima* (Tesis para optar el título de ingeniero mecánico). Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- De la Peña, P. (2006). Detrás del juego de pelota. *Boletín informativo de la Coordinación de la Investigación Científica*, pp. 10-11.
- Domínguez, C., & Gómez, A. (1990). *La economía extractiva en la Amazonia colombiana, 1850-1930*. Bogotá, Colombia: Corporación Colombiana para la Amazonia Araracuara.
- Garnica, P., Delgado, H., Gómez, J., Romero, S. & Alarcón, H. (2004). *Aspectos del Diseño Volumétrico de Mezclas Asfálticas*. Ciudad de México.
- Gruas, J. (2009). *Efecto de la utilización de mezclas bituminosas con polvo de neumático sobre las características funcionales del pavimento* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona, España.
- Gutiérrez, A. (2008). *Como saber si nuestra mezcla asfáltica será resistente a la acción del agua*. Comisión Permanente del Asfalto XXXV Reunión del asfalto. Rosario, Argentina.
- López, J. M. (2017). ¿Por qué el caucho es tan importante en un campo de fútbol de césped artificial?. Madrid, España: *Sistema Integrado de Gestión de Neumáticos Usados*. Recuperado de: <https://blog.signus.es>
- López Montero, R., & Miró, T. (2017). *El daño por humedad en las mezclas asfálticas*. 28020 Madrid: Plataforma Tecnológica Española de la Carretera.
- Manual de Carreteras. (EG 2013). *Especificaciones Técnicas Generales para Construcción*. Perú: MTC.
- Manual de Ensayos de Materiales para Carreteras. (2016). Perú: MTC.
- Marcozzi, R. (2005). Algunos conceptos reológicos sobre mezclas asfálticas compactadas a diferentes temperaturas. Memorias del XIIIº Congreso Iberoamericano del Asfalto (CILA). San José de Costa Rica. Costa Rica.
- Marcozzi, R. & Morea, F. (2011). *Mezclas asfálticas semicalientes elaboradas con aditivos tensoactivos. Estudios comparativos del comportamiento mecánico respecto a las mezclas en caliente convencionales*. *Ciencia y Tecnología*, 1(1), pp.13-27.
- Mas, R. (2016). *Propuesta de un Sistema de logística inversa de llantas inservibles para reducir el impacto ambiental y gasto por consumo de combustible en el servicio de gestión ambiental de Trujillo* (Tesis para optar el título de ingeniero industrial). Universidad Privada del Norte, Trujillo, Perú.
- Menéndez, J. A. (2012). *El carbón en la vida cotidiana: De la pintura rupestre al ascensor espacial*. Filadelfia, Estados Unidos: CreateSpace Independent Publishing Platform.
- Miranda, F., Vargas, A. & Aguiar, J. (2017). Resistencia al daño por humedad en mezclas asfálticas. *Boletín Técnico PITRA-LanammeUCR*, 8 (6), pp.1-8.

- Morea, F., Marcozzi, R. & Castaño, G. (2012). Rheological properties of asphalt binders with chemical tensoactive additives used in Warm Mix Asphalts (WMAs). *Construction and Building Materials*, 29,135-141.
- Pereda, D. & Cubas, N. (2015). *Investigación de los asfaltos modificados con el uso de caucho reciclado de llantas y su comparación técnico-económico con los asfaltos convencionales* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Prado, L. & Vigil, G. (2020). *Análisis del diseño de mezcla asfáltica en caliente modificada con aditivo RICOT Z 3000 para zonas de altura* (Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad Cesar Vallejo, Lima, Perú.
- Quispe, S. E. (2006). *Comportamiento mecánico de mezclas asfálticas modificadas con caucho: Caucho asfalto* (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Ramírez, N. I. (2006). *Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso seco* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de Chile, Santiago de Chile, Chile.
- Rebollo, O., Botasso, H., Soengas, C. & Cuattrocchio, A. (2008). Nueva Metodología para la valoración de la adherencia árido-ligante. 1° Congreso Argentino de áridos. Buenos Aires, Argentina.
- Rojas, F., Bonifaz, H., Curco, C. & León, B. (2014). *Influencia de aditivos mejoradores de adherencia en la resistencia de hormigones asfálticos diseñados con agregados provenientes de las canteras de Pintag y Guayllabamba* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de las Fuerza Armadas ESPE, Sangolquí, Ecuador.
- Romero, L. (2018). *Estudio de la influencia de la adición de neumático reciclado en mezclas asfálticas en caliente, en la ciudad de Juliaca*. (Tesis de pregrado para optar el título profesional de ingeniero civil). Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez, Juliaca, Perú.
- Sánchez, H. (2021). *Mejoras mecánicas de la mezcla asfáltica con la incorporación de caucho como parte del agregado fino para la ciudad de Piura* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Santamaria, S. (2020). *Durabilidad de las mezclas asfálticas en cliente con valva de concha de abanico* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad de Piura, Piura, Perú.
- Santiago, S. (2017). *Reutilización de Neumáticos Fuera de Uso* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad de La Laguna, Santa Cruz de Tenerife, España.
- Tacca, C. & Supo, W. (2018). Efecto de mejoradores de adherencia en la estabilidad y flujo Marshall de mezclas asfálticas. *Revista Científica Investigación Andina*,18(2), pp.51-61.
- Top Cable (2019). Cables de Goma – Cables extraflexibles y resistentes. Lima. Perú: Top Cable. Recuperado de: <https://www.topcable.com>
- Ullán, F. J. (2004): La era del caucho en el Amazonas (1870-1920): modelos de explotación y relaciones sociales de producción. *Anales del Museo de América*, 12, pp. 183–204.

- Vargas, A., Leiva, F., Aguiar, J. & Loria, L. (2015). Evaluación del daño por humedad en mezclas asfálticas mediante el ensayo de módulo dinámico. *Programa Infraestructura del Transporte (PITRA), LanammeUCR*, p.4.
- Vega, D. S. (2016). *Análisis del comportamiento a compresión de asfalto conformado por caucho reciclado de llantas como material constitutivo del pavimento asfáltico* (Tesis para optar el título de ingeniero civil). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.
- Wade, D. (1996). *One River. Explorations and discoveries in the Amazon rain*. Michigan, Estados Unidos: Simon & Schuster.
- Xiao, F. & Amirkhanian, S. (2010). Effects of liquid antistrip additives on rheology and moisture susceptibility of water bearing warm mixtures. *Construction and Building Materials*, 24,1649-1655.
- Yung, Y., Cordoba J. & Rondón, H. (2016). Evaluación del desgaste por abrasión de una mezcla drenante modificada con residuo de llanta triturada (GCR). *Tecnura*,20, pp.106-118.



Apéndices



Apéndice A. Archivo fotográfico

A.1 Grano de caucho reciclado (GCR) del tamiz #08



A.2 Densidad Rice de la mezcla asfáltica patrón con 6% de contenido óptimo de asfalto



A.3 Modificación del asfalto PEN 60/70 con aditivo mejorador de adherencia Ricot Z



A.4 Colocación de asfalto modificado con aditivo



A.5 Mezcla asfáltica modificada con 1% de caucho (mezcla M2-A)



A.6 Colocación de las mezclas asfálticas modificadas con caucho en horno (proceso de digestión)



A.7 Mezcla asfáltica modificada con caucho retirada del horno



A.8 Muestras de las diferentes mezclas asfálticas del ensayo Marshall



A.9 Espécimen de mezcla asfáltica patrón para ensayo Lottman modificado



A.10 Especímenes de mezcla asfáltica modificada con 1.5% de caucho (mezcla M2-B) para ensayo Lottman modificado



A.11 Muestra en condición seca en máquina de prueba



A.12 Ruptura ITS del espécimen en condición seca de la mezcla asfáltica M1






Anexos




Anexo A. Caracterización del agregado grueso – piedra chancada

A.1 Análisis granulométrico



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



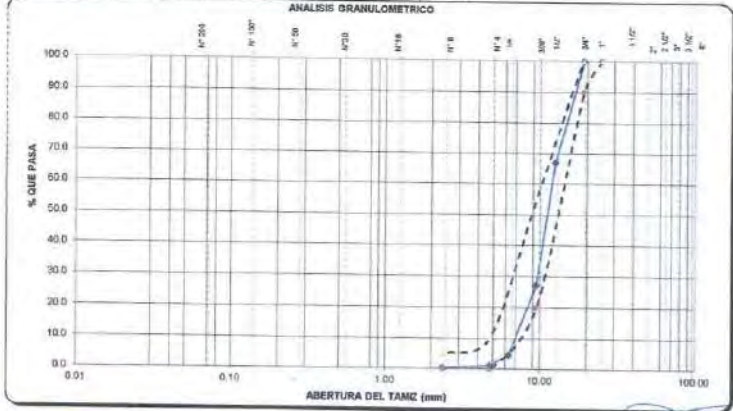
INGENIERÍA CIVIL Y GEOTÉCNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS


PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME: AGOSTO DEL 2021

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DEL AGREGADO GRUESO
(NTP 400.012)


CANTERA	SOJO
MUESTRA	M - 1
MATERIAL	PIEDRA CHANCADA

TAMICES ASTM	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE TÍPICO RETENIDO (%)	PORCENTAJE AGUILLADO		ESPECIFICACIONES		DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA
				RETENIDO (%)	QUE PASA (%)	MÍNIMO (%)	MÁXIMO (%)	
4"	100							PESO INICIAL (g) 6.020.00
3 1/2"	90							CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 0.10
3"	75							TAMAÑO MÁXIMO (") 3/4"
2 1/2"	63							TAMAÑO MÁXIMO NOMINAL (") 1/2
2"	50							BOLEOS (Mayor 2") (%) 0.0
1 1/2"	37.5							GRAVA (Pasa 3", retiene N°4) (%) 99.8
1"	25.0					100	100	ARENA (Pasa N°4, retiene N°200) (%) 0.8
3/4"	19.0	0.0	0.0	0.0	100.0	50	100	PASANTE N° 200 (%) 0.4
1/2"	12.5	1976.0	32.8	32.8	67.2			OBSERVACIONES:
3/8"	9.5	2400.0	39.9	72.7	27.3			
1/4"	6.3	1365.0	22.7	95.4	4.6			
N° 4	4.75	209.0	3.5	98.9	1.2			
N° 8	2.36	42.1	0.7	99.5	0.5			
N° 16	1.18							
N° 30	0.600							
N° 50	0.300							
N° 100	0.150							
N° 200	0.075	4.2	0.1	99.6	0.4			
BANDEJA		23.7	0.4	100.0	0.0			






Cel. 945515326 – RUC: 20607462756



DWIGHT SMITH DONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE SUELOS Y MECÁNICA DE SUELOS Y ASFALTO


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

A.2 Peso específico y absorción



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME :AGOSTO DEL 2021

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZANDO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO


CANTERA	:SOJO		
MATERIAL	:PIEDRA CHANCADA 1/2"		

AGREGADO GRUESO (NTP 400.021)

DETERMINACION N°					1	2	
A	Peso de la muestra seca en el horno (gr)				595.00	595.00	
B	Peso de la muestra saturada superficialmente seca al aire (gr)				600.00	600.00	
C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca sumergido (gr)				381.04	382.03	PROMEDIO
Peso	Peso específico de masa seca	A/(B-C)	gr/cm ³		2.72	2.73	2.72
PesSS	Peso específico de masa saturada superficialmente seca	B/(B-C)	gr/cm ³		2.74	2.75	2.75
PesA	Peso específico aparente	A/(A-C)	gr/cm ³		2.78	2.78	2.78
Ab:	absorción de agua	((B-A)*100)/A	%		0.8	0.8	0.84

Observacion:

- 1.- La muestra ha sido proporcionada por el solicitante.
- 2.- Material zarandeado en el Laboratorio
- 3.- Los datos de identificación de la muestra y del proyecto han sido proporcionados por el solicitante, siendo responsabilidad de este la veracidad de los mismos.



DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES L&D

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

A.3 Partículas chatas y alargadas



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE
MATERIALES**

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA		
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME :AGOSTO DEL 2021	

PARTICULAS CHATAS Y ALARGADAS EN LOS AGREGADOS
(ASTM 4701)

CANTERA	SOJO
MUESTRA	M-1
MATERIAL	PIEDRA CHANCADA

TAMAÑO DEL AGREGADO		% Retenido gradacion original	Peso Particulas de Muestra (gr)	Particulas Chatas		Particulas Alargadas		Particulas Chatas y Alargadas	
Pasa tamiz	Refino tamiz			Peso (gr)	(%) Correg.	Peso (gr)	(%) Correg.	Peso (gr)	(%) Correg.
2 1/2"	2"	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
2"	1 1/2"	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1 1/2"	1"	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
1"	3/4"	30.94	1008.0	290.0	8.6	308.0	9.5	130.0	4.0
3/4"	1/2"	48.89	1596.0	720.0	22.1	200.0	6.1	90.0	2.8
1/2"	3/8"	16.94	552.0	300.0	9.2	170.0	5.2	106.0	3.3
TOTAL		96.87	3258.0		39.9		20.8		10.0
% Particulas Chatas y Alargadas (Relacion Espesor/ Longitud 1: 3)									10.0

Observacion: Material zarandeado en el laboratorio.
Material proporcionada por el solicitante





DWIGHT SMITH GONZAGA LADAN
ING. CIVIL-LEPE
Reg. CIP N° 250638
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

A.4 Caras fracturadas



**LABORATORIO DE ENSAYOS DE
MATERIALES**

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITANTE	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME: AGOSTO 2021

**PORCENTAJE DE CARAS FRACTURADAS EN LOS AGREGADOS
(MTC E 210)**

CANTERA	:5010
MUESTRA	:M - 1
MATERIAL	:PIEDRA CHANCADA

A.- UNA CARA A MAS CARAS DE FRACTURA

Tamaño del agregado		% Retenido gradación original (A)	Pesos (gr)		Porcentaje de caras fracturadas (%) (D) = C/B * 100	Promedio de caras fracturadas (%) (A * D)
Pasa tamiz	Retiene en tamiz		Muestra total (B)	Mat. con una a mas caras de fractura (C)		
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	1/2"	63.4	2500.0	1890.0	75.6	47.9
1/2"	3/8"	45.1	1780.0	1520.0	85.4	38.5
TOTAL		108.5	4280.0			66.5
% con una cara a mas de fractura						86.5

B.- DOS A MAS CARAS DE FRACTURA

Tamaño del agregado		% Retenido gradación original (A)	Pesos (gr)		Porcentaje de caras fracturadas (%) (D) = C/B * 100	Promedio de caras fracturadas (%) (A * D)
Pasa tamiz	Retiene en tamiz		Muestra total (B)	Mat. con dos a mas caras de fractura (C)		
1 1/2"	1"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1"	3/4"	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
3/4"	1/2"	63.4	2500.0	1290.0	51.6	32.7
1/2"	3/8"	45.1	1780.0	850.0	47.8	21.6
TOTAL		108.5	4280.0			54.3
% con dos cara a mas de fractura						54.3

OBSERVACIONES: El material fue proporcionado por el solicitante y zarandeado en el Laboratorio






DWIGHT SMITH RONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Rene C.I.P. Nº 250638
LEONOR CARRERA VASQUEZ DE ESTAYRUD

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

A.5 Abrasión de Los Ángeles



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERÍA CIVIL Y GEOTÉCNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS




PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME : AGOSTO DEL 2021


ABRASIÓN DE LOS ANGELES AL DESGASTE DE LOS AGREGADOS
(NORMA MTC E - 207)

CANTERA	: SOJO
MUESTRA	: M -1
MATERIAL	: PIEDRA GRANCADA

DÁTOS DEL ENSAYO			
GRADACIÓN " B "			
TAMAÑO DEL TAMIZ		PESO REQUERIDO	PESO DE LA MUESTRA
PASA	RETIENE	(gr)	(gr)
38.1 mm (1 1/2")	25.4 mm (1")		
25.4 mm (1")	19.1 mm (3/4")		
19.1 mm (3/4")	12.7 mm (1/2")	2500 ± 10	2623.00
12.7 mm (1/2")	9.52 mm (3/8")	2500 ± 10	2501.00
PESO ANTES DEL ENSAYO (gr)			5124.00
PESO DESPUES DEL ENSAYO (gr)			4189.00
PÉRDIDA DESPUES DEL ENSAYO (gr)			935.00
RESULTADO AL DESGASTE POR ABRASIÓN DEL AGREGADO A 500 REVOLUCIONES (%)			18.2

OBSERVACIONES : Muestra proporcionada por el solicitante






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250038
LABORATORIO GEOTECNICO Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

A.6 Durabilidad al sulfato de magnesio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME : AGOSTO DEL 2021


ANALISIS QUIMICOS DE LOS AGREGADOS

CANTERA	:SOJO
MUESTRA	:M-1
AGREGADO	:PIEDRA CHANCADA

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	
NORMA DE ENSAYO	MTC E 209/NTP 400.016
RESULTADOS %	12.6%

LIMITE PERMISIBLE ACEPTABLE: 18% MAX

Observacion:
 Ensayo efectuado al material en estado natural.
 La muestra fue proporcionada por el solicitante.






DWIGNEY SANCHEZ LAGAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. G.P.N° 250038
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

Anexo B. Caracterización del agregado fino – arena gruesa

B.1 Análisis granulométrico



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



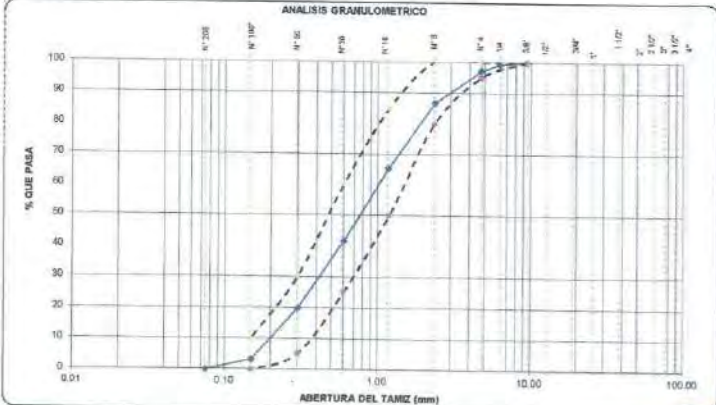
INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME : AGOSTO DEL 2021

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO
(WTP 408.012)

CANTERA	CERRO MOCHO
MUESTRA	M - 1
MATERIAL	ARENA GRUESA


TAMICES ASTM	AREA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE PARCIAL RETENIDO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO		ESPECIFICACIONES		DESCRIPCION DE LA MUESTRA
				RETENIDO (%)	QUE PASA (%)	MINIMO (%)	MAXIMO (%)	
4"	100							PESO INICIAL (g) 250.00
3 1/2"	90							CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 0.2
3"	75							TAMANO MAXIMO (") -
2 1/2"	63							GRAVA (Pasa 3", retiene N°4) (%) 2.9
2"	50							ARENA (Pasa N°4, retiene N°200) (%) 89.2
1 1/2"	37.5							PASANTE N° 200 (%) 7.8
1"	25.0							LIMITE LIQUIDO 0
3/4"	19.0							LIMITE PLASTICO 0
1/2"	12.5							INDICE DE PLASTICIDAD 0
3/8"	9.5	0.00	0.0	0.0	100.0	100	100	MODULO DE FINEZA 2.70
1/4"	6.3	1.45	0.6	0.6	99.4			OBSERVACIONES:
N° 4	4.75	5.99	2.4	2.4	97.1			
N° 8	2.36	25.87	10.3	13.3	86.7			
N° 16	1.18	53.23	21.3	34.6	65.4			
N° 30	0.600	59.99	24.0	58.6	41.4			
N° 50	0.300	40.00	16.0	74.6	25.4			
N° 100	0.150	26.00	11.0	86.2	13.8			
N° 200	0.075	16.00	6.0	92.2	7.8			
BANDEJA		19.57	7.8	100.0	0.0			



ANALISIS GRANULOMETRICO

Observacion: material proporcionado por el solicitante


Cel. 945515326 – RUC: 20607462756



DWIGHT SMITH GONZAGA LABRA
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 230638
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

B.2 Peso específico y absorción



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME :AGOSTO DEL 2021

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZANDO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO

CANTERA	: CERRO MOCHO		
MATERIAL	: ARENA GRUESA		

AGREGADO FINO (NTP 400.022)

DETERMINACION N°		1	2	
A	Peso del frasco mas agua aforado (gr)	666.91	666.90	
B	Peso de la muestra seca la horno (gr)	248.37	248.30	
C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	250.00	250.00	
D	Peso del frasco mas agua mas muestra aforado (gr)	820.83	820.90	PROMEDIO
P _{em} : Peso específico de masa seca		B/(C-(D-A))	gr/cm ³	2.59
P _{eSSS} : Peso específico de masa saturada superficialmente seca		C/(C-(D-A))	gr/cm ³	2.60
P _{es} : Peso específico aparente		B/(B-(D-A))	gr/cm ³	2.63
A _b : absorción de agua		((C-B)*100)/B	%	0.7

Observacion:

- 1.- La muestra ha sido proporcionada por el solicitante.
- 2.- Material suministrado en el Laboratorio
- 3.- Los datos de identificación de la muestra y del proyecto han sido proporcionados por el solicitante, siendo responsabilidad de este la veracidad de los mismos.



DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 2506038
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES L&D

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

B.3 Durabilidad al sulfato de magnesio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME : AGOSTO DEL 2021

ANALISIS QUIMICOS DE LOS AGREGADOS

CANTERA	CERRO MOCHO
MUESTRA	:M-1
AGREGADO	: CAUCHO

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	
NORMA DE ENSAYO	MTC E 209/NTP 400.016
RESULTADOS %	11.9%

LIMITE PERMISIBLE ACEPTABLE: 18% MAX

Observacion:
 Ensayo efectuado al material en estado natural.
 La muestra fue proporcionada por el solicitante.






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. CIP. N° 250638
 LABORATORIO DE GEOTECNICA Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

B.4 Angularidad del agregado fino



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES




INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

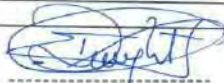
	<p>METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO ASTM C-1252-03</p>	RUC : 20607462756
PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	
MATERIAL	ARENA GRUESA	
CANTERA	CERRO MOCHO	

TAMAÑO INDIVIDUAL DE LA FRACCIÓN	Masa (gr)
22,36 mm (N°8) a 1,18 mm (N°.16)	44.0
1,18 mm (N°.16) a 600 um (N°.30)	57.0
600 um (N°.30) a 300 um (N°.50)	72.0
300 um (N°.50) a 150 um (N°.100)	17.0
TOTAL MASA FRACCIONES	190.0

		1	2	3
Masa del Cilindro Vacio (Pv)		100.10	100.00	100.10
Masa del Cilindro lleno con Agua (Pa)		550.10	550.00	549.90
Masa del Cilindro lleno con agregado (Pm)		360.10	360.00	360.00
Masa neta del Agregado (F)	(Pm - Pv)	260.00	260.00	259.90
Temperatura del Agua (T)	(Entre 15.6°C y 29.4°C)	27°C	27°C	27°C
Masa Neta del Agua (M)	(Pa - Pv)	450.00	450.00	449.80
Densidad del Agua (D)	E - 217	1000	1000	1000
Volumen del Cilindro ml (V)	(V=(100*M)/D)	45.0	45.0	45.0
Densidad Bulk del Agregado (G)		2.720	2.720	2.720
Porcentaje de Vacios sin Compactar %U	%U = (V - ((F/G)/V))*100	42.9	42.9	42.9
* Ver tabla en la norma de ensayos INV e-217		% min IDU - 2011 Tabla 510.2		
PROMEDIO PORCENTAJE DE VACIOS SIN COMPACTAR:		42.9		

Observaciones: material proporcionado por el solicitante






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE ENSAYOS Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

B.5 Equivalente de arena



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS


PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITANTE	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME : AGOSTO DEL 2021


MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE (MTC E 114-2013)

CANTERA	: CERRO MOCHO
MUESTRA	: M .1
MATERIAL	: ARENA GRUESA

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	3
Hora de entrada a saturación	10.25	10.27	10.29
Hora de salida de saturación (mas 10')	10.35	10.37	11.39
Hora de entrada a decantación	10.37	10.39	11.41
Hora de salida de decantación (mas 20')	10.57	10.59	11.01
Altura máxima de material fino (mm.)	5.40	5.40	5.40
Altura máxima de la arena (mm.)	3.00	3.00	3.10
Equivalente de Arena (%)	56	56	58
Promedio (%)	57		

Observacion: Material fue proporcionado por el proveedor






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. C.I.P. N° 250638
LABORATORIO GEOTECNICO Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)


Anexo C. Caracterización del grano de caucho reciclado (GCR) como agregado fino

C.1 Análisis granulométrico



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERÍA CIVIL Y GEOTÉCNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDARES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

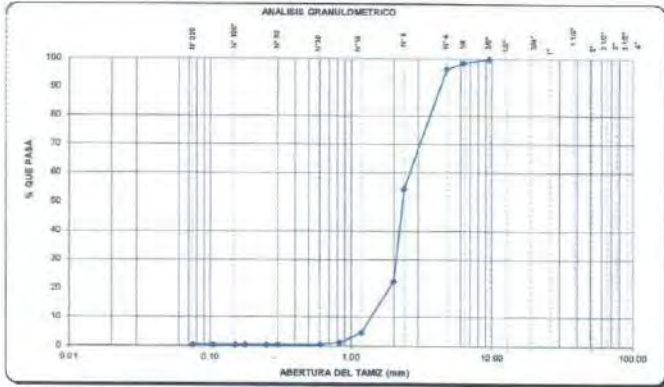


PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME: 06/03/2021

ANALISIS GRANULOMETRICO DEL AGREGADO FINO
(NTP 400.012)


MATERIAL	CAUCHO GRANULAR
MUESTRA	M-1


TAMBEZAJA	ABERTURA (mm)	PESO RETENIDO (g)	PORCENTAJE PASADO (%)	PORCENTAJE ACUMULADO	ESPECIFICACIONES	DESCRIPCION DE LA MUESTRA	
			RETENIDO (%)	QUE PASA (%)	MINIMO (%)		MAXIMO (%)
4"	100						PESO INICIAL (g) 250.00
3 1/2"	90						CONTENIDO DE HUMEDAD (%) 0.2
3"	75						TAMAÑO MAXIMO (mm) -
2 1/2"	63						GRAVA (Pasa 3", retiene N°4) (%) 3.6
2"	50						ARENA (Pasa N°4, retiene N°20) (%) 95.6
1 1/2"	37.5						PASANTE N° 200 (%) 0.5
1"	25.0						LIMITE LIQUIDO 0
3/4"	19.0						LIMITE PLASTICO 0
1/2"	12.5						INDICE DE PLASTICIDAD 0
3/8"	9.5	0.00	0.0	0.0	100.0	100	MODULO DE FINEZA 4.45
1/4"	6.3	3.65	1.5	1.5	96.5	100	OBSERVACIONES:
N° 4	4.75	5.32	2.1	3.9	95.4	90	
N° 8	2.36	104.86	41.9	45.5	54.5	80	
N° 10	2.00	78.77	31.8	77.4	22.6	100	
N° 15	1.18	44.73	17.9	65.3	4.7	50.0	85.0
N° 20	0.85	8.26	3.8	98.0	1.4	25.0	60.0
N° 30	0.600	1.54	0.6	99.2	0.8	5.0	30.0
N° 50	0.300	0.50	0.2	99.4	0.6	0.0	10.0
N° 60	0.250	0.08	0.0	99.5	0.5		
N° 80	0.177	0.03	0.0	99.5	0.5		
N° 100	0.150	0.00	0.0	99.5	0.5		
N° 140	0.105	0.00	0.0	99.5	0.5		
N° 200	0.075	0.00	0.0	99.5	0.5		
BANDEA		1.30	0.5	100.0	0.0		



Observación: material proporcionado por el solicitante

Cel. 945515326 - RUC: 20607482756






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. C.I.P. N° 250638
LABORATORIO ESPECIALIZADO EN MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

C.2 Peso específico y absorción



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME :AGOSTO DEL 2021

MÉTODO DE ENSAYO NORMALIZANDO PARA PESO ESPECÍFICO Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO


MATERIAL	:CAUCHO
MUESTRA	:M-1

AGREGADO FINO (NTP 400.022)

DETERMINACION N°		1	2	
A	Peso del frasco mas agua aforado (gr)	716.00	710.00	
B	Peso de la muestra seca la horno (gr)	248.27	248.30	
C	Peso de la muestra saturada superficialmente seca (gr)	249.30	249.20	
D	Peso del frasco mas agua mas muestra aforado (gr)	815.00	820.90	PROMEDIO
Pem	Peso especifico de masa seca	$B/(C-D-A)$	gr/cm ³	1.65 1.60 1.72
PeSSS	Peso especifico de masa saturada superficialmente seca	$C/(C-D-A)$	gr/cm ³	1.66 1.60 1.73
Pea	Peso especifico aparente	$B/(B-D-A)$	gr/cm ³	1.66 1.61 1.74
Ab	absorción de agua	$((C-B)*100)/B$	%	0.4 0.4 0.4

Observacion:

- 1.- La muestra ha sido proporcionada por el solicitante.
- 2.- Material zarandeado en el Laboratorio
- 3.- Los datos de identificación de la muestra y del proyecto han sido proporcionados por el solicitante, siendo responsabilidad de éste la veracidad de los mismos.



DWIGHT SMITH GONZAGA LARA
ING. CIVIL 2008
Reg. 250638

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

C.3 Durabilidad al sulfato de magnesio



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME : AGOSTO DEL 2021


ANALISIS QUIMICOS DE LOS AGREGADOS

CANTERA	CERRO MOCHO
MUESTRA	:M-1
AGREGADO	: CAUCHO

DURABILIDAD AL SULFATO DE MAGNESIO	
NORMA DE ENSAYO	MTC E 209/NTP 400.016
RESULTADOS %	11.9%

LIMITE PERMISIBLE ACEPTABLE: 18% MAX

Observacion:
 Ensayo efectuado al material en estado natural.
 La muestra fue proporcionada por el solicitante.






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. CIP. N° 250638
 LABORATORIO DE GEOTECNICA Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTOS


Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

C.4 Angularidad del agregado fino



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES




INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDARES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

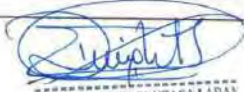
	<p>METODO DE ENSAYO PARA DETERMINAR LA ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO ASTM C-1252-03</p>	<p>RUC: : 20607462756</p>
PROYECTO	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	
MATERIAL	CAUCHO GRANULAR	
MUESTRA	M-1	

TAMAÑO INDIVIDUAL DE LA FRACCIÓN	Masa (gr)
22,36 mm (N°8) a 1,18 mm (N°16)	0.0
1,18 mm (N°16) a 600 um (N°30)	172.0
600 um (N°30) a 300 um (N°50)	18.0
300 um (N°50) a 150 um (N°100)	0.0
TOTAL MASA FRACCIONES	190.0

		1	2	3
Masa del Cilindro Vacío (Pv)		100.02	100.00	100.10
Masa del Cilindro lleno con Agua (Pa)		550.10	550.00	549.90
Masa del Cilindro lleno con agregado (Pm)		150.00	150.00	150.00
Masa neta del Agregado (F)	(Pm - Pv)	49.98	50.00	49.90
Temperatura del Agua (T)	(Entre 15.6°C y 29.4°C)	27°C	27°C	27°C
Masa Neta del Agua (M)	(Pa - Pv)	450.08	450.00	449.80
Densidad del Agua (D)	E - 217	1000	1000	1000
Volumen del Cilindro ml (V)	(V=(100*M)/D)	45.0	45.0	45.0
Densidad Bulk del Agregado (G)		1.600	1.600	1.600
Porcentaje de Vacíos sin Compactar %U	%U = (V - ((F/G)/V)*100)	44.3	44.3	44.3
* Ver tabla en la norma de ensayos INV e-217		% min IDU - 2011 Tabla 510.2		
PROMEDIO PORCENTAJE DE VACIOS SIN COMPACTAR:		44.3		

Observaciones: material proporcionado por el solicitante






DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE INGENIERIA Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

C.5 Equivalente de arena



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, RENDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS




PROYECTO	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PROPIEDADES MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITANTE	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA DE INFORME :AGOSTO DEL 2021

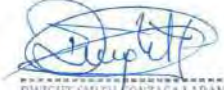
MÉTODO DE ENSAYO ESTÁNDAR PARA EL VALOR EQUIVALENTE DE ARENA DE SUELOS Y AGREGADO FINO
(NTP 339.146)

MATERIAL	:CAUCHO GRANULAR
MUESTRA	: M -1

DESCRIPCION	IDENTIFICACION		
	1	2	3
Hora de entrada a saturación	10.15	10.16	10.17
Hora de salida de saturación (mas 10')	10.25	10.26	10.27
Hora de entrada a decantación	10.26	10.27	10.28
Hora de salida de decantación (mas 20')	10.44	10.47	10.48
Altura máxima de material fino (mm.)	8.90	8.70	9.10
Altura máxima de la arena (mm.)	3.70	3.60	3.70
Equivalente de Arena (%)	42	42	41
Promedio (%)	42		

Observacion: material proporcionado por el solicitante





DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIR. N° 200038
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES L&D E.I.R.L.

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

Anexo D. Ensayo de adhesividad Riedel y Weber de los agregados finos

D.1 Mezcla de arena gruesa con asfalto convencional



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVTMENTOS

METODO DE ENSAYO DE ADHESIVIDAD RIEDEL WEBER
(NORMA MTC E220 - 1999)

PROYECTO	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITA	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	
MATERIAL	Arena Gruesa + Asfalto	
MUESTRA	M-1	

TIPO DE ASFALTO		
CONCENTRACION (gr./lt Na2CO3)	INDICE DE ADHESIVIDAD	OBSERVACION
Agua Destilada	0	
M/256 = 5.017	1	Desprendimiento Parcial
M/128 = 7.174	2	Desprendimiento Parcial
M/64 = 9.152	3	Desprendimiento Parcial
M/32 = 18.174	4	Desprendimiento Total
M/16 = 30.219	5	Desprendimiento Total
M/8 = 61.174	6	Desprendimiento Total
M/4 = 80.085	7	Desprendimiento Total
M/2 = 102.700	8	Desprendimiento Total
M/1 = 117.175	9	Desprendimiento Total

Observaciones:

Tipo de cemento: cemento asfáltico
 Desprendimiento parcial : 3
 Desprendimiento total : 6

Observaciones: material proporcionado por el solicitante




DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE INGENIERIA Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756




Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

D.2 Mezcla de arena gruesa con asfalto modificado con aditivo Ricot Z



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

METODO DE ENSAYO DE ADHESIVIDAD RIEDEL WEBER
(NORMA MTC E220 - 1999)

PROYECTO COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

SOLICITA LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS

MATERIAL ARENA GRUESA+ASFALTO MODIFICADO CON ADITIVO RICOT Z

MUESTRA M-1

TIPO DE ASFALTO		
CONCENTRACION (gr./lt Na ₂ CO ₃)	INDICE DE ADHESIVIDAD	OBSERVACION
Agua Destilada	0	
M/256 = 0.414	1	No hay desprendimiento
M/128 = 0.828	2	No hay desprendimiento
M/64 = 1.656	3	No hay desprendimiento
M/32 = 3.312	4	Desprendimiento Parcial
M/16 = 6.625	5	Desprendimiento Parcial
M/8 = 13.25	6	Desprendimiento Parcial
M/4 = 26.5	7	Desprendimiento Parcial
M/2 = 53.0	8	Desprendimiento Parcial
M/1 = 106.0	9	Desprendimiento Total

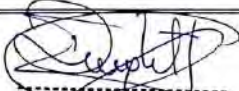
Observaciones:

Tipo de cemento: cemento asfáltico


Desprendimiento parcial : 5

Desprendimiento total : 1

Observaciones: material proporcionado por el solicitante



DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SUELOS Y ASFALTOS



Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

D.3 Mezcla de grano de caucho reciclado con asfalto convencional



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



METODO DE ENSAYO DE ADHESIVIDAD RIEDEL WEBER
(NORMA MTC E220 - 1999)

PROYECTO COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

SOLICITA LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS

MATERIAL CAUCHO GRANULAR

MUESTRA M-1

TIPO DE ASFALTO		
CONCENTRACION (gr./lt Na ₂ CO ₃)	INDICE DE ADHESIVIDAD	OBSERVACION
Agua Destilada	0	
M/256 = 0.62	1	No hay desprendimiento
M/128 = 3.01	2	Desprendimiento Parcial
M/64 = 3.61	3	Desprendimiento Parcial
M/32 = 4.310	4	Desprendimiento Parcial
M/16 = 7.15	5	Desprendimiento Parcial
M/8 = 15.7	6	Desprendimiento Parcial
M/4 = 27.0	7	Desprendimiento Parcial
M/2 = 95.55	8	Desprendimiento Total
M/1 = 100.0	9	Desprendimiento Total

Observaciones:

Tipo de cemento : cemento asfáltico

Desprendimiento parcial : 6

Desprendimiento total : 2

Observaciones: material proporcionado por el solicitante



INGENIERO EN CIVIL JUNTA NACIONAL DE INGENIEROS
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250638
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS




Cel. 945515326 – RUC: 20607462756


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

Anexo E. Ensayo Marshall

E.1 Mezcla MP



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



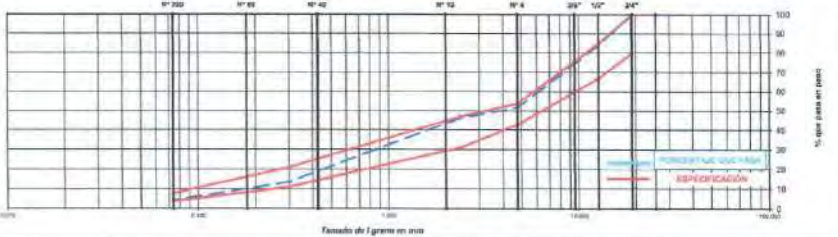
INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE HELOS Y FUNDAMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

OBRA	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO: D. I. O.
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA: 10/09/2020
MATERIAL	Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	NOMENCLATURA: MEZCLA PATRON
CANTERAS	Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo), Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho), Óptimo de Asfalto 5.43%	

ENSAYO GRANULOMÉTRICO												LAVADO ASFÁLTICO		
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 15	Nº 30	Nº 60	Nº 100	Nº 200	< 97.05%	Para Mar. Gruesa	gr	
ABERTURA EN (mm)	19.00	12.50	9.50	4.75	2.00	0.85	0.425	0.25	0.15	0.075	0.075	Para Mar. Leve	gr	
PESO RETENIDO	1460.0	1817.0	2244.0	3451.0	4781.0	5780.0	6200.0	6330.0	6350.0	6350.0	6350.0	Para Mar. Lav./Fino	gr	
RETENIDO PARCIAL	%	15.0	19.1	23.1	27.7	31.8	35.4	38.6	41.4	43.8	45.8	Para de Ahorro	gr	
RETENIDO ACUMULADO	%	85.0	80.9	76.9	72.3	68.2	64.6	61.4	58.6	56.2	54.2	Para Inicial de Filtro	gr	
PASA	%	15.0	19.1	23.1	27.7	31.8	35.4	38.6	41.4	43.8	45.8	Para Final de Filtro	gr	
ESPECIFICACION	%	100.0	84.2	65.0	50.0	35.0	20.0	10.0	5.0	2.0	1.0	Para de Fier	%	
ASfalto Líquido	%	100	99 - 100	44 - 74	28 - 38			5-21		3-10		FRACCIÓN	%	
TRAMO ASFALTADO	Mezcla Líquida:											PESO TOTAL	gr	4945.0

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Escala de Eje Y: 0 a 100 (Porcentaje de Retención)
Escala de Eje X: 0.075 a 19.0 (Tamaño de Tamiz en mm)

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	4.0	4.0	4.0	4.0
2. ACREGADO ORUGO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	48.07	48.07	48.07	48.07
3. ACREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	48.93	48.93	48.93	48.93
4. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
5. PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE	g/cc	1.10	1.22	1.23	
6. PESO ESPECIFICO DEL ACREGADO GRUESO - BULK	g/cc	2.7	2.7	2.7	
7. PESO ESPECIFICO DEL ACREGADO FINO - BULK	g/cc	2.8	2.8	2.8	
8. PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE	g/cc				
9. PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	gr	1219.0	1219.0	1219.0	
10. PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1221.4	1220.0	1220.0	
11. PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	gr	981.0	981.0	981.0	
12. VOLUMEN DE LA BRQUETA (M-11)	c.c.	329.2	331.3	331.8	
13. PESO DE LA PARAFINA (M-3)	gr				
14. VOLUMEN DE PARAFINA (137% asfalto)	c.c.				
15. VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPLAZAMIENTO (M-14)	c.c.	329.2	331.3	331.8	
16. PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRQUETA (M-15)	g/cc	3.395	3.394	3.394	3.397
17. PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041	g/cc	2.487	2.497	2.487	
18. VACIOS (M-19)P17	%	7.8	8.1	8.1	8.0
19. PESO ESPECIFICO BULK DEL ACREGADO TOTAL (2+3+4)(2P1+3P1+4P1)	g/cc	2.650	2.650	2.650	
20. V.M.A. 100(2+3+4)(16/19)	%	16.8	17.1	17.1	17.0
21. VACIOS LLENOS CON C.A. 100(20-19)/20	%	53.8	52.8	52.4	52.8
22. PESO ESPECIFICO DEL ACREGADO TOTAL (2+3+4)(100/17)(1-19)	g/cc	2.650	2.650	2.650	
23. C.A. ABSORBIDO POR ACREGADO TOTAL (100(50-19)/20)(19)	%	0.07	0.07	0.07	
24. CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(3P1)(2+3+4)/100	%	3.86	3.86	3.86	
25. FILLO	mm	0.0	0.0	0.0	0.0
26. ESTABILIDAD 99% CORREGIR	kg	370	370	370	370
27. FRACION DE ESTABILIDAD	%	0.00	0.00	0.00	0.00
28. ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	374	374	374	374
29. ESTABILIDAD LÍQUIDA	kg/mm	3617	3654	3637	3636



OBSERVACIONES:

Grava < 3/4" (Cantera Sojo - Sullivan) 48.0%

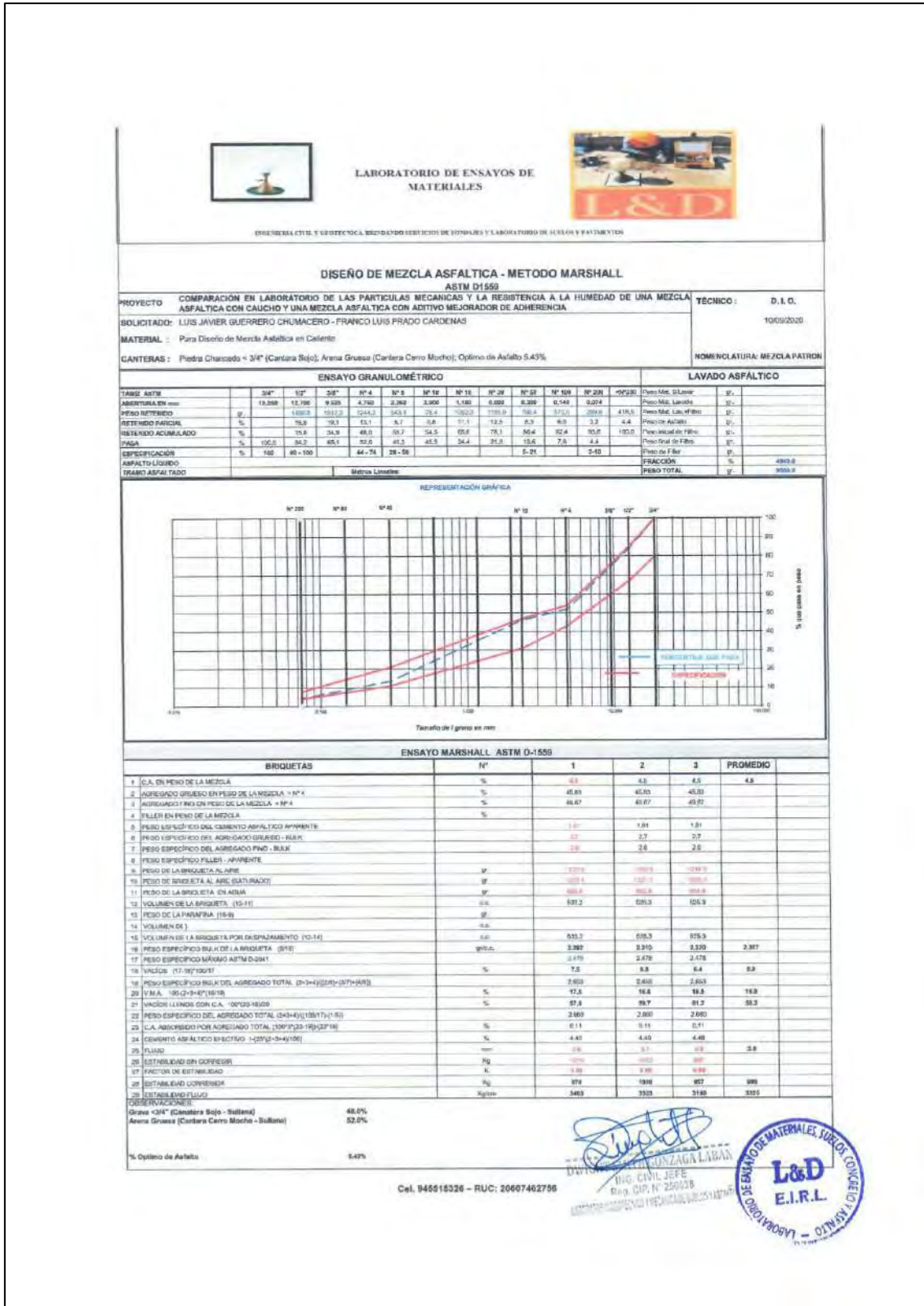
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullivan) 52.0%

% Óptimo de Asfalto 5.43%

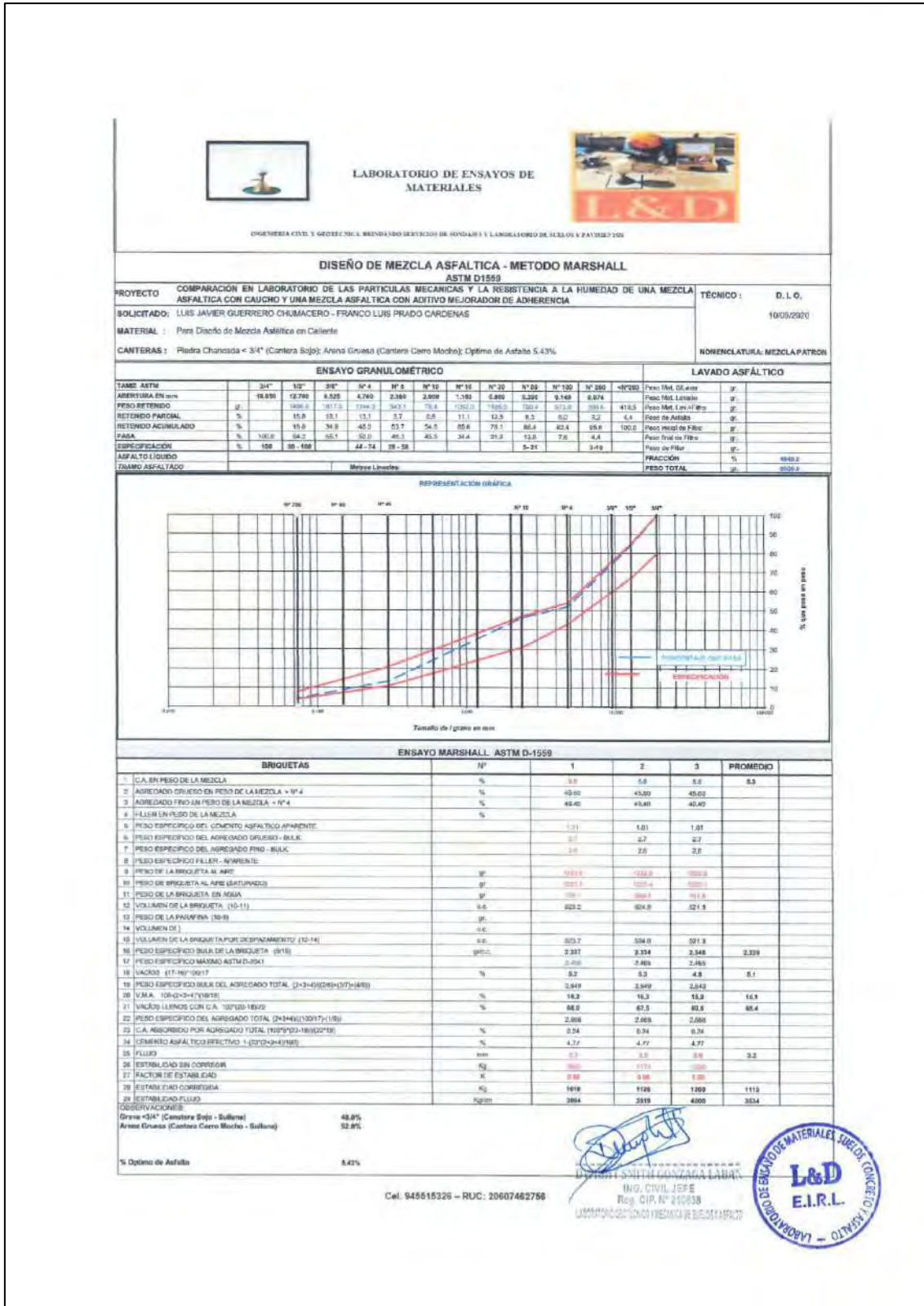
Cel. 945519326 – RUC: 20607462786

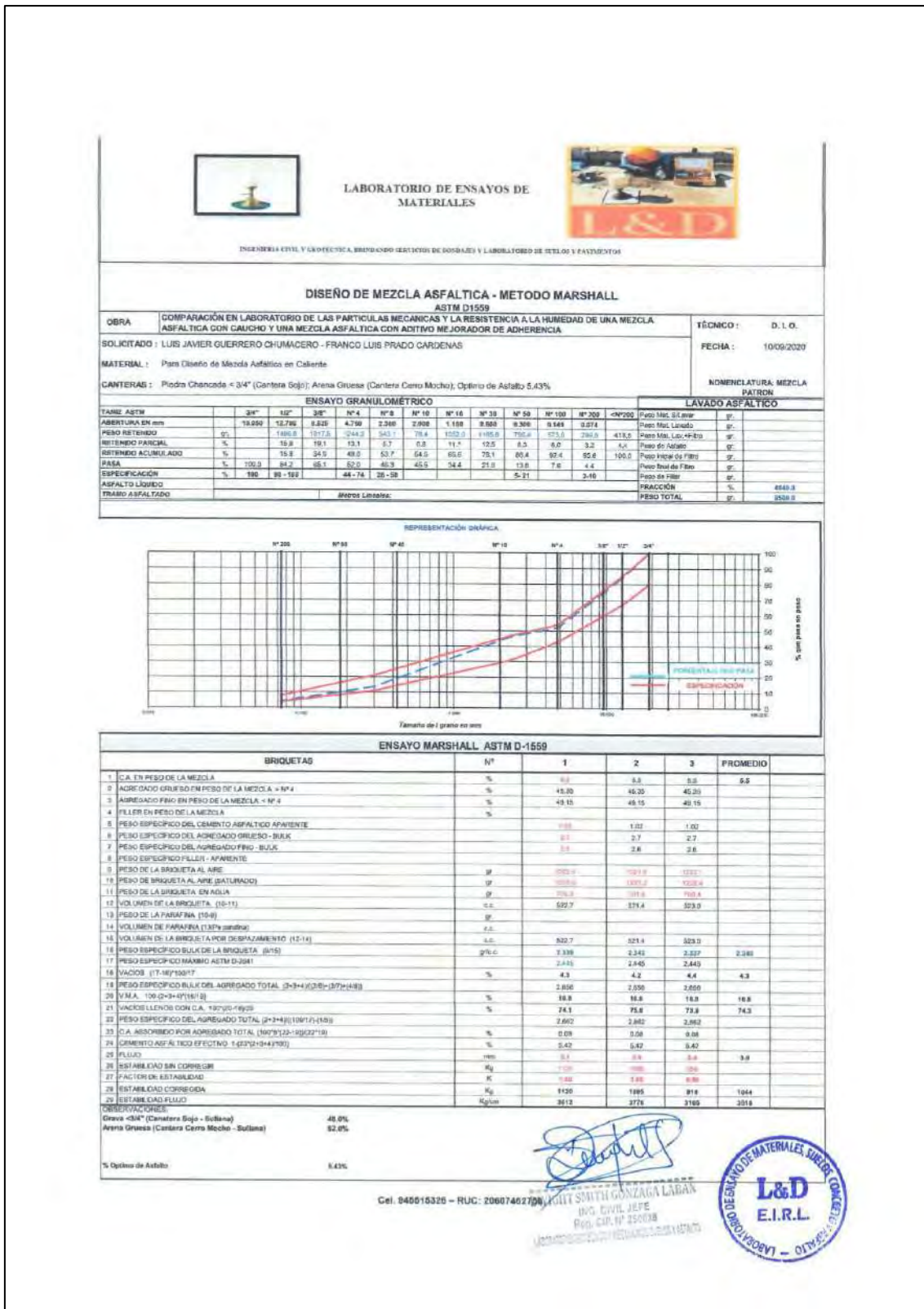
Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INSTITUTO CIVIL Y GEOTÉCNICA BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIOS DE SUELOS Y Pavimentos

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

OBRA: COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

TÉCNICO: D. I. O.

SOlicitado: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS

FECHA: 10/09/2020

MATERIAL: Para diseño de mezcla asfáltica en caliente

NOMENCLATURA: MEZCLA PATRON

CANTERAS: Piedras Chamosas + 3/4" (Cantera Sojo), Arena Gruesa (Cantera Cerro Mucho), Optimo de Asfalto 5.43%

TAMIZ ASTM	ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFÁLTICO		
	3/4"	1 1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 60	Nº 80	Nº 100	Nº 200	Nº 200	Asfalto	Asfalto
ABSORCIÓN EN mm	19.650	12.760	9.295	4.700	2.260	1.180	0.600	0.300	0.149	0.074			Peso Mat. Asfalto	g
RETENIDO	19.650	12.760	9.295	4.700	2.260	1.180	0.600	0.300	0.149	0.074	418.2		Peso Mat. Lavado	g
RETENIDO PARCIAL	%	15.8	18.1	15.1	5.7	2.8	11.3	17.3	5.3	2.7	4.4		Peso de Asfalto	g
RETENIDO ACUMULADO	%	15.8	34.8	48.9	53.7	54.5	65.8	73.1	80.4	85.8	100.0		Peso total de Fibra	g
PASA	%	100.0	84.2	85.1	82.0	80.5	88.7	82.7	79.6	77.3	4.4		Peso total de Fibra	g
ESPECIFICACION	%	100	85 - 100		60 - 74	25 - 50			5 - 21	5 - 18			Peso de Fibra	g
ASfalto LIQUIDO													FRACCION	%
TRABO ASFALTADO													PESO TOTAL	g
													438.2	
													1000.0	



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

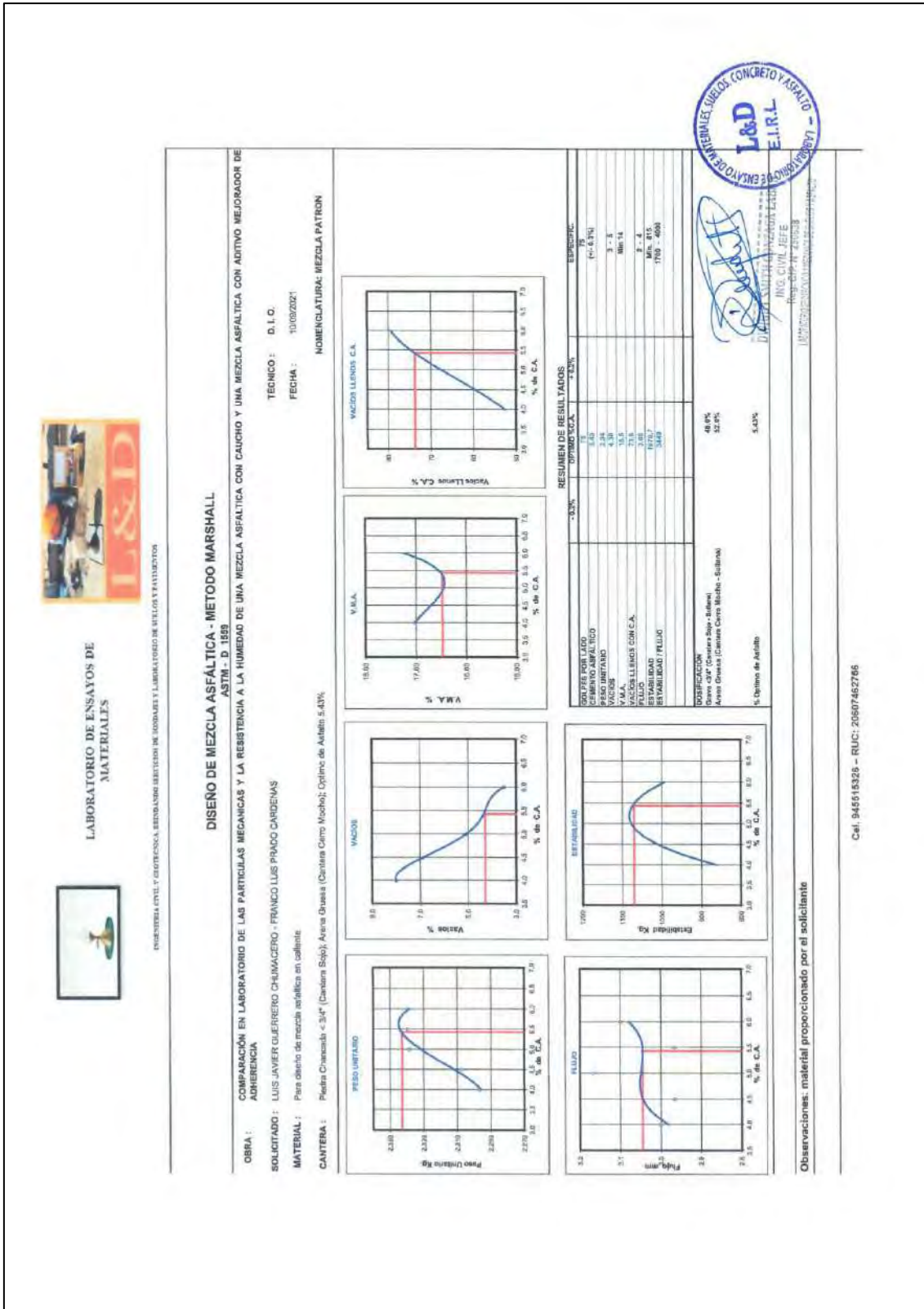
BROQUETAS	Nº	1			2			3			PROMEDIO
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1. P.E. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	45.11	45.11	45.11	45.11	45.11	45.11	45.11	45.11	45.11	45.11
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	48.60	48.60	48.60	48.60	48.60	48.60	48.60	48.60	48.60	48.60
4. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%										
5. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE		1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02	1.02
6. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
7. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8
8. PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE											
9. PESO DE LA BROQUETA AL AIRE	g	1020.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0	1015.0
10. PESO DE BROQUETA AL AIRE (SATURADO)	g	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0	1020.0
11. PESO DE LA BROQUETA EN AGUA	g	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0	1005.0
12. VOLUMEN DE LA BROQUETA (10-11)	cc	125.1	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0
13. PESO DE LA PARAFINA (10-8)	g										
14. VOLUMEN DE PARAFINA (13% parafina)	cc										
15. VOLUMEN DE LA BROQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	cc	125.1	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0	125.0
16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BROQUETA (8-15)	g/cc	2.334	2.337	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	2.347	2.346
17. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041		2.425	2.425	2.425	2.425	2.425	2.425	2.425	2.425	2.425	2.425
18. VACÍOS (17-16)/(16-17)	%	2.7	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
19. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(2+3+4+8)	%	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890	2.890
20. N.M.A. 100g/244(18-19)	%	87.4	87.3	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8	86.8
21. VACÍOS LÍQUIDOS CON GLA. 100/100-18/23	%	78.5	78.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2	81.2
22. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(10-17+1+8)		2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858	2.858
23. I.C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (16/20-19)/(22-19)	%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
24. CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO (1-22)/(2+3+4+1+8)		6.90	5.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90	6.90
25. FLUJO	mm	0.2	0.2	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
26. ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020	1020
27. FACTOR DE ESTABILIDAD	%	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9	99.9
28. ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	999	997	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010	1010
29. ESTABILIDAD FLUJO	kg/mm	3080	3118	3480	3480	3480	3480	3480	3480	3480	3480

OBSERVACIONES:
Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana) 48.8%
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mucho - Sullana) 52.8%


% Optimo de Asfalto 5.43%

CEL. 945515326 - RUC: 20607462756


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES





INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEÓRICA RICE
MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA					
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS				TÉCNICO : D. I. O.	
MATERIAL	Para diseño de mezcla asfáltica en caliente				FECHA : 10/09/21	
CANTERA	Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Optimo de Asfalto 5.43%				NOMENCLATURA : MEZCLA PATRON	


ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5
Cemento Asfáltico	%	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del material	gr	1226.60	1227.80	1235.00	1238.80	1243.40
Peso del agua + frasco Rice	gr	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	8708.60	8709.80	8717.00	8720.80	8725.40
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8217.40	8214.40	8215.80	8214.10	8212.80
Volumen del material	cc	491.20	495.40	501.10	506.70	512.80
Peso Especifico Máximo	gr/cc	2.497	2.478	2.465	2.445	2.425
Temperatura de ensayo	°C	25	25	25	25	25
Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana)		48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullana)	%	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tiempo de ensayo	Min.	10	10	10	10	10
Factor de Corrección						

Observaciones: material proporcionado por el solicitante



 Cel. 945515326 – RUC: 20607462756
 ING. CIVIL JORGE
 REG. CIP. Nº 250938


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

E.2 Mezcla M1



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERÍA CIVIL Y GEOTÉCNICA BRINDANDO SERVICIOS DE CONSULTA Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



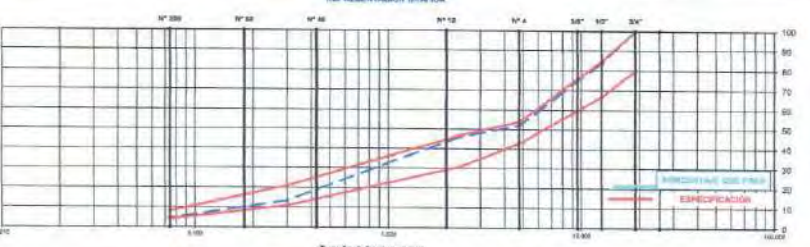
DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

OBRA	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO	D. L. O.
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS	FECHA	10/09/2020
MATERIAL	Pava Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente		
CANTERAS	Piedra Chocanda < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Óptimo de Asfalto 5.25%; Óptimo de aditiva Ricot Z 1%		NOMENCLATURA: MEZCLA M1

ENSAYO GRANULOMÉTRICO																
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 10	Nº 15	Nº 20	Nº 30	Nº 40	Nº 50	Nº 60	Nº 75	Nº 100	Nº 200	<Nº250
ABERTURA EN mm	19.000	12.700	9.525	4.750	2.360	2.000	1.180	0.850	0.300	0.149	0.075	0.048	0.025	0.0075	0.0025	
PESO RETENIDO gr		1928.0	1877.0	1344.3	543.1	78.4	1020.0	1185.0	700.0	273.0	229.0	110.3	41.4	10.0	2.2	0.4
RETENIDO PARCIAL %		15.8	18.1	13.1	5.7	0.9	11.1	12.5	8.5	3.0	2.2	1.1	0.3	0.1	0.0	0.0
RETENIDO ACUMULADO %		15.8	34.0	47.0	52.7	53.6	64.7	77.2	85.7	88.7	90.9	92.0	92.3	92.4	92.4	92.4
PASA %		84.2	81.9	86.9	47.3	45.4	34.4	21.9	13.5	7.0	4.4	2.9	2.7	2.9	2.9	2.9
ESPECIFICACIÓN		80 - 100	80 - 100	44 - 74	28 - 58				5 - 21							



LAVADO ASFÁLTICO	
Peso Mat. Sólido	gr
Peso Mat. Lavado	gr
Peso Mat. Lav. Filtro	gr
Peso Mat. de Filtro	gr
Peso de Filtro	gr
Peso de Filler	gr
FRACCIÓN	%
PESO TOTAL	gr

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



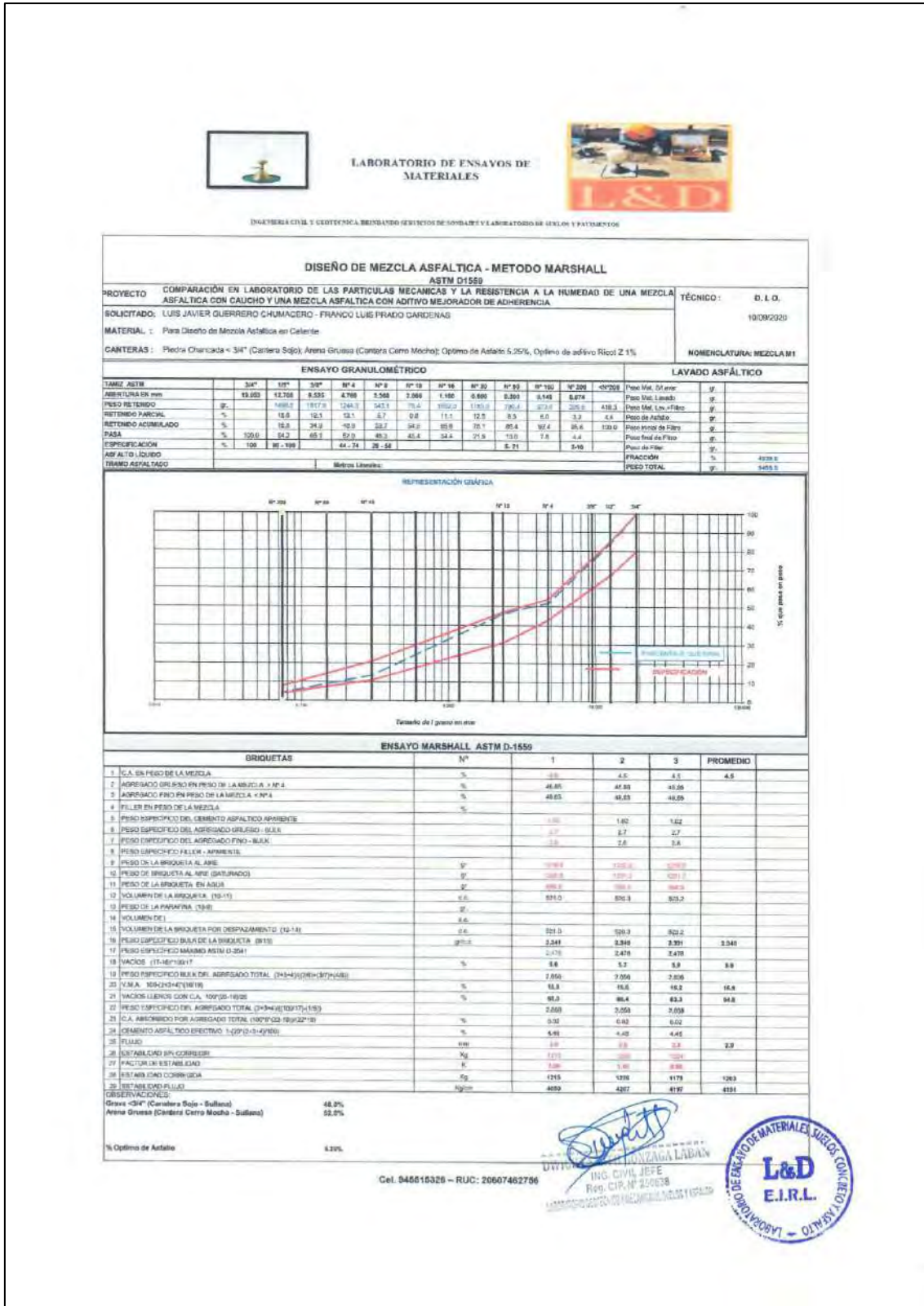
ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559						
BRIQUETAS		Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.0	4.0	4.0	4.0
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	48.00	48.00	48.00	48.00
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	48.91	49.91	49.91	49.91
4	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
5	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	g/cc	1.30	1.00	1.00	
6	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	g/cc	2.7	2.7	2.7	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	g/cc	2.6	2.6	2.6	
8	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	g/cc				
9	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1200.0	1200.0	1200.0	
10	PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1200.0	1200.0	1200.0	
11	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	998.0	991.7	998.0	
12	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	cc	500.0	505.1	505.0	
13	PESO DE LA PARAFINA (10-0)	gr				
14	VOLUMEN DE PARAFINA (13/Pa parafina)	cc				
15	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	cc	503.0	505.1	505.0	
16	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (9-15)	g/cc	2.399	2.378	2.394	2.394
17	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2911	g/cc	2.407	2.437	2.427	
18	VACÍOS (7-10)/100IT	%	6.7	7.3	6.8	6.9
19	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+5)/(26)+(37)+(48))	g/cc	2.459	2.406	2.436	
20	V.A.M. (18)(2+3+4)/(18))	%	15.8	16.3	15.9	16.0
21	VACÍOS LLENOS CON C.A. (10)/(26-18))	%	27.4	28.9	28.2	28.5
22	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(16)+(17)+(18))	g/cc	2.657	2.627	2.642	
23	C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (10)/(26-18))	%	0.01	0.01	0.01	
24	CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO (42)/(2+3+4)/(10))	%	3.00	3.00	3.00	
25	FLUJO	mm	0.7	0.7	0.7	0.7
26	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	1190	1194	1192	
27	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.86	0.86	0.86	
28	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	1194	1197	1194	
29	ESTABILIDAD FLUJO	Mg/cm	4089	4210	4150	4150

Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana)	48.0%
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullana)	52.0%
% Óptimo de Asfalto	5.25%

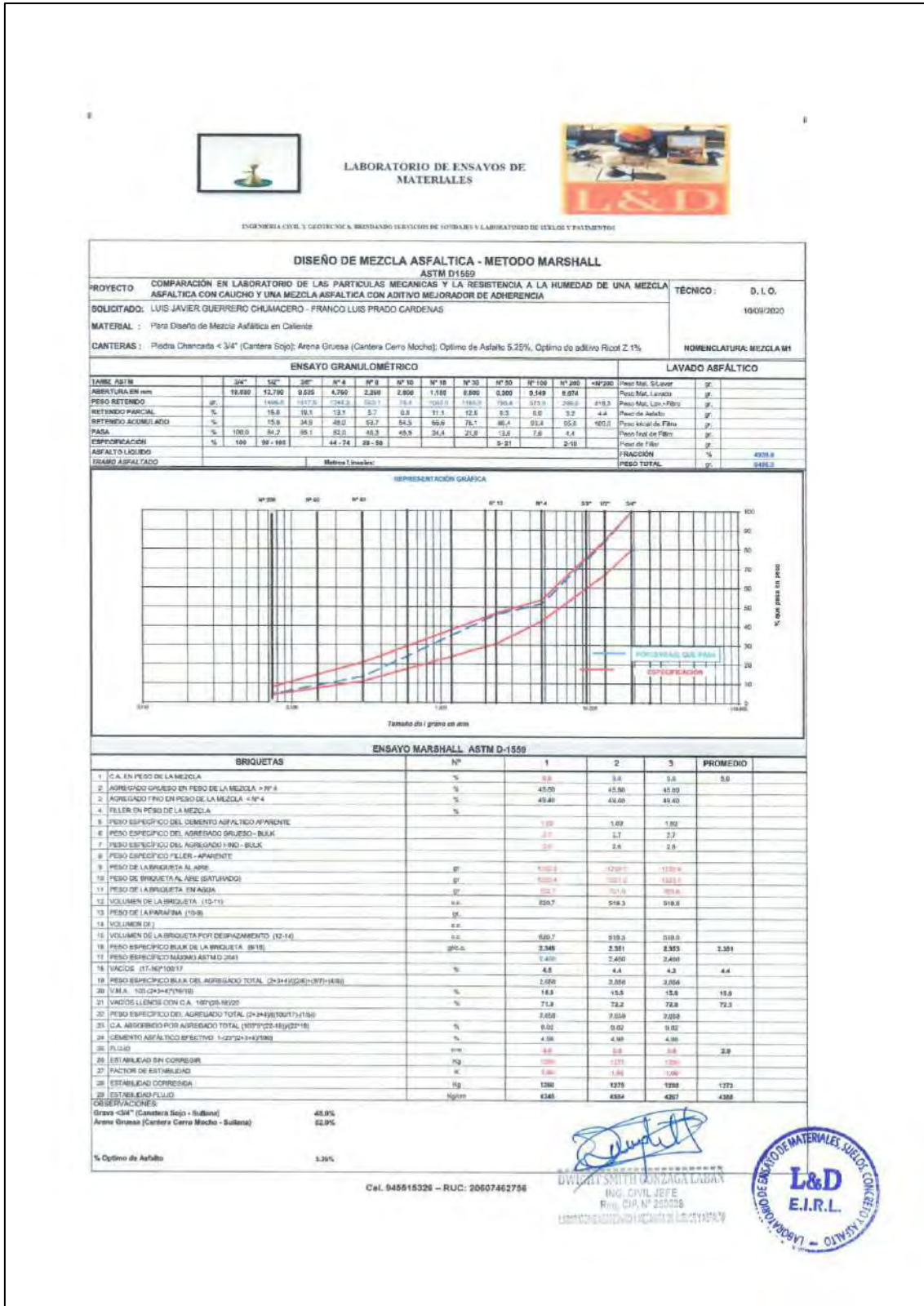



041-948616370 - TEL: 80007462766

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, RESERVADO INSTITUTO DE INGENIEROS Y LABORATORIO DE CIENCIAS Y PAULLENOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL		ASTM D1559												
OBRA	COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO :	D. I. O.											
SOLICITADO :	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA :	10/09/2020											
MATERIAL :	Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	NOMENCLATURA: MEZCLA M1												
CANTERAS :	Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mochi); Óptimo de Asfalto 5.26%, Óptimo de aditivo Flocot Z 1%													
ENSAYO GRANULOMÉTRICO														
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 5	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200	Nº 298	Foto Mat. Salado	g
ABERTURA del mm	19.000	12.500	9.525	4.750	2.500	2.000	1.180	0.850	0.300	0.149	0.075	0.075	Foto Mat. Lavado	g
PESO RETENIDO	31	149.0	317.0	1244.0	2481.0	3946.0	5050.0	5100.0	5054.0	4723.0	3093.0	154.0	Foto Mat. Lavado + Flocot	g
RETENIDO PARCIAL	%	15.8	19.1	19.1	5.7	6.0	11.1	12.5	8.5	6.0	3.2	4.4	Foto de Análisis	g
RETENIDO ACUMULADO	%	15.8	34.9	54.0	59.7	65.4	76.5	88.0	96.5	100.0	100.0	100.0	Foto total de Filtro	g
GRASA	%	100.0	84.2	65.1	52.0	40.5	34.4	29.8	25.8	22.6	20.9	19.4	Foto total de Filtro	g
ESPECIFICACIÓN	%	100	85-100		64-74	75-88							Foto del Filtro	%
ASfalto Líquido													FRACCIONES	%
TRAMO ASFALTADO													PESO TOTAL	g
														4810.0
														3490.0



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.9	5.9	5.8	5.8
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº4	%	40.37	40.37	40.37	40.37
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº4	%	49.13	49.13	49.13	49.13
4. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
5. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.02	1.02	1.02	1.02
6. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.7	2.7	2.7	2.7
7. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.8	2.8	2.8	2.8
8. PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE					
9. PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	g	1223.0	1222.9	1222.4	1222.8
10. PESO DE BRIQUETA AL AGUA (SATURADO)	g	1224.9	1225.0	1224.1	1224.7
11. PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	g	1225.2	1225.2	1225.0	1225.1
12. VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	cc	521.6	521.3	521.2	521.4
13. PESO DE LA PARAFINA (10-8)	g				
14. VOLUMEN DE PARAFINA (13% parafina)	cc				
15. VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	cc	521.5	520.3	521.2	521.0
16. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (8/9)	g/cc	2.348	2.350	2.347	2.348
17. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2947	g/cc	2.441	2.441	2.441	2.441
18. VACÍOS (7-10)/100	%	5.8	5.7	5.8	5.8
19. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(5)(6)+(7)(8)	%	2.200	2.200	2.200	2.200
20. V.M.A. 100(2+3+4)/(16)(19)	%	16.0	16.4	16.8	16.4
21. VACÍOS LLENOS CON C.A. 100(10-8)(20)	%	74.8	77.3	75.7	76.3
22. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)/(7)(8)+(9)(10)	%	2.657	2.657	2.657	2.657
23. C.A. AMORFOSO POR AGREGADO TOTAL (100(12-13)(16)(22))	%	0.01	0.01	0.01	0.01
24. CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1.00(2+3+4)(20)	%	5.48	5.49	5.48	5.48
25. FLUJO	mm	3.8	3.8	3.7	3.8
26. ESTABILIDAD SIN CONCRETO	kg	1224	1225	1224	1224
27. FACTOR DE ESTABILIDAD	K	1.00	1.00	1.00	1.00
28. ESTABILIDAD CONCRETO	kg	1229	1245	1236	1240
29. ESTABILIDAD FLUJO	kg/cm	4338	4150	3987	4158

OBSERVACIONES:
 Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana) 48.8%
 Arena Gruesa (Cantera Cerro Mochi - Sullana) 32.8%
 % Óptimo de Asfalto 5.26%

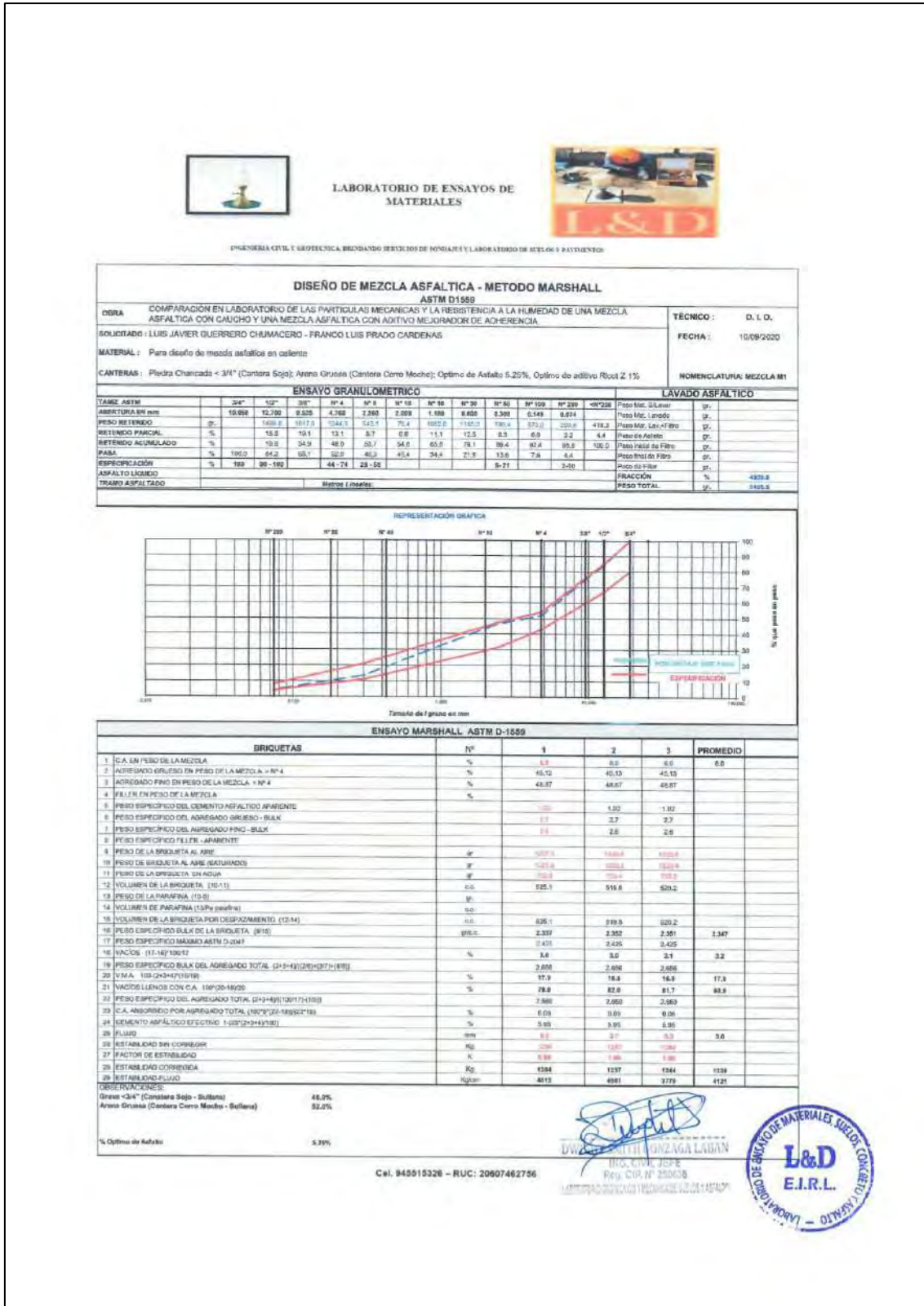
[Firma manuscrita]



Cel. 945519326 - RUC: 20607462756

DWIGHT SMITH GONZALEZ LABAY
 ING. CIVIL, ICFE
 Reg. C.O.P. N° 200288

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BENDIENDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEÓRICA RICE						
MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209						
OBRA	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA					
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS				TÉCNICO : D. I. O.	
MATERIAL	Para diseño de mezcla asfáltica en caliente				FECHA : 10/09/21	
CANTERA	Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Optimo de Asfalto 5.25%, Optimo de aditivo Ricot Z 1%				NOMENCLATURA : MEZCLA M1	
ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5
Cemento Asfáltico	%	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del material	gr	1227.30	1228.00	1230.50	1232.00	1228.00
Peso del agua + frasco Rice	gr	7480.00	7480.00	7480.00	7480.00	7480.00
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	8707.30	8708.00	8710.50	8712.00	8708.00
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8215.70	8212.50	8210.20	8207.30	8201.70
Volumen del material	cc	491.60	495.50	500.30	504.70	506.30
Peso Especifico Máximo	gr/cc	2.497	2.478	2.460	2.441	2.425
Temperatura de ensayo	°C	25	25	25	25	25
Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana)		48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullana)	%	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tiempo de ensayo	Min.	10	10	10	10	10
Factor de Corrección						
Observaciones: material proporcionado por el solicitante						

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756




DWILA... GONZAGA L...
ING. CIVIL JEFE
Reg. C.O.P. N° 250038




Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

E.3 Mezcla M2-A



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES




INGENIERIA CIVIL Y GEOINGENIERIA, ENDOANDO SERVICIOS DE SOFTWARE Y LABORATORIO DE SUELOS Y FUNDACIONES

DISÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

OBRA: COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO: D. I. O.
SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	FECHA: 10/09/2020
MATERIAL: Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	NOMENCLATURA: MEZCLA M2-A
CANTERAS: Piedra Chocada < 3/4" (Cantera Soja); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Óptimo de Asfalto 5.7%; Incorporado caucho granular 1% de Peso de Arena Gruesa; Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas	

TAMIZ ASTM	ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO		
	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 10	Nº 20	Nº 40	Nº 60	Nº 100	Nº 200	<Nº200	Peso Mat. Líquido	gr.
ABIERTURA EN mm	19.050	12.700	9.525	4.750	2.380	2.000	1.180	0.850	0.300	0.149	0.075		
PESO RETENIDO	gr.	148.9	1077.9	1443.3	242.4	79.4	100.0	110.0	79.4	37.0	20.0	416.5	
RETENIDO PARCIAL	%		15.6	18.1	13.1	2.7	0.8	11.7	12.5	8.3	6.9	2.2	2.4
RETENIDO ACUMULADO	%		15.6	34.9	48.0	50.7	51.5	63.2	75.7	84.0	90.9	100.0	
PASA	%	100.0	84.2	81.9	86.9	97.3	99.2	88.3	87.5	91.7	93.1		
ESPECIFICACION	%	100	90-100		44-74	20-55			5-21		3-10		
ASfalto Líquido													4340.0
TRAMO ASFALTADO													9289.0

REPRESENTACION GRAFICA



Tamaño de J granos en mm


ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	4.0	4.0	4.0	4.0
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	42.07	46.07	46.07	44.74
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	42.97	46.97	46.97	46.07
4. GCR EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.36	0.96	0.96	0.76
5. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6. PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.01	1.01	1.01	1.01
7. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.7	2.7	2.7	2.7
8. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.8	2.8	2.8	2.8
9. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - GCR-BULK		1.7	1.7	1.7	1.7
10. PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE					
11. PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr.	3202.1	3258.6	3216.7	3225.8
12. PESO DE LA BRIQUETA AL AGUA (SATURADO)	gr.	3219.6	3214.2	3212.2	3215.3
13. PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr.	328.6	342.4	333.5	334.8
14. VOLUMEN DE LA BRIQUETA (15-11)	cc.	978.5	977.0	978.0	977.8
15. PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr.				
16. VOLUMEN DE PARAFINA (10% peso/v)	cc.				
17. VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	cc.	509.5	537.0	509.0	518.5
18. PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (8-15)	gr/cc.	3.256	2.369	2.362	3.261
19. PESO ESPECIFICO MÁXIMO ASTM D-2911		2.471	2.471	2.471	2.471
20. VACIOS (17-18)(19)(17)	%	8.7	8.2	8.6	8.5
21. PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2-3-4)(10)(17)(4)(6)		2.620	2.920	2.920	2.820
22. V.M.A. (10)(21)(17)(19)	%	17.5	17.9	17.9	17.7
23. VACIOS LLENOS CON C.A. 100% (10)(19)	%	36.3	32.1	31.0	33.2
24. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (1)(2)(3)(10)(17)(14)(6)		2.820	2.820	2.820	2.820
25. C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (1)(8)(9)(10)(19)(22)(14)	%	0.04	0.04	0.04	0.04
26. CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO (1)(2)(3)(4)(10)(6)	%	3.06	3.65	3.91	3.54
27. FLUIDO	mm	3.1	3.5	3.7	3.4
28. ESTABILIDAD SIN CORRECCION	Kg	373	407	411	397
29. FACTOR DE ESTABILIDAD	K	5.64	6.89	6.93	6.49
30. ESTABILIDAD CORREGIDA	Kg	797	769	799	788
31. ESTABILIDAD FLUIDO	Kg/mm	244	249	249	247

Grava <3/4" (Cantera Soja - Sullana) 48.0%


Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullana) 32.0%

% Óptimo de Asfalto: 5.7%

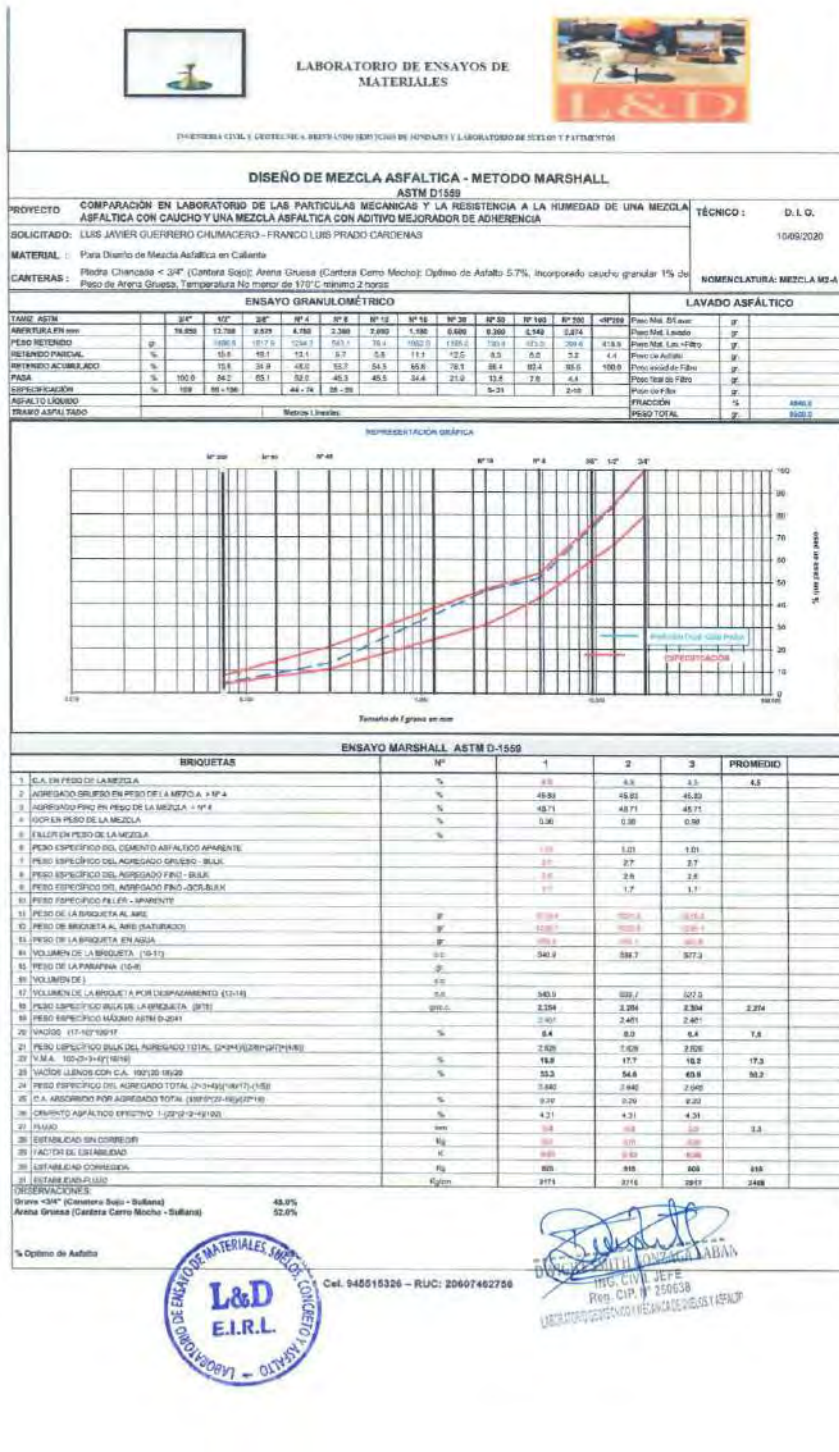
Cel. 946516326 – RUC: 20607462786




DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. CIP. N° 250638
 LABORATORIO DE INGENIERIA Y MECANICA DE SUELOS Y FUNDACIONES




Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



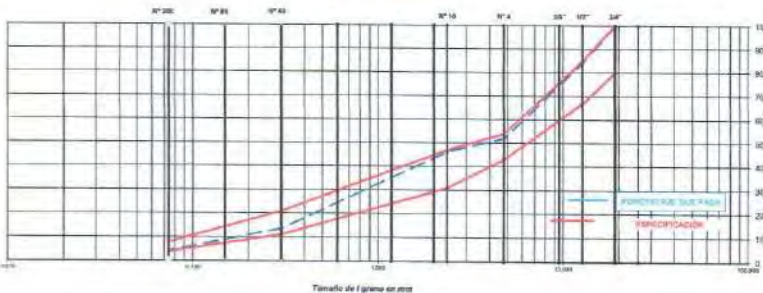
INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA BRINDANDO SERVICIOS DE CONSULTAS Y LABORATORIO DE ENSAYOS Y PAGAMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

PROYECTO: COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO: D. I. O. 10/09/2020
SOLICITADO: LUIS JAVIER QUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS	
MATERIAL: Pava Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	
CANTERAS: Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho), Óptimo de Asfalto 5.7%, Incorporado caucho granular 1% de Poso de Arena Gruesa, Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas	NOMENCLATURA: MEZCLA M2-A

ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM	24"	30"	37.5"	Nº 4	Nº 5	Nº 10	Nº 15	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200	-80/200	Peso Mte. Ecuivo	UF
ABERTURA EN mm	10.000	12.700	4.750	4.750	2.500	2.000	1.180	0.850	0.425	0.250	0.075		Peso Mte. Lavado	UF
PESO RETENIDO	0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	Peso Mte. Lav + Filtro	UF
RETENIDO PARCIAL	%	10.0	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	10.1	Peso de Asfalto	UF
RETENIDO ACUMULADO	%	10.0	20.1	30.2	40.3	50.4	60.5	70.6	80.7	90.8	100.0	100.0	Peso Inicial de Filtro	UF
PASA	%	100.0	89.9	89.9	89.9	89.9	89.9	89.9	89.9	89.9	89.9	89.9	Peso Final de Filtro	UF
ESPECIFICACIÓN	%	100	88 - 100	44 - 74	28 - 58				5 - 21	3 - 12			Peso de PAV	UF
ASFALTO LIQUIDO													FRACCIÓN	%
TRABO ASFALTADO													PESO TOTAL	UF

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



Tamaño de 1 gramo en mm


ENSAYO MARSHALL - ASTM D-1559						
BRQUETAS		Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.0	5.0	5.0	5.0
2	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA * Nº 4	%	45.00	45.00	45.00	45.00
3	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA * Nº 4	%	55.00	55.00	55.00	55.00
4	CON EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.00	0.00	0.00	0.00
5	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE	g/cc	2.88	1.81	1.81	
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	g/cc	2.77	2.7	2.7	
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	g/cc	2.6	2.6	2.6	
9	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - CON BULK	g/cc	2.7	2.7	2.7	
10	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	g/cc				
11	PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	g	100.0	100.0	100.0	
12	PESO DE LA BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	g	104.0	104.0	104.0	
13	PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	g	104.0	104.0	104.0	
14	PESO DE LA PARAFINA (10-11)	g	100.0	100.0	100.0	
15	VOLUMEN DE LA PARAFINA (10-11)	cc	3.00	3.00	3.00	
16	VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPLAZAMIENTO (10-11)	cc	3.00	3.00	3.00	
17	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (8/15)	g/cc	2.28	2.28	2.28	2.28
18	PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	g/cc	2.44	2.44	2.44	
19	VACÍOS (11-16) (10-11)	%	7.3	8.0	4.7	6.9
20	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(20)-(37)-(14)(8)	g/cc	2.62	2.62	2.62	
21	V.M.A. (10)(11)-(16)(11)	%	18.1	18.8	18.8	18.9
22	VACÍOS LLENOS CON C.A. 10(15)-(13)(20)	%	88.4	84.7	75.1	84.7
23	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(10)(11)-(14)(8)	g/cc	2.64	2.64	2.64	
24	C.A. AGREGADO POR AGREGADO TOTAL (10)(11)-(20)-(18)	%	0.21	0.21	0.21	
25	CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1(2)(11)-(3)-(11)(8)	%	4.80	4.80	4.80	
26	FLUIDO	mm	3.8	3.8	3.8	3.8
27	ESTABILIDAD SIN CORREGIR	kg	300	300	300	
28	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	2.00	2.00	2.00	
29	ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	600	600	600	
30	ESTABILIDAD FLUIDO	kg/mm	1567	1600	1610	1592

OBSERVACIONES:


Grava < 3/4" (Cantera Sojo - Sullana) 45.0%

Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho - Sullana) 50.0%

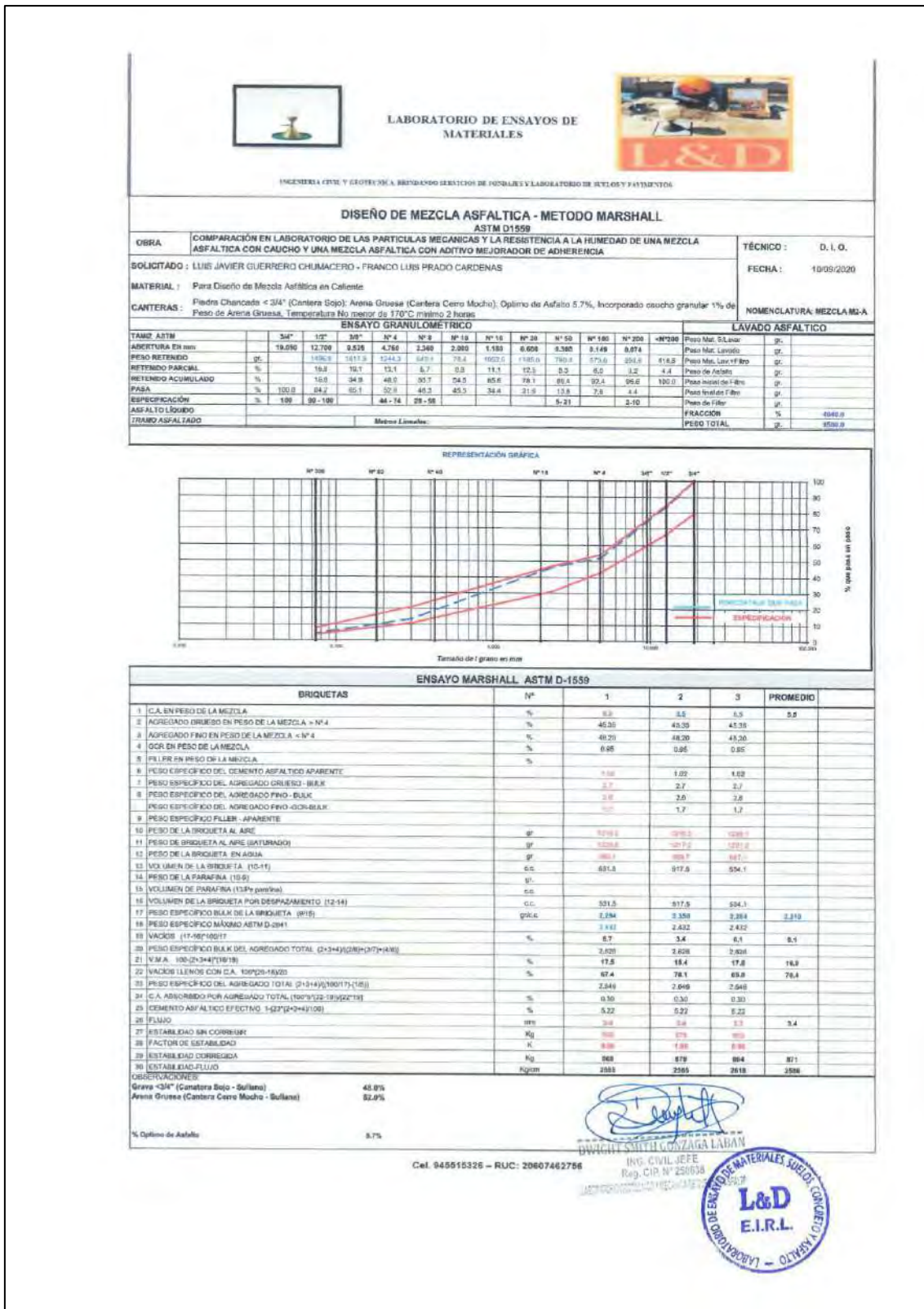
% Óptimo de Asfalto 5.7%



DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. Nº 24003B
ASOCIACIÓN ZUPLENCA Y REGIÓNALES DE INGENIEROS



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

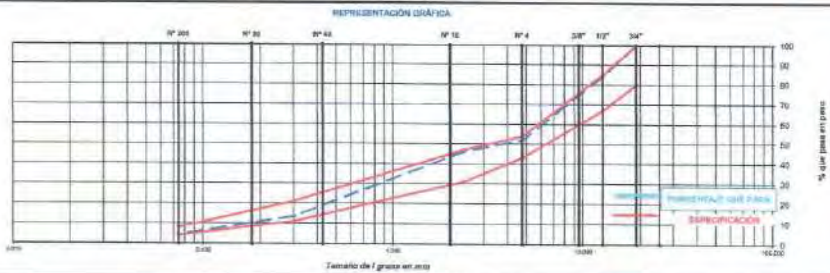


LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL		ASTM D1559											
OBRA: COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA			TÉCNICO: D. L. O.										
SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS			FECHA: 10/09/2020										
MATERIAL: Para diseño de mezcla asfáltica en caliente													
CANTERAS: Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Óptimo de Asfalto 5.7%; Incorporado caucho granular 1% de Piedra Arena Gruesa; Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas			NOMENCLATURA: MEZCLA M2-A										
ENSAYO GRANULOMETRICO										LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 15	Nº 30	Nº 60	Nº 100	Nº 200	Nº 280	Peso Mat. Grava	gr.
ABERTURA EN mm	19.05	12.50	9.53	4.75	2.36	1.18	0.60	0.30	0.15	0.075	0.075	Peso Mat. Lodo	gr.
PESO RETENIDO	gr	1480.0	1317.0	1244.3	545.1	79.4	102.1	185.0	339.4	229.5	415.0	Peso Mat. Los Fines	gr.
RETENIDO PARCIAL	%	15.8	19.1	13.1	5.7	0.8	11.5	12.8	8.3	3.2	4.4	Peso de Asfalto	gr.
RETENIDO ACUMULADO	%	15.8	34.9	48.0	53.7	54.5	66.0	78.1	86.4	89.6	100.0	Peso Inicial de Filtro	gr.
PASA	%	100.0	84.2	85.1	93.0	98.2	88.5	84.4	91.7	96.8	95.6	Peso Final de Filtro	gr.
ESPECIFICACION	%	100	90 - 100		44 - 74	28 - 58		5 - 21		2 - 10		Peso de Filtro	gr.
ASFALTO LIQUIDO												FRACCION	%
TRAMO ASFALTADO												PESO TOTAL	gr.
													1944.0
													868.0

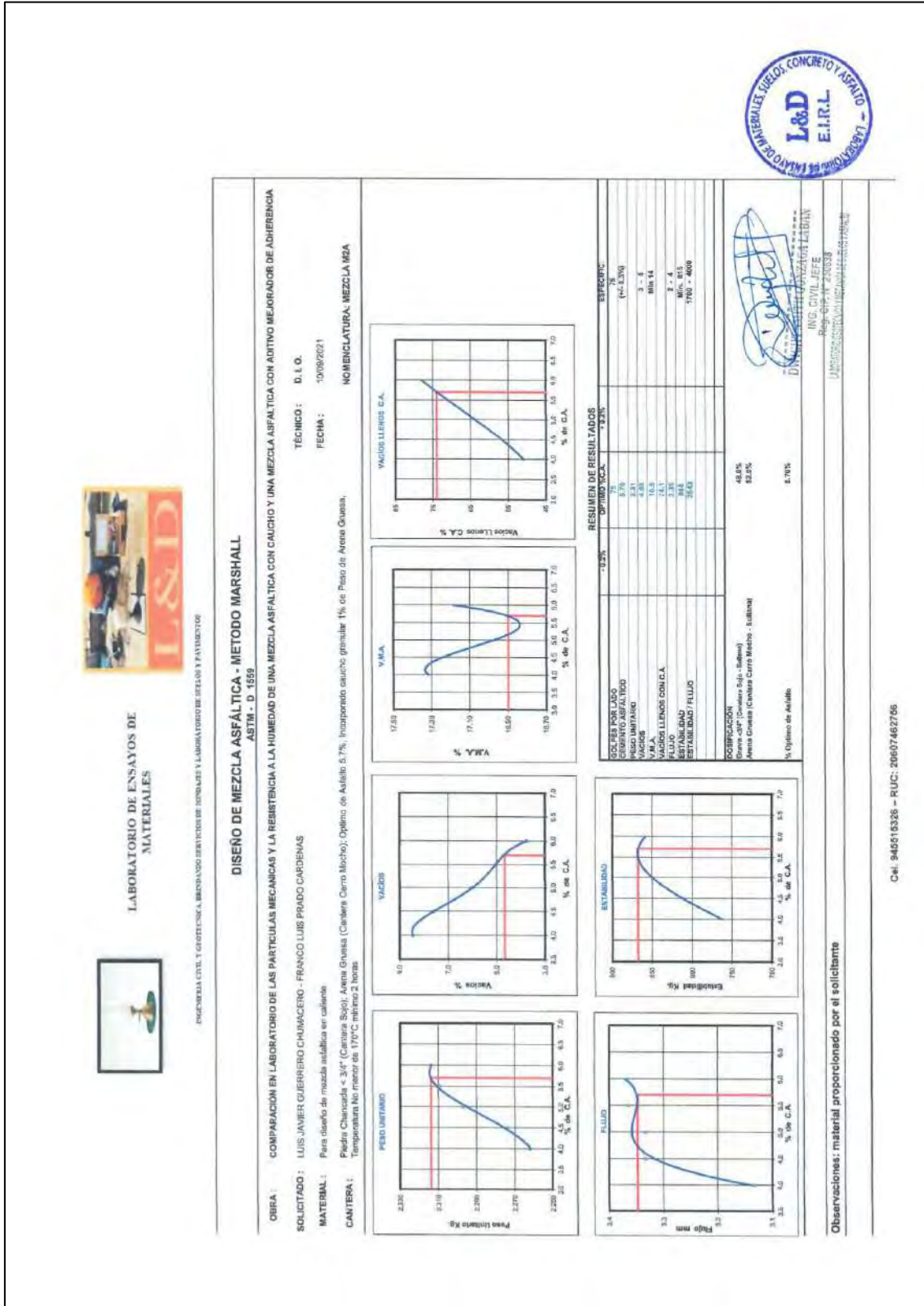


ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1 C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	3.2	8.8	5.8	5.9
2 AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	45.11	45.11	45.11	45.11
3 AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	47.86	47.86	47.86	47.86
4 OCH EN PESO DE LA MEZCLA	%	0.94	0.94	0.94	0.94
5 FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6 PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.01	1.01	1.01	1.01
7 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.7	2.7	2.7	2.7
8 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.6	2.6	2.6	2.6
9 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - OCH BULK		1.7	1.7	1.7	1.7
10 PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE					
11 PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1719.8	1719.2	1720.4	
12 PESO DE LA BRIQUETA AL AGUA (SATURADO)	gr	1730.2	1731.4	1732.6	
13 PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	889.4	889.7	890.2	
14 VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	cc	692.4	692.3	692.5	
15 PESO DE LA PARAFINA (10-8)	gr				
16 VOLUMEN DE LA PARAFINA (13/8 parafina)	cc				
17 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (12-14)	cc	532.4	532.3	532.5	
18 PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRIQUETA (9/15)	gr/cc	2.289	2.284	2.286	2.284
19 PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2941	gr/cc	2.400	2.396	2.400	2.400
20 VACIOS (17-18)/100TT	%	4.8	4.2	5.3	4.8
21 PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4+5+6+7+8+9)	gr	2.626	2.626	2.626	2.626
22 V.M.A. 100(2+3+4+5+6+7+8+9)	%	16.1	17.6	16.9	17.2
23 VACIOS LLENOS CON C.A. 100(20-18)/29	%	73.2	76.1	86.4	78.2
24 PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (100(2+3+4+5+6+7+8+9))	gr	2.637	2.637	2.637	2.637
25 C.A. ABSORBIDO POR AGREGADO TOTAL (100(3+7+8)/(2+3+4+5+6+7+8+9))	%	0.15	0.15	0.15	0.15
26 CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-02(2+3+4+5+6+7+8+9)	%	0.85	0.86	0.88	0.86
27 FLUIDO	mm	0.3	0.4	0.3	0.4
28 ESTABILIDAD SIN CORRECCION	Kg	913	974	959	949
29 FACTOR DE ESTABILIDAD	K	0.82	0.89	0.89	0.87
30 ESTABILIDAD CORRECCION	Kg	881	939	933	921
31 ESTABILIDAD FLUIDO	Ag/cm	3871	2468	2468	2636


OBSERVACIONES:
 Grava < 3/4" (Cantera Sojo - Sullivan) 48.0%
 Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullivan) 52.0%
 % Optimo de Asfalto 5.7%

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA
 ING. CIVIL JEPPE
 Reg. CIP. N° 250638
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SUCLOA COLOMBIA
 L&D E.I.R.L.
 Cel. 945515326 - RUC: 20607462758

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)




Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)




LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDARES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS




DENSIDAD MAXIMA TEÓRICA RICE						
MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209						
OBRA	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA					
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS				TÉCNICO : D. I. O.	
MATERIAL	Para diseño de mezcla asfáltica en caliente				FECHA : 10/09/21	
CANTERA	Piedra Unacada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Optimo de Astatto 5.7%, Incorporado caucho granular 1% de Peso de Arena Gruesa, Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas				NOMENCLATURA : MEZCLA M2-A	
ENSAYO	N°	1	2	3	4	5
Cemento Asfáltico	%	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del material	gr	1221.50	1228.00	1234.50	1232.50	1240.00
Peso del agua + frasco Rice	gr	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	8703.50	8711.00	8716.50	8714.50	8722.00
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8209.20	8211.70	8211.40	8207.80	8208.40
Volumen del material	cc	494.30	499.30	505.10	506.70	515.80
Peso Especifico Máximo	gr/cc	2.471	2.461	2.444	2.432	2.405
Temperatura de ensayo	°C	25	25	25	25	25
Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana)		48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullana)	%	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tiempo de ensayo	Min.	10	10	10	10	10
Factor de Corrección						
Observaciones: material proporcionado por el solicitante						

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756




ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP: N° 250638
LABORATORIO GEOTECNICO E INGENIERIA DE SUELOS Y ASFALTO




Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

E.4 Mezcla M2-B



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

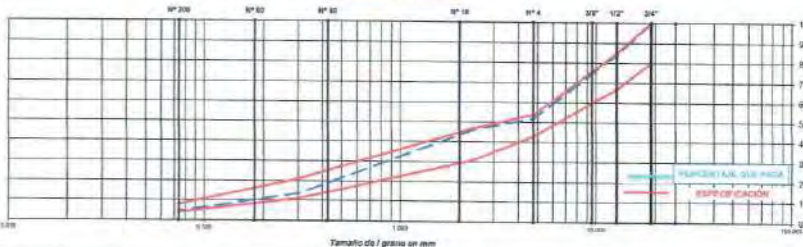


DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

OBRA : COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO : D. I. O.
SOLICITADO : LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS	FECHA : 10/09/2020
MATERIAL : Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	NOMENCLATURA : MEZCLA M2-B
CANTERAS : Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho); Óptimo de Asfalto 5.9%; Incorporado caucho granular 1.5% de Poso de Arena Gruesa, Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 Horas	

TAMIZ ASTM	ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFÁLTICO											
	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<#200	Peso Mat. Lavado	gr	Peso Mat. Lavado + Filtro	gr	Peso de Asfalto	gr	Peso Fines de Filtro	gr	Peso de Filtro	gr		
ABERTURA EN mm	19.050	12.500	9.525	4.750	2.500	1.180	0.850	0.300	0.150	0.075	0.040	410.5	gr	410.5	gr	4.4	gr	100.0	gr	100.0	gr		
RETENIDO PARCIAL %	15.8	10.1	13.1	5.7	0.8	11.7	17.0	19.2	19.8	19.8	19.8	19.8	gr	19.8	gr	19.8	gr	19.8	gr	19.8	gr		
RETENIDO ACUMULADO %	15.8	25.9	39.0	44.7	45.5	57.2	74.2	93.4	113.2	133.0	152.8	152.8	gr	152.8	gr	152.8	gr	152.8	gr	152.8	gr		
PASA %	84.2	74.9	60.9	54.3	54.5	42.8	25.8	8.8	8.2	8.2	8.2	8.2	gr	8.2	gr	8.2	gr	8.2	gr	8.2	gr		
ESPECIFICACIÓN %	100	90	80	60	40	20	10	5	2	1	0.5	0	gr	0	gr	0	gr	0	gr	0	gr		
ASFALTO LÍQUIDO												FRACCIÓN	%	64.8	gr								
FRANCO ASFÁLTICO												FRACCIÓN	%	35.2	gr								
												PESO TOTAL	gr	445.7									

REPRESENTACIÓN GRÁFICA

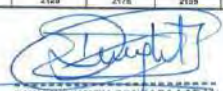


Tamaño de grano en mm

ENSAYO MARSHALL, ASTM D-1559						
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO	
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	48.07	48.07	48.07	48.07	48.07
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	48.49	48.49	48.49	48.49	48.49
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	1.44	1.44	1.44	1.44	1.44
4. GOR EN PESO DE LA MEZCLA	%					
5. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%					
6. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	g/cm ³	2.45	2.45	2.45	2.45	2.45
7. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	g/cm ³	2.7	2.7	2.7	2.7	2.7
8. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	g/cm ³	2.6	2.6	2.6	2.6	2.6
9. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - GOR BULK	g/cm ³	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7
10. PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	g/cm ³					
11. PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	gr	1215.7	1215.7	1215.7	1215.7	1215.7
12. PESO DE BRIQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1215.7	1215.7	1215.7	1215.7	1215.7
13. PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	gr	542.0	542.0	542.0	542.0	542.0
14. VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	cc	542.0	542.0	542.0	542.0	542.0
15. PESO DE LA PARAFINA (10-9)	gr					
16. VOLUMEN DE PARAFINA (10/9 parafina)	cc					
17. VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	cc	542.0	542.0	542.0	542.0	542.0
18. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (8/15)	g/cm ³	2.242	2.242	2.242	2.242	2.242
19. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D-2041	g/cm ³	2.445	2.445	2.445	2.445	2.445
20. VACÍOS (11+16)(10/17)	%	8.3	8.3	8.3	8.3	8.3
21. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(10/25)+(3/7)(14/8)	g/cm ³	2.606	2.606	2.606	2.606	2.606
22. V.A.M. (10)-(2+3+4)(10/19)	g/cm ³	17.0	17.0	17.0	17.0	17.0
23. VACÍOS LLENOS CON C.A. (10/25)-10/20	%	91.3	91.3	91.3	91.3	91.3
24. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4)(10/17)+(14/8)	g/cm ³	2.606	2.606	2.606	2.606	2.606
25. C.A. ABSORCIÓN POR AGREGADO TOTAL (10/25)(25-19)/(22-19)	%	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
26. CEMENTO ASFÁLTICO EFECTIVO (1/25)(2+3+4)(10/19)	g/cm ³	3.90	3.90	3.90	3.90	3.90
27. FLUJO	mm	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
28. ESTABILIDAD SIN CORRECTOR	kg	721	721	721	721	721
29. FACTOR DE ESTABILIDAD	%	93.0	93.0	93.0	93.0	93.0
30. ESTABILIDAD COMPRESIVA	kg	720	721	718	720	720
31. ESTABILIDAD FLUJO	Kg/mm	2161	2162	2176	2169	2169


OBSERVACIONES:
 Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana) 48.9%
 Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho - Sullana) 52.9%

% Óptimo de Asfalto 5.9%




DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. CHP. N° 250630
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES L&D


Cel. 945515326 - RUC: 20807462766



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



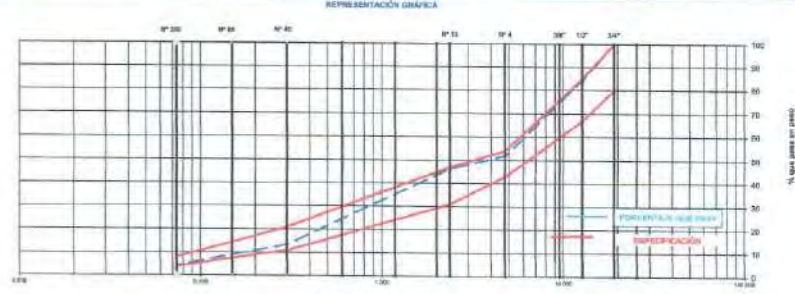
INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA BRUSANDO HERNANDEZ DE SONDAGE Y LABORATORIO DE SUELOS Y PATRIMONIO

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

PROYECTO: COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO: D. I. O. 10/06/2020
SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	
MATERIAL: Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente	
CANTERAS: Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Soja); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocha); Optimo de Astello 5.8%; Incorporado caucho granular 1.5% de Peso de Arena Gruesa, Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas	NOMENCLATURA: MEZCLA M3-B

ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFÁLTICO	
TAMBL. ASTM	3/4"	3/8"	3/16"	Nº 4	Nº 8	Nº 16	Nº 30	Nº 60	Nº 100	< 0.075"	Peso Mat. DL. sec	g
ABERTURA EN mm	19.000	12.740	9.525	4.750	2.365	2.000	1.181	0.850	0.500	0.149	0.075	0.075
PESO RETENIDO	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
RETENIDO PARCIAL	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
RETENIDO ACUMULADO	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PASA	%	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
ESPECIFICACION	%	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
ASPHALTO LIGADO												
TAMBO ASFALTADO												

REPRESENTACIÓN GRÁFICA



ENSAYO MARSHALL - ASTM D-1559						
BRIQUETAS		Nº	1	2	3	PROMEDIO
1	C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.8	6.5	6.5	6.6
3	AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 8	%	45.83	45.83	45.83	45.83
4	AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	48.21	48.24	48.24	48.24
4	DOT EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.43	1.43	1.43	1.43
5	FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6	PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFÁLTICO APARENTE	g/cm³	1.81	1.81	1.81	1.81
7	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK	g/cm³	2.7	2.7	2.7	2.7
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK	g/cm³	2.6	2.6	2.6	2.6
8	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - GOM BULK	g/cm³	1.1	1.1	1.1	1.1
10	PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE	g/cm³	2.58	2.58	2.58	2.58
11	PESO DE LA BRIQUETA AL AIRE	g	508.8	510.3	516.8	511.8
12	PESO DE LA BRIQUETA AL AGUA (SATURADO)	g	493.2	491.9	498.7	494.6
13	PESO DE LA BRIQUETA EN AGUA	g	305.6	303.9	311.1	306.9
14	VOLUMEN DE LA BRIQUETA (10-11)	cm³	542.1	539.0	558.6	546.6
15	PESO DE LA PAVENSA (10-11)	g				
16	VOLUMEN DE LA PAVENSA (10-11)	cm³				
17	VOLUMEN DE LA BRIQUETA POR DESPACHAMIENTO (12-14)	cm³	542.1	539.0	558.6	546.6
18	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (10-11)	g/cm³	2.243	2.256	2.254	2.251
19	PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRIQUETA (10-11)	g/cm³	2.401	2.426	2.426	2.424
20	VACÍOS (17-19) (10-11)	%	7.9	7.9	7.9	7.9
21	PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (20-4)(20-8)(37-4)(8)	g/cm³	2.525	2.505	2.506	2.512
22	V.M.A. (20-4)(7)(10-11)	%	17.4	17.9	17.6	17.6
23	VACÍOS LIGADOS CON C.A. (10-11)-8000	%	56.9	56.9	56.7	56.8
24	PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (20-4)(7)(10-11)(15)	g/cm³	2.308	2.308	2.308	2.308
25	C.A. ABSORCIÓN POR AGREGADO TOTAL (10-11)(20-4)(20-8)(27-10)	%	0.81	0.83	0.81	0.81
27	FLUIDO	mm	4.48	4.48	4.48	4.48
28	ESTABILIDAD EN CORRIENTE	kg	87	87	84	86
28	FACTOR DE ESTABILIDAD	K	9.89	9.89	9.87	9.88
30	ESTABILIDAD CORRIENTE	kg	788	789	788	788
31	ESTABILIDAD FLUIDO	kg/cm	1886	2463	2161	2161


OBSERVACIONES:

Grava <3/4" (Cantera Soja - Bullova) 48.0%


Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocha - Bullova) 32.0%

% Optimo de Asfalto 5.8%


Cel. 946616326 - RUC: 20667482706




Daniel Muñoz Gonzaga Laban
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. N° 250036
LABORATORIO DE ENGENIERIA Y MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



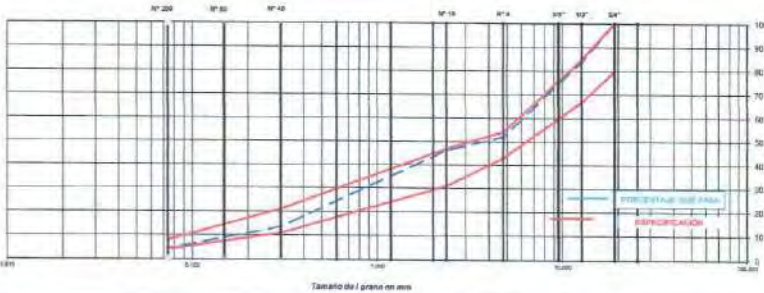
INGENIERIA CIVIL Y GEOTÉCNICA - BRINDANDO SERVICIOS DE DISEÑO Y LABORATORIO DE ENSAYOS Y FORTIFICACIONES

DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA - METODO MARSHALL
ASTM D1559

PROYECTO: COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS MATERIAL: Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente CANTERAS: Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo), Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho), Óptimo de Asfalto 5.9%, Incorporado caucho granular 1.5% de Peso de Arena Gruesa, Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas	TÉCNICO: D. I. O. (10/09/2021) NOMENCLATURA: MEZCLA M2-8
---	--

ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFÁLTICO	
TAMBE ASTM	3/4"	1 1/2"	3/8"	3/16"	Nº 10	Nº 20	Nº 40	Nº 60	Nº 100	Nº 200	Nº 298	Peso Mat. Bitum.
ADJETURA DE WASH	88.955	67.700	8.353	4.769	2.360	2.088	1.189	0.622	0.309	0.148	0.074	Peso Mat. Inerte
RETENIDO PARCIAL	%	14.0	18.1	13.1	5.7	6.8	11.1	12.5	8.0	3.7	6.4	Peso Mat. Lav. #200
RETENIDO ACUMULADO	%	15.8	34.3	48.0	53.7	64.5	75.6	88.1	96.4	99.8	100.0	Peso Total de Fibra
PASA	%	100.0	84.9	86.9	94.3	93.2	88.9	87.5	92.0	96.3	93.6	Peso de Fibra
ESPECIFICACIÓN	%	100	88-100	84-94	88-95			8-21	3-8	2-40		ESPECIFICACIÓN
ASFALTO LIQUIDO												4340.9
FRANCO ASFALTADO												5566.8

REPRESENTACIÓN GRÁFICA




ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	2.0	5.0	5.0	4.0
2. AGREGADO GRUBO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	68.80	65.80	65.80	66.80
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA - Nº 4	%	47.86	47.86	47.86	47.86
4. C.O.R. EN PESO DE LA MEZCLA	%	6.40	1.43	1.43	1.43
5. FLEJER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6. PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.37	1.01	1.01	
7. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO GRUBO - BULK		2.7	2.7	2.7	
8. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.7	2.5	2.5	
9. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO FINO - COR-BULK		2.7	2.7	2.7	
10. PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		1.7	1.7	1.7	
11. PESO DE LA BIRQUETA AL AIRE	gr	1276.8	1276.8	1276.8	
12. PESO DE BIRQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1211.1	1211.1	1211.1	
13. PESO DE LA BIRQUETA EN AGUA	gr	951.8	951.8	951.8	
14. PESO DE LA PARAFINA (19.9)	gr	545.7	530.8	530.8	
15. VOLUMEN (1)	cc	45.6			
16. VOLUMEN DE LA BIRQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	cc	345.7	338.8	338.8	
17. PESO ESPECIFICO BULK DE LA BIRQUETA (8-13)	gr/cc	2.848	2.888	2.855	2.864
18. PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2041	gr/cc	2.381	2.381	2.381	
19. VACÍOS (17-18)*100/17	%	8.8	1.8	8.7	6.8
20. PESO ESPECIFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (20+4)(24)(17+18)	gr/cc	2.075	2.075	2.075	
21. VACÍOS CUANDO CON C.A. 100/28-40/30	%	17.8	16.7	16.8	16.8
22. PESO ESPECIFICO DEL AGREGADO TOTAL (20+4)(24)(17+18)	gr/cc	2.671	2.676	2.676	
23. C.A. ABRORRADO POR AGREGADO TOTAL (100/28)(24-40)(20/19)	%	0.05	0.05	0.05	
24. CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO (1-25)(2-34)(19)	%	4.88	4.96	4.96	
25. FLEJAO	mm	0.0	0.0	0.0	
26. ESTABILIDAD EN CORREDOR	kg	100	100	100	
27. FACTOR DE DIFUSION	K	0.83	0.88	0.88	
28. ESTABILIDAD CORREGIDA	kg	781	772	784	786
29. ESTABILIDAD FLUJAO	N/mm	1853	2412	2404	2272

Grava <3/4" (Cantera Sojo - Bullibar) 48.0%


Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Bullibar) 52.0%

% Óptimo de Asfalto 5.9%




DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIP. Nº 250638
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES L&D


Cel. 945515326 - RUC: 20607462756



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y DEFENSA - BRINDANDO SERVICIOS DE HERRAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL
ASTM D 1559

OBRA COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	TÉCNICO : D. I. G.											
SOLICITADO : LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS	FECHA : 10/09/2020											
MATERIAL : Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente												
CANTERAS : Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo), Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho), Óptimo de Asfalto 5.9%, Incorporado caucho granular 1.5% de Peso de Arena Gruesa. Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas												
ENSAYO GRANULOMÉTRICO												
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 6	Nº 10	Nº 16	Nº 30	Nº 50	Nº 100	Nº 200	<Nº200
ABERTURA EN mm	19.000	12.750	9.525	4.750	2.500	2.000	1.100	0.850	0.300	0.149	0.075	
PESO RETENIDO	%	15.8	18.1	25.1	27	31.8	33.2	33.8	34.4	35.0	35.6	35.6
RETENIDO PARCIAL	%	15.8	33.9	59.0	86.0	117.8	151.0	184.8	219.2	254.2	289.8	289.8
RETENIDO ACUMULADO	%	15.8	33.9	59.0	86.0	117.8	151.0	184.8	219.2	254.2	289.8	289.8
PASA	%	100.0	66.1	41.0	14.0	8.2	4.8	3.2	2.6	2.0	1.4	1.4
ESPECIFICACIÓN	%	100.0	50.0-100	44-74	28-58			5-21		2-43		
ASfalto LIQUIDO												4943.0
TRAMO ASFALTADO												5528.0

REPRESENTACION GRÁFICA



ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559

BRIQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.3	5.3	5.3	5.3
2. AGREGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA > Nº 4	%	45.35	45.35	45.35	45.35
3. AGREGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	47.75	47.75	47.75	47.75
4. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.42	1.42	1.42	1.42
5. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6. PESO ESPECÍFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.83	1.81	1.81	1.81
7. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO GRUESO - BULK		2.7	2.7	2.7	2.7
8. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - BULK		2.8	2.8	2.8	2.8
9. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO FINO - GCR-BULK		1.7	1.7	1.7	1.7
10. PESO ESPECÍFICO FILLER - APARENTE					
11. PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	g	1219.8	1217.8	1218.5	1218.5
12. PESO DE LA BRQUETA AL AGUA	g	1218.8	1218.8	1218.8	1218.8
13. VOLUMEN DE LA BRQUETA (B1-B1)	cc	88.1	88.2	88.1	88.1
14. PESO DE LA PARAFINA (P1-P)	g	107.4	106.4	106.8	106.8
15. VOLUMEN DE PARAFINA (1.3P ₂ parafina)	cc				
16. VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPLAZAMIENTO (1D-14)	cc	87.4	88.4	88.8	88.8
17. PESO ESPECÍFICO BULK DE LA BRQUETA (B16)	g/cc	2.586	2.576	2.587	2.584
18. PESO ESPECÍFICO MÁXIMO ASTM D.2041		2.578	2.570	2.570	2.570
19. VACÍOS (17-18)/100%	%	4.8	4.8	5.3	4.8
20. PESO ESPECÍFICO BULK DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4+5)/(2+3+4+5+6)		2.575	2.578	2.576	2.576
21. V.M.A. 100-(2+3+4)/(19+18)	%	16.8	16.1	17.2	16.9
22. VACÍOS LLENOS CON C.A. 100-(20-19)20	%	71.7	72.8	70.9	71.4
23. PESO ESPECÍFICO DEL AGREGADO TOTAL (2+3+4+5)/(2+3+4+5+6)		2.682	2.682	2.682	2.682
24. C.A. AGREGADO POR AGREGADO TOTAL (100*(20-19)/(22-19))	%	0.12	0.12	0.12	0.12
25. CEMENTO ASFALTICO EFECTIVO 1-(25)/(2+3+4+5+6)		0.30	0.30	0.30	0.30
26. FLUIDO	mm	4.8	3.3	3.4	3.5
27. ESTABILIDAD RM CORRIGIDA	%	98.0	91.1	88.0	91.0
28. FACTOR DE ESTABILIDAD	%	0.89	0.80	0.83	0.83
29. ESTABILIDAD COMPRESIDA	Kg	793	851	873	840
30. ESTABILIDAD FLUIDO	kg/cm ²	1808	2065	2080	2007

OBSERVACIONES:
 Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullivan) 48.0%
 Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho - Sullivan) 52.0%
 % Óptimo de Asfalto 5.9%


DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. CIP. N° 250638
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES (LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS)

Cel. 945515326 - RUC: 20807482786



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE CONSULTAS Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA - METODO MARSHALL

ASTM D1559

OBRA: COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS MATERIAL: Para diseño de mezcla asfáltica en caliente Piedra Chocascos < 3/4" (Cantera Soja), Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho), Óptimo de Asfalto 5.8%, Incorporado caucho granular 1.5% de peso de arena gruesa, Temperatura No mayor de 170°C mínimo 2 horas CANTERAS: Piedra Chocascos < 3/4" (Cantera Soja), Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho), Óptimo de Asfalto 5.8%, Incorporado caucho granular 1.5% de peso de arena gruesa, Temperatura No mayor de 170°C mínimo 2 horas	TÉCNICO: D. I. O. FECHA: 10/03/2020 NOMENCLATURA: MEZCLA M2B
--	---

ENSAYO GRANULOMÉTRICO											LAVADO ASFALTICO			
TAMIZ ASTM	3/4"	1/2"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 10	Nº 15	Nº 20	Nº 30	Nº 40	Nº 60	Q#200	Peso Mat. Secado	gr
ABERTURA EN mm	19.000	12.500	9.500	4.750	2.500	2.000	1.180	0.850	0.600	0.425	0.250	0.075	418.5	gr
PESO RETENIDO gr	1498.3	1017.0	724.3	343.1	184.0	100.0	55.0	30.4	17.1	9.5	5.0	2.8	418.5	gr
RETENIDO PORCENTUAL %	15.8	10.6	7.6	3.6	1.9	1.1	0.6	0.3	0.2	0.1	0.05	0.007	418.5	gr
PASA %	100.0	89.4	92.4	96.4	98.1	98.9	98.9	99.7	99.8	99.9	99.95	99.993	418.5	gr
ESPECIFICACION %	100	90-100	88-100	85-100	80-100	75-100	70-100	65-100	60-100	55-100	50-100	45-100	418.5	gr
TRABO ASFALTADO	Metros Lineales:											FRACCIÓN	%	49.0
												PESO TOTAL	gr	850.0

REPRESENTACION GRÁFICA

Tamaño de grano en mm

ENSAYO MARSHALL ASTM D-1559					
BRQUETAS	Nº	1	2	3	PROMEDIO
1. C.A. EN PESO DE LA MEZCLA	%	5.9	5.8	5.8	5.8
2. AGRGADO GRUESO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	45.11	45.11	45.11	45.11
3. AGRGADO FINO EN PESO DE LA MEZCLA < Nº 4	%	47.48	47.48	47.48	47.48
4. SOR EN PESO DE LA MEZCLA	%	1.41	1.41	1.41	1.41
5. FILLER EN PESO DE LA MEZCLA	%				
6. PESO ESPECIFICO DEL CEMENTO ASFALTICO APARENTE		1.00	1.01	1.01	
7. PESO ESPECIFICO DEL AGRGADO GRUESO - BULK		2.7	2.7	2.7	
8. PESO ESPECIFICO DEL AGRGADO FINO - BULK		2.5	2.5	2.5	
9. PESO ESPECIFICO DEL AGRGADO FINO - SSC-BULK		2.9	2.9	2.9	
10. PESO ESPECIFICO FILLER - APARENTE		1.7	1.7	1.7	
10. PESO DE LA BRQUETA AL AIRE	gr	1973.0	1973.0	1973.0	
11. PESO DE BRQUETA AL AIRE (SATURADO)	gr	1218.0	1218.0	1218.0	
12. PESO DE LA BRQUETA EN AGUA	gr	981.0	981.0	981.0	
13. VOLUMEN DE LA BRQUETA. (10-11)	c.c.	306.0	306.0	306.0	
14. PESO DE LA PARAFINA (10-11)	gr				
15. VOLUMEN DE PARAFINA (13Pa parafina)	c.c.				
16. VOLUMEN DE LA BRQUETA POR DESPLAZAMIENTO (12-14)	c.c.	938.0	938.0	938.0	
17. PESO ESPECIFICO BULK DE LA BRQUETA. (9-16)	gr/c.c.	2.098	2.098	2.098	2.098
18. PESO ESPECIFICO MAXIMO ASTM D-2931	gr/c.c.	2.500	2.500	2.500	
19. VACIOS (17-18)*100/17	%	1.8	1.7	1.8	1.8
20. PESO ESPECIFICO BULK DEL AGRGADO TOTAL (2-3+4)(200-300)(400)		2.075	2.075	2.075	
21. Y.M.A. 186.2(3+4)(16/18)	%	17.2	17.1	17.0	17.1
22. VACIOS LLENOS CON C.A. 180(20-18)(20)	%	77.6	78.8	78.8	78.8
23. PESO ESPECIFICO DEL AGRGADO TOTAL (3+4)(20-18)(17)(18)		2.075	2.075	2.075	
24. C.A. ABSORBIDO POR AGRGADO TOTAL (18)(20-18)(22)(19)	%	0.05	0.03	0.03	
25. COMPROMISO ASFALTICO EFECTIVO (1-2)(23-4)(20)	%	0.90	0.90	0.90	
26. FLUJO	mm	0.4	0.4	0.4	0.4
27. ESTABILIDAD SIN CORRIENTE	gr	317	309	309	
28. FACTOR DE ESTABILIDAD	%	0.82	0.88	0.88	
29. ESTABILIDAD CORREGIDA	gr	358	314	315	329
30. ESTABILIDAD FLUIDO	gr/c.c.	2560	2728	2740	2743

Observaciones:

Quero M^2 (Cantera Soja - Bullana) 48.0%

Arena Gruesa (Cantera Cerro Macho - Bullana) 52.0%

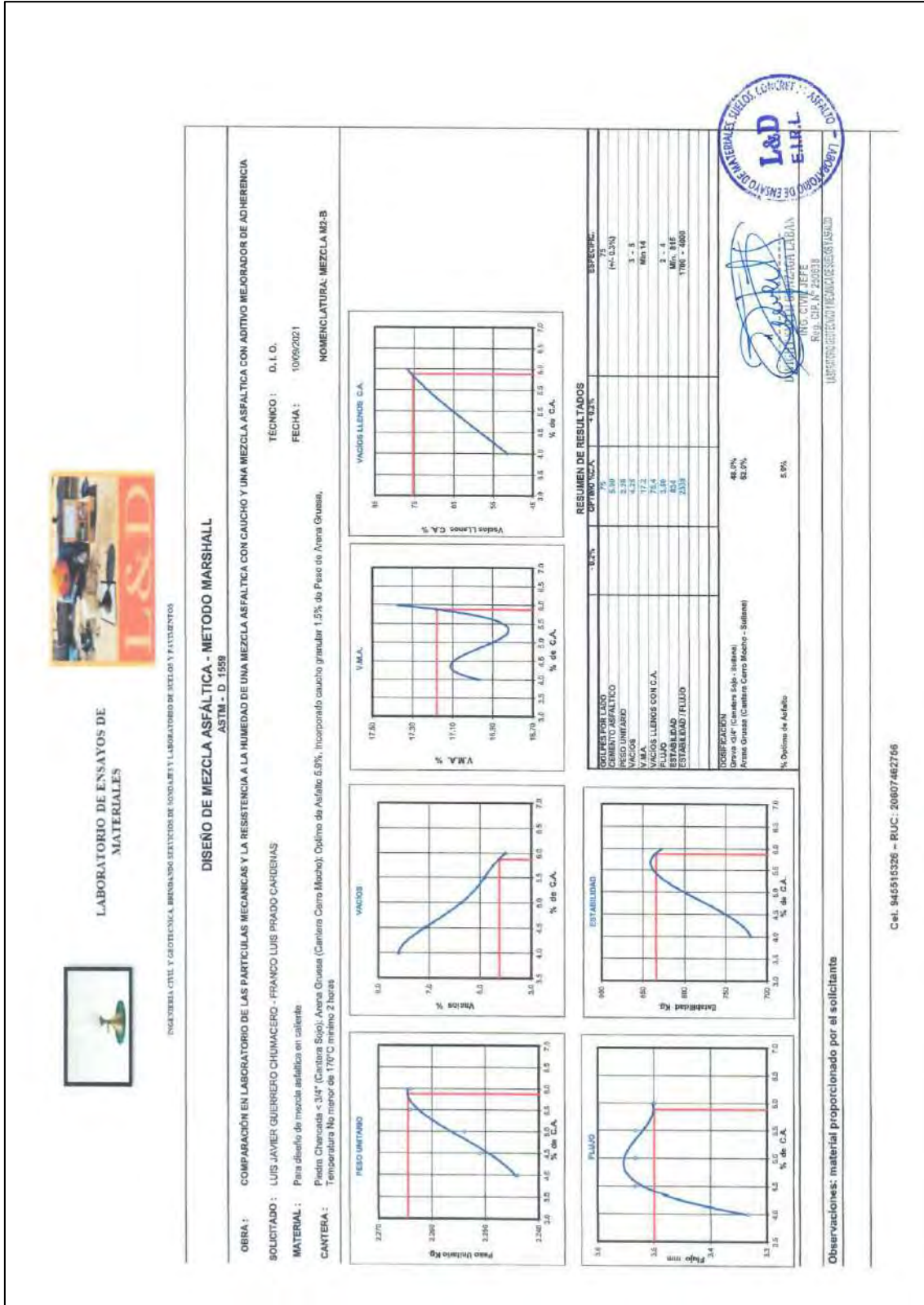
% Optimo de Asfalto 5.8%




Cel. 945515328 - RUC: 20607462756

[Signature]
 DWIGHT SMITH GONZAGA LABAN
 ING. CIVIL JEFE
 Reg. CIP. N° 250030
 LABORATORIO TECNICO (MECANICA DE SUELOS Y ASFALTO)


Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)




LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES




INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SOLOS Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MAXIMA TEÓRICA RICE						
MTG E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209						
OBRA	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA					
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS			TÉCNICO : D. I. O.		
MATERIAL	Para diseño de mezcla asfáltica en caliente			FECHA : 10/09/21		
CANTERA	Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mochó); Optimo de Astaio 5.9%, Incorporado caucho granular 1.5% de Peso de Arena Gruesa, Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas			NOMENCLATURA : MEZCLA M2-B		
ENSAYO	Nº	1	2	3	4	5
Cemento Asfáltico	%	4.00	4.50	5.00	5.50	6.00
Peso del material	gr	1221.40	1230.00	1234.00	1232.00	1224.20
Peso del agua + frasco Rice	gr	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	8703.40	8712.00	8716.00	8714.00	8706.20
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8203.80	8204.90	8200.00	8196.20	8187.20
Volumen del material	cc	499.60	507.10	516.00	517.80	519.00
Peso Especifico Máximo	gr/cc	2.445	2.426	2.391	2.379	2.369
Temperatura de ensayo	°C	25	25	25	25	25
Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana)		48.0	48.0	48.0	48.0	48.0
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mochó - Sullana)	%	52.0	52.0	52.0	52.0	52.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Tiempo de ensayo	Min.	10	10	10	10	10
Factor de Corrección						
Observaciones: material proporcionado por el solicitante						

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756



WRIGHT SMITH GONZAGA LABAN
ING. CIVIL JEFE
Reg. CIR. N° 250039
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, SUELOS, PAVIMENTOS Y GEOTECNICA



Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

Anexo F. Ensayo Lottman modificado

F.1 Mezcla MP



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA A LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (LOTTMAN)
AASHTO T-283 ASTM D 4867 MTC 2013

PROYECTO: COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS

MATERIAL : Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente **TECNICO:** D.I.O.

CANTERAS : Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Optimo de Asfalto 5.43% **FECHA :** 10/08/2021

NOMENCLATURA: MEZCLA PATRON

EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS
ASTM D-4867 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO

Nº Probetas		04	05	06	01	02	03		
% cemento asfáltico: 5.43%		Grupo Saturado			Grupo Seco				
Nº golpes por cara: 25									
A	Diametro	cm	10.21	10.16	10.16	10.16	10.16		
B	Espesor	cm	6.87	6.75	6.78	6.76	6.78		
C	Peso Probeta al Aire	gr	1224.4	1220.0	1224.2	1223.5	1221.5		
D	Peso de la Probeta Saturada	gr	1226.9	1230.5	1225.5	1226.8	1224.3		
E	Peso de la Probeta en el Agua	gr	690.5	691.5	688.4	688.4	683.5		
F	Volumen de la Probeta (D-E)	cc	536.4	539.0	537.1	540.4	536.3		
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)	gr/cc	2.283	2.275	2.279	2.264	2.276		
H	Peso Especifico Maximo (RICE)	gr/cc	2.440	2.440	2.440	2.440	2.440		
I	% Vacios $100*((H-G)/H)$	%	6.45	6.78	6.59	7.21	6.65		
J	Volumen de Vacios $(F*H)/100$	cc	34.60	36.54	35.38	38.97	35.69		
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 60°C									
K	Peso de la Probeta Saturada	gr	1247.5	1251.2	1247.5	NO SE EJECUTA			
L	Peso de la Probeta en el Agua	gr	705.7	710.3	707.8				
M	Volumen de la Probeta (K-L)	cc	541.8	540.9	539.7				
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)	cc	23.1	25.2	23.3				
O	Saturación $100*(N)/J$	%	66.8	69.0	65.9				
P	Hinchamiento $100*((M-F)/F)$	%	1.01	0.35	0.48				
CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño Maria 60°C									
Q	Espesor	cm	6.83	6.70	6.70	70.99			
R	Peso de la Probeta Saturada	gr	1244.1	1251.2	1255.0				
S	Peso de la Probeta en el Agua	gr	702.8	705.0	706.7				
T	Volumen de la Probeta (R-S)	cc	541.3	546.2	548.3				
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)	cc	19.7	25.2	30.8				
V	Saturación $100*(U)/J$	%	56.9	69.0	87.1				
W	Hinchamiento $100*((T-F)/F)$	%	0.91	1.34	2.09				
X	Carga de Tracción Indirecta	kg	172	160	185				
Y	Resistencia Seca $(Z*X)/(A*B*m)$	kg/cm ²						4.92	4.77
Z	Resistencia Humedad $(Z*X)/(A*Q*m)$	kg/cm ²	1.5	1.5	1.5			4.5	4.4
Resistencia Retenida									
Daños en la Mezcla									
TSR		%				34.68			

Observaciones: Muestra saturada en vacío realizado por 15 min. a 25" Hg.




ING. CIVIL JEFE
 Reg. COT 17 20038
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES L&D

Cel. 945515326 – RUC: 20607462756




Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

F.2 Mezcla M1



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDARES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA A LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (LOTTMAN)
AASHTO T-283 ASTM D 4887 MTC 2013

PROYECTO: COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO GARDENAS

MATERIAL : Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente **TECNICO:** D.I.C.


CANTERAS : Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo), Arena Gruesa (Cantera Cerro Mochi), Optimo de Asfalto 5.25%; Optimo de aditivo Ricot Z 1% **FECHA :** 10/09/2021

NOMENCLATURA: MEZCLA 01


EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS
ASTM D-4887 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO

		04	05	06	01	02	03
Nº Probetas							
% cemento asfáltico: 5.25%		Grupo Saturado			Grupo Seco		
Nº golpes por cara: 25							
A	Diámetro	cm	10.20	10.18	10.20	10.16	10.17
B	Espesor	cm	6.35	6.45	6.50	6.75	6.75
C	Peso Probeta al Aire	gr	1225.0	1226.0	1226.7	1224.7	1226.5
D	Peso de la Probeta Saturada	gr	1227.9	1228.3	1227.1	1225.4	1227.6
E	Peso de la Probeta en el Agua	gr	691.5	692.1	689.4	687.4	689.0
F	Volumen de la Probeta (D-E)	cc	536.4	536.2	537.7	536.0	538.6
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)	gr/cc	2.284	2.286	2.280	2.276	2.277
H	Peso Especifico Maximo (RICE)	gr/cc	2.437	2.437	2.437	2.437	2.437
I	% Vacios 100*((H-G)/H)	%	6.29	6.18	6.46	6.59	6.56
J	Volumen de Vacios (F*J)/100	cc	33.73	33.12	34.75	35.46	35.32
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 60°C							
K	Peso de la Probeta Saturada	gr	1244.0	1250.2	1247.7		
L	Peso de la Probeta en el Agua	gr	704.8	713.4	701.5		
M	Volumen de la Probeta (K-L)	cc	539.2	536.8	546.2		
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)	cc	19.0	24.2	22.0		
O	Saturación 100*(N)/J	%	56.3	73.1	63.3		
P	Hinchamiento 100*((M-F)/F)	%	0.52	0.11	1.58		
CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño Maria 60°C							
Q	Espesor	cm	6.60	6.60	6.70		
R	Peso de la Probeta Saturada	gr	1247.0	1245.0	1252.0		
S	Peso de la Probeta en el Agua	gr	702.8	705.0	701.5		
T	Volumen de la Probeta (R-S)	cc	544.2	540.0	550.5		
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)	cc	22.0	19.0	26.3		
V	Saturación 100*(U)/J	%	65.2	57.4	75.7	66.09	
W	Hinchamiento 100*((T-F)/F)	%	1.45	0.71	2.38		
X	Carga de Tracción Indirecta	kg	508	507	509	571	575
Y	Resistencia Seca (2*X)/(A*B*n)	kg/cm ²				5.3	5.3
Z	Resistencia Humedad (2*X)/(A*Q*n)	kg/cm ²	4.8	4.8	4.7		5.3
	Resistencia Retenida						
	Daños en la Mezcla						
	TSR	%				90.19	

Observaciones: Muestra saturada en vacio realizado por 15 min. a 25" Hg.




DWIGHT SMITH GONZALEZ LABAY
ING. CIVIL JEFE
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES, SUELOS, CONCRETO Y ASFALTO




Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

F.3 Mezcla M2-A



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SULLOS Y PAVIMENTOS

ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA A LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (LOTTMAN)
AASHTO T-283 ASTM D 4867 MTC 2013

PROYECTO: COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON GAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS

MATERIAL : Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente

CANTERAS : Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Óptimo de Asfalto 5.7%; Incorporando caucho granular 1% de Peso de Arena Gruesa; Temperatura No mayor de 170°C mínimo 2 horas


NOMENCLATURA: MEZCLA 02-A

TECNICO: D.I.O
FECHA : 10/09/2021


EFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS
ASTM D-4867 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO

		04	06	06	01	02	03		
N° Probetas		Grupo Saturado			Grupo Seco				
% cemento asfáltico: 5.70%									
N° golpes por cara: 25									
A	Diametro	cm	10.35	10.25	10.25	10.10	10.10		
B	Espesor	cm	6.70	6.66	6.61	6.70	6.70		
C	Peso Probeta al Aire	gr	1223.4	1225.5	1223.7	1223.0	1220.9		
D	Peso de la Probeta Saturada	gr	1226.3	1231.1	1230.4	1225.1	1222.8		
E	Peso de la Probeta en el Agua	gr	688.7	691.5	689.0	686.4	683.9		
F	Volumen de la Probeta (D-E)	cc	537.6	539.6	541.4	536.7	538.9		
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)	gr/cc	2.276	2.271	2.260	2.270	2.266		
H	Peso Especifico Maximo (RICE)	gr/cc	2.441	2.441	2.441	2.441	2.441		
I	% Vacios 100*((H-G)/H)	%	6.77	6.96	7.40	6.99	7.19		
J	Volumen de Vacios (F*H)/100	cc	36.41	37.55	40.09	37.68	38.74		
MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 60°C									
K	Peso de la Probeta Saturada	gr	1242.0	1250.0	1245.7	NO SE EJECUTA			
L	Peso de la Probeta en el Agua	gr	703.0	708.4	702.8				
M	Volumen de la Probeta (K-L)	cc	539.0	541.6	542.9				
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)	cc	18.6	24.5	22.0				
O	Saturación 100*(N)/J	%	51.1	65.2	54.9				
P	Hinchamiento 100*((M-F)/F)	%	0.26	0.37	0.28				
CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño Maria 60°C									
Q	Espesor	cm	6.63	6.68	6.51	50.36			
R	Peso de la Probeta Saturada	gr	1241.0	1246.0	1243.0				
S	Peso de la Probeta en el Agua	gr	700.4	702.0	701.0				
T	Volumen de la Probeta (R-S)	cc	540.6	544.0	542.0				
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)	cc	17.6	20.5	19.3				
V	Saturación 100*(U)/J	%	48.3	54.6	48.1				
W	Hinchamiento 100*((T-F)/F)	%	0.58	0.82	0.11				
X	Carga de Tracción Indirecta	kg	394	397	392			481	471
Y	Resistencia Seca (2*X)/(A*B*n)	kg/cm ²						4.53	4.43
Z	Resistencia Humedad (2*X)/(A*Q*n)	kg/cm ²	3.7	3.7	3.7				
Resistencia Retenida									
Daños en la Mezcla									
TSR		%				82.74			

Observaciones: Muestra saturada en vacio realizado por 15 min. a 25" Hg.




Ing. LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO
 Ing. Civil No. 280538
 LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SUELOS Y PAVIMENTOS



Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

F.4 Mezcla M2-B



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES

INGENIERIA CIVIL Y GEOTECNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS



ENSAYO DE RESISTENCIA CONSERVADA A LA PRUEBA DE TRACCION INDIRECTA (LOTTMAN)
AASHTO T-283 ASTM D 4867 MTC 2013

PROYECTO: COMPARACION EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA

SOLICITADO: LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS

MATERIAL : Para Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente

CANTERAS : Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo), Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho); Óptimo de Asfalto 5.9%; incorporando caucho granular 1.5% de Peso de Arena Gruesa; Temperatura No menor de 170°C mínimo 2 horas

TECNICO: D.I.O.

FECHA : 10/09/2021

NOMENCLATURA: MEZCLA 02 - B

EFFECTO DE HUMEDAD SOBRE MEZCLAS ASFALTICAS
ASTM D-4867 AASHTO T-283 LOTTMAN MODIFICADO

N° Probetas		04	05	06	01	02	03
% cemento asfáltico: 5.90%		Grupo Saturado			Grupo Seco		
N° golpes por cara: 25							
A	Diametro	cm	10.33	10.22	10.23	10.10	10.10
B	Espesor	cm	6.66	6.66	6.77	6.70	6.70
C	Peso Probeta al Aire	gr	1223.0	1224.4	1222.9	1222.4	1220.3
D	Peso de la Probeta Saturada	gr	1224.8	1224.2	1223.8	1226.1	1222.8
E	Peso de la Probeta en el Agua	gr	686.2	686.5	685.4	686.4	685.0
F	Volumen de la Probeta (D-E)	cc	536.8	537.7	538.4	539.7	537.8
G	Peso Especifico Bulk de la Probeta (C-F)	gr/cc	2.279	2.277	2.271	2.265	2.269
H	Peso Especifico Maximo (RICE)	gr/cc	2.446	2.448	2.448	2.448	2.448
I	% Vacios 100*((H-G)/H)	%	6.90	6.98	7.22	7.48	7.31
J	Volumen de Vacios (F*J)/100	cc	37.01	37.54	38.85	40.35	39.31

MUESTRA SATURADA EN VACIO 19 A 28" Hg. de 5 a 15min. Agua destilada 60°C

K	Peso de la Probeta Saturada	gr	1241.4	1247.8	1245.1	NO SE EJECUTA	
L	Peso de la Probeta en el Agua	gr	601.4	704.1	599.1		
M	Volumen de la Probeta (K-L)	cc	550.0	543.7	546.0		
N	Volumen de agua de Absorción (K-C)	cc	18.4	23.4	22.2		
O	Saturación (100*N)/J	%	49.7	62.3	57.1		
P	Hinchamiento 100*((M-F)/F)	%	2.50	1.12	1.41		

CONDICION DE SATURACION A 24Hrs. Baño María 60°C

Q	Espesor	cm	6.53	6.68	6.51		
R	Peso de la Probeta Saturada	gr	1240.0	1244.0	1242.0		
S	Peso de la Probeta en el Agua	gr	700.1	701.8	699.0		
T	Volumen de la Probeta (R-S)	cc	539.9	542.2	543.0		
U	Volumen de agua de Absorción (R-C)	cc	17.0	19.6	19.1		
V	Saturación (100*U)/J	%	45.9	52.2	49.2	49.1	
W	Hinchamiento 100*((T-F)/F)	%	0.61	0.84	0.85		
X	Carga de Tracción Indirecta	kg	304	301	302	355	354
Y	Resistencia Seca (2*X)/(A*B*π)	kg/cm ²				3.3	3.3
Z	Resistencia Humedad (2*X)/(A*Q*π)	kg/cm ²	2.9	2.8	2.9	3.3	3.3
	Resistencia Retenida						
	Daños en la Mezcla						
	TSR	%				85.84	

Observaciones: Muestra saturada en vacio realizado por 15 min. a 25" Hg.



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SUELOS, GEOTECNICA Y PAVIMENTOS
 ING. CIVIL E.I.R.L.
 RUC: 20607462756



Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)

F.5 Peso específico máximo (RICE)



LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES



INGENIERÍA CIVIL Y GEOTÉCNICA, BRINDANDO SERVICIOS DE SONDAJES Y LABORATORIO DE SUELOS Y PAVIMENTOS

DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA RICE
MTC E-508, ASTM D-2041, AASHTO T-209

OBRA	COMPARACIÓN EN LABORATORIO DE LAS PARTICULAS MECANICAS Y LA RESISTENCIA A LA HUMEDAD DE UNA MEZCLA ASFALTICA CON CAUCHO Y UNA MEZCLA ASFALTICA CON ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	
SOLICITADO	LUIS JAVIER GUERRERO CHUMACERO - FRANCO LUIS PRADO CARDENAS	TÉCNICO : D. I. O.
MATERIAL	Para diseño de mezcla asfáltica en caliente	FECHA : 10/09/21
CANTERA	Piedra Chancada < 3/4" (Cantera Sojo); Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho)	

MEZCLAS	Nº	MP	M1	M2-A	M2-B
Cemento Asfáltico	%	5.43	5.25	5.70	5.90
Peso del material	gr	1238.50	1233.50	1232.80	1237.20
Peso del agua + frasco Rica	gr	7482.00	7482.00	7482.00	7482.00
Peso del material + frasco + agua (en aire)	gr	8720.50	8715.50	8714.90	8719.20
Peso del material + frasco + agua (en agua)	gr	8213.00	8209.40	8209.80	8213.80
Volumen del material	cc	507.50	506.10	505.10	505.40
Peso Específico Máximo	gr/cc	2.440	2.437	2.441	2.448
Temperatura de ensayo	°C	25	25	25	25
Grava <3/4" (Cantera Sojo - Sullana)		48.0	48.0	48.0	48.0
Arena Gruesa (Cantera Cerro Mocho - Sullana)	%	52.0	52.0	52.0	52.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0
0	%	0.0	0.0	0.0	0.0
Tiempo de ensayo	Min.	10	10	10	10
Factor de Corrección					

Observaciones: material proporcionado por el solicitante



MIGUEL JEFE
Reg. CIV. N° 289678
LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES SUPERIOR CONCRETO Y ASFALTO



Cel. 945515326 – RUC: 20607462756

Fuente: (Laboratorio de ensayos de materiales L&D, 2021)