

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

**DISEÑO Y ELABORACIÓN DE MORTERO ASFÁLTICO
INCORPORANDO RESIDUOS DE LA REMOCIÓN DE CAUCHO
DE LA PISTA DEL AEROPUERTO MARISCAL SUCRE DE
QUITO**

SAGNAY ANAGUANO NORMITA ISADORA

OCAMPO CHÁVEZ OSCAR EDUARDO

Trabajo previo a la obtención del Título de Ingeniero Civil

Quito, julio 2018

DEDICATORIA

A mis padres Norma y Luis Fernando. Gracias por todo el esfuerzo que han realizado para que esta etapa de mi vida culmine de la mejor manera. Gracias por los valores y el ejemplo que han inculcado en sus hijos. Los amo infinitamente.

Normita Sagnay Anaguano

AGRADECIMIENTO

Agradezco a las personas que siempre han estado a mi lado, que más amo y por quienes siempre deseo mejorar; mis padres, hermanos y sobrinos.

A mi confidente y mejor amiga de toda la vida, mi linda sobrina Analía.

A mi cuñado Santiago Rodríguez; por sus consejos, cariño y por el gran ser humano que es.

A mi enamorado Andrés Jácome; por estos años compartiendo y creciendo juntos.

A mi compañero en esta investigación y mejor amigo Oscar Ocampo, empezamos juntos y terminamos juntos amigo mío.

A los ingenieros Patricio Bonilla, Jorge Albuja y Marcos Jácome, director y revisores de esta investigación; por la ayuda brindada para desarrollar este tema de disertación.

Un agradecimiento muy especial al personal administrativo y operativo de la empresa IMPTEK, por permitirme desarrollar esta investigación en los laboratorios de su planta industrial.

Normita Sagnay Anaguano

DEDICATORIA

La culminación de esta etapa se la dedico a la persona que me ha guiado y enseñado todo lo necesario para poseer los valores morales que me han formado como persona. Sus enseñanzas han sido lecciones de vida para mí. Parafraseando al poeta Rabindranath Tagore “*Cuando su voz se silencie para siempre, su corazón me seguirá hablando*”. Deseo poder cumplir sus expectativas, para poder honrar la dedicación que ha tenido conmigo para formarme como un ser humano recto en toda la extensión de la palabra.

Oscar Eduardo Ocampo Chávez

AGRADECIMIENTO

Agradezco de todo corazón a mis padres Manuel Ocampo y Alicia Chávez quienes me han apoyado en este proceso, hasta su culminación con este trabajo de investigación.

A mi Abuelita Ángela Cabezas que estuvo pendiente de mí durante mi infancia que me ayudó con su amor a ser la persona que soy ahora.

A mis familiares, amigos que me han acompañado y de quienes aprendido para ser una mejor persona día a día.

A mi mejor amiga Normita Sagnay que siempre nos hemos apoyamos durante la carrera hasta finalizar juntos con este trabajo de investigación.

Al ingeniero Patricio Bonilla director de esta investigación, ya que sin su orientación no hubiera sido posible este trabajo, a los ingenieros Marcos Jácome y Jorge Albuja, revisores, que nos mostraron las pautas necesarias para presentar un trabajo íntegro y de calidad.

A la empresa IMPTEK y de manera especial al área de Viales, quienes permitieron el uso de su laboratorio para desarrollar esta investigación.

Oscar Eduardo Ocampo Chávez

RESUMEN

Esta investigación partió de la idea de reutilizar en mezclas de mortero asfáltico, el residuo de caucho de llantas de aviones, removido en procesos de limpieza de la pista de aterrizaje del aeropuerto Mariscal Sucre de Quito; con el fin de que este material no sea desechado como un contaminante para el medio ambiente.

El presente documento se enfocó en el diseño de mortero asfáltico con agregados pétreos de las canteras de Pifo y Guayllabamba, basándose en la norma ISSA A 105 y su boletín técnico, por lo que se muestra detalladamente este proceso. Además, se realizó la caracterización de agregados y verificación de datos de la emulsión asfáltica utilizada.

Se estableció como línea base el diseño completo para cada cantera, donde se encontró el porcentaje óptimo de emulsión asfáltica y agua que debe ser utilizado para cada agregado; para después probar este diseño añadiendo diferentes proporciones de residuo de caucho.

Para el proceso de combinación de agregados con residuo de caucho se empleó dos formas de mezcla; la primera en la cual se mantuvo la granulometría natural de los agregados, y la segunda añadiendo el residuo de caucho en proporciones al peso por lo cual la granulometría original se modificó, pero siempre se mantuvo dentro de los límites permitidos para el tipo de mortero asfáltico diseñado.

La investigación comparó dos diferentes agregados pétreos para determinar el comportamiento de la adición de residuo de caucho en cada una de ellas y finalmente determinar el cambio en las características físico-mecánicas de la mezcla.

ABSTRACT

This research was based on the idea of reusing in Slurry Seal rubber aircraft tires residue, removed in the Quito's Mariscal Sucre airport runway of cleanup processes; in order that this material is not discarded as a pollutant in the environment.

This document focused on the Slurry Seal design with stone aggregates from Pifo and Guayllabamba quarries, based on the ISSA A 105 guideline and its technical bulletin, so this process is shown in detail. In addition, the characterization of aggregates a data verification of the asphalt emulsion used was carried out

The complete design for each quarry was established as a baseline, where the optimal percentage of asphalt emulsion and water was found and must be used for both aggregates; to later test this design adding different proportions of rubber residue.

For the aggregates with rubber residue combination process, two forms of mixture were used; the first one, in which the natural granulometry of the aggregates was maintained, and the second one adding the rubber residue in proportions to the weight for which the original granulometry was modified but always stayed within the limits allowed for the type of Slurry Seal designed.

The research compared two different stone aggregates to determine the behavior of the rubber residue addition in each one of them and finally determine the change in the physic-mechanical characteristics of the mixture.

CONTENIDO

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2. OBJETIVOS	3
1.2.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.3. JUSTIFICACIÓN	4
1.4. ALCANCE	4
1.5. MARCO TEÓRICO	5
1.5.1. MORTERO ASFÁLTICO	5
1.5.1.1. Mortero asfáltico tipo I	6
1.5.1.2. Mortero asfáltico tipo II	6
1.5.1.3. Mortero asfáltico tipo III.....	6
1.5.2. COMPONENTES DE UN MORTERO ASFÁLTICO	6
1.5.2.1. Agregados pétreos.....	6
1.5.2.1.1. Ensayos de agregados pétreos utilizados para el diseño de morteros asfálticos	7
1.5.2.1.1.1. Granulometría ASTM C 136	7
1.5.2.1.1.2. Equivalente de arena ASTM D 2419.....	8
1.5.2.1.1.3. Desgaste por ataque de los sulfatos ASTM C 88.....	8
1.5.2.1.1.4. Desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles ASTM C 131	8
1.5.2.2. Emulsión asfáltica	9
1.5.2.2.1. Tipo de emulsiones asfálticas	9
1.5.2.2.1.1. Aniónicas.....	10
1.5.2.2.1.2. Catiónicas	10
1.5.2.2.1.3. Rotura rápida	10
1.5.2.2.1.4. Rotura media	11
1.5.2.2.1.5. Rotura lenta	11
1.5.2.2.2. Ensayos de emulsiones asfálticas utilizadas para el diseño de morteros asfálticos	
11	
1.5.2.2.2.1. Contenido de asfalto ASTM D 6997	12
1.5.2.2.2.2. Penetración en el residuo ASTM D 5	12
1.5.2.2.2.3. Asentamiento a las 24 horas ASTM D 6930	12
1.5.2.2.2.4. Estabilidad en el almacenamiento ASTM D 6930.....	12
1.5.2.2.2.5. Prueba del tamiz # 20 ASTM D 6933	13
1.5.2.2.2.6. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C ASTM D 7496.....	13
1.5.2.2.2.7. Mezcla con cemento ASTM D 6935	13
1.5.2.2.2.8. Carga de partícula ASTM D 7402	13
1.5.2.3. Agua.....	14
1.5.2.4. Residuo de caucho	14
1.5.3. INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION (ISSA).....	15

1.5.4.	ENSAYOS PARA DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS	16
1.5.4.1.	Prueba de mezclado manual TB 113.....	16
1.5.4.1.1.	Equipo.....	16
1.5.4.1.2.	Procedimiento	17
1.5.4.2.	Ensayo de consistencia con el cono TB 106	20
1.5.4.2.1.	Equipo.....	20
1.5.4.2.2.	Procedimiento	20
1.5.4.3.	Ensayo de peladura en húmedo TB 114.....	22
1.5.4.3.1.	Equipo.....	22
1.5.4.3.2.	Procedimiento	23
1.5.4.4.	Prueba de abrasión húmeda TB 100.....	24
1.5.4.4.1.	Equipo.....	25
1.5.4.4.2.	Procedimiento	25
1.5.4.5.	Prueba de rueda cargada TB 109	30
1.5.4.5.1.	Equipo.....	31
1.5.4.5.2.	Procedimiento	31
1.5.4.6.	Mezcla óptima de mortero asfáltico TB 111	36
1.5.4.6.1.	Procedimiento	36
1.5.4.7.	Ensayo de cohesión TB 139.....	37
1.5.4.7.1.	Equipo.....	37
1.5.4.7.2.	Procedimiento	38
1.5.5.	MEZCLA DE MORTERO ASFÁLTICO MODIFICADO CON RESIDUO DE CAUCHO POR VÍA HÚMEDA	42
1.5.6.	MEZCLA DE MORTERO ASFÁLTICO MODIFICADO CON RESIDUO DE CAUCHO POR VÍA SECA	42
1.5.6.1.	Mezcla manteniendo la granulometría natural del agregado.....	42
1.5.6.1.1.	Cálculo del porcentaje real de residuo de caucho utilizado	43
1.5.6.2.	Mezcla al peso.....	44
1.6.	HIPÓTESIS.....	44
2.	CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE AGREGADOS PÉTREOS, EMULSIÓN ASFÁLTICAS Y DEMÁS COMPONENTES DE UN MORTERO ASFÁLTICO.....	45
2.1.	AGREGADOS PÉTREOS	45
2.1.1.	CANTERA DE GUAYLLABAMBA	45
2.1.1.1.	Resultados del ensayo de granulometría	47
2.1.1.2.	Resultados del ensayo de equivalente de arena.....	48
2.1.1.3.	Resultados del ensayo de desgaste por ataque de los sulfatos.....	49
2.1.1.4.	Resultados del ensayo de desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles	49
2.1.2.	CANTERA DE PIFO	50
2.1.2.1.	Resultados del ensayo de granulometría	51
2.1.2.2.	Resultados del ensayo de equivalente de arena.....	52
2.1.2.3.	Resultados del ensayo de desgaste por ataque de los sulfatos.....	53

2.1.2.4.	Resultados del ensayo de desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles	53
2.1.3.	COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE AGREGADOS PÉTREOS	54
2.2.	EMULSIÓN ASFÁLTICA.....	55
2.2.1.	DESCRIPCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA	55
2.2.2.	HOJA DE CALIDAD DE LA EMULSIÓN CSS-1h	56
2.3.	RESIDUO DE CAUCHO.....	56
2.3.1.	GRANULOMETRÍA DEL RESIDUO DE CAUCHO	57
3.	CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DISEÑO DE	
MORTERO ASFÁLTICO	59	
3.1.	DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMA CON MATERIAL DE GUAYLLABAMBA	59
3.1.1.	PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113	59
3.1.2.	ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106	60
3.1.3.	ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114	63
3.1.4.	PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100	64
3.1.5.	PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109	64
3.1.6.	MEZCLA ÓPTIMA DE MORTERO ASFÁLTICO TB 111	65
3.1.7.	ENSAYO DE COHESIÓN TB 139	66
3.2.	DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMA CON MATERIAL DE PIFO	67
3.2.1.	PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113	67
3.2.2.	ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106	67
3.2.3.	ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114	69
3.2.4.	PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100	69
3.2.5.	PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109	70
3.2.6.	MEZCLA ÓPTIMA DE MORTERO ASFÁLTICO TB 111	70
3.2.7.	ENSAYO DE COHESIÓN TB 139	71
3.3.	COMPARACIÓN DE MEZCLA ÓPTIMA DE GUAYLLABAMBA CON Y SIN	
RESIDUO DE CAUCHO	72	
3.3.1.	MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL	
GUAYLLABAMBA	72	
3.3.1.1.	Cálculo del porcentaje real de caucho utilizado en la mezcla manteniendo la	
granulometría natural Guayllabamba	75	
3.3.2.	MEZCLA AL PESO GUAYLLABAMBA.....	75
3.3.3.	PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113	79
3.3.4.	ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106	80
3.3.5.	ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114	82
3.3.6.	PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100	83
3.3.7.	PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109	85
3.3.8.	ENSAYO DE COHESIÓN TB 139	87
3.4.	COMPARACIÓN DE MEZCLA ÓPTIMA DE PIFO CON Y SIN RESIDUO DE	
CAUCHO.....	89	

3.4.1.	MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL PIFO	89
3.4.1.1.	Cálculo del porcentaje real de caucho utilizado en la mezcla manteniendo la granulometría natural Pifo	92
3.4.2.	MEZCLA AL PESO PIFO	92
3.4.3.	PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113	96
3.4.4.	ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106	97
3.4.5.	ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114	98
3.4.6.	PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100	100
3.4.7.	PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109	102
3.4.8.	ENSAYO DE COHESIÓN TB 139	104
4.	CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	107
4.1.	CONCLUSIONES.....	107
4.2.	RECOMENDACIONES	113
5.	BIBLIOGRAFÍA	114
6.	ANEXOS.....	116

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPO DE MORTERO ASFÁLTICO SEGÚN SU GRANULOMETRÍA. (ISSA, 2010).....	5
TABLA 2. ESPECIFICACIONES DE AGREGADOS PÉTREOS PARA MORTERO ASFÁLTICO. (ISSA, 2010).....	7
TABLA 3. TIPO DE MORTERO ASFÁLTICO SEGÚN ASFALTO RESIDUAL. (ISAA, 2010).....	9
TABLA 4. ESPECIFICACIONES DE EMULSIÓN ASFÁLTICA CSS-1H. (ASTM, 2010)	11
TABLA 5. ENSAYOS PARA MORTERO ASFÁLTICO. (ISSA, 2010)	16
TABLA 6. FACTORES DE TRANSFORMACIÓN DE ABRASIÓN HÚMEDA. (ISSA, 2010).....	29
TABLA 7. GRANULOMETRÍA GUAYLLABAMBA	47
TABLA 8. EQUIVALENTE DE ARENA GUAYLLABAMBA	48
TABLA 9. DESGASTE A LOS SULFATOS GUAYLLABAMBA	49
TABLA 10. DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES GUAYLLABAMBA	50
TABLA 11. GRANULOMETRÍA PIFO	51
TABLA 12. EQUIVALENTE DE ARENA PIFO	52
TABLA 13. DESGASTE A LOS SULFATOS PIFO	53
TABLA 14. DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES PIFO	54
TABLA 15. HOJA DE CALIDAD DE EMULSIÓN CSS-1H. (IMPTEK, 2018).....	56
TABLA 16. GRANULOMETRÍA RESIDUO DE CAUCHO.....	57
TABLA 17. RESULTADOS DE MEZCLADO MANUAL GUAYLLABAMBA	59
TABLA 18. RESULTADOS DE CONSISTENCIA CON EL CONO CON 17% DE EMULSIÓN GUAYLLABAMBA	60
TABLA 19. RESULTADOS DE CONSISTENCIA CON EL CONO CON 13% DE EMULSIÓN GUAYLLABAMBA	61
TABLA 20. RESULTADOS DE CONSISTENCIA CON EL CONO CON 21% DE EMULSIÓN GUAYLLABAMBA	62
TABLA 21. RESULTADOS DE ABRASIÓN HÚMEDA GUAYLLABAMBA	64
TABLA 22. RESULTADOS DE RUEDA CARGADA GUAYLLABAMBA	64
TABLA 23. RESULTADOS DE COHESIÓN GUAYLLABAMBA	66
TABLA 24. RESULTADOS DE MEZCLADO MANUAL PIFO	67
TABLA 25. RESULTADOS DE ABRASIÓN HÚMEDA PIFO	69
TABLA 26. RESULTADOS DE RUEDA CARGADA PIFO	70
TABLA 27. RESULTADOS DE COHESIÓN PIFO.....	71
TABLA 28. MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO GUAYLLABAMBA	74
TABLA 29. TAMICES REEMPLAZADOS GUAYLLABAMBA	75
TABLA 30. PORCENTAJE REAL DE CAUCHO REEMPLAZADO GUAYLLABAMBA.....	75
TABLA 31. MEZCLA AL PESO GUAYLLABAMBA 65% Y RESIDUO DE CAUCHO 35%	76
TABLA 32. MEZCLA AL PESO GUAYLLABAMBA 85% Y RESIDUO DE CAUCHO 15%.....	77
TABLA 33. MEZCLA AL PESO GUAYLLABAMBA 95% Y RESIDUO DE CAUCHO 5%.....	77
TABLA 34. COMPARACIÓN DE MEZCLADO MANUAL GUAYLLABAMBA.....	79
TABLA 35. COMPARACIÓN DE CONSISTENCIA CON EL CONO GUAYLLABAMBA.....	80
TABLA 36. COMPARACIÓN DE PELADURA EN HÚMEDO GUAYLLABAMBA	82
TABLA 37. COMPARACIÓN DE ABRASIÓN HÚMEDA GUAYLLABAMBA	83
TABLA 38. COMPARACIÓN DE RUEDA CARGADA GUAYLLABAMBA.....	85
TABLA 42. RESULTADOS DE COHESIÓN GUAYLLABAMBA 75% Y CAUCHO 25%	87

TABLA 43. RESULTADOS DE COHESIÓN GUAYLLABAMBA 97% Y CAUCHO 3%	88
TABLA 41. MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO PIFO	91
TABLA 42. TAMICES REEMPLAZADOS PIFO.....	92
TABLA 43. PORCENTAJE REAL DE CAUCHO REEMPLAZADO PIFO	92
TABLA 44. MEZCLA AL PESO PIFO 70% Y RESIDUO DE CAUCHO 30%	93
TABLA 45. MEZCLA AL PESO PIFO 85% Y RESIDUO DE CAUCHO 15%	93
TABLA 46. MEZCLA AL PESO PIFO 95% Y RESIDUO DE CAUCHO 5%	94
TABLA 47. COMPARACIÓN DE MEZCLADO MANUAL PIFO.....	96
TABLA 48. COMPARACIÓN DE CONSISTENCIA EN EL CONO PIFO	97
TABLA 49.COMPARACIÓN DE PELADURA EN HÚMEDO PIFO	99
TABLA 50. COMPARACIÓN DE ABRASIÓN HÚMEDA PIFO	100
TABLA 51. COMPARACIÓN DE RUEDA CARGADA PIFO.....	102
TABLA 52. RESULTADOS DE COHESIÓN PIFO 75% Y CAUCHO 25%.....	104
TABLA 53. RESULTADOS DE COHESIÓN PIFO 95% Y CAUCHO 5%	105

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1. CLASIFICACIÓN DE SISTEMAS DE MORTERO ASFÁLTICO POR EL MÉTODO DE COHESIÓN	41
GRÁFICO 2. CURVA GRANULOMÉTRICA GUAYLLABAMBA	48
GRÁFICO 3. CURVA GRANULOMÉTRICA PIFO	52
GRÁFICO 4. COMPARACIÓN DE GRANULOMETRÍAS GUAYLLABAMBA Y PIFO.....	54
GRÁFICO 5. CURVA GRANULOMÉTRICA RESIDUO DE CAUCHO.....	58
GRÁFICO 6. CONSISTENCIA CON EL CONO CON 17% DE EMULSIÓN GUAYLLABAMBA	60
GRÁFICO 7. CONSISTENCIA CON EL CONO CON 13% DE EMULSIÓN GUAYLLABAMBA	61
GRÁFICO 8. CONSISTENCIA CON EL CONO CON 21% DE EMULSIÓN GUAYLLABAMBA	62
GRÁFICO 9. ASFALTO ÓPTIMO GUAYLLABAMBA	65
GRÁFICO 10. COHESIÓN GUAYLLABAMBA	66
GRÁFICO 11. ASFALTO ÓPTIMO PIFO.....	70
GRÁFICO 12. COHESIÓN PIFO.....	71
GRÁFICO 13. CURVA GRANULOMÉTRICA GUAYLLABAMBA 65% Y RESIDUO DE CAUCHO 35%	76
GRÁFICO 14. CURVA GRANULOMÉTRICA GUAYLLABAMBA 85% Y RESIDUO DE CAUCHO 15%	77
GRÁFICO 15. CURVA GRANULOMÉTRICA GUAYLLABAMBA 95% Y RESIDUO DE CAUCHO 5%	78
GRÁFICO 16. COMPARACIÓN DE MEZCLADO MANUAL GUAYLLABAMBA	80
GRÁFICO 17. COMPARACIÓN DE ABRASIÓN HÚMEDA GUAYLLABAMBA	84
GRÁFICO 18. COMPARACIÓN DE RUEDA CARGADA GUAYLLABAMBA.....	87
GRÁFICO 19. COMPARACIÓN DE COHESIÓN GUAYLLABAMBA.....	88
GRÁFICO 20. CURVA GRANULOMÉTRICA PIFO 70% Y RESIDUO DE CAUCHO 30%	93
GRÁFICO 21. CURVA GRANULOMÉTRICA PIFO 85% Y RESIDUO DE CAUCHO 15%	94
GRÁFICO 22. CURVA GRANULOMÉTRICA PIFO 95% Y RESIDUO DE CAUCHO 5%	95
GRÁFICO 23. COMPARACIÓN DE MEZCLADO MANUAL PIFO	97
GRÁFICO 24. COMPARACIÓN DE ABRASIÓN HÚMEDA PIFO	101
GRÁFICO 25. COMPARACIÓN DE RUEDA CARGADA PIFO.....	103
GRÁFICO 26. COMPARACIÓN DE COHESIÓN PIFO	105

ÍNDICE DE IMÁGENES

IMAGEN 1. MANTENIMIENTO PREVENTIVO VS. MANTENIMIENTO CORRECTIVO. (ASPHALT INSTITUTE, 2014)	1
IMAGEN 2. NIVELES DE ROZAMIENTO PARA AEROPUERTOS. (DGAC, 2012).....	15
IMAGEN 3. AGREGADO SECO PARA ENSAYO DE MEZCLADO MANUAL	17
IMAGEN 4. MEZCLA CON AGUA PARA ENSAYO DE MEZCLADO MANUAL	18
IMAGEN 5. MEZCLA CON EMULSIÓN ASFÁLTICA PARA ENSAYO DE MEZCLADO MANUAL	18
IMAGEN 6. MUESTRA PARA CURADO	19
IMAGEN 7. MUESTRA DE MORTERO ASFÁLTICO ROTO	19
IMAGEN 8. AGREGADO SECO PARA ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	20
IMAGEN 9. CONO DE CONSISTENCIA CENTRADO SOBRE ESCALA DE FLUJO.....	21
IMAGEN 10. MUESTRA DESPUÉS DE ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	22
IMAGEN 11. AGUA DESTILADA EN EBULLICIÓN.....	23
IMAGEN 12. MUESTRA CURADA EN EBULLICIÓN CON AGUA DESTILADA.....	24
IMAGEN 13. MUESTRA DESPUÉS DE ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO	24
IMAGEN 14. AGREGADO SECO PARA ENSAYO DE ABRASIÓN HÚMEDA.....	26
IMAGEN 15. PAPEL DE ENTECHADO CENTRADO EN EL MOLDE DE ABRASIÓN HÚMEDA	27
IMAGEN 16. CONFORMACIÓN DE LA BRIQUETA DE ABRASIÓN HÚMEDA	27
IMAGEN 17. BRIQUETA DE ABRASIÓN HÚMEDA ANTES DEL ENSAYO	28
IMAGEN 18. BRIQUETAS DE ABRASIÓN HÚMEDA EN BAÑO MARÍA.....	28
IMAGEN 19. MÁQUINA DE ABRASIÓN HÚMEDA EN FUNCIONAMIENTO	29
IMAGEN 20. BRIQUETA DE ABRASIÓN HÚMEDA DESPUÉS DEL ENSAYO.....	30
IMAGEN 21. AGREGADO SECO PARA ENSAYO DE RUEDA CARGADA	32
IMAGEN 22. CONFORMACIÓN DE LA BRIQUETA DE RUEDA CARGADA	32
IMAGEN 23. BRIQUETA DE RUEDA CARGADA LISTA PARA DESMOLDAR.....	33
IMAGEN 24. MONTAJE DE BRIQUETA DE RUEDA CARGADA	33
IMAGEN 25. BRIQUETA DE RUEDA CARGADA DESPUÉS DE 1000 CICLOS.....	34
IMAGEN 26. MARCO DE ACERO PARA SOSTENER CAMA DE ARENA DE OTTAWA	35
IMAGEN 27. BRIQUETA DE RUEDA CARGADO DESPUÉS DE 100 CICLOS CON ARENA DE OTTAWA.....	35
IMAGEN 28. MEZCLA ÓPTIMA DE UN MORTERO ASFÁLTICO	37
IMAGEN 29. MOLDES PARA COHESIÓN.....	38
IMAGEN 30. BRIQUETAS DE COHESIÓN ANTES DEL ENSAYO	38
IMAGEN 31. MÁQUINA DE COHESIÓN EN 200 KPA.....	39
IMAGEN 32. TORQUÍMETRO ENCERADO	40
IMAGEN 33. MÁQUINA DE COHESIÓN EN FUNCIONAMIENTO	40
IMAGEN 34. BRIQUETAS DE COHESIÓN DESPUÉS DEL ENSAYO	41
IMAGEN 35. MEZCLA DE 75% AGREGADO Y 25% CAUCHO DE TAMAÑO #100.....	43
IMAGEN 36. MINA DE GUAYLLABAMBA. (GOOGLE, 2018)	45
IMAGEN 37. MINA DE PIFO. (HOLCIM, 2018)	50
IMAGEN 38. ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDA GUAYLLABAMBA.....	63
IMAGEN 39. CONSISTENCIA CON EL CONO PIFO	68
IMAGEN 40. ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDA PIFO.....	69
IMAGEN 41. CONSISTENCIA CERO GUAYLLABAMBA CON CAUCHO.....	81

IMAGEN 42. CONSISTENCIA FLUIDA GUAYLLABAMBA CON CAUCHO.....	81
IMAGEN 43. COMPARACIÓN DE PELADURA EN HÚMEDO GUAYLLABAMBA	82
IMAGEN 44. BRIQUETA INSATISFACTORIA DE ABRASIÓN HÚMEDA GUAYLLABAMBA	84
IMAGEN 45. BRIQUETAS INSATISFACTORIAS DE RUEDA CARGADA GUAYLLABAMBA	86
IMAGEN 46. BRIQUETAS SATISFACTORIAS DE RUEDA CARGADA.....	86
IMAGEN 47. CONSISTENCIA CON EL CONO PIFO 75% Y CAUCHO 25%	98
IMAGEN 48. COMPARACIÓN DE PELADURA EN HÚMEDO PIFO.....	98
IMAGEN 49. BRIQUETA INSATISFACTORIA DE ABRASIÓN HÚMEDA PIFO	101
IMAGEN 50. BRIQUETAS INSATISFACTORIAS DE RUEDA CARGADA PIFO	103
IMAGEN 51. BRIQUETAS DE RUEDA CARGADA SATISFACTORIAS PIFO	104

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Factores como las variaciones en las cargas impuestas por el tráfico vehicular, efectos atmosféricos (lluvia o excesivo calor), tipo de suelo, calidad de los materiales y deficiencia de los procesos constructivos provocan fisuras o grietas en el pavimento, que pueden ser frenadas o evitadas con un adecuado mantenimiento correctivo o preventivo, respectivamente (Solminihac, 2001).

La ejecución de actividades de mantenimiento preventivo demoran o incluso evitan las aparición de daños; si estas actividades se seleccionan y realizan adecuadamente escogiendo las técnicas, los materiales y la oportunidad de aplicación en el marco de una visión de mediano y largo plazo y representan beneficios económicos que resultan significativos respecto a la alternativa de no ejecutarlas (Banco de Desarrollo de América Latina, 2010).

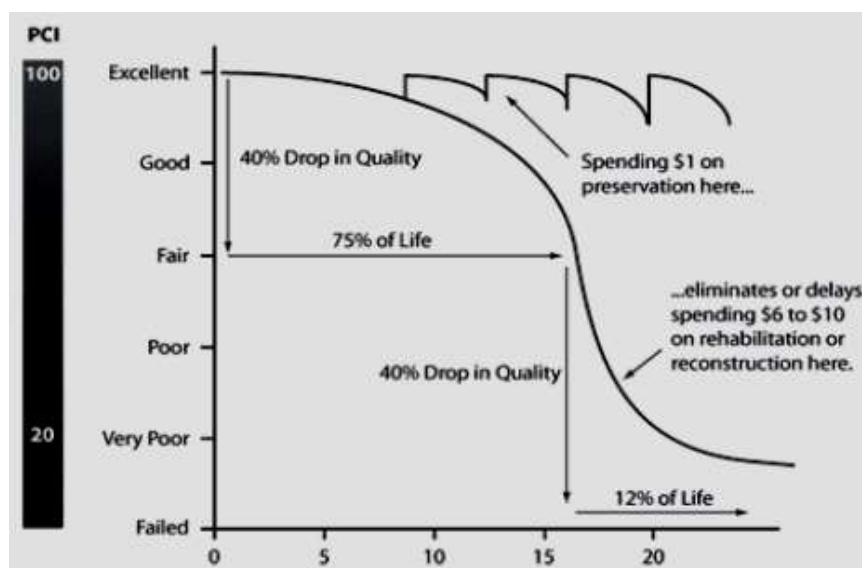


Imagen 1. Mantenimiento preventivo vs. Mantenimiento correctivo. (Asphalt Institute, 2014)

En la Imagen 1 se puede observar que el mantenimiento preventivo es óptimo si se aplica hasta el primer tercio de la vida útil con que fue diseñado el pavimento, ya que aporta beneficios como mayor durabilidad a las carreteras (Ramírez, 2006).

Por otro lado, el mantenimiento correctivo consiste en ir reparando los daños a medida que aparecen, significando un incremento en el presupuesto de mantenimiento vial (Banco de Desarrollo de América Latina, 2010).

Un mortero asfáltico es una excelente solución para los pavimentos que se encuentran en etapas tempranas de deterioro; esta mezcla es aplicada como una capa delgada sobre el pavimento existente (Asphalt Institute, 2009).

Con la finalidad de mantener los niveles de rozamiento establecidos en el numeral 154, Tabla C-2, de la regulación de la Dirección General de Aviación Civil, se realizan trabajos para remover los residuos de caucho dejados en la pista del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito, en esta actividad se remueven mensualmente alrededor de 700 kg de residuo de caucho.

La alternativa de adicionar el residuo de caucho al diseño y fabricación de un mortero asfáltico viene ligada al propósito de reutilizar este material como parte de una solución de mantenimiento para la superficie pavimentada del aeropuerto y al mismo tiempo significa una solución para el cuidado del medio ambiente (Muñoz & Orquera, 2018).

Por las razones presentadas anteriormente se toma como una alternativa de reciclaje aplicar los residuos de caucho que dejan las llantas de los aviones por la fricción que se causa al aterrizar.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar y elaborar un mortero asfáltico tradicional bajo los lineamientos de la norma ISSA A 105 (Guía para el adecuado desempeño de mortero asfáltico), e implementar esa fórmula maestra de obra en un mortero asfáltico incorporando residuo de caucho del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito.

1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar el cumplimiento de los requisitos que aseguran la calidad de agregados pétreos y tomar de referencia los datos de la hoja de calidad para emulsiones asfálticas.
- Realizar los ensayos de laboratorio requeridos para el diseño de morteros asfálticos e interpretar los valores obtenidos en los diferentes diseños.
- Comprobar el cambio en las propiedades físico-mecánicas de un mortero asfáltico modificado con residuo de caucho del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito y determinar si es factible o no reutilizar este material para que no sea desechado como un contaminante para el medio ambiente.
- Proveer la dosificación de un mortero asfáltico adicionado con residuo caucho al área técnica del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito, para que sea colocado manualmente por personal especializado en el lugar de pruebas dentro de las instalaciones del aeropuerto.

1.3. JUSTIFICACIÓN

El mantenimiento vial garantiza las condiciones de uso de la infraestructura y extiende su vida útil, con lo que se asegura la eficiente utilización de las inversiones realizadas en infraestructura de carreteras (Solminihaq, 2001).

Un mortero asfáltico es una mezcla que se emplea como un tratamiento de superficie tanto preventivo como correctivo. Su aplicación no aumenta la resistencia estructural de un pavimento, porque una capa con capacidad estructural debe ser diseñada con el parámetro número estructural (SN), el cual no se determina en estas mezclas y es considerado únicamente como tratamiento superficial (Asphalt Institute, 2009).

Esta mezcla es producida, extendida y uniformemente distribuida por una máquina diseñada para este propósito, la cual debe adherirse fuertemente sobre una capa de rodamiento anteriormente preparada, obteniendo propiedades de impermeabilidad y antideslizantes durante el tiempo de vida útil (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

Este tema de disertación se enfoca en diseñar y determinar, mediante ensayos de laboratorio, los cambios en las propiedades de un mortero asfáltico, incorporando a la mezcla una cantidad específica de residuo de caucho; y comparar los resultados obtenidos con una mezcla tradicional que no incorpora este material.

1.4. ALCANCE

En esta investigación se utilizó agregados de las canteras de Guayllabamba y Pifo con emulsión asfáltica CSS-1h. La calidad de los agregados fue comprobada realizando ensayos de laboratorio; mientras que en el caso de la emulsión asfáltica se verificó el

cumplimiento de las especificaciones con la hoja de calidad del producto. Para el diseño del mortero asfáltico también se realizaron pruebas de laboratorio. El residuo de caucho fue mezclado por vía seca, manteniendo la granulometría y mezclando al peso.

1.5. MARCO TEÓRICO

1.5.1. MORTERO ASFÁLTICO

Se define a un mortero asfáltico como la combinación de emulsión asfáltica y agregados triturados con granulometría específica, agua y en ciertos casos relleno mineral y aditivos, todo esto proporcionalmente mezclado de acuerdo a un diseño previo y el cual define la fórmula maestra de obra (Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones, 2002).

El mortero asfáltico se aplica en capas delgadas de 1½ veces el tamaño máximo del agregado, de acuerdo con los requerimientos de los documentos contractuales (Asphalt Institute, 2009).

Hay tres tipos de mezclas de morteros asfálticos que se definen a partir del tamaño de sus partículas.

TAMIZ	TIPO I %PASANTE	TIPO II % PASANTE	TIPO III % PASANTE	TOLERANCIA
3/8 (9.5 mm)	100	100	100	
# 4 (4,75 mm)	100	90 – 100	70 - 90	± 5%
# 8 (2,36 mm)	90 – 100	65 – 90	45 - 70	± 5%
# 16 (1,18 mm)	65 – 90	45 – 70	28 - 50	± 5%
# 30 (600 um)	40 – 65	30 – 50	19 - 34	± 5%
# 50 (330 um)	25 – 42	18 – 30	12 - 25	± 4%
# 100 (150 um)	15 – 30	10 – 21	7 - 18	± 3%
# 200 (75 um)	10 – 20	5 – 15	5 - 15	± 2%

Tabla 1. Tipo de mortero asfáltico según su granulometría. (ISSA, 2010)

1.5.1.1. Mortero asfáltico tipo I

La granulometría de este tipo caracteriza a un material más fino que los otros, esto permite la penetración en las fisuras del pavimento, por lo que se usa como una primera capa para pavimentos en etapas tempranas de deterioro (Salazar, 2010).

1.5.1.2. Mortero asfáltico tipo II

Es el tipo más utilizado porque contiene una cantidad de finos suficiente para entrar en las grietas del pavimento y también provee de una superficie de rodadura (Salazar, 2010).

1.5.1.3. Mortero asfáltico tipo III

Este tipo de mortero asfáltico posee mayor cantidad de partículas gruesas, esto mejora considerablemente la fricción de la capa de rodadura y permite el paso de tráfico altamente pesado (Salazar, 2010).

1.5.2. COMPONENTES DE UN MORTERO ASFÁLTICO

1.5.2.1. Agregados pétreos

Los agregados pétreos se originan a partir de las rocas. Estas rocas se encuentran como bloques, losetas, gránulos y fragmentos de distintos tamaños. Se caracterizan por su granulometría y sus propiedades físico-mecánicas (Reyes, Camacho, & Londoño, 2013).

Los agregados pétreos utilizados para la elaboración de un mortero asfáltico deben ser totalmente triturados de piedra como granito, piedra caliza, escoria u otros agregados

de alta calidad o combinación de estos (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.2.1.1. Ensayos de agregados pétreos utilizados para el diseño de morteros asfálticos

Los agregados deben cumplir los requerimientos de abrasión, equivalente de arena y resistencia al desgaste por ataque de los sulfatos descritos en la American Society of Testing Materials; adicionalmente se realiza la granulometría del material. A como se muestra las especificaciones:

ENSAYO	NORMATIVA	ESPECIFICACIÓN
GRANULOMETRÍA	ASTM C 136	-
EQUIVALENTE DE ARENA	ASTM D 2419	Min. 45
RESISTENCIA AL DESGASTE POR ATAQUE DE LOS SULFATOS	ASTM C 88	Máx. 15% de w/NA ₂ SO ₄
		Máx. 25% de w/MgSO ₄
DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES	ASTM C 131	Máx. 35%

Tabla 2. Especificaciones de agregados pétreos para mortero asfáltico. (ISSA, 2010)

1.5.2.1.1.1. *Granulometría ASTM C 136*

El ensayo de granulometría establece el porcentaje de distribución de los tamaños que conforman el agregado fino, mediante la utilización de tamices de aberturas estandarizadas (American Society of Testing Materials, 2010). Este ensayo permite seleccionar el tipo de mortero asfáltico que se ajusta a la curva granulométrica del agregado.

1.5.2.1.1.2. Equivalente de arena ASTM D 2419

Este ensayo tiene como alcance determinar la cantidad de finos arcillosos que tiene el agregado. El ensayo se realiza mezclando un floculante (agua destilada con cloruro de calcio anhidro) el cual desprende el material más fino perjudicial del resto de partículas que forman el agregado (American Society of Testing Materials, 2010). El alto porcentaje de material muy fino es perjudicial en una mezcla asfáltica porque al contacto con el agua expande el material y disminuye la resistencia de diseño prevista.

1.5.2.1.1.3. Desgaste por ataque de los sulfatos ASTM C 88

Realizar este ensayo tiene como resultado el porcentaje de desgaste a los sulfatos de sodio y magnesio de un agregado. Estas soluciones salinas resultan perjudiciales en ciertos tipos de agregados ya que debilitan la estructura del mineral y la desintegran, restando la resistencia mecánica del agregado (American Society of Testing Materials, 2010). Este ensayo se puede realizar con sulfato de magnesio o sulfato de sodio; generalmente se realiza la prueba con sulfato de magnesio, debido a que la solución de sulfato de sodio es sujeta a fiscalización y tiene un acceso restringido en nuestro país.

1.5.2.1.1.4. Desgaste a la abrasión con la Máquina de los Ángeles ASTM C 131

Este ensayo tiene como finalidad determinar el porcentaje de material afectado por el golpe esferas de acero, las cuales simulan la facilidad con la que el material se desgasta por diferentes factores como la erosión y frotamiento; lo

que conlleva a un deterioro progresivo en las propiedades mecánicas del agregado (American Society of Testing Materials, 2010).

1.5.2.2. Emulsión asfáltica

Las emulsiones asfálticas se componen de asfalto, agua y emulsificante. El agua y el asfalto son componentes difíciles de mezclar entre sí, por consiguiente es necesario la adición de un emulsificante que funciona como un ligante para poder obtener una mezcla estabilizada que permita la unión entre los tres componentes (Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2001).

Las emulsiones asfálticas para mezclas de mortero asfáltico deben seguir los siguientes límites:

TIPO	RESIDUO DE ASFALTO
TIPO I	10 - 16%
TIPO II	7,5 - 13,5%
TIPO III	6,5 - 12%

Tabla 3. Tipo de mortero asfáltico según asfalto residual. (ISAA, 2010)

Los valores de la tabla están basados en el peso seco del material.

1.5.2.2.1. Tipo de emulsiones asfálticas

El tipo de emulsión se diferenciará por el tipo de emulsificante que se utilice al momento de su fabricación y a su vez dependerá del uso que tenga.

Por su carga eléctrica:

1.5.2.2.1.1. Aniónicas

Las emulsiones aniónicas son aquellas que en su mezcla se utiliza un tipo de emulsificante que otorga carga negativa a las partículas (Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2001).

1.5.2.2.1.2. Catiónicas

Las emulsiones aniónicas son aquellas que en su mezcla se utiliza un tipo de emulsificante que otorga carga positiva a las partículas (Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2001).

Por su velocidad de rotura:

La emulsión se encuentra en forma de pequeños glóbulos de asfalto dentro de una fase acuosa, esta al depositarse en contacto con el material pétreo entra en una fase inversa ya que los glóbulos de asfalto se juntan para formar partículas de mayor tamaño, y debido a la carga eléctrica de la emulsión estas partículas se adhieren casi inmediatamente a la superficie del agregado separando el agua que tiene en el interior, este proceso de desprendimiento del agua y coalición del agregado con el asfalto al completarse se denomina rotura de la emulsión (Rodríguez, Castaño, & Martínez, 2001).

1.5.2.2.1.3. Rotura rápida

Una emulsión de rotura rápida tiene poca o ninguna capacidad para mezclarse con agregados (Asphalt Institute, 2009).

1.5.2.2.1.4. Rotura media

Una emulsión de rotura media tienden a mezclar bien con agregado grueso pero no con agregado fino (Asphalt Institute, 2009).

1.5.2.2.1.5. Rotura lenta

Una emulsión de rotura lente se diseña para mezclarse con agregados finos (Asphalt Institute, 2009).

1.5.2.2.2. Ensayos de emulsiones asfálticas utilizadas para el diseño de morteros asfálticos

La emulsión asfáltica y su residuo, deben cumplir los requerimientos de la norma ASTM D 977 para emulsiones tipo SS-1 o SS-1h. Para emulsiones tipo CSS-1, CSS-1h o CQS-1h deben someterse a las especificaciones de la ASTM D 2397 (International Slurry Surfacing Association, 2010).

ENSAYO	NORMATIVA	UNIDAD	ESPECIFICACIÓN
CONTENIDO DE ASFALTO	ASTM D 6997	% PESO	59 - 64
PENETRACIÓN EN EL RESIDUO	ASTM D 5	1/10 mm	40 - 90
ASENTAMIENTO EN 24H	ASTM D 6930	%	0 - 1
ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO	ASTM D 6930	%	Máx. 5
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	ASTM D 6933	%	Máx. 0.1
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 25 C°	ASTM D 7496	SSF	20 - 100
MEZCLA CON CEMENTO	ASTM D 6935	%	Máx. 2
CARGA DE PARTÍCULAS	ASTM D 7402	-	Positiva

Tabla 4. Especificaciones de emulsión asfáltica CSS-1h. (ASTM, 2010)

1.5.2.2.2.1. Contenido de asfalto ASTM D 6997

La prueba determina las características de composición de la emulsión asfáltica a partir de la evaporación del agua (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

Realizar este ensayo para mezclas de mortero asfáltico garantiza que el porcentaje de asfalto se encuentre dentro de los rangos requeridos para el tipo de mezcla que se está diseñando.

1.5.2.2.2.2. Penetración en el residuo ASTM D 5

El ensayo mide la consistencia y dureza de materiales bituminosos semisólidos y sólidos mediante la penetración vertical de una aguja en briquetas frías de emulsión (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.2.2.3. Asentamiento a las 24 horas ASTM D 6930

Determina en un tiempo relativamente corto, la estabilidad al almacenamiento de una emulsión asfáltica. Este método de ensayo toma muestras del fondo y de la superficie de un material bituminoso que está en reposo, su resultado la diferencia de los residuos de esas dos muestras (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.2.2.4. Estabilidad en el almacenamiento ASTM D 6930

Determina los fenómenos que ocurren por el almacenamiento de material bituminoso; una buena estabilidad refleja materiales ideal para transportar y

almacenar, logrando una mayor vida útil del producto (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.2.2.5. Prueba del tamiz # 20 ASTM D 6933

La retención de una cantidad excesiva de partículas sobre los tamices indica los problemas que podrían ocurrir en la manipulación, almacenamiento, bombeo y aplicación del material. Esta norma establece el método para la determinación de partículas de gran tamaño en emulsiones asfálticas por medio de tamizado (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.2.2.6. Viscosidad Saybolt Furol a 25°C ASTM D 7496

Establece la uniformidad en el transporte y las fuentes de suministro. Se mide la viscosidad con el tiempo que tarda en fluir la muestra de emulsión por un orificio estándar bajo condiciones normalizadas (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.2.2.7. Mezcla con cemento ASTM D 6935

El resultado de este método muestra la capacidad de un asfalto emulsionado de curado lento para mezclarse con un material finamente dividido y de gran área superficial sin romper la emulsión asfáltica (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.2.2.8. Carga de partícula ASTM D 7402

Las emulsiones asfálticas catiónicas se identifican por la migración de las partículas a un electrodo cargado negativamente (cátodo) al aplicarse una

corriente directa algunos agregados y arenas que se utilizan conjuntamente con emulsiones asfálticas presentan a menudo una carga predominante, positiva o negativa (Instituto Ecuatoriano de Normalización, 2013).

1.5.2.3. Agua

El agua debe ser libre de sales dañinas y contaminantes tales como sulfatos, cloruros, álcalis y sólidos en masa. Si la calidad del agua es cuestionable, esta deberá ser llevada a un laboratorio que verifique su calidad mediante la normativa ASTM C 1602/C 1602 M (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.2.4. Residuo de caucho

Los residuos de caucho se acumulan por el frenado de los aviones sobre el pavimento, causando una superficie resbaladiza y ocultando la señalética del lugar.

Cada cierto tiempo debe ser extraído de las pistas de aterrizaje; para realizarlo se utilizan diferentes métodos como disolventes químicos, chorros de agua a alta presión, la combinación de los dos primeros y por aire comprimido caliente (DGAC, 2012).

Realizar estas actividades de limpieza garantiza las operaciones seguras de todos los aviones y los niveles de rozamiento que deben tener las pistas. A continuación, podemos ver los límites permitidos de rozamiento descritos en la norma RDAC 154 en la tabla C-2:

Equipo de ensayo	Neumático en ensayo		Velocidad en ensayo (km/h)	Profundidad del agua en ensayo (mm)	Objetivo de diseño para nuevas superficies de pista	Nivel previsto de mantenimiento	Nivel mínimo de rozamiento
	Tipo	Presión (kPa)					
(1)	(2)		(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Remolque medidor del valor Mu	A	70	65	1,0	0,72	0,52	0,42
	A	70	95	1,0	0,66	0,38	0,26
Deslizómetro	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Vehículo medidor del rozamiento en la superficie	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,47	0,34
Vehículo medidor del rozamiento en pista	B	210	65	1,0	0,82	0,60	0,50
	B	210	95	1,0	0,74	0,54	0,41
Vehículo medidor del rozamiento TATRA	B	210	65	1,0	0,76	0,57	0,48
	B	210	95	1,0	0,67	0,52	0,42
Remolque medidor de asimiento GRIPTESTER	C	140	65	1,0	0,74	0,53	0,43
	C	140	95	1,0	0,64	0,36	0,24

Imagen 2. Niveles de rozamiento para aeropuertos. (DGAC, 2012)

1.5.3. INTERNATIONAL SLURRY SURFACING ASSOCIATION (ISSA)

La Norma ISSA provee detalladas guías de diseño y boletines técnicos para el diseño y fabricación de morteros asfálticos, micro pavimentos, sellos asfálticos y tratamientos de fisuras. Se cuenta con actualizaciones completas de su contenido hasta el año 2010 (International Slurry Surfacing Association, 2017).

Para el caso de morteros asfálticos propone seis ensayos. Las pruebas de mezclado manual y consistencia en el cono se refieren a parámetros de apariencia y trabajabilidad en obra, los ensayos de rueda cargada y abrasión húmeda miden las características físico-mecánicas de la mezcla, el ensayo de peladura en húmedo refleja la compatibilidad de los agregados pétreos y la emulsión, finalmente el ensayo de cohesión es una prueba para realizar en una determinada dosificación de mortero asfáltico y determina el tiempo para apertura al tráfico.

1.5.4. ENSAYOS PARA DISEÑO DE MORTEROS ASFÁLTICOS

Las pruebas para diseño de mortero asfáltico se encuentran en el boletín técnico de la norma ISSA (International Slurry Surfacing Association), se describen los siguientes ensayos:

ENSAYO	ISSA TB N°	ESPECIFICACIÓN
PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL	TB 113	Min. 180 segundos
ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	TB 106	0.79-1.18 in. (2.0-3.0 cm.)
ENSAYO DE COHESIÓN 30 MINUTOS 60 MINUTOS	TB 139 Especificación aplicable para sistemas de rápida apertura al tráfico	Min. 12 kg-cm 20 kg-cm o cerca del giro mínimo
ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO	TB 114	Min. 90 %
PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA	TB 100	Máx. 75 g/ft ² (807 g/m ²)
PRUEBA DE RUEDA CARGADA	TB 109	Máx. 50 g/ft ² (538 g/m ²)

Tabla 5. Ensayos para mortero asfáltico. (ISSA, 2010)

1.5.4.1. Prueba de mezclado manual TB 113

El ensayo determina el tiempo mínimo de mezclado de las muestras para que lleguen al estado de rotura, por lo que deben realizarse diferentes muestras variando los porcentajes de agua y emulsión (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.4.1.1. Equipo

- Balanza de precisión 0.1 gr.

- Recipiente de plástico de 8 oz.
- Espátula
- Papel absorbente
- Termómetro

1.5.4.1.2. Procedimiento

- Pesar en el recipiente de mezcla 200 gramos de agregado seco.



Imagen 3. Agregado seco para ensayo de mezclado manual

- Agregar agua y mezclar durante 20 segundos o hasta que este uniformemente mezclado a 60-70 rpm en movimientos circulares.



Imagen 4. Mezcla con agua para ensayo de mezclado manual

- Agregar emulsión asfáltica y mezclar durante 30 segundos o hasta que este uniformemente mezclado a 60-70 rpm en movimientos circulares.



Imagen 5. Mezcla con emulsión asfáltica para ensayo de mezclado manual

- Transcurridos los primeros 30 segundos de mezclar agregado, agua y emulsión asfáltica se debe anotar las características que adquiere el sistema. Colocar la mitad de la muestra en una superficie no absorbente esparciendo a 6 o 10 mm de altura.



Imagen 6. Muestra para curado

- La otra mitad seguir mezclando hasta su rotura y anotar el tiempo transcurrido.



Imagen 7. Muestra de mortero asfáltico roto

- Después de mezclar tomar la temperatura de la muestra.

1.5.4.2. Ensayo de consistencia con el cono TB 106

Este ensayo permite determinar la cantidad óptima de agua que debe poseer la mezcla para que tenga un adecuado desempeño al momento de ser aplicado sobre la vía en tratamiento (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.4.2.1. Equipo

- Balanza de precisión 0.1 gr.
- Recipiente de plástico de 8 oz.
- Espátula
- Superficie plana
- Hoja de escala de flujo
- Cono metálico de 0.8 mm de espesor, 75 mm de alto, 40 mm de diámetro superior y 90 mm de diámetro inferior

1.5.4.2.2. Procedimiento

- Pesar en el recipiente de mezcla 400 gramos de agregado seco.



Imagen 8. Agregado seco para ensayo de consistencia con el cono

- Agregar agua y mezclar durante 20 segundos o hasta que este uniformemente mezclado a 60-70 rpm en movimientos circulares.
- Agregar emulsión asfáltica y mezclar durante 30 segundos o hasta que este uniformemente mezclado a 60-70 rpm en movimientos circulares.
- Colocar el cono centrado sobre la escala de flujo, esta escala está compuesta por 7 círculos concéntricos separados un centímetro uno de otro.



Imagen 9. Cono de consistencia centrado sobre escala de flujo

- Verter la mezcla en el cono sin apretar y golpear delicadamente al cono para que se acomode.
- Retirar el cono con un movimiento vertical y rápido.
- El resultado de consistencia es el promedio de las cuatro medidas alcanzadas en la hoja de escala de flujo. Estas medidas están separadas a 90 grados.



Imagen 10. Muestra después de ensayo de consistencia con el cono

Nota: Encontrar el porcentaje de agua adecuado para una lectura de 2.5 cm con 3 diferentes porcentajes de emulsión.

1.5.4.3. Ensayo de peladura en húmedo TB 114

Este ensayo tiene como propósito determinar la compatibilidad del sistema de mortero asfáltico con un agregado dado (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.4.3.1. Equipo

- Vaso precipitado de 600 ml
- Estufa pequeña
- Papel absorbente
- Agua destilada

1.5.4.3.2. Procedimiento

- Tomar 10 gramos de mezcla curada de una porción representativa de la muestra de mezclado manual que cumplió la especificación o del centro de la muestra de consistencia en el cono que obtuvo una lectura de 2.5.
- Colocar 400 ml de agua destilada en un vaso precipitado e 600 ml y dejar hervir.



Imagen 11. Agua destilada en ebullición

- Una vez que el agua este en su punto de ebullición arrojar los 10 gramos de mezcla y dejarlos hervir por tres minutos más.



Imagen 12. Muestra curada en ebullición con agua destilada

- Luego enfriar en temperatura ambiente y dejar correr con agua para que no salgan partículas de agregado.
- Colocar sobre papel absorbente y apreciar que porcentaje de la muestra está cubierta por asfalto, este será el resultado del ensayo.



Imagen 13. Muestra después de ensayo de peladura en húmedo

1.5.4.4. Prueba de abrasión húmeda TB 100

Esta prueba determina la resistencia al desgaste por abrasión de un mortero asfáltico simulando una superficie del pavimento saturada por agua, es decir, que con las muestras a ensayarse se simula las condiciones de un vehículo cruzando y frenando

sobre pavimento mojado. Con la prueba se establece el porcentaje mínimo requerido de asfalto en el mortero asfáltico (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.4.4.1. Equipo

- Balanza de capacidad mínima 5 kg y precisión mínima 1 gr.
- Recipiente con capacidad de al menos 1 kg.
- Malla N° 4
- Espátula
- Máquina de abrasión (Hobart C-100, N-50 o A-120) equipada con una cabeza de abrasión de 2.27 kg.
- Papel de entechado
- Molde de acero de espesor de 6.35 mm, diámetro interno de 279.4 mm para máquina C-100 y A-120 o diámetro interno de 247.7 mm para máquina N-50
- Caucho de abrasión estandarizado conforme a la ISO 48
- Squeegee de ancho mayor al molde
- Tina de agua temperada a $25^{\circ}\text{C}\pm 1^{\circ}\text{C}$
- Horno de aire forzado a $60^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$

1.5.4.4.2. Procedimiento

- Pesar 800 gramos (700 gramos para máquina N-50) de agregado cuarteado y seco pasante del tamiz N° 4.



Imagen 14. Agregado seco para ensayo de abrasión húmeda

- Añadir la cantidad predeterminada de agua para conseguir la consistencia de 2.5 a 3 cm en cada porcentaje de emulsión o a su vez escoger los valores con los que se cumplió el ensayo de mezclado manual, mezclar durante un minuto o hasta que este humedecida uniformemente.
- Agregar la cantidad predeterminada de emulsión y mezclar mínimo por un minuto y máximo tres minutos.
- Colocar el papel de entechado centrado con el molde de abrasión y verter inmediatamente la mezcla de mortero asfáltico.



Imagen 15. Papel de entechado centrado en el molde de abrasión húmeda

- Esparcir la mezcla con un squeegee por la parte superior del molde y enrasar con la mínima manipulación posible ya que esto contribuye a la segregación. Descartar el exceso de material.



Imagen 16. Conformación de la briqueta de abrasión húmeda

- Remover el molde y colocar la briqueta en el horno a 60 grados centígrados durante 15 horas.
- Retirar del horno el espécimen, deja enfriar a temperatura ambiente.

- Luego pesar la muestra y anotar este valor como “peso antes”.



Imagen 17. Briqueta de abrasión húmeda antes del ensayo

- Colocar en agua a 25°C durante 60 a 75 minutos. El agua deberá ser cambiada para cada prueba.



Imagen 18. Briquetas de abrasión húmeda en baño María

- Colocar el espécimen en la máquina de abrasión, asegurar y cubrir con 6.35 mm de agua a 25°C.



Imagen 19. Máquina de abrasión húmeda en funcionamiento

- Encender la máquina en su velocidad más lenta y operar de acuerdo con la siguiente tabla:

MÁQUINA	TIEMPO	FACTOR (g/m ²)
C-100	300"±2'''	32.9 X 1.0
A-120	405"±2'''	29.9 X 1.17
N-50	315"±2'''	37.5 X 0.78
N-50 MODIFICADA	315"±2'''	32.9 X 1.0 (pérdidas < 24.5 gr)

Tabla 6. Factores de transformación de abrasión húmeda. (ISSA, 2010)

- Quitar la muestra de la máquina, lavar para remover los desechos y colocar en el horno para que se seque a 60°C.
- Luego dejar enfriar a temperatura ambiente y pesar, anotar este valor como “peso después”.



Imagen 20. Briqueta de abrasión húmeda después del ensayo

- La diferencia entre peso antes y peso después, multiplicado por el factor correspondiente para el tipo de máquina son los gramos perdidos por unidad de área causados por la abrasión.

Nota: Se recomienda usar el squeegee para permitir mínima manipulación del espécimen y producir una superficie plana y uniforme. Para prevenir la segregación se debe usar una sola pasada sin ningún otro tipo de manipulador.

1.5.4.5. Prueba de rueda cargada TB 109

La prueba de rueda cargada determina el contenido máximo de emulsión asfáltica por la medición de adhesión de arena en muestras sujetas a la simulación de cargas pesadas bajo la acción de una rueda (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.4.5.1. Equipo

- Balanza de precisión mínima 0.1 gr.
- Recipiente plástico de 8 oz.
- Espátula
- Placas metálicas de 40 cm x 8 cm
- Molde de acero de varios espesores
- Barra de acero
- Horno de aire forzado a $60^{\circ}\text{C}\pm 3^{\circ}\text{C}$
- Máquina de rueda cargada con 125 lb de peso
- Arena de Ottawa
- Termómetro
- Marco de acero con bordes de caucho suave
- Pernos para sostener el marco de acero

1.5.4.5.2. Procedimiento

- Escoger el molde de acero de espesor 25% más alto que la partícula más gruesa de la granulometría.
- Mezclar 25-35% más de material necesario para llenar el molde de acero. Normalmente se utiliza 300 gramos de agregado para llenar el molde de 6.4 mm de espesor.



Imagen 21. Agregado seco para ensayo de rueda cargada

- Añadir la cantidad predeterminada de agua para conseguir la consistencia de 2.5 a 3 cm en cada porcentaje de emulsión o a su vez escoger los valores con los que se cumplió el ensayo de mezclado manual, mezclar durante 20 segundos o hasta que este humedecida uniformemente.
- Agregar la cantidad predeterminada de emulsión y mezclar por 30 segundos, inmediatamente colocar la mezcla en el molde de acero.
- Centrar el molde sobre la placa metálica, llenarlo uniformemente con la mezcla y enrasar horizontalmente con la barra de acero.



Imagen 22. Conformación de la briqueta de rueda cargada

- Desmoldar la muestra cuando esté suficientemente dura para no deformarse y secarla en el horno a 60°C hasta peso constante durante 12 horas.



Imagen 23. Briqueta de rueda cargada lista para desmoldar

- Sacar la muestra del horno y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- Montar y ajustar firmemente el espécimen sobre la máquina de rueda cargada, encender para que de 1000 ciclos a 44 rpm.



Imagen 24. Montaje de briqueta de rueda cargada

- Después de los 1000 ciclos la máquina se apaga, retirar la muestra y lavar para descartar las partículas desprendidas.
- Secar en el horno a 60°C hasta peso constante por 12 horas.
- Retirar el espécimen del horno y deja enfriar a temperatura ambiente.
- Luego pesar la muestra y anotar este valor como “peso antes”.



Imagen 25. Briqueta de rueda cargada después de 1000 ciclos

- Nuevamente montar la muestra en su posición original en la máquina de rueda cargada, centrar sobre la briqueta el marco de acero con bordes de caucho para sostener la cama de arena y llenarlo uniformemente con 200 gramos de arena de Ottawa a 82.2°C.



Imagen 26. Marco de acero para sostener cama de arena de Ottawa

- Inmediatamente la máquina es puesta en marcha sobre el espécimen durante 100 ciclos más.
- Toda la arena que se desprenda es removida con una brocha o aspiradora y se pesa el incremento de peso, anotar este valor como “peso después”.



Imagen 27. Briqueta de rueda cargado después de 100 ciclos con arena de Ottawa

- La diferencia entre peso después y peso antes, multiplicado por el factor de rueda cargada propio de cada máquina son los gramos perdidos por unidad de área causados por la acción mecánica del equipo.

Nota: En algún punto durante la compactación se puede notar una pegajosidad audible y un brillo visible, en este punto se debe agregar agua suficiente para evitar la adhesión de la muestra. Con ciertos agregados es necesario lavar abundantemente con agua el recorrido de rueda para evitar que los finos raspados no impacten en la muestra.

1.5.4.6. Mezcla óptima de mortero asfáltico TB 111

La norma ISSA sugiere que el porcentaje óptimo de asfalto se establezca mediante la transposición de las gráficas (gramos perdidos o adheridos vs % emulsión) que dan como resultado de los ensayos de rueda cargada y abrasión húmeda.

1.5.4.6.1. Procedimiento

- Determinar el contenido mínimo de emulsión asfáltica de acuerdo al ensayo de abrasión húmeda.
- Determinar el contenido máximo de asfalto según el ensayo rueda cargada.
- El contenido de emulsión asfáltica óptimo se encuentra con la intersección de las curvas de ambos ensayos. Se permite tener un rango variable de $\pm 1.5\%$ por motivos como las condiciones climáticas que presente el proyecto.

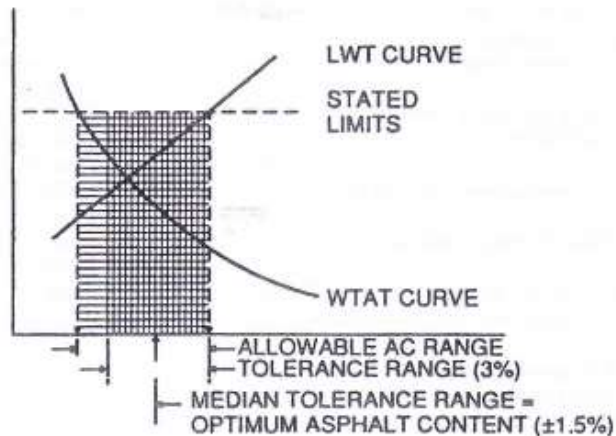


Imagen 28. Mezcla óptima de un mortero asfáltico

1.5.4.7. *Ensayo de cohesión TB 139*

Este ensayo muestra la evolución de la consistencia de la mezcla en función al tiempo de curado, permite determinar las características de rompimiento de la mezcla y grado de cohesión entre el agregado y la emulsión, así como los tiempos de apertura al tráfico dependiendo de las condiciones del clima en el área de aplicación (International Slurry Surfacing Association, 2010).

1.5.4.7.1. Equipo

- Balanza de precisión mínima 0.1 gr.
- Recipiente plástico de 8 oz.
- Espátula
- Molde circular de acero de 60 mm de diámetro y 6 mm de espesor para mortero asfáltico tipo II o 10 mm para tipo III.
- Malla N° 4
- Máquina de cohesión

1.5.4.7.2. Procedimiento

- Realizar una mezcla suficiente para llenar seis moldes de cohesión con material pasante del tamiz N° 4, agua y emulsión determinadas como óptimas en el diseño de un mortero asfáltico.
- Colocar papel de entechado bajo el molde de cohesión y llenar con la mezcla realizada previamente.



Imagen 29. Moldes para cohesión

- Conformar seis muestras para ensayar a 30, 60, 90, 150, 210 y 270 minutos después de conformar la muestra.



Imagen 30. Briquetas de cohesión antes del ensayo

- El tiempo de inicio de curado de las muestras se anota desde el momento que se acaba de colocar la mezcla en los moldes de la cohesión.
- Colocar el compresor a 200 kPa y a velocidad de 8-10 cm/s.



Imagen 31. Máquina de cohesión en 200 kPa

- Situar el pie de compactación sin ninguna muestra y aplicar la presión de 200 kPa durante 5 a 6 segundos, luego proceder a encerar el torquímetro.



Imagen 32. Torquímetro encerado

- Realizar el giro con un arco de 90° a 120° en 0.5 segundos.



Imagen 33. Máquina de cohesión en funcionamiento

- Se anota la medida del torque con el tiempo de curado.
- Es útil notar el modo de ruptura en el registro y a veces asignar un valor de cohesión para graficar los objetivos propuestos.



Imagen 34. Briquetas de cohesión después del ensayo

Nota: La especificación propone esperar el tiempo requerido para alcanzar un giro de al menos 20 kg-cm; describe a un sistema de rápida puesta a aquel que alcance un giro de 12-13 kg-cm en menos de 30 minutos y un sistema de rápida apertura al tráfico si alcanza 20-21 kg-cm en la primera hora (International Slurry Surfacing Association, 2010)..

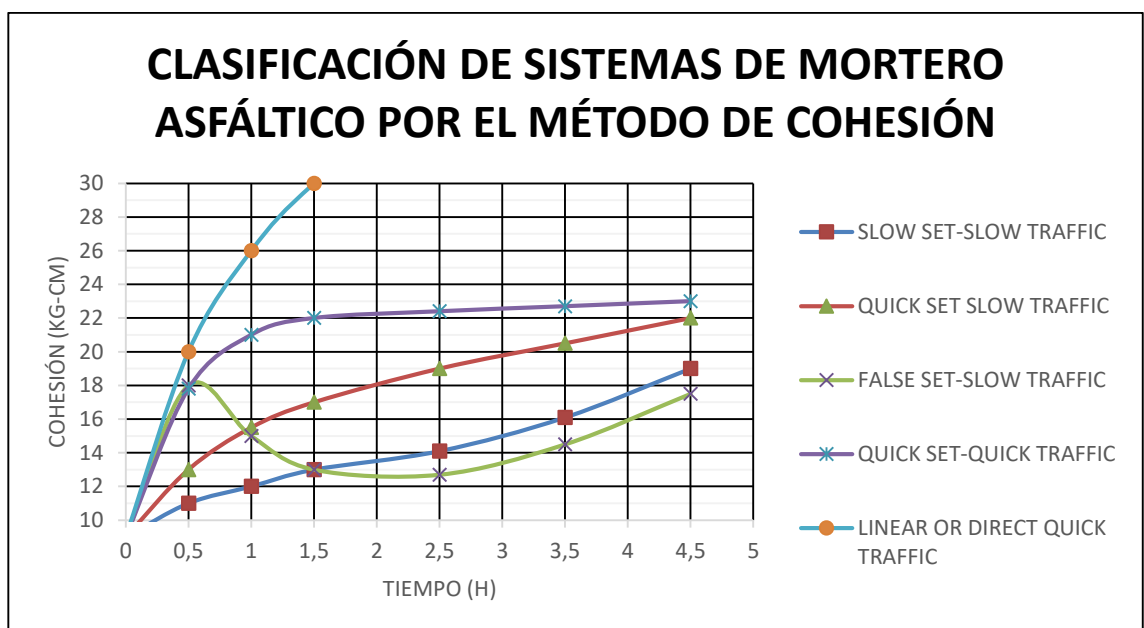


Gráfico 1. Clasificación de sistemas de mortero asfáltico por el método de cohesión

El gráfico presenta la evolución de la consistencia de los tipos mezcla en función al tiempo de curado; es así que se compara la gráfica resultante de cada mezcla para determinar el tiempo necesario antes de la apertura al tráfico.

1.5.5. MEZCLA DE MORTERO ASFÁLTICO MODIFICADO CON RESIDUO DE CAUCHO POR VÍA HÚMEDA

La mezcla por vía húmeda se refiere a una emulsión modificada con polímeros, la cual está compuesta por emulsión asfáltica, residuo de caucho y otros aditivos. Los polímeros modificados proporcionan una estabilidad a la mezcla de la emulsión con el residuo de caucho (The University of Wisconsin - Madison Modified Asphalt Research Center, 2014).

1.5.6. MEZCLA DE MORTERO ASFÁLTICO MODIFICADO CON RESIDUO DE CAUCHO POR VÍA SECA

La mezcla por vía seca se refiere a un agregado modificado con residuo de caucho y debe ser considerado parte de la granulometría del material (International Slurry Surfacing Association, 2010). El funcionamiento del diseño en morteros asfáltico añadidos residuo de caucho por vía seca puede realizarse con dos diferentes formas de mezcla.

1.5.6.1. Mezcla manteniendo la granulometría natural del agregado

Esta forma de mezcla consiste en retirar una parte del porcentaje de agregado retenido en cada tamiz que conforma la granulometría para sustituirlo con residuo de caucho del mismo tamaño; la acción de sustituir el caucho en cada malla permite que se siga

manteniendo la misma cantidad de granos de igual tamaño y que de esa manera la granulometría no cambie.

Para realizarlo se debe separar por tamices el agregado y el residuo de caucho, luego con los datos de “porcentaje retenido parcial” se calcula el peso que representa en cada tamiz cada uno de los materiales, esto depende de la mezcla que se quiera formar.



Imagen 35. Mezcla de 75% agregado y 25% caucho de tamaño #100

1.5.6.1.1. Cálculo del porcentaje real de residuo de caucho utilizado

Por ser el residuo de caucho un material sumamente fino se reemplaza en los tamices que es representativo el material; por lo tanto, es indispensable calcular el porcentaje real de caucho reemplazado. Este será la suma del porcentaje retenido parcial de los

tamices sustituidos multiplicado por la proporción que representa en cada dosificación utilizada.

1.5.6.2. Mezcla al peso

Esta forma de mezcla es un proceso mucho más rápido y sencillo; únicamente se calcula el peso correspondiente al porcentaje que se quiere mezclar de agregado y residuo de caucho. Al combinar de esta manera es evidente que la granulometría de la mezcla cambiará respecto a la granulometría original.

La nueva granulometría debe mantenerse dentro de la franja de trabajo permitida para mortero asfáltico, por esto debe variarse el porcentaje de mezcla entre los dos materiales para encontrar los valores permitidos de combinación sin que se sobrepase las tolerancias.

Se ayuda con una hoja de cálculo que mezcla el “porcentaje que pasa” de cada tamiz y lo multiplica por el porcentaje de participación de cada material en la composición, con lo que se encuentra la granulometría del nuevo material que se forma.

1.6. HIPÓTESIS

Las mezclas convencionales de mortero asfáltico modificadas con el residuo de caucho, obtenido tras su remoción de la pista del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito mejorarán sus características físico-mecánicas.

**2. CAPÍTULO II: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE
AGREGADOS PÉTREOS, EMULSIÓN ASFÁLTICAS Y DEMÁS
COMPONENTES DE UN MORTERO ASFÁLTICO**

2.1. AGREGADOS PÉTREOS

2.1.1. CANTERA DE GUAYLLABAMBA

La cantera de Guayllabamba se encuentra ubicada en el nororiente de la ciudad de Quito, se asienta bajo el puente del río Guayllabamba.

El agregado es de origen aluvial, en su mayoría formando de rocas volcánicas. Gran parte del volumen de material es mayor al tamiz 3/8” por lo que para obtener material fino se procede a la trituración.



Imagen 36. Mina de Guayllabamba. (Google, 2018)

2.1.1.1. Resultados del ensayo de granulometría

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO							
ENSAYO:	GRANULOMETRÍA			NORMA:	ASTM C 136		
TIPO:	II						
DATOS GENERALES							
MATERIAL:	ARENA TRITURADA						
CANTERA:	GUAYLLABAMBA			COLOR:	CAFÉ ROJIZO		
RESULTADOS DEL ENSAYO							
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
						ISSA A105 4.2.3	
						Tipo II	
						% min.	% máx.
3/8"	9,500	0	0,00	0,00	100,00%	100,00%	100,00%
#4	4,750	63	6,34	6,34	93,66%	85,00%	100,00%
#8	2,360	279	27,90	34,24	65,76%	60,00%	95,00%
#16	1,180	182	18,22	52,46	47,54%	40,00%	75,00%
#30	0,600	149	14,90	67,37	32,63%	25,00%	55,00%
#50	0,300	161	16,10	83,47	16,53%	14,00%	34,00%
#100	0,150	87	8,72	92,19	7,81%	7,00%	24,00%
#200	0,075	48	4,81	97,00	3,00%	3,00%	17,00%
PASA #200		30	3,00	100,00	0,00%	0,00%	0,00%
SUMA		1000	100,00				

Tabla 7. Granulometría Guayllabamba

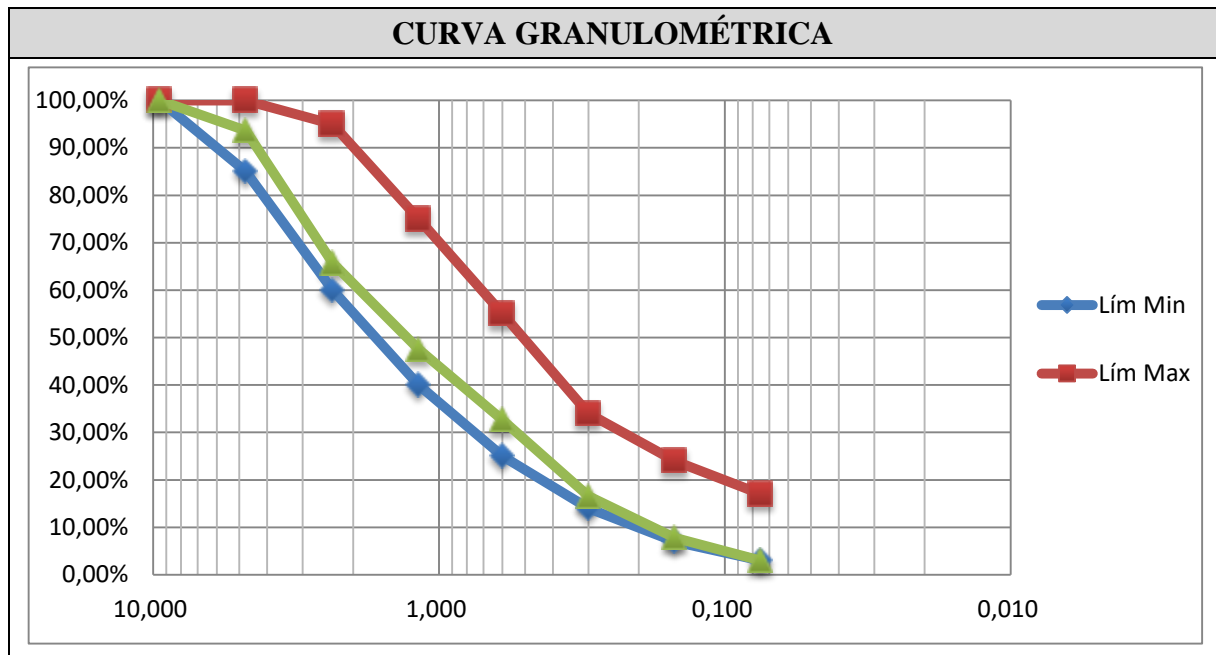


Gráfico 2. Curva granulométrica Guayllabamba

Luego de realizado el análisis granulométrico del material proveniente de la cantera de Guayllabamba se determinó que su tipo de granulometría se ajusta para una mezcla de mortero asfáltico tipo II; ya que su porcentaje pasante entra dentro del rango permitido con tolerancias para este tipo de mezcla.

2.1.1.2. Resultados del ensayo de equivalente de arena

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO		
ENSAYO:	EQUIVALENTE DE ARENA	
NORMA:	AASHTO T 176	
CANTERA:	GUAYLLABAMBA	
RESULTADOS DEL ENSAYO		
$C = (B/A) * 100$		
LECTURA INICIAL	A=	3,7
LECTURA FINAL	B=	3,5
EQUIVALENTE DE ARENA	C=	95%

Tabla 8. Equivalente de arena Guayllabamba

El resultado del ensayo de equivalente de arena fue favorable para este material, ya que al comparar con la especificación de la norma ISSA 2010 se requiere un valor

mínimo de 45% y este material tuvo 95%. Esto garantiza que el porcentaje de finos perjudiciales para la mezcla es de apenas el 5%.

2.1.1.3. Resultados del ensayo de desgaste por ataque de los sulfatos

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO							
ENSAYO:	DESGASTE A LOS SULFATOS						
NORMA:	ASTM C 88						
CANTERA:	GUAYLLABAMBA						
RESULTADOS DEL ENSAYO							
FRACCIÓN	N° DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA INICIAL	MASA FINAL	% QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	% DE DESGASTE PARCIAL
	PASA	RETIENE					
1		N° 4	7,84	-	-	-	-
2	N° 4	N° 7	34,47	100,00	84,40	15,60	5,38
3	N° 7	N° 16	22,52	100,00	77,30	22,70	5,11
4	N° 16	N° 30	18,42	100,00	70,30	29,70	5,47
5	N° 30	N° 50	19,89	100,00	59,20	40,80	8,12
PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL							24%

Tabla 9. Desgaste a los sulfatos Guayllabamba

En el uso de sulfato de magnesio se puede tener un máximo de desgaste a la solución del 25%. El agregado de la cantera de Guayllabamba cumplió con las especificaciones. Es necesario tomar en cuenta que por estar cercano al límite permitido se debe tener cuidado en lugares donde se pueda encontrar altas concentraciones de salinidad.

2.1.1.4. Resultados del ensayo de desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO		
ENSAYO:	DESGASTE A LA ABRASIÓN	
NORMA:	ASTM C 131	
CANTERA:	GUAYLLABAMBA	
TIPO DE GRADACIÓN:	B	
RESULTADOS DEL ENSAYO		
PORCENTAJE DE DESGASTE = (C/A) * 100		
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12 = A - B		
MASA INICIAL (gr)	A=	4856,3
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUÉS DEL ENSAYO (gr)	B=	3800
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12 (gr)	C=	1056,3
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	22%

Tabla 10. Desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles Guayllabamba

El límite admisible para el ensayo de desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles es 35%; se confirmó que el material es de buena calidad.

2.1.2. CANTERA DE PIFO

La cantera de Pifo está localizada al nororiente de la Quito en el kilómetro 4 ½ de la vía Pifo – Papallacta.

El material que se encuentra en el lugar es de origen piroclástico originario de las erupciones del volcán Antisana.



Imagen 37. Mina de Pifo. (Holcim, 2018)

2.1.2.1. Resultados del ensayo de granulometría

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO							
ENSAYO:	GRANULOMETRÍA			NORMA:	ASTM C 136		
TIPO:	II						
DATOS GENERALES							
MATERIAL:	ARENA TRITURADA						
CANTERA:	PIFO			COLOR:	PLOMO AZULADO		
RESULTADOS DEL ENSAYO							
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA	ESPECIFICACIONES	
						ISSA A105 4.2.3	
						Tipo II	
						% min.	% máx.
3/8"	9,500	0	0,00	0,00	100,00%	100,00%	100,00%
#4	4,750	1	0,07	0,07	99,93%	85,00%	100,00%
#8	2,360	310	31,00	31,07	68,93%	60,00%	95,00%
#16	1,180	270	26,98	58,05	41,95%	40,00%	75,00%
#30	0,600	147	14,68	72,73	27,27%	25,00%	55,00%
#50	0,300	99	9,85	82,58	17,42%	14,00%	34,00%
#100	0,150	65	6,48	89,07	10,93%	7,00%	24,00%
#200	0,075	49	4,93	94,00	6,00%	3,00%	17,00%
PASA #200		60	6,00	100,00	0,00%	0,00%	0,00%
SUMA		1000	100,00				

Tabla 11. Granulometría Pifo

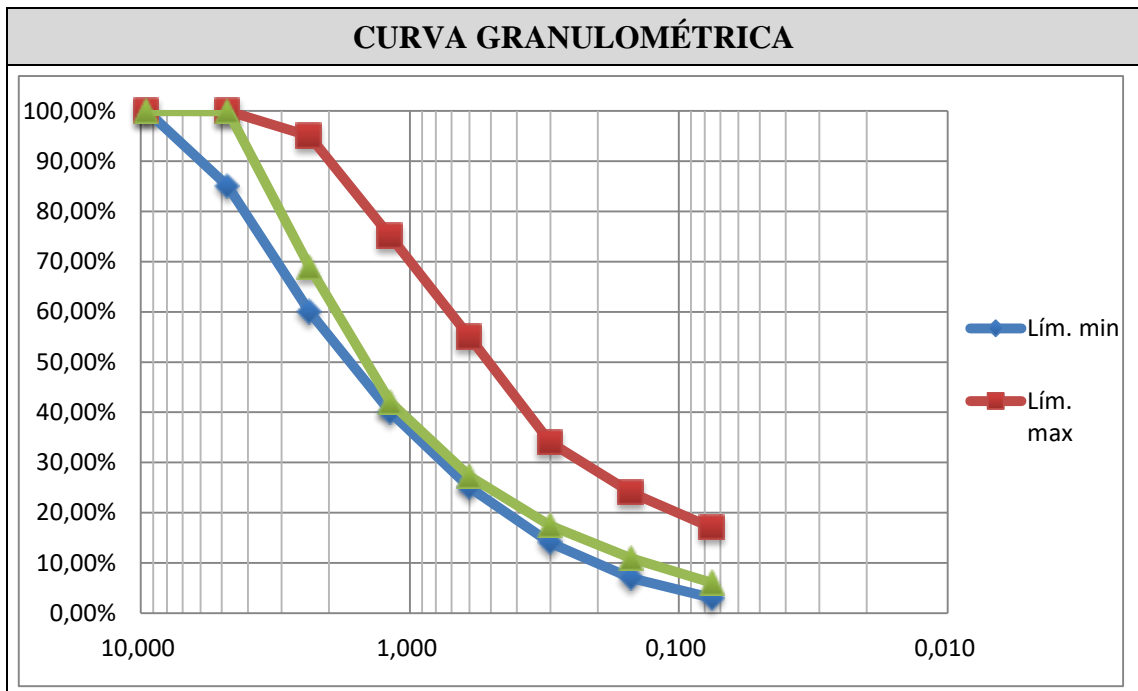


Gráfico 3. Curva granulométrica Pifo

Del mismo modo que en el primer caso, la granulometría del material de la cantera de Pifo se ajustó para una mezcla de mortero asfáltico tipo II; ya que su porcentaje pasante entra dentro del rango permitido con tolerancias para este tipo de mezcla.

2.1.2.2. Resultados del ensayo de equivalente de arena

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO		
ENSAYO:	EQUIVALENTE DE ARENA	
NORMA:	AASHTO T 176	
CANTERA:	PIFO	
RESULTADOS DEL ENSAYO		
$C = (B/A) * 100$		
LECTURA INICIAL	A=	4
LECTURA FINAL	B=	3,6
EQUIVALENTE DE ARENA	C=	90%

Tabla 12. Equivalente de arena Pifo

El resultado del ensayo de equivalente de arena fue favorable para este material, ya que al comparar con la especificación de la norma ISSA 2010 se requiere un valor

mínimo de 45% y este material tuvo 90%. Esto garantiza que el porcentaje de finos perjudiciales para la mezcla es de apenas el 10%.

2.1.2.3. Resultados del ensayo de desgaste por ataque de los sulfatos

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO							
ENSAYO:	DESGASTE A LOS SULFATOS						
NORMA:	ASTM C 88						
CANTERA:	PIFO						
RESULTADOS DEL ENSAYO							
FRACCIÓN	N° DEL TAMIZ		% RETENIDO PARCIAL DEL AGREGADO	MASA INICIAL	MASA FINAL	% QUE PASA DESPUES DEL ENSAYO	% DE DESGASTE PARCIAL
	PASA	RETIENE					
1		N° 4	0,07	-	-	-	-
2	N° 4	N° 7	30,99	100,00	90,50	9,50	2,94
3	N° 7	N° 16	26,97	100,00	86,70	13,30	3,59
4	N° 16	N° 30	14,67	100,00	80,30	19,70	2,89
5	N° 30	N° 50	9,85	100,00	78,00	22,00	2,17
PORCENTAJE DE DESGASTE TOTAL							12%

Tabla 13. Desgaste a los sulfatos Pifo

En el uso de sulfato de magnesio se puede tener un máximo de desgaste a la solución del 25%. El agregado de la cantera de Pifo cumplió con la especificación.

2.1.2.4. Resultados del ensayo de desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO		
ENSAYO:	DESGASTE A LA ABRASIÓN	
NORMA:	ASTM C 131	
CANTERA:	PIFO	
TIPO DE GRADACIÓN:	B	
RESULTADOS DEL ENSAYO		
PORCENTAJE DE DESGASTE = $(C/A) * 100$		
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12 = A - B		
MASA INICIAL (gr)	A=	5000
MASA RETENIDA EN EL TAMIZ N° 12 DESPUÉS DEL ENSAYO (gr)	B=	3920
MASA QUE PASA EL TAMIZ N° 12 (gr)	C=	1080
PORCENTAJE DE DESGASTE	D=	22%

Tabla 14. Desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles Pifo

El límite admisible para el ensayo de desgaste a la abrasión con la máquina de Los Ángeles es 35%; se apreció que el material es de buena calidad.

2.1.3. COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE AGREGADOS PÉTREOS

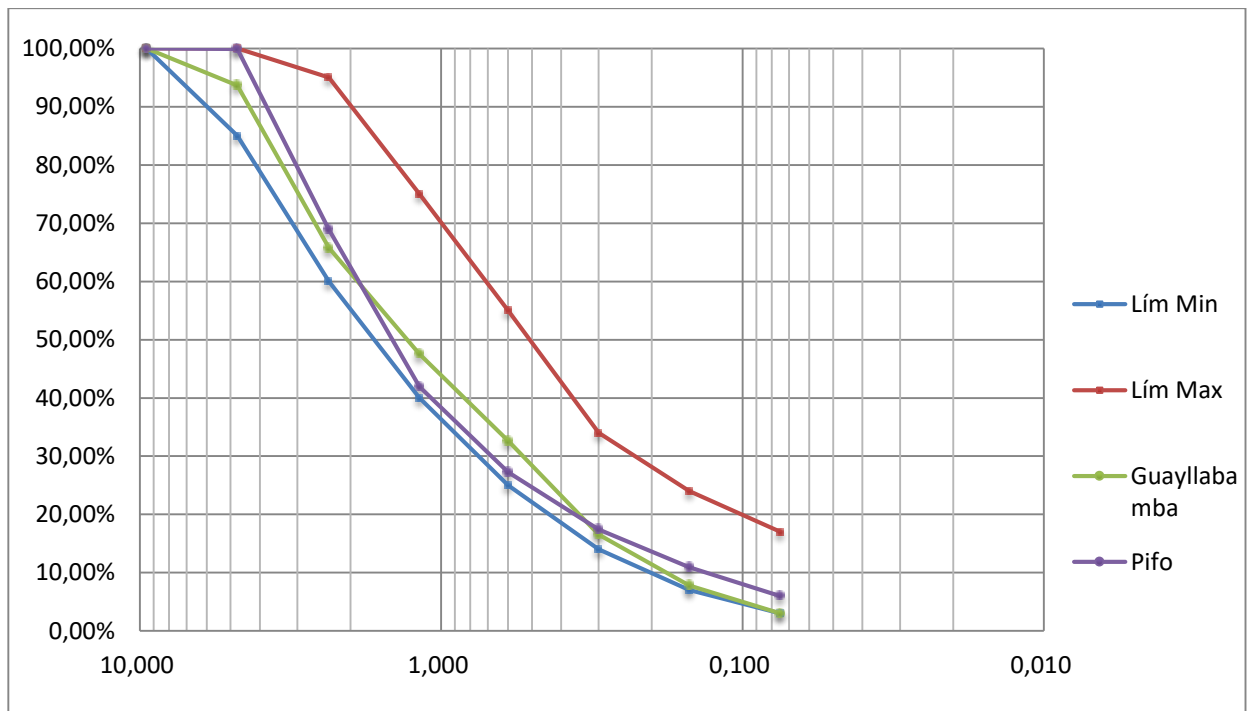


Gráfico 4. Comparación de granulometrías Guayllabamba y Pifo

Se aprecia que en la curva granulométrica del material de Guayllabamba a partir del tamiz #50 se tiene poco contenido de finos; por lo tanto, al añadir residuo de caucho por la forma de mezcla al peso puede mejorar la curva, centrándola de mejor manera, ya que el caucho se desempeñaría como un filler; lo mismo ocurre con el material de Pifo.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	GUAYLLABAMBA	PIFO	OBSERVACIONES
EQUIVALENTE DE ARENA	MIN. 45%	95%	90%	CUMPLE
DESGASTE A LOS SULFATOS	MÁX. 25% w/MgSO ₄	24%	12%	CUMPLE
DESGASTE A LA ABRASIÓN CON LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES	MÁX. 35%	22%	22%	CUMPLE

Tabla 15. Comparación de resultados de ensayos de agregados pétreos

Los materiales de ambas canteras cumplieron con las características requeridas para mezclas de mortero asfáltico; por lo tanto, se garantiza su buen desempeño.

2.2. EMULSIÓN ASFÁLTICA

2.2.1. DESCRIPCIÓN DE LA EMULSIÓN ASFÁLTICA

La emulsión CSS-1h es catiónica de rotura lenta de baja viscosidad con asfalto base duro para trabajos de sellos y mezclas asfálticas. Se presenta como un líquido bituminoso suministrado a granel y en envases (Imptek - Chova del Ecuador, 2018).

2.2.2. HOJA DE CALIDAD DE LA EMULSIÓN CSS-1h

La hoja de calidad del material bituminoso utilizado para la mezcla de mortero asfáltico de esta investigación fue proporcionada por la empresa fabricante de producto IMPTEK y representa una garantía del cumplimiento de las especificaciones y calidad del producto.

ENSAYO	ESPECIFICACIÓN	RESULTADO	OBSERVACIONES
CONTENIDO DE ASFALTO	59 - 64	62	CUMPLE
PENETRACIÓN EN EL RESIDUO	40 - 90	58	CUMPLE
ASENTAMIENTO EN 24H	0 - 1	0,1	CUMPLE
ESTABILIDAD EN EL ALMACENAMIENTO	Máx. 5	1,10	CUMPLE
PRUEBA DEL TAMIZ N° 20	Máx. 0.1	0,02	CUMPLE
VISCOSIDAD SAYBOLT FUROL A 25 C°	20 - 100	26	CUMPLE
MEZCLA CON CEMENTO	Máx. 2	1,66	CUMPLE
CARGA DE PARTÍCULAS	Positiva	Positiva	CUMPLE

Tabla 16. Hoja de calidad de emulsión CSS-1h. (IMPTEK, 2018)

Para mortero asfáltico tipo II se permite un residuo de asfalto entre 7.5 y 13.5%. Para emulsión CSS-1h de IMPTEK con 62% de residuo de asfalto estos valores representan el 12 y 22% respectivamente en porcentaje total de emulsión.

2.3. RESIDUO DE CAUCHO

El residuo de caucho es extraído de la remoción de la pista del Aeropuerto Mariscal Sucre de Quito utilizando agua a 20 000 psi, presión que no afecta la superficie del pavimento. Antes y después de realizado este proceso se mide el rozamiento del pavimento con un remolque específico para esta acción, el aparato actúa con una presión en la llanta de 70 KPa y a velocidad de 95 km/h; con estos valores se espera un rozamiento de 0,26 como mínimo valor fricción y de 0,38 como valor previsto de mantenimiento según la Tabla C-2 de la regulación de la DGAC.

2.3.1. GRANULOMETRÍA DEL RESIDUO DE CAUCHO

Es requisito indispensable conocer la granulometría del residuo de caucho para determinar la manera en la que se mezclará con el agregado cuando se realice la mezcla al peso.

DISEÑO DE MORTERO ASFÁLTICO					
ENSAYO:	GRANULOMETRÍA	NORMA:	ASTM C 136		
DATOS GENERALES					
MATERIAL:	RESIDUO DE CAUCHO	COLOR:	NEGRO		
ORIGEN:	REMOCIÓN AEROPUERTO MARISCAL SUCRE				
RESULTADOS DEL ENSAYO					
MALLA No.	ABERTURA (mm)	MASA RETENIDA PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL	PORCENTAJE RETENIDO ACUMULADO	PORCENTAJE QUE PASA
3/8"	9,500	0	0,00	0,00	100,00%
#4	4,750	2	0,67	0,67	99,33%
#8	2,360	1	0,27	0,93	99,07%
#16	1,180	2	0,80	1,74	98,26%
#30	0,600	29	9,82	11,55	88,45%
#50	0,300	67	22,47	34,02	65,98%
#100	0,150	70	23,27	57,30	42,70%
#200	0,075	60	20,10	77,40	22,60%
PASA #200		68	22,60	100,00	0,00%
SUMA		300	100,00		

Tabla 17. Granulometría residuo de caucho

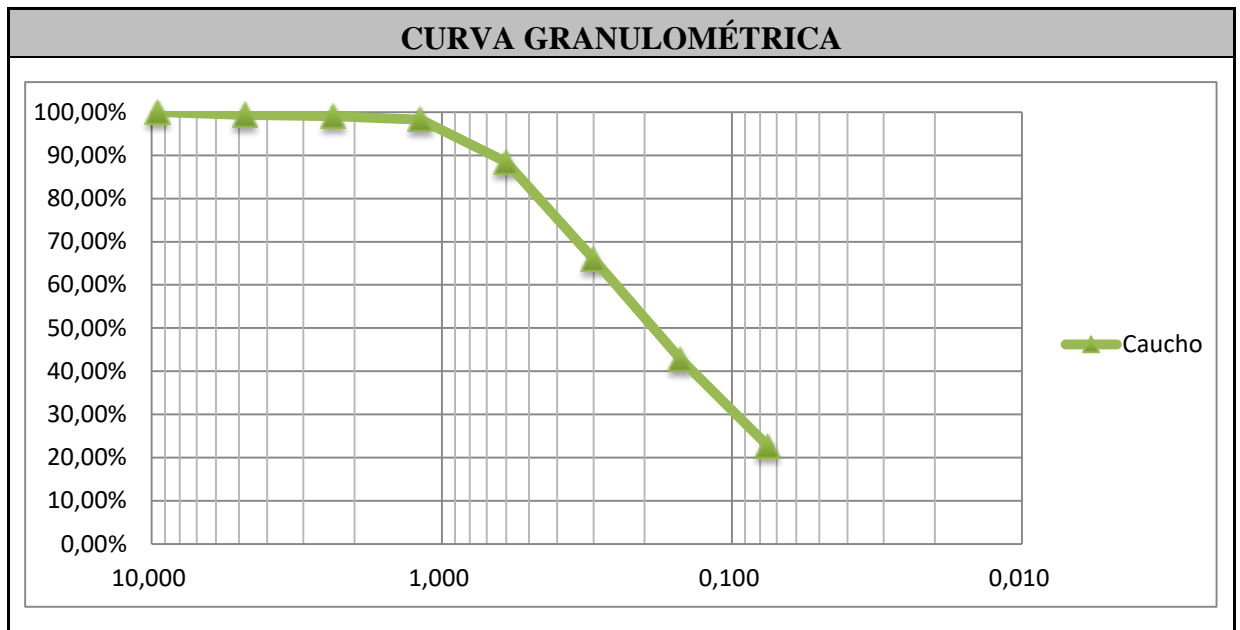


Gráfico 5. Curva granulométrica resíduo de caucho

3. CAPÍTULO III: ANÁLISIS DE RESULTADOS DE DISEÑO DE
MORTERO ASFÁLTICO

3.1. DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMA CON MATERIAL DE
GUAYLLABAMBA

Se inició con la determinación de la mezcla óptima de agregados, emulsión y agua para la conformación de mortero asfáltico que cumpla con las especificaciones de diseño vigentes.

La fórmula maestra de obra fue obtenida variando los porcentajes de los componentes; esto permitió realizar un registro de los resultados de los ensayos a cada mortero asfáltico conformado, para mediante la representación gráfica escoger los óptimos porcentajes de mezcla.

3.1.1. PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113

MEZCLADO MANUAL (ISSA TB 113)							
GUAYLLABAMBA							
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	TIEMPO DE MEZCLA	ESPECIFICACIÓN (s)	PH AGUA	TEMPERATURA AGUA	OBSERVACIONES
1	17	9	140	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLA
2	17	11	225	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
3	13	12	165	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
4	13	15,5	900	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE

Tabla 18. Resultados de mezclado manual Guayllabamba

3.1.2. ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106

CONSISTENCIA CON EL CONO (ISSA TB 106)							
GUAYLLABAMBA							
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA CONO
1	17	13	2,0	2,0	2,0	0,8	1,70
2	17	14	2,9	2,8	3,2	2,9	2,95
3	17	15	2,9	3,0	3,9	3,9	3,43

Tabla 19. Resultados de consistencia con el cono con 17% de emulsión Guayllabamba

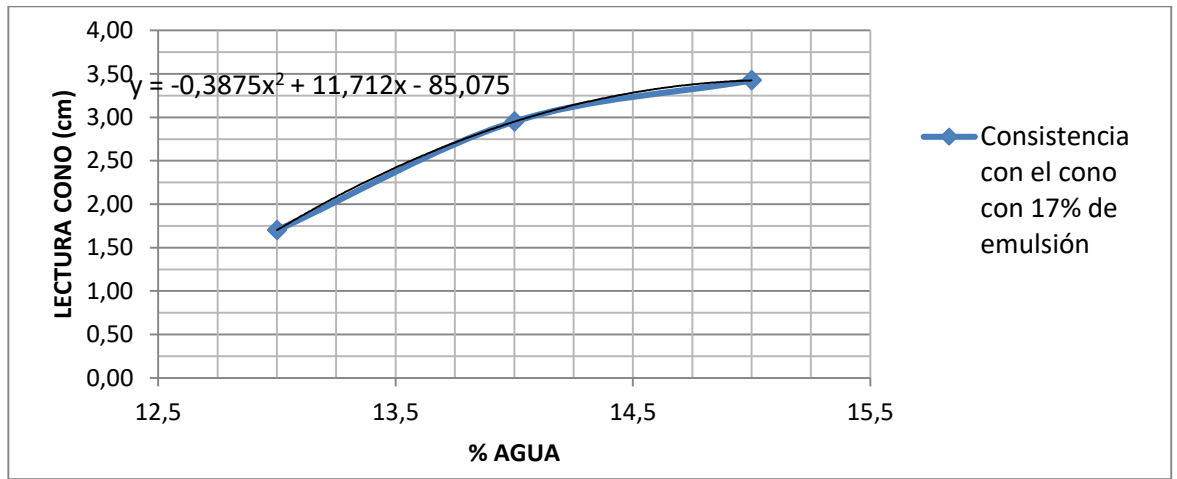


Gráfico 6. Consistencia con el cono con 17% de emulsión Guayllabamba

Lectura ideal=2,5	
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	a= -0,3875
	b= 11,712
	c= -87,575

X _{1(2,5)} =	13,6
X _{2(2,5)} =	16,7

Observaciones: Se redondeó el porcentaje óptimo de agua a 13,5%.

CONSISTENCIA CON EL CONO (ISSA TB 106)							
GUAYLLABAMBA							
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA CONO
1	13	17	4,0	4,1	4,4	4,5	4,25
2	13	16	2,9	2,1	3,6	3,0	2,90
3	13	15	3,0	2,5	0,0	0,8	1,58

Tabla 20. Resultados de consistencia con el cono con 13% de emulsión Guayllabamba

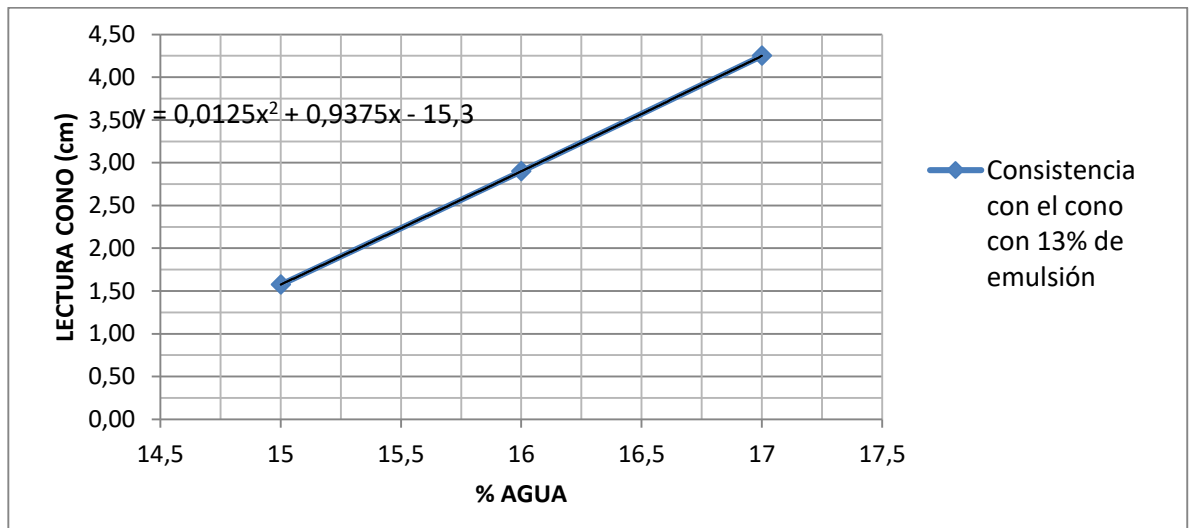


Gráfico 7. Consistencia con el cono con 13% de emulsión Guayllabamba

Lectura ideal=2,5		
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	a=	0,0125
	b=	0,9375
	c=	-17,8

$X_{1(2,5)}=$	15,7
$X_{2(2,5)}=$	-90,7

Observaciones: Se redondeó el porcentaje óptimo de agua a 15,5%.

CONSISTENCIA CON EL CONO (ISSA TB 106)							
GUAYLLABAMBA							
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	LECTURA 1	LECTURA 2	LECTURA 3	LECTURA 4	LECTURA CONO
1	21	15	5,1	5,0	4,1	4,0	4,55
2	21	14	4,0	4,1	4,0	3,9	4,00
3	21	13	3,2	4,0	3,9	3,1	3,55
4	21	12	2,0	3,0	2,0	2,2	2,30

Tabla 21. Resultados de consistencia con el cono con 21% de emulsión Guayllabamba

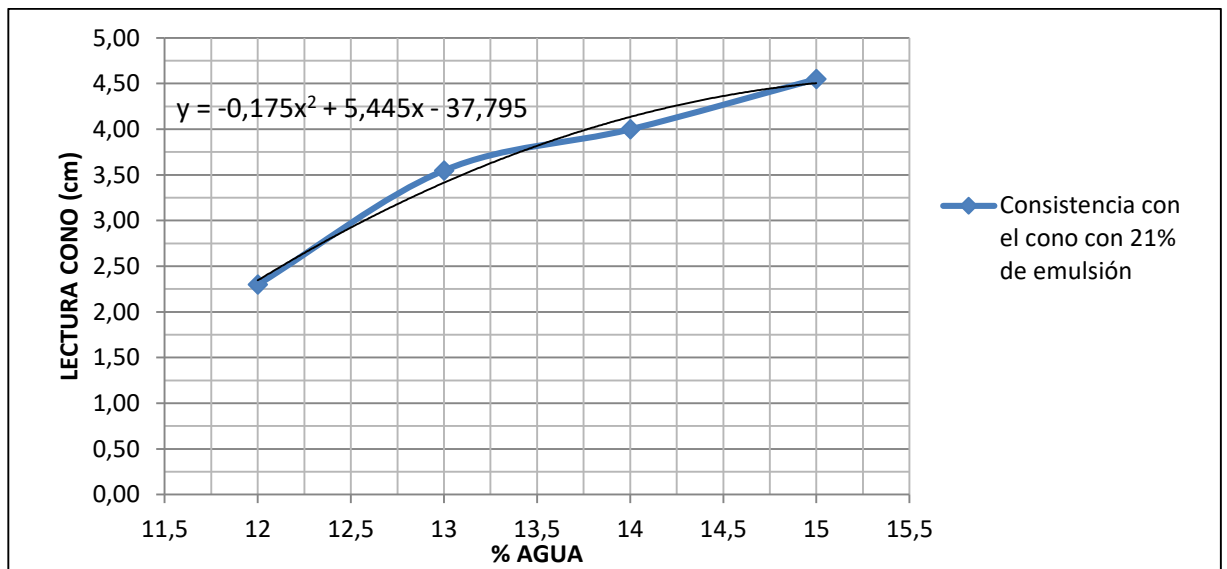


Gráfico 8. Consistencia con el cono con 21% de emulsión Guayllabamba

Lectura ideal=2,5	
$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$	a= -0,175
	b= 5,445
	c= -40,295

X _{1(2,5)} =	12,1
X _{2(2,5)} =	19,0

Observaciones: Se redondeó el porcentaje óptimo de agua a 12%.

Para la cantera de Guayllabamba se encontraron los porcentajes de agua óptimo para tres porcentajes de emulsión, debido a que la norma sugiere realizar los ensayos de rueda cargada y abrasión húmeda con porcentajes de emulsión asfáltica y agua que cumplan una consistencia de 2.5 cm.

3.1.3. ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114



Imagen 38. Ensayo de peladura en húmeda Guayllabamba

El ensayo de peladura en húmedo no requiere cálculos matemáticos para obtener su resultado, sino una verificación visual que establece el porcentaje de agregado cubierto por emulsión.

En el caso de la cantera de Guayllabamba se apreció que la muestra se mantuvo cubierta casi en su totalidad, es por esto que se le asignó un valor subjetivo de 96%.

3.1.4. PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100

ABRASIÓN HÚMEDA (ISSA TB 100)							
GUAYLLABAMBA							
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS PERDIDOS		
					(g)	FACTOR	(g/m ²)
1	13	15,5	732,63	731,24	1,39	32,90	45,73
2	17	13,5	672,12	671,02	1,10	32,90	36,19
3	21	12	688,84	688,19	0,65	32,90	21,38

Tabla 22. Resultados de abrasión húmeda Guayllabamba

Según la Tabla 6 se escogió el factor de 32,90 debido a que la máquina de abrasión utilizada fue N-50 y los gramos perdidos menor a 24,5.

3.1.5. PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109

RUEDA CARGADA (ISSA TB 109)							
GUAYLLABAMBA							
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS ADHERIDOS		
					(g)	FACTOR	(g/m ²)
1	13	15,5	460,79	462,23	1,44	86,21	124,14
2	17	13,5	464,85	467,35	2,50	86,21	215,53
3	21	12	455,63	459,67	4,04	86,21	348,29

Tabla 23. Resultados de rueda cargada Guayllabamba

Se escogió el factor de 86,21 debido a que es un valor propio de la máquina.

3.1.6. MEZCLA ÓPTIMA DE MORTERO ASFÁLTICO TB 111

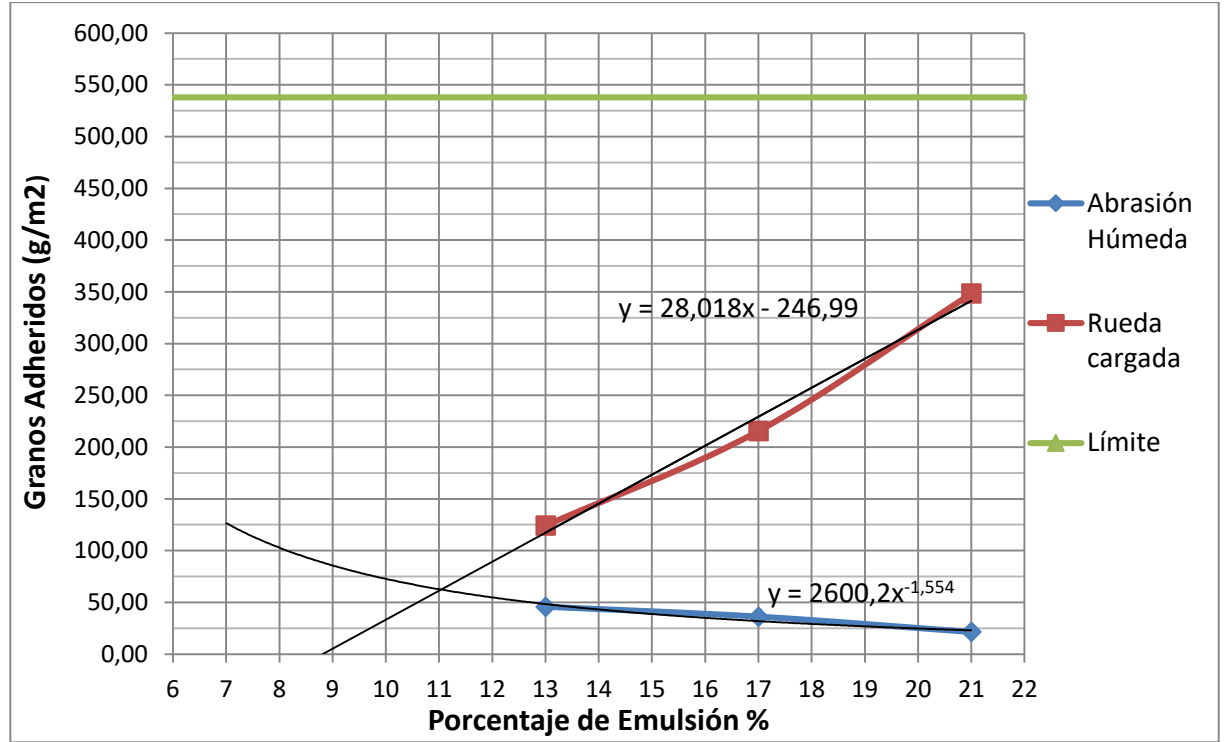


Gráfico 9. Asfalto óptimo Guayllabamba

Si bien ambas curvas no tuvieron un punto experimental de cruce, se extrapolaron para poder conocer un punto teórico de intersección.

En este caso la confluencia teórica de las dos curvas se dio en el punto 11,3% de emulsión pero como se mostró en la [sección 2.2.2](#), se permite un valor mínimo de 12%, razón por la cual se utilizó el 13% ya que está dentro del rango permitido de $\pm 1.5\%$.

3.1.7. ENSAYO DE COHESIÓN TB 139

COHESIÓN (ISSA TB 139)				
GUAYLLABAMBA				
TIEMPO (min)	TIEMPO (h)	HORA INICIAL	HORA DE ENSAYO	COHESIÓN (Kg-cm)
30	0,5	11:41	12:11	9
60	1,0	11:42	12:42	11
90	1,5	11:42	13:12	16
150	2,5	11:42	14:12	21
210	3,5	11:44	15:14	24
270	4,5	11:44	16:14	24,5

Tabla 24. Resultados de cohesión Guayllabamba

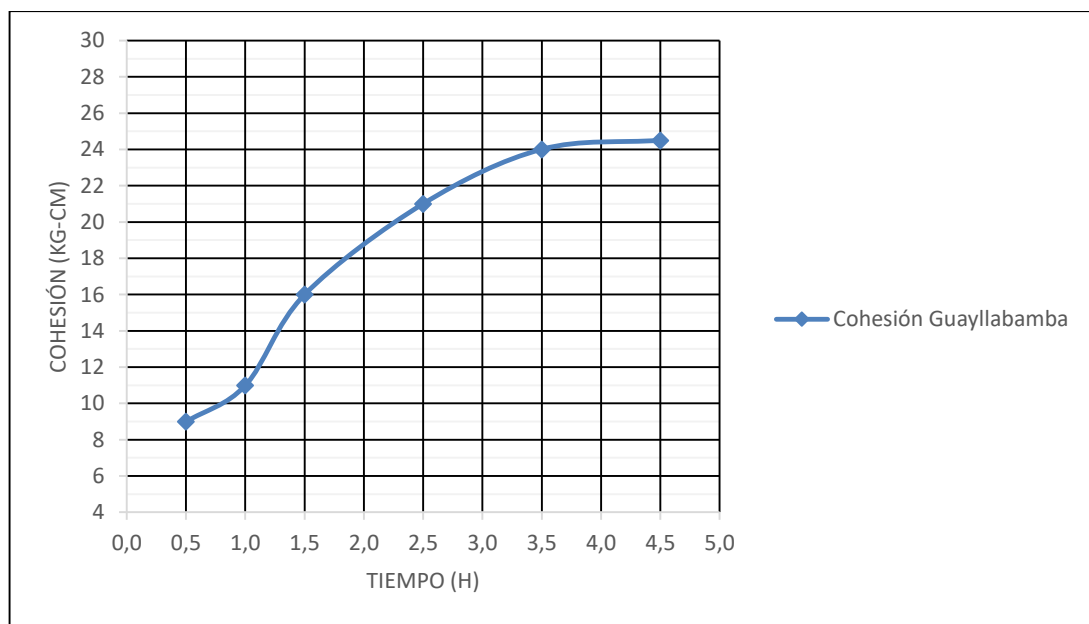


Gráfico 10. Cohesión Guayllabamba

La curva de cohesión de Guayllabamba se asemejó a la curva Slow set – Slow traffic lo que reflejó lento tiempo de puesta y también lenta apertura al tráfico. Se sugiere que el tiempo de espera antes de permitir el paso de vehículos sea al menos de 2.5 horas.

3.2. DISEÑO DE MEZCLA ÓPTIMA CON MATERIAL DE PIFO

Para el material de la cantera de Pifo se procedió de la misma manera. Se determinó la mezcla óptima de agregados, emulsión y agua; mediante la representación gráfica se escogió los óptimos porcentajes de mezcla.

3.2.1. PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113

MEZCLADO MANUAL (ISSA TB 113)							
PIFO							
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	TIEMPO DE MEZCLA	ESPECIFICACIÓN (s)	PH AGUA	TEMPERATURA AGUA	OBSERVACIONES
1	12	14	175	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
2	12	15	210	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
3	14	11	72	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
4	14	14	290	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
5	20	9	140	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
6	20	11	255	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE

Tabla 25. Resultados de mezclado manual Pifo

La prueba de mezclado manual se efectuó con tres porcentajes de emulsión asfáltica, ya que como se verá más adelante se presentaron problemas al realizar el ensayo de consistencia con el cono en el agregado de Pifo; la norma indica también tomar los valores de agua y emulsión que cumple en el presente ensayo para realizar briquetas de rueda cargada y abrasión húmeda.

3.2.2. ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106

La combinación de emulsión asfáltica, agua y agregado de Pifo presentó problemas al mezclarlos, por la poca adherencia entre los tres materiales; esto no interfirió en los resultados de la prueba de mezclado manual porque en esta se requiere tener una

mezcla constante hasta su rotura, pero fue visible en el ensayo de consistencia, al retirar el cono se observó como la parte líquida se desprendió de lo sólido dejando de ser una mezcla homogénea e impidiendo obtener resultados concretos en este ensayo. Se probó con porcentajes de agua más altos; sin embargo, el resultado no cambió; por lo tanto, este ensayo fue omitido en el proceso de diseño.

Si bien un ensayo de los requeridos por la norma no cumple con las especificaciones no necesariamente se descarta el sistema de mortero asfáltico (International Slurry Surfacing Association, 2010).



Imagen 39. Consistencia con el cono Pifo

3.2.3. ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114



Imagen 40. Ensayo de peladura en húmeda Pifo

La muestra de peladura en húmedo de Pifo mantuvo una cobertura casi total de emulsión, se asignó un valor subjetivo de 95%.

3.2.4. PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100

ABRASIÓN HÚMEDA (ISSA TB 100)							
PIFO							
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS PERDIDOS		
					(g)	FACTOR	(g/m ²)
1	12	15	724,52	719,19	5,33	32,90	175,36
3	14	14	706,81	704,92	1,89	32,90	62,18
5	20	11	781,15	780,05	1,10	32,90	36,19

Tabla 26. Resultados de abrasión húmeda Pifo

Según la Tabla 6 se escogió el factor de 32,90 debido a que la máquina de abrasión utilizada fue N-50 y los gramos perdidos menor a 24,5.

3.2.5. PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109

RUEDA CARGADA (ISSA TB 109)							
PIFO							
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS ADHERIDOS		
					(g)	FACTOR	(g/m ²)
1	12	15	365,57	367,71	2,14	86,21	184,49
2	14	14	383,10	386,39	3,29	86,21	283,63
3	20	11	455,58	461,21	5,63	86,21	485,36

Tabla 27. Resultados de rueda cargada Pifo

Se escogió el factor de 86,21 debido a que es un valor propio de la máquina.

3.2.6. MEZCLA ÓPTIMA DE MORTERO ASFÁLTICO TB 111

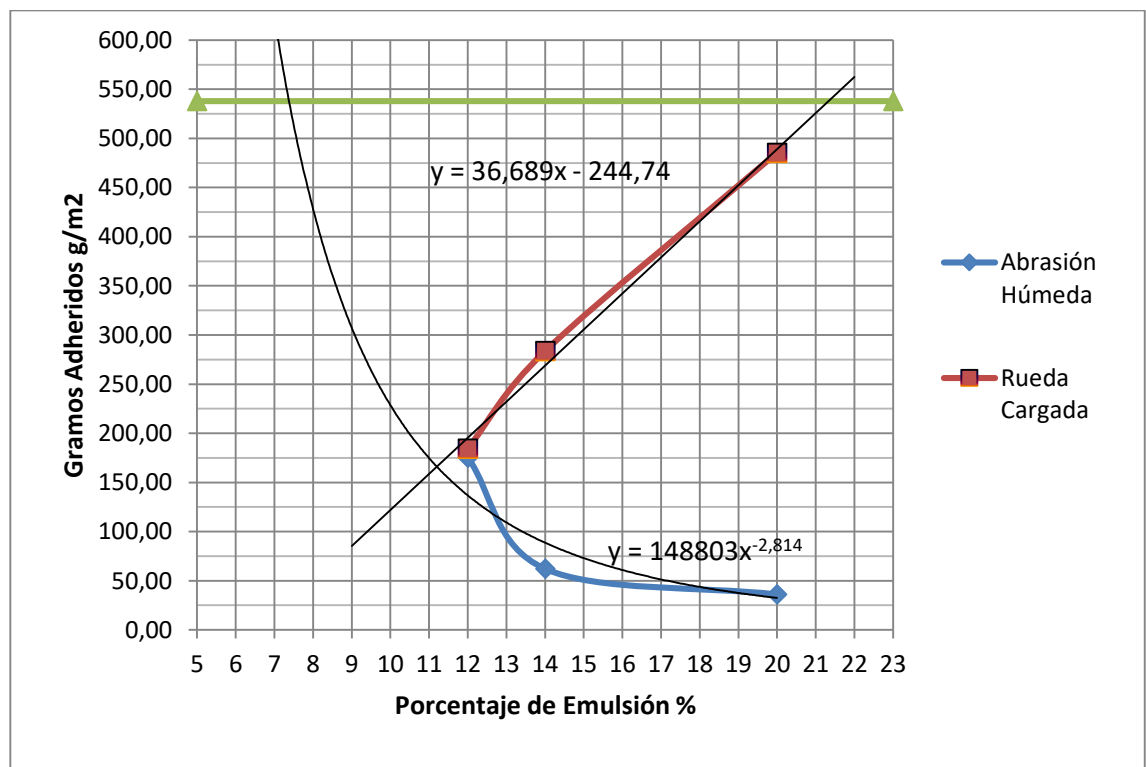


Gráfico 11. Asfalto óptimo Pifo

En este caso la intersección de las dos curvas se dio en el punto 12% de emulsión, valor permitido dentro de los rangos de porcentaje de emulsión que pueden ocupare de la [sección 2.2.2](#); por lo que se utilizó el 12%.

3.2.7. ENSAYO DE COHESIÓN TB 139

COHESIÓN (ISSA TB 139)				
PIFO				
TIEMPO (min)	TIEMPO (h)	HORA INICIAL	HORA DE ENSAYO	COHESIÓN N (Kg-cm)
30	0,5	11:54	12:24	13,5
60	1,0	11:54	12:54	16
90	1,5	11:55	13:25	19
150	2,5	11:55	14:25	21
210	3,5	11:56	15:26	21
270	4,5	11:56	16:26	21

Tabla 28. Resultados de cohesión Pifo

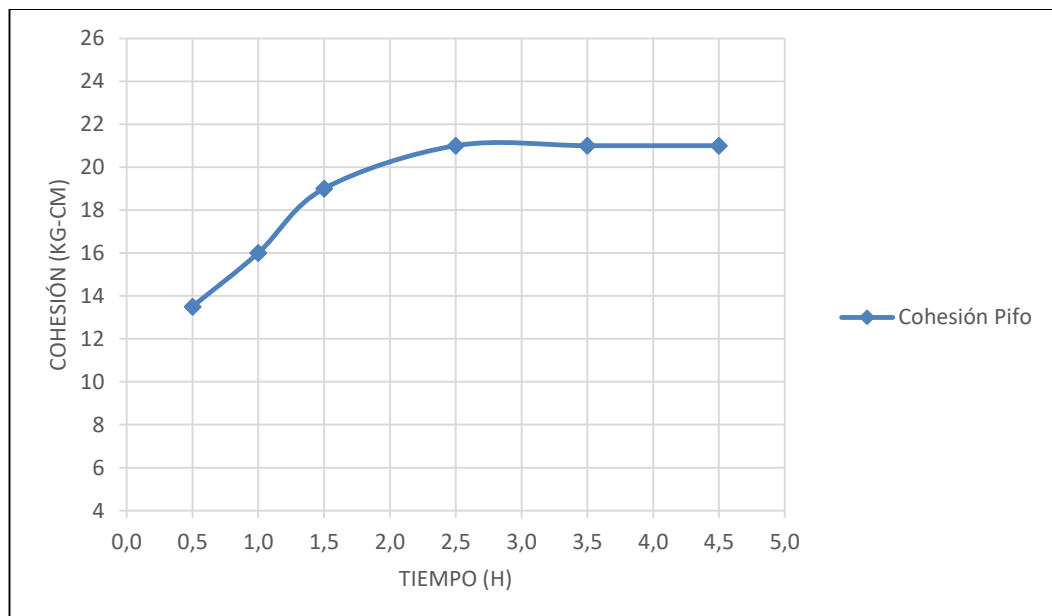


Gráfico 12. Cohesión Pifo

La curva de cohesión de Pifo se asemejó a la curva Quick set – Slow traffic lo que reflejó rápido tiempo de puesta y lenta apertura al tráfico. Se sugiere que el tiempo de espera antes de permitir el paso de vehículos sea al menos de 2.5 horas.

3.3. COMPARACIÓN DE MEZCLA ÓPTIMA DE GUAYLLABAMBA CON Y SIN RESIDUO DE CAUCHO

3.3.1. MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL GUAYLLABAMBA

En esta investigación se realizaron diseños de mortero asfáltico de mezcla modificada con residuo de caucho en dosificaciones del 25%, 50%, 75% y 100% para cada cantera.

En esta forma de mezcla se realizó una muestra para cada dosificación en la prueba de mezclado manual, ensayo de consistencia con el cono, ensayo de peladura en húmedo y prueba de abrasión húmeda; para la prueba de rueda cargada se realizaron dos muestras para cada dosificación, ya que por ser un ensayo crítico se requirió confirmar los datos obtenidos; y para el ensayo de cohesión se conformaron 6 muestras para ensayar a diferentes horas únicamente con la dosificación que funcionó en los otros ensayos.

ENSAYOS	N° MUESTRAS
PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL	4
ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	4
ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO	4
PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA	4
PRUEBA DE LA RUEDA CARGADA	8
ENSAYO DE COHESIÓN	6
TOTAL	30

Tabla 29. Muestras realizadas en mezcla manteniendo granulometría Guayllabamba

En el análisis granulométrico del residuo de caucho se determinó que, hasta el tamiz #30 se acumula apenas 11,53% de todo el material; por lo tanto, se asumió los tamices #50, #100, #200 y pasante de #200 como representativos; el material de los tamices #4, #8, #16 y #30 no fue tomado en cuenta para esta investigación.

En la Tabla 30 se calculó el peso requerido por cada tamiz para realizar una mezcla de 10 kg utilizando diferentes proporciones de agregado de Guayllabamba y residuo de caucho:

GUAYLLABAMBA	% RETENIDO PARCIAL	AGREGADO 75%	CAUCHO 25%	AGREGADO 50%	CAUCHO 50%	AGREGADO %25	CAUCHO %75	AGREGADO 0%	CAUCHO 100%
No. 4	6,34	0,63		0,63		0,63		0,63	
No. 8	27,90	2,79		2,79		2,79		2,79	
No. 16	18,22	1,82		1,82		1,82		1,82	
No. 30	14,90	1,49		1,49		1,49		1,49	
DESDE AQUÍ SE REEMPLAZA CON RESIDUO DE CAUCHO									
No. 50	16,10	1,21	0,40	0,80	0,80	0,40	1,21		1,61
No. 100	8,72	0,65	0,22	0,44	0,44	0,22	0,65		0,87
No. 200	4,81	0,36	0,12	0,24	0,24	0,12	0,36		0,48
PASA No. 200	3,00	0,22	0,07	0,15	0,15	0,07	0,22		0,30
SUMA	100,%	10 kg		10 kg		10 kg		10 kg	

Tabla 30. Mezcla manteniendo la granulometría natural del agregado Guayllabamba

3.3.1.1. Cálculo del porcentaje real de caucho utilizado en la mezcla manteniendo la granulometría natural Guayllabamba

Como se explicó en la [sección 3.3.1](#) para la mezcla manteniendo la granulometría natural del agregado, los tamices reemplazados con residuo de caucho fueron #50, #100, #200 y pasante #200; por lo tanto los porcentajes reemplazados de 25, 50, 75 y 100% no son valores reales, ya que los tamices representativos de agregado no fueron reemplazados. Por lo tanto, se calculó el porcentaje real de residuo de caucho reemplazado:

GUAYLLABAMBA	
MALLA No.	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL
#50	16,10
#100	8,72
#200	4,81
PASA #200	3,00
SUMA	32,63

Tabla 31. Tamices reemplazados Guayllabamba

	PORCENTAJE REAL CAUCHO
CAUCHO 25%	8,16%
CAUCHO 50%	16,32%
CAUCHO 75%	24,48%
CAUCHO 100%	32,63%

Tabla 32. Porcentaje real de caucho reemplazado Guayllabamba

3.3.2. MEZCLA AL PESO GUAYLLABAMBA

A continuación, se muestra la diferencia de la curva granulométrica variando con diferentes porcentajes de residuo de caucho y agregado de Guayllabamba.

La hoja de cálculo de Excel estableció que el porcentaje máximo de residuo de caucho que se puede combinar con agregado de Guayllabamba es 35%; de este modo la curva granulométrica se acercó al límite superior de mortero asfáltico tipo II.

TAMIZ #	3/8	4	8	16	30	50	100	200	p #200
TAMIZ mm.	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	p 0,075
GUAYLL.	100,00	93,66	65,76	47,54	32,63	16,53	7,81	3,00	0,00
CAUCHO	100,00	99,33	99,07	98,37	88,47	66,03	42,80	22,73	0,00
MEZCLA	100,00	95,64	77,42	65,33	52,17	33,86	20,06	9,91	
Espec mín.	100	85	60	40	25	14	7	3	
Espec máx.	100	100	95	75	55	34	24	17	

Tabla 33. Mezcla al peso Guayllabamba 65% y residuo de caucho 35%

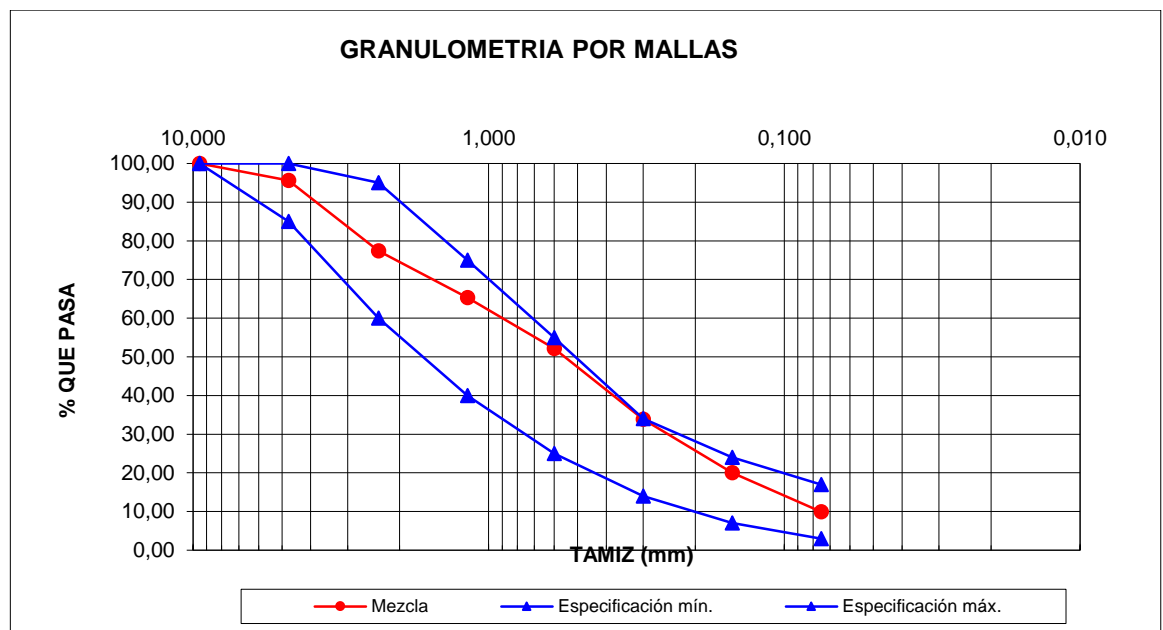


Gráfico 13. Curva granulométrica Guayllabamba 65% y residuo de caucho 35%

En un diseño de mortero asfáltico, lo ideal es que la curva granulométrica del material quede centrada en la franja que se forma de los límites máximos y mínimos. Con las variaciones realizadas en los datos se obtuvo que aproximadamente con 15% de adición de residuo de caucho la curva granulométrica de la mezcla quede en el centro de la franja de trabajo para mortero asfáltico tipo II.

TAMIZ #	3/8	4	8	16	30	50	100	200	p #200
TAMIZ mm.	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	p 0,075
GUAYLL.	100,00	93,66	65,76	47,54	32,63	16,53	7,81	3,00	0,00
CAUCHO	100,00	99,33	99,07	98,37	88,47	66,03	42,80	22,73	0,00
MEZCLA	100,00	94,51	70,76	55,16	41,01	23,96	13,06	5,96	
Espec mín.	100	85	60	40	25	14	7	3	
Espec máx.	100	100	95	75	55	34	24	17	

Tabla 34. Mezcla al peso Guayllabamba 85% y residuo de caucho 15%

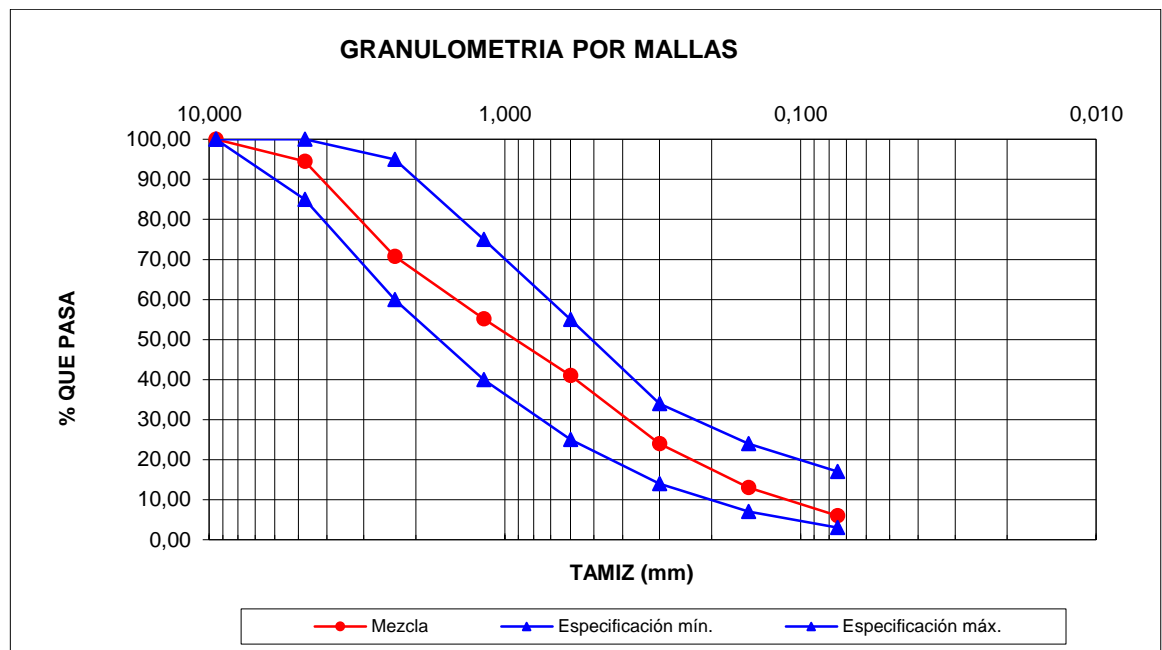


Gráfico 14. Curva granulométrica Guayllabamba 85% y residuo de caucho 15%

Para completar la investigación se escogió un porcentaje de residuo de caucho que forme una curva granulométrica cercana al límite inferior. El porcentaje seleccionado fue 5%.

TAMIZ #	3/8	4	8	16	30	50	100	200	p #200
TAMIZ mm.	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	p 0,075
GUAYLL.	100,00	93,66	65,76	47,54	32,63	16,53	7,81	3,00	0,00
CAUCHO	100,00	99,33	99,07	98,37	88,47	66,03	42,80	22,73	0,00
MEZCLA	100,00	93,94	67,43	50,08	35,42	19,01	9,56	3,99	
Espec mín.	100	85	60	40	25	14	7	3	
Espec máx.	100	100	95	75	55	34	24	17	

Tabla 35. Mezcla al peso Guayllabamba 95% y residuo de caucho 5%

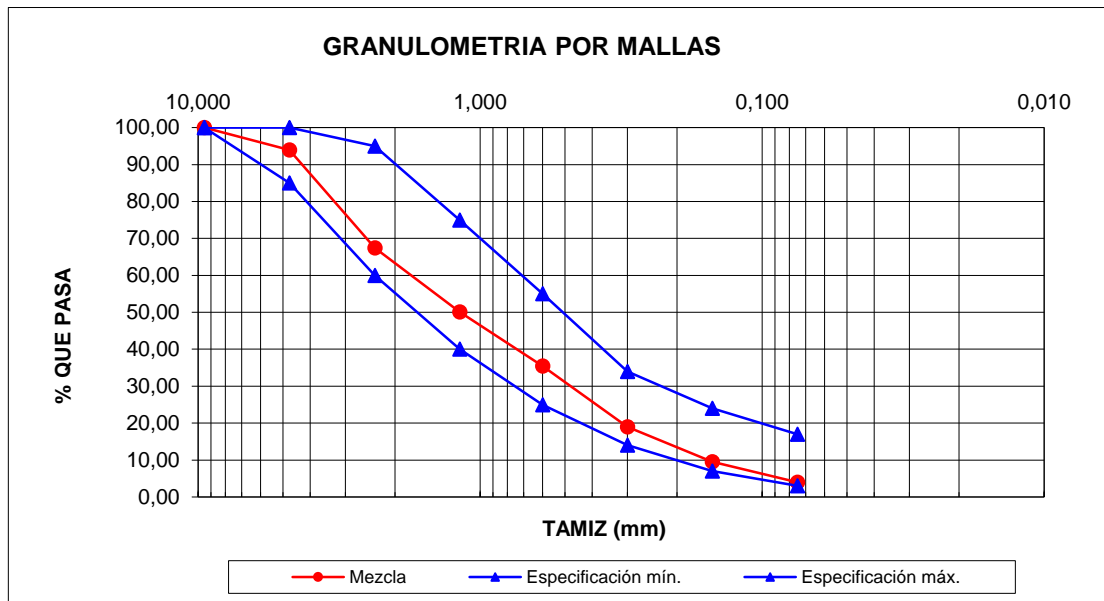


Gráfico 15. Curva granulométrica Guayllabamba 95% y residuo de caucho 5%

Al efectuar los ensayos de mortero asfáltico las muestras con 5, 15 y 35% de residuo de caucho no fueron satisfactorias, por esto se tomó un porcentaje más bajo de 3%.

En esta forma de mezcla se realizó una muestra para cada dosificación en la prueba de mezclado manual, ensayo de consistencia con el cono, ensayo de peladura en húmedo y prueba de abrasión húmeda; para la prueba de rueda cargada se realizaron dos muestras para cada dosificación, ya que por ser un ensayo crítico se requirió confirmar los datos obtenidos; y para el ensayo de cohesión se conformaron 6 muestras para ensayar a diferentes horas únicamente con la dosificación que funcionó en los otros ensayos.

ENSAYOS	Nº MUESTRAS
PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL	4
ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	4
ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO	4
PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA	4
PRUEBA DE LA RUEDA CARGADA	8
ENSAYO DE COHESIÓN	6
TOTAL	30

Tabla 36. Muestras realizadas en mezcla al peso Guayllabamba

3.3.3. PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113

MEZCLADO MANUAL (ISSA TB 113)										
GUAYLLABAMBA										
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARANTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	TIEMPO DE MEZCLA	ESPECIFICACIÓN (s)	PH AGUA	TEMPERATURA AGUA	OBSERVACIONES
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN										
4	13	15,5	100	0	0	900	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
MEZCLA MODIFICADA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO										
G1	13	15,5	75	25	8,16	775	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
G2	13	15,5	50	50	16,32	25	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
G3	13	15,5	25	75	24,48	29	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
G4	13	15,5	0	100	32,63	0	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
MEZCLA MODIFICADA AL PESO										
G5	13	15,5	97	3	3	825	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
G6	13	15,5	95	5	5	745	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
G7	13	15,5	85	15	15	12	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
G8	13	15,5	65	35	35	0	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE

Tabla 37. Comparación de mezclado manual Guayllabamba

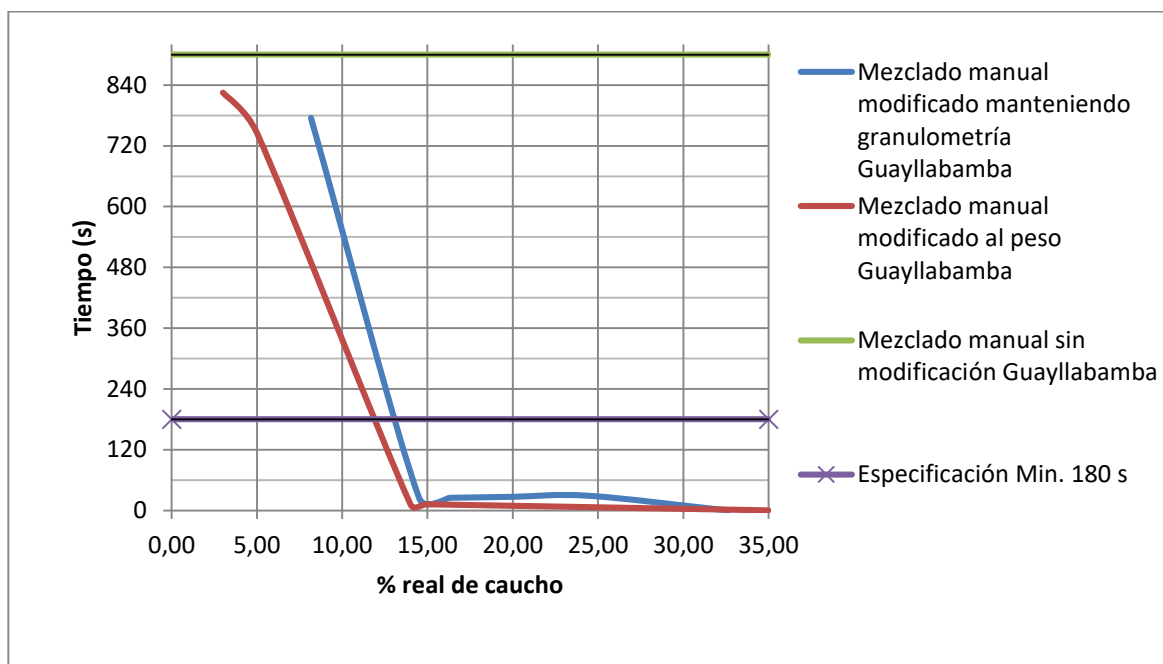


Gráfico 16. Comparación de mezclado manual Guayllabamba

3.3.4. ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106

CONSISTENCIA CON EL CONO (ISSA TB 106)						
GUAYLLABAMBA						
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARENTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	LECTURA CONO
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN						
2	13	15,5	100	0	0	2,50
MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO						
G1	13	15,5	75	25	8,16	0,00
G2	13	15,5	50	50	16,32	0,00
G3	13	15,5	25	75	24,48	0,00
G4	13	15,5	0	100	32,63	0,00
MEZCLA AL PESO						
G5	13	15,5	97	3	3	2,75
G6	13	15,5	95	5	5	1,98
G7	13	15,5	85	15	15	0,00
G8	13	15,5	65	35	35	0,00

Tabla 38. Comparación de consistencia con el cono Guayllabamba



**Imagen 41. Consistencia cero Guayllabamba con caucho
G1, G2, G3, G4, G7 Y G8**



**Imagen 42. Consistencia fluida Guayllabamba con caucho
G5 Y G6**

3.3.5. ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114



Imagen 43. Comparación de peladura en húmedo Guayllabamba

PELADURA EN HÚMEDO (ISSA TB 114)						
GUAYLLABAMBA						
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARANTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	% DE COBERTURA
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN						
1	13	15,5	100	0	0	96%
MEZCLA MODIFICADA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO						
G1	13	15,5	75	25	8,16	96%
G2	13	15,5	50	50	16,32	96%
G3	13	15,5	25	75	24,48	96%
G4	13	15,5	0	100	32,63	96%
MEZCLA MODIFICADA AL PESO						
G5	13	15,5	97	3	3	96%
G6	13	15,5	95	5	5	96%
G7	13	15,5	85	15	15	96%
G8	13	15,5	65	35	35	96%

Tabla 39. Comparación de peladura en húmedo Guayllabamba

No se encontró cambios en la adherencia de la emulsión asfáltica con la mezcla de agregado de Guayllabamba y caucho, se asignó el mismo valor de compatibilidad que en la mezcla convencional, 96%.

3.3.6. PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100

ABRASIÓN HÚMEDA (ISSA TB 100)										
GUAYLLABAMBA										
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS PERDIDOS		
								(g)	FACTOR	(g/m ²)
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN										
1	13	15,5	100	0	0	732,63	731,24	1,39	32,9	45,73
MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO										
G1	13	15,5	75	25	8,16	595,18	588,39	6,79	32,9	223,39
G2	13	15,5	50	50	16,32	566,46	556,98	9,48	32,9	311,89
G3	13	15,5	25	75	24,48	565,67	549,28	16,39	32,9	539,23
G4	13	15,5	0	100	32,63	515,94	481,39	34,55	29,25	1010,59
MEZCLA AL PESO										
G5	13	15,5	97	3	3	589,61	584,94	4,67	32,9	153,64
G6	13	15,5	95	5	5	593,26	587,89	5,37	32,9	176,67
G7	13	15,5	85	15	15	571,24	562,69	8,55	32,9	281,29
G8	13	15,5	65	35	35	522,58	489	33,58	29,25	982,22

Tabla 40. Comparación de abrasión húmeda Guayllabamba

Según la Tabla 6 se escogió el factor de 32,90 para las muestras G1, G2, G3, G5, G6 y G7 debido a que la máquina de abrasión utilizada fue N-50 y los gramos perdidos menor a 24,5. Para las muestras G4 y G8 el factor fue $37,5 \times 0,78$, ya que sus gramos perdidos superaron a 24,5.

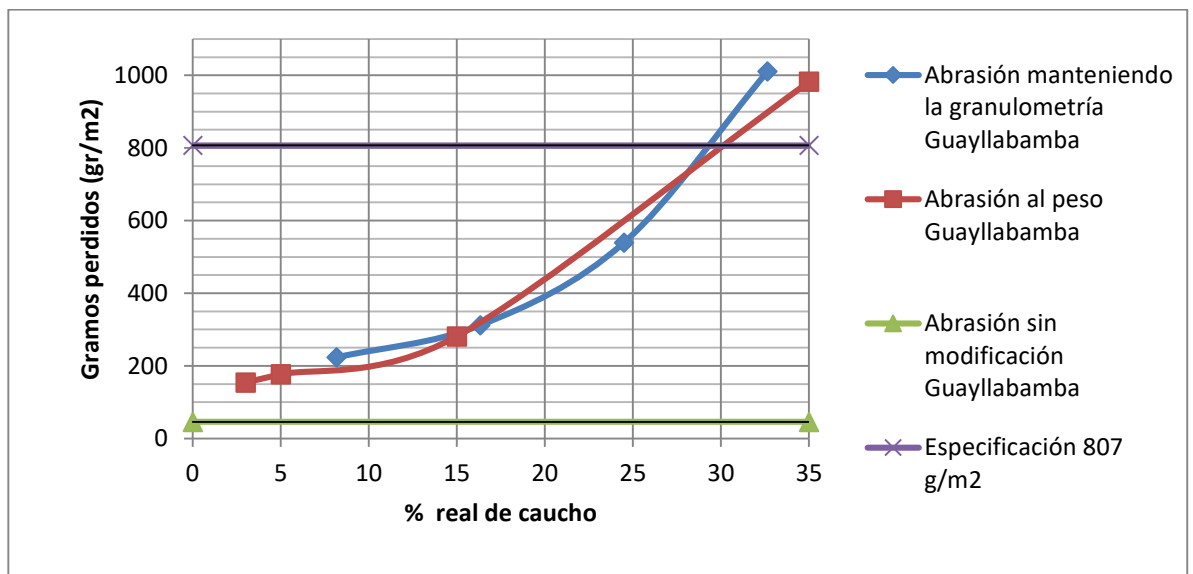


Gráfico 17. Comparación de abrasión húmeda Guayllabamba



Imagen 44. Briqueita insatisfactoria de abrasión húmeda Guayllabamba

3.3.7. PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109

RUEDA CARGADA (ISSA TB 109)										
GUAYLLABAMBA										
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS ADHERIDOS		
								(g)	FACTOR	(g/m ²)
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN										
1	13	15,5	-	-	-	460,79	462,23	1,44	86,21	124,14
MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO										
G1	13	15,5	75	25	8,16	327,7	329,76	2,06	86,21	177,59
G2	13	15,5	50	50	16,32	-	-	-	86,21	-
G3	13	15,5	25	75	24,48	-	-	-	86,21	-
G4	13	15,5	0	100	32,63	-	-	-	86,21	-
MEZCLA AL PESO										
G5	13	15,5	97	3	3	334,55	337,89	3,34	86,21	287,94
G6	13	15,5	95	5	5	-	-	-	86,21	-
G7	13	15,5	85	15	15	-	-	-	86,21	-
G8	13	15,5	65	35	35	-	-	-	86,21	-

Tabla 41.Comparación de rueda cargada Guayllabamba

El ensayo de rueda cargada representó la prueba más crítica, únicamente las briquetas G1 y G5 no sobrepasaron la especificación de la norma.



Imagen 45. Briquetas insatisfactorias de rueda cargada Guayllabamba



Imagen 46. Briquetas satisfactorias de rueda cargada Guayllabamba G1 Y G5

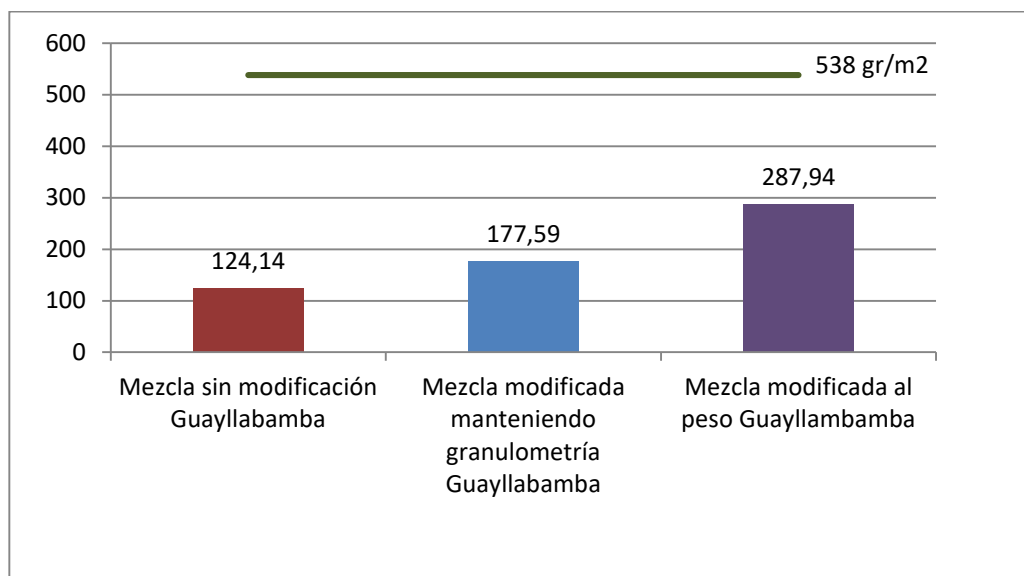


Gráfico 18. Comparación de rueda cargada Guayllabamba

3.3.8. ENSAYO DE COHESIÓN TB 139

El ensayo cohesión es una prueba para un diseño puesto en obra, se realizaron briquetas con las proporciones de agregado y residuo de caucho satisfactorias.

- Agregado de Guayllabamba 75% y caucho 25%, manteniendo la granulometría.
- Agregado de Guayllabamba 97% y caucho 3%, al peso.

COHESIÓN (ISSA TB 139)				
GUAYLLABAMBA 75% y CAUCHO 25% MANTENIENDO GRANULOMETRÍA				
TIEMPO (min)	TIEMPO (h)	HORA INICIAL	HORA DE ENSAYO	COHESIÓN (Kg-cm)
30	0,5	13:06	13:36	11
60	1,0	13:07	14:07	12
90	1,5	13:08	14:38	13
150	2,5	13:10	15:40	15
210	3,5	13:12	16:42	16
270	4,5	13:13	17:43	24

Tabla 42. Resultados de cohesión Guayllabamba 75% y caucho 25%

COHESIÓN (ISSA TB 139)				
GUAYLLABAMBA 97% y CAUCHO 3% AL PESO				
TIEMPO (min)	TIEMPO (h)	HORA INICIAL	HORA DE ENSAYO	COHESIÓN (Kg-cm)
30	0,5	13:48	14:18	11
60	1,0	13:49	14:49	14
90	1,5	13:50	15:20	14
150	2,5	13:51	16:21	15,5
210	3,5	13:53	17:23	18
270	4,5	13:54	18:24	22,5

Tabla 43. Resultados de cohesión Guayllabamba 97% y caucho 3%

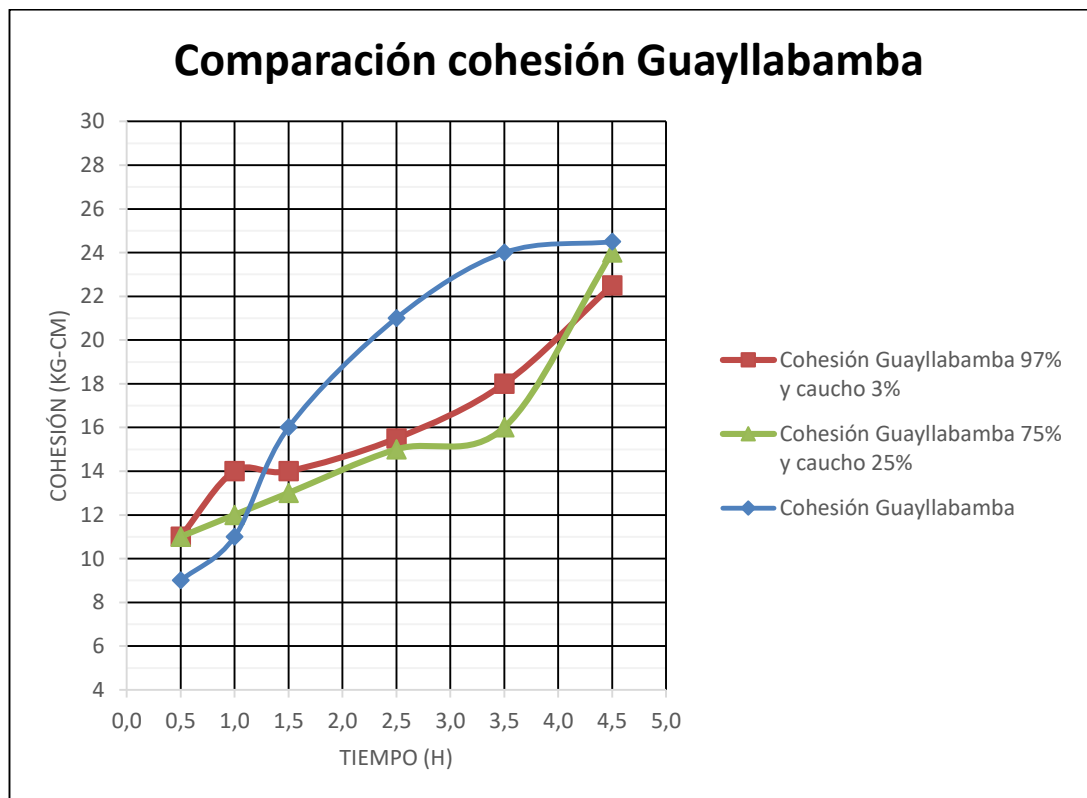


Gráfico 19. Comparación de cohesión Guayllabamba

La curva de cohesión de Guayllabamba 97% y caucho 3% y Guayllabamba 75% y caucho 25% se asemejó a la curva Slow set – Slow traffic lo que reflejó lento tiempo de puesta y también lenta apertura al tráfico. Se sugiere que el tiempo de espera antes

de permitir el paso de vehículos sea al menos de 4.5 horas. En el Gráfico 19 se puede observar que agregar residuo de caucho demorar el tiempo de curado.

3.4. COMPARACIÓN DE MEZCLA ÓPTIMA DE PIFO CON Y SIN RESIDUO DE CAUCHO

3.4.1. MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL PIFO

En esta investigación se realizaron diseños de mortero asfáltico de mezcla modificada con residuo de caucho en dosificaciones del 25%, 50%, 75% y 100% para cada cantera.

En esta forma de mezcla se realizó una muestra para cada dosificación en la prueba de mezclado manual, ensayo de consistencia con el cono, ensayo de peladura en húmedo y prueba de abrasión húmeda; para la prueba de rueda cargada se realizaron dos muestras para cada dosificación, ya que por ser un ensayo crítico se requirió confirmar los datos obtenidos; y para el ensayo de cohesión se conformaron 6 muestras para ensayar a diferentes horas únicamente con la dosificación que funcionó en los otros ensayos.

ENSAYOS	N° MUESTRAS POR MEZCLA
PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL	4
ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	4
ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO	4
PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA	4
PRUEBA DE LA RUEDA CARGADA	8
ENSAYO DE COHESIÓN	6
TOTAL	30

Tabla 44. Muestras realizadas en mezcla manteniendo granulometría Pifo

En el análisis granulométrico del residuo de caucho se determinó que, hasta el tamiz #30 se acumula apenas 11,53% de todo el material; por lo tanto, se asumió los tamices #50, #100, #200 y pasante de #200 como representativos; el material de los tamices #4, #8, #16 y #30 no fue tomado en cuenta para esta investigación.

En la Tabla 45 se calculó el peso requerido por cada tamiz para realizar una mezcla de 10 kg utilizando diferentes proporciones de agregado de Pifo y residuo de caucho:

PIFO	% RETENIDO PARCIAL	AGREGADO 75%	CAUCHO 25%	AGREGADO 50%	CAUCHO 50%	AGREGADO %25	CAUCHO %75	AGREGADO 0%	CAUCHO 100%
No. 4	0,07	0,01		0,01		0,01		0,01	
No. 8	31,00	3,10		3,10		3,10		3,10	
No. 16	26,98	2,70		2,70		2,70		2,70	
No. 30	14,68	1,47		1,47		1,47		1,47	
DESDE AQUÍ SE REEMPLAZA CON RESIDUO DE CAUCHO									
No. 50	9,85	0,74	0,25	0,49	0,49	0,25	0,74		0,99
No. 100	6,48	0,49	0,16	0,32	0,32	0,16	0,49		0,65
No. 200	4,93	0,37	0,12	0,25	0,25	0,12	0,37		0,49
PASA No. 200	6,00	0,45	0,15	0,30	0,30	0,15	0,45		0,60
SUMA	100%	10 kg		10 kg		10 kg		10kg	

Tabla 45. Mezcla manteniendo la granulometría natural del agregado Pifo

3.4.1.1. Cálculo del porcentaje real de caucho utilizado en la mezcla manteniendo la granulometría natural Pifo

Se calculó el porcentaje real de caucho reemplazado y se determinó la proporción que representa en cada dosificación utilizada. Se muestra este proceso:

PIFO	
MALLA No.	PORCENTAJE RETENIDO PARCIAL
#50	9,85
#100	6,48
#200	4,93
PASA #200	6,00
SUMA	27,27

Tabla 46. Tamices reemplazados Pifo

	PORCENTAJE REAL CAUCHO
CAUCHO 25%	6,82
CAUCHO 50%	13,64
CAUCHO 75%	20,45
CAUCHO 100%	27,27

Tabla 47. Porcentaje real de caucho reemplazado Pifo

3.4.2. MEZCLA AL PESO PIFO

La hoja de cálculo permitió establecer que el porcentaje máximo de residuo de caucho que se puede combinar con agregado de Pifo es 30%; de este modo la curva granulométrica se acercó al límite superior de mortero asfáltico tipo II.

TAMIZ #	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	p #200
TAMIZ mm.	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	p 0,075
PIFO	100,00	99,93	68,93	41,95	27,27	17,42	10,93	6,00	0,00
CAUCHO	100,00	99,33	99,07	98,27	88,47	66,03	42,80	22,73	0,00
MEZCLA	100,00	99,75	77,97	58,85	45,63	32,00	20,49	11,02	
Espec mín.	100	85	60	40	25	14	7	3	
Espec máx.	100	100	95	75	55	34	24	17	

Tabla 48. Mezcla al peso Pifo 70% y residuo de caucho 30%

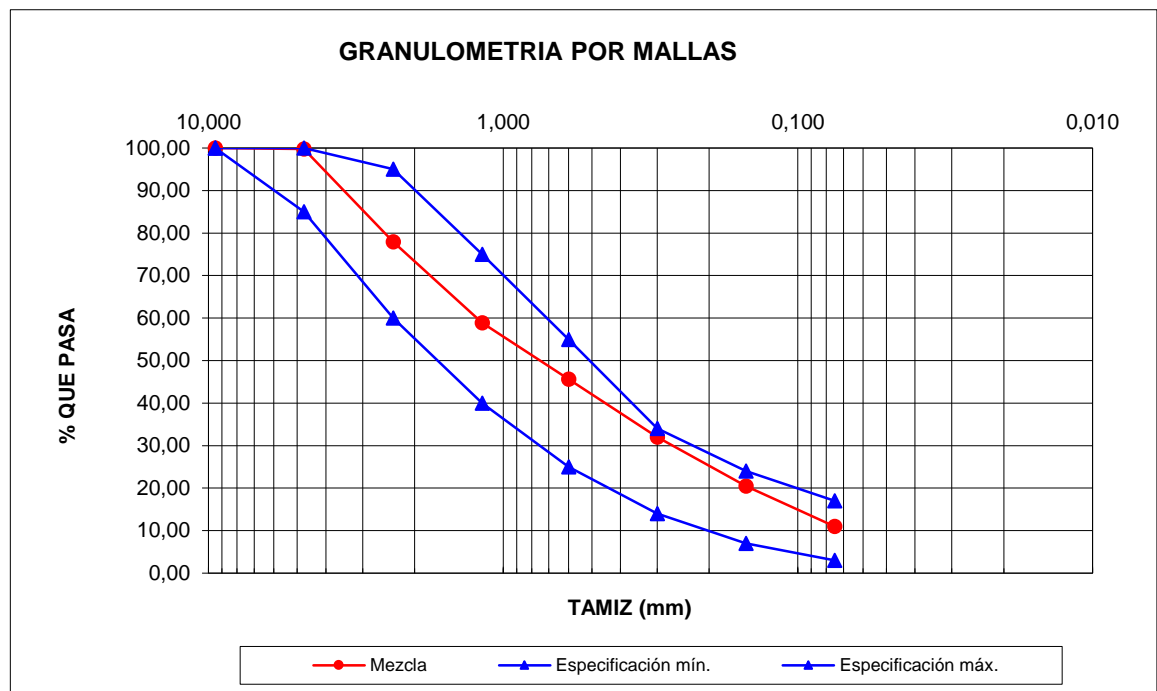


Gráfico 20. Curva granulométrica Pifo 70% y residuo de caucho 30%

Con las variaciones realizadas en los datos se obtuvo que aproximadamente con 15% de adición de residuo de caucho la curva granulométrica de la mezcla quedara en el centro de la franja de trabajo para mortero asfáltico tipo II.

TAMIZ #	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	p #200
TAMIZ mm.	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	p 0,075
PIFO	100,00	99,93	68,93	41,95	27,27	17,42	10,93	6,00	0,00
CAUCHO	100,00	99,33	99,07	98,27	88,47	66,03	42,80	22,73	0,00
MEZCLA	100,00	99,84	73,45	50,40	36,45	24,71	15,71	8,51	
Espec mín.	100	85	60	40	25	14	7	3	
Espec máx.	100	100	95	75	55	34	24	17	

Tabla 49. Mezcla al peso Pifo 85% y residuo de caucho 15%

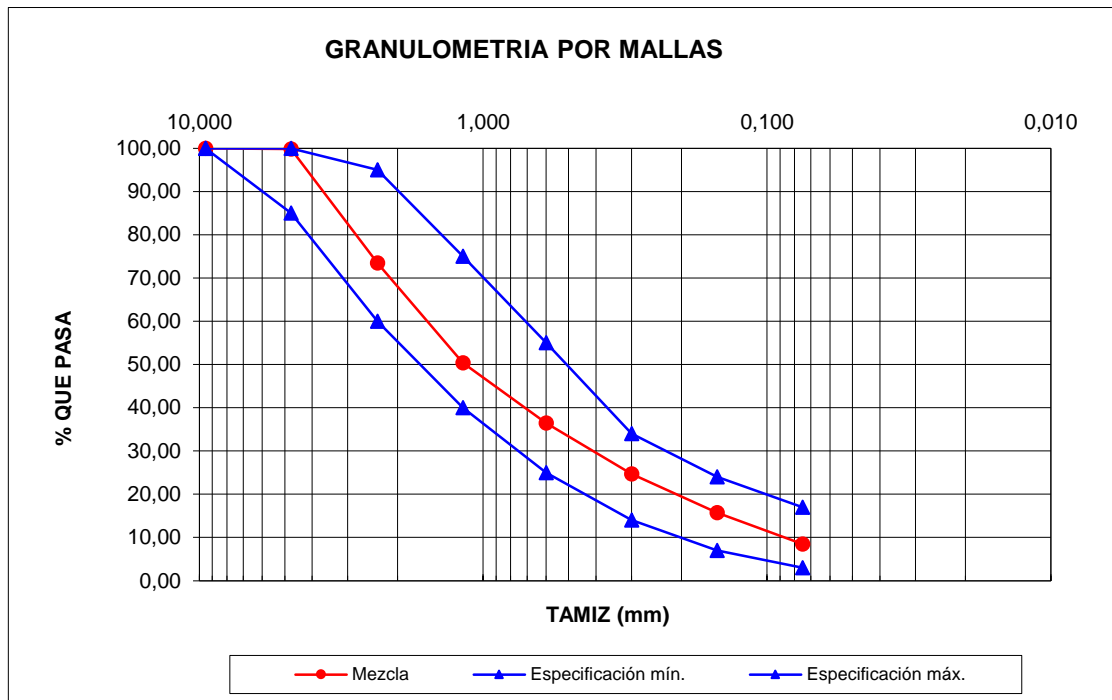


Gráfico 21. Curva granulométrica Pifo 85% y residuo de caucho 15%

Para completar la investigación se escogió 5% de residuo de caucho para que se forme una curva granulométrica cercana al límite inferior.

TAMIZ #	3/8	#4	#8	#16	#30	#50	#100	#200	p #200
TAMIZ mm.	9,500	4,750	2,360	1,180	0,600	0,300	0,150	0,075	p 0,075
PIFO	100,00	99,93	68,93	41,95	27,27	17,42	10,93	6,00	0,00
CAUCHO	100,00	99,33	99,07	98,27	88,47	66,03	42,80	22,73	0,00
MEZCLA	100,00	99,90	70,44	44,77	30,33	19,85	12,52	6,84	
Espec mín.	100	85	60	40	25	14	7	3	
Espec máx.	100	100	95	75	55	34	24	17	

Tabla 50. Mezcla al peso Pifo 95% y residuo de caucho 5%

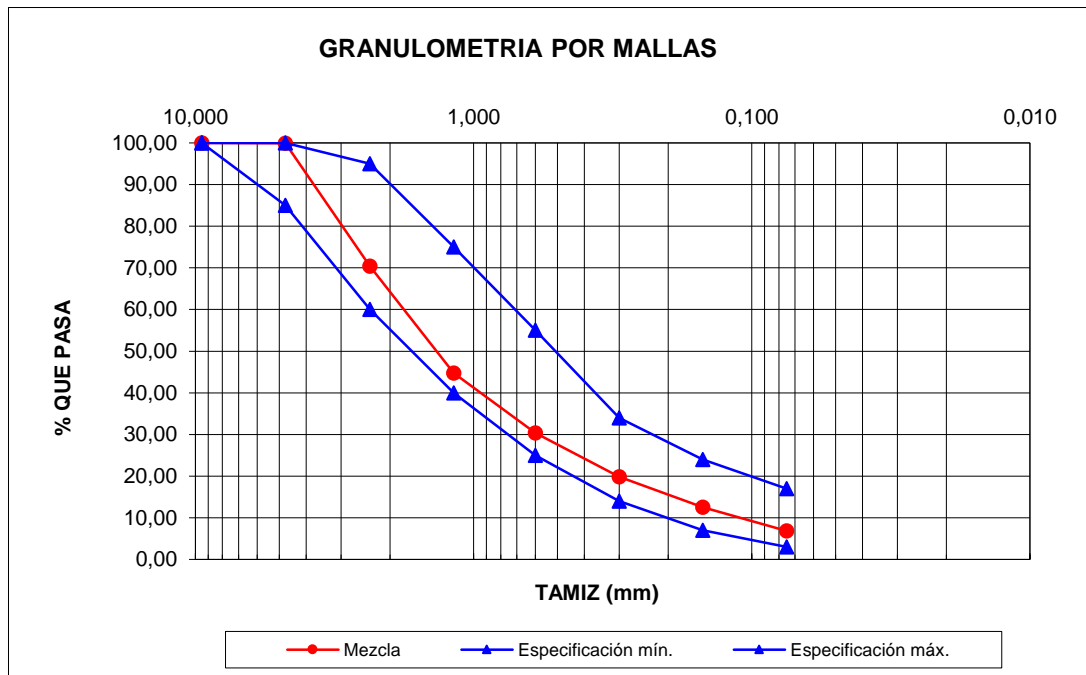


Gráfico 22. Curva granulométrica Pifo 95% y residuo de caucho 5%

En esta forma de mezcla se realizó una muestra para cada dosificación en la prueba de mezclado manual, ensayo de consistencia con el cono, ensayo de peladura en húmedo y prueba de abrasión húmeda; para la prueba de rueda cargada se realizaron dos muestras para cada dosificación, ya que por ser un ensayo crítico se requirió confirmar los datos obtenidos; y para el ensayo de cohesión se conformaron 6 muestras para ensayar a diferentes horas únicamente con la dosificación que funcionó en los otros ensayos.

ENSAYOS	Nº MUESTRAS POR MEZCLA
PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL	3
ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO	3
ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO	3
PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA	3
PRUEBA DE LA RUEDA CARGADA	6
ENSAYO DE COHESIÓN	6
TOTAL	24

Tabla 51. Muestras realizadas en mezcla al peso Pifo

3.4.3. PRUEBA DE MEZCLADO MANUAL TB 113

MEZCLADO MANUAL (ISSA TB 113)										
PIFO										
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARENTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	TIEMPO DE MEZCLA	ESPECIFICACIÓN (s)	PH AGUA	TEMPERATURA AGUA	OBSERVACIONES
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN										
2	12	15	100	0	0	210	Min. 180	7,82	26,3	CUMPLE
MEZCLA MODIFICADA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO										
P1	12	15	75	25	6,82	135	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
P2	12	15	50	50	13,64	105	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
P3	12	15	25	75	20,45	85	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
P4	12	15	0	100	27,27	45	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
MEZCLA MODIFICADA AL PESO										
P5	12	15	95	5	5	60	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
P6	12	15	85	15	15	30	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE
P7	12	15	70	30	30	0	Min. 180	7,82	26,3	NO CUMPLE

Tabla 52. Comparación de mezclado manual Pifo

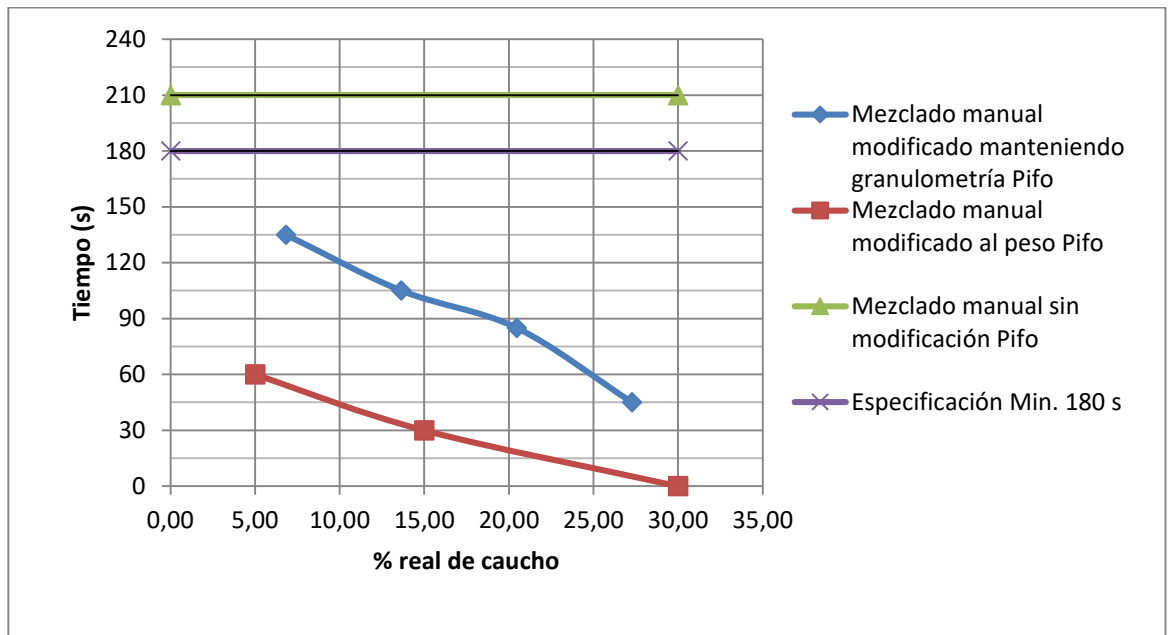


Gráfico 23. Comparación de mezclado manual Pifo

3.4.4. ENSAYO DE CONSISTENCIA CON EL CONO TB 106

CONSISTENCIA CON EL CONO (ISSA TB 106)						
PIFO						
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARENTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	LECTURA CONO
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN						
-	-	-	-	-	-	-
MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO						
P1	12	15	75	25	6,82	0,45
P2	12	15	50	50	13,64	0,00
P3	12	15	25	75	20,45	0,00
P4	12	15	0	100	27,27	0,00
MEZCLA AL PESO						
P5	12	15	95	5	5	0,00
P6	12	15	85	15	15	0,00
P7	12	15	70	30	30	0,00

Tabla 53. Comparación de consistencia en el cono Pifo

A pesar de no realizarse este ensayo en la mezcla convencional se probó para verificar si el problema suscitado anteriormente lograba solucionarse con la adición de residuo de caucho. Con la mezcla agregado de Pifo 75% y caucho 25% se logró una homogeneidad en la mezcla, pero no la fluidez requerida.



Imagen 47. Consistencia con el cono Pifo 75% y caucho 25%

3.4.5. ENSAYO DE PELADURA EN HÚMEDO TB 114



Imagen 48. Comparación de peladura en húmedo Pifo

PELADURA EN HÚMEDO (ISSA TB 114)						
PIFO						
Nº	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARANTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	% DE COBERTURA
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN						
1	12	15	100	0	0	95%
MEZCLA MODIFICADA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO						
P1	12	15	75	25	6,82	95%
P2	12	15	50	50	13,64	95%
P3	12	15	25	75	20,45	95%
P4	12	15	0	100	27,27	95%
MEZCLA MODIFICADA AL PESO						
P5	12	15	95	5	5	95%
P6	12	15	85	15	15	95%
P7	12	15	70	30	30	95%

Tabla 54. Comparación de peladura en húmedo Pifo

No se encontró cambios en la adherencia de la emulsión asfáltica con la mezcla de agregado de Pifo y caucho, se asignó el mismo valor de compatibilidad que en la mezcla convencional, 95%.

3.4.6. PRUEBA DE ABRASIÓN HÚMEDA TB 100

ABRASIÓN HÚMEDA (ISSA TB 100)										
PIFO										
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARENTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS PERDIDOS		
								(g)	FACTOR	(g/m ²)
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN										
1	12	15	100	0	0	724,52	719,19	5,33	32,9	175,36
MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO										
P1	12	15	75	25	6,82	608,05	605,82	2,23	32,9	73,37
P2	12	15	50	50	13,64	618,69	615,86	2,83	32,9	93,11
P3	12	15	25	75	20,45	602,55	599,11	3,44	32,9	113,18
P4	12	15	0	100	27,27	598,42	592,31	6,11	32,9	201,02
MEZCLA AL PESO										
P5	12	15	95	5	5	612,27	609,81	2,46	32,9	80,93
P6	12	15	85	15	15	608,91	605,37	3,54	32,9	116,47
P7	12	15	70	30	30	600,18	593,72	6,46	32,9	212,53

Tabla 55. Comparación de abrasión húmeda Pifo

Según la Tabla 6 se escogió el factor de 32,90 debido a que la máquina de abrasión utilizada fue N-50 y los gramos perdidos menor a 24,5.

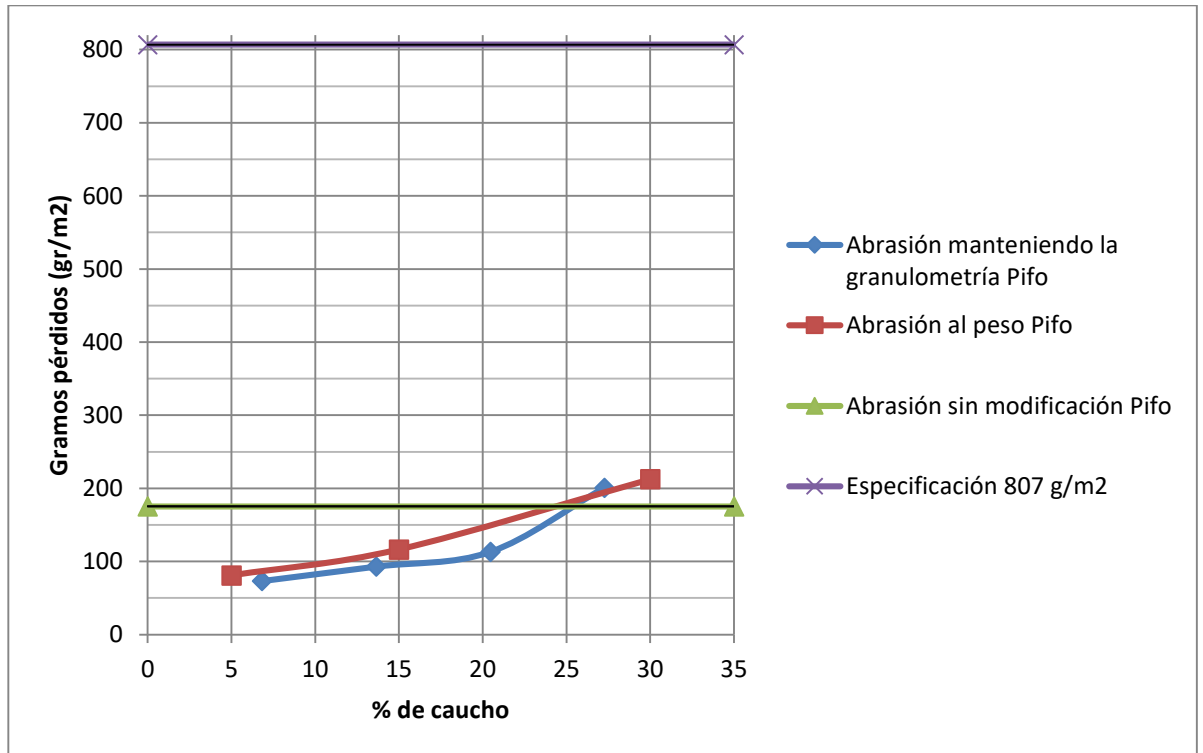


Gráfico 24. Comparación de abrasión húmeda Pifo

Todas las briquetas se comportaron de manera satisfactoria.



Imagen 49. Briqueta insatisfactoria de abrasión húmeda Pifo

3.4.7. PRUEBA DE RUEDA CARGADA TB 109

RUEDA CARGADA (ISSA TB 109)										
PIFO										
N°	% EMULSIÓN	% AGUA	% AGREGADO	% APARENTE DE CAUCHO	% REAL DE CAUCHO	PESO ANTES	PESO DESPUÉS	GRAMOS ADHERIDOS		
								(g)	FACTOR	(g/m ²)
MEZCLA SIN MODIFICACIÓN										
1	12	15	100	0	0	365,57	367,71	2,14	86,21	184,49
MEZCLA MANTENIENDO LA GRANULOMETRÍA NATURAL DEL AGREGADO										
P1	12	15	75	25	6,82	332,92	336,07	3,15	86,21	271,56
P2	12	15	50	50	13,64	-	-	-	86,21	-
P3	12	15	25	75	20,45	-	-	-	86,21	-
P4	12	15	0	100	27,27	-	-	-	86,21	-
MEZCLA AL PESO										
P5	12	15	95	5	5	346,69	349,33	2,64	86,21	227,59
P6	12	15	85	15	15	-	-	-	86,21	-
P7	12	15	70	30	30	-	-	-	86,21	-

Tabla 56. Comparación de rueda cargada Pifo

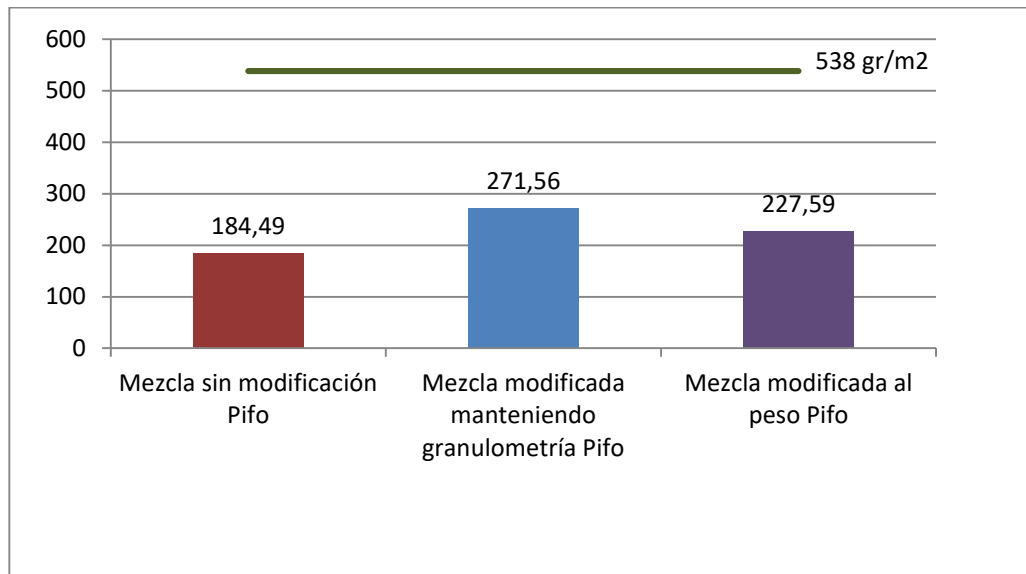


Gráfico 25. Comparación de rueda cargada Pifo

El ensayo de rueda cargada representó la prueba más crítica, únicamente las briquetas P1 y P5 no sobrepasaron la especificación de la norma.



Imagen 50. Briquetas insatisfactorias de rueda cargada Pifo



Imagen 51. Briquetas de rueda cargada satisfactorias Pifo

3.4.8. ENSAYO DE COHESIÓN TB 139

El ensayo cohesión es una prueba para un diseño puesto en obra, se realizaron briquetas con las proporciones de agregado y residuo de caucho satisfactorias.

- Agregado de Pifo 75% y caucho 25%, manteniendo la granulometría.
- Agregado de Pifo 95% y caucho 5%, al peso.

COHESIÓN (ISSA TB 139)				
PIFO 75% y CAUCHO 25% MANTENIENDO GRANULOMETRÍA				
TIEMPO (min)	TIEMPO (h)	HORA INICIAL	HORA DE ENSAYO	COHESIÓN (Kg-cm)
30	0,5	13:10	13:40	12
60	1,0	13:12	14:12	14
90	1,5	13:13	14:43	15
150	2,5	13:14	15:44	18
210	3,5	13:16	16:46	20
270	4,5	13:17	17:47	23

Tabla 57. Resultados de cohesión Pifo 75% y caucho 25%

COHESIÓN (ISSA TB 139)				
PIFO 95% y CAUCHO 5% AL PESO				
TIEMPO (min)	TIEMPO (h)	HORA INICIAL	HORA DE ENSAYO	COHESIÓN (Kg-cm)
30	0,5	13:47	14:17	12,5
60	1,0	13:48	14:48	13
90	1,5	13:49	15:19	13
150	2,5	13:51	16:21	16
210	3,5	13:53	17:23	18
270	4,5	13:55	18:25	21

Tabla 58. Resultados de cohesión Pifo 95% y caucho 5%

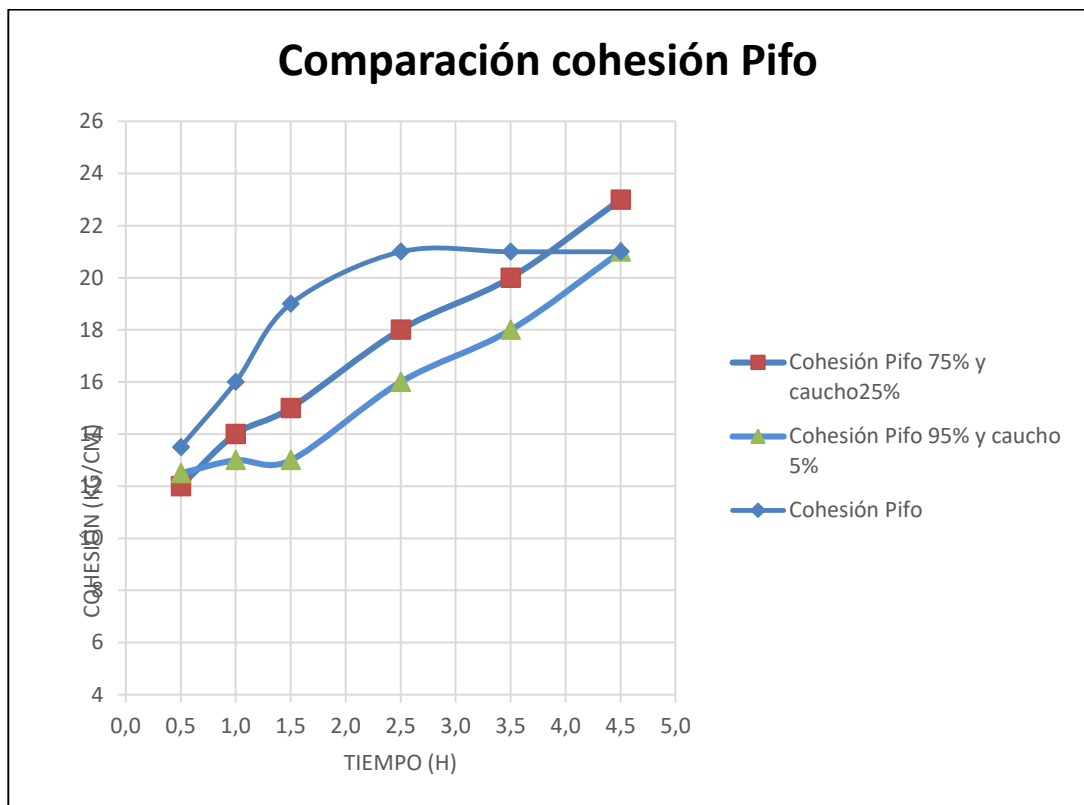


Gráfico 26. Comparación de cohesión Pifo

La curva de cohesión de Pifo 75% y caucho 25% se asemejó a la curva Quick set – Slow traffic lo que reflejó rápido tiempo de puesta y lenta apertura al tráfico. Se sugiere que el tiempo de espera antes de permitir el paso de vehículos sea al menos de 3.5

horas. Mientras que la curva de cohesión de Pifo 95% y caucho 5% se asemejó a la curva Quick set – Slow traffic lo que lo que reflejó rápido tiempo de puesta y lenta apertura al tráfico. Se sugiere que el tiempo de espera antes de permitir el paso de vehículos sea al menos de 4.5 horas. Incorporar residuo de caucho demora el tiempo de curado del mortero asfáltico.

4. CAPÍTULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

- Los agregados pétreos de las canteras de Guayllabamba y Pifo tuvieron resultados satisfactorios en los ensayos de equivalente de arena con 95% y 90%, respectivamente; lo cual nos dice que la presencia de finos es muy baja con respecto al límite establecido de máximo 45%.
- En el ensayo de desgaste por ataque de sulfatos los resultados fueron del 24% en Guayllabamba y 12% en Pifo ante el ataque del sulfato de magnesio, respecto al límite máximo de 25% en la norma ASTM C 88. Se concluye que el material de Guayllabamba si bien pasa este ensayo está muy cerca del límite y puede presentar inconvenientes en obras donde se tenga altas concentraciones de sales como en la costa ecuatoriana. No se presenta inconvenientes con el material de Pifo.
- El desgaste a la abrasión ambas canteras tuvieron un 22% de desgaste con respecto al límite estipulado de 35%; concluyendo que ambos materiales van a presentar un buen desempeño mecánico en el sistema del mortero asfáltico.
- Se determinó que el porcentaje real reemplazado en la forma de mezcla manteniendo la granulometría es mucho menor a lo que aparentemente se utiliza; adicionalmente se demostró que no existe un cambio significativamente en los resultados entre las dos formas de mezcla; por lo que resulta más rápida, sencilla y sin necesidad de utilizar equipos especiales al mezclar al peso.
- El material de Guayllabamba tuvo resultados satisfactorios en todos los ensayos añadiendo 25% de residuo de caucho manteniendo la granulometría,

esto representó un reemplazo real de apenas 8,16%; mientras que en la forma de mezcla al peso se tuvo resultados satisfactorios utilizando máximo 3%; es decir se pudo utilizar 5,16% más de residuo de caucho en la primera forma de mezcla. Se deduce que en la forma de mezcla manteniendo la granulometría en Guayllabamba se puede utilizar más residuo de caucho, pero en la práctica no es funcional, siendo la mezcla al peso óptima para su uso.

- El material de Pifo tuvo resultados satisfactorios en todos los ensayos, excepto en mezclado manual y consistencia con el cono, añadiendo 25% de residuo de caucho manteniendo la granulometría, esto representó un reemplazo real de apenas 6,82%; mientras que en la forma de mezcla al peso se tuvo resultados satisfactorios utilizando máximo 5%; es decir se pudo utilizar 1,82% más de residuo de caucho en la primera forma de mezcla. En este caso el incremento de caucho fue mínimo de una forma con respecto a la otra, corroborando que es mejor mezclar solamente al peso los agregados con el residuo de caucho.
- Al incrementar la proporción de residuo de caucho combinado con el agregado de Guayllabamba el tiempo de mezcla disminuyó de manera abrupta (ver [Tabla 37](#)), hasta el punto de romperse antes de terminar de homogeneizar la mezcla al reemplazar totalmente el residuo de caucho en los tamices representativos; mientras que en el agregado de Pifo mantuvo este comportamiento, pero con menor magnitud (ver [Tabla 52](#)). Se demostró que el residuo de caucho es un material muy absorbente; si se utiliza proporciones más grandes necesariamente se tendrá que aumentar el porcentaje de líquidos de la mezcla.
- Como se puede observar en la [Tabla 38](#), en la cantera de Guayllabamba el incremento de residuo de caucho en el mortero asfáltico fue inversamente

proporcional a la trabajabilidad de la mezcla. El sistema se volvió poco manejable para que pueda ser puesto en obra, en el caso de mezclar 25% en los tamices representativos; mientras que adicionándolo al peso es factible hasta un 3%, cumpliendo la norma ISSA TB 106, que garantiza una buena trabajabilidad en campo.

- El comportamiento del material de Pifo (ver [Tabla 53](#)), reveló una incapacidad en la trabajabilidad del agregado debido a su baja lectura en la escala de flujo que fue menor a 1 cm mezclando el 25% manteniendo la granulometría; pero comparando este resultado con la mezcla sin modificación fue una mejora sustancial, ya que originalmente el agregado al combinarlo con la emulsión y agua no tenía una adherencia satisfactoria, obteniendo que parte de la emulsión-agua se separe de la mezcla (ver [Imagen 39](#)). Se concluye que el residuo de caucho funcionó como un puente entre el agregado y la emulsión asfáltica, permitiendo una mezcla homogénea (ver [Imagen 47](#)).
- En el ensayo de peladura en húmedo los resultados se mantuvieron iguales en todas las mezclas; lo que significó que la adición de residuo de caucho no cambia la compatibilidad del sistema (ver [Tabla 39](#) para Guayllabamba y [Tabla 54](#) para Pifo); siendo este resultado beneficioso para las mezclas modificadas con caucho, ya que es el primer parámetro a controlar para determinar si se puede emplear el agregado y el residuo de caucho con la combinación de emulsión y agua.
- En el [Gráfico 17](#) se puede apreciar que el incremento de residuo de caucho en la cantera de Guayllabamba empeoró el desempeño en abrasión húmeda, sobrepasando el límite permitido de 807 gr/m² si se aumenta más del 28%. Por

lo que se concluye que aumentar residuo de caucho es factible hasta ese punto, con más proporción de este material la mezcla absorbe los líquidos y no permite una buena adherencia de la emulsión.

- Con el material de Pifo, el comportamiento de abrasión húmeda fue totalmente opuesto, ya que con la adición de residuo de caucho de hasta 25% la resistencia mejora considerablemente; a partir de ese punto el comportamiento se igualó al de la mezcla sin caucho (ver [Gráfico 24](#)), se concluye que en este caso el residuo de caucho funciona como un ligante y mejora el acomodo de las partículas.
- En el ensayo de rueda cargada la mezcla sin modificación de Guayllabamba tuvo 124,24 gr/m² de adherencia de arena de Ottawa frente a los 538 gr/m² permitidos en la especificación; mientras que en las mezclas modificadas con residuo de caucho se obtuvieron valores mayores de 177,59 gr/m² en la mezcla que mantiene la granulometría y 287,94 gr/m² mezclando al peso. Aun así se encuentran muy alejadas del límite máximo permitido (ver [Gráfico 18](#)). Por la forma en que se rompieron las briquetas de este ensayo (ver [Imagen 45](#)) se puede afirmar que el residuo de caucho aumenta la presencia de finos aumentando la plasticidad de la mezcla. El comportamiento plástico en obra se muestra como grandes deformaciones onduladas en el pavimento, producidas por las cargas de tráfico que son sometidas, esto se debe evitar para mantener un buen nivel de servicio en las carreteras y aún más en la pista de un aeropuerto, ya que estas deformaciones podrían tener consecuencias fatales.
- En el ensayo de rueda cargada la mezcla sin modificación de Pifo tuvo 184,49 gr/m² de adherencia de arena de Ottawa frente a los 538 gr/m² permitidos en la

especificación; mientras que en las mezclas modificadas con residuo de caucho se obtuvieron valores mayores de $271,56 \text{ gr/m}^2$ en la mezcla que mantiene la granulometría y $227,59 \text{ gr/m}^2$ mezclando al peso. Aun así se encuentran muy alejadas del límite máximo permitido (ver [Gráfico 25](#)). Por la forma en que se rompieron las briquetas de este ensayo (ver [Imagen 50](#)) se puede afirmar que el residuo de caucho aumenta la presencia de finos aumentando la plasticidad de la mezcla. El comportamiento plástico en obra se muestra como grandes deformaciones onduladas en el pavimento, producidas por las cargas de tráfico que son sometidas, esto se debe evitar para mantener un buen nivel de servicio en las carreteras y aún más en la pista de un aeropuerto, ya que estas deformaciones podrían tener consecuencias fatales.

- El ensayo de cohesión mostró que la adición de caucho alarga el tiempo de curado y se necesitó demorar la apertura al tráfico; sin embargo en ambos casos se mantuvo la característica de tiempo de colocación del mortero asfáltico (ver [Gráfico 19](#) para Guayllabamba y [Gráfico 26](#) para Pifo).
- Al adicionar residuo de caucho al 25% manteniendo la granulometría con material de Guayllabamba, se logró realizar todos los ensayos de la Norma ISSA A 105. Se cumplió el tiempo de mezcla con 775 segundos, siendo el mínimo 180 segundos; la consistencia no tuvo fluidez como en la mezcla sin residuo de caucho dando un valor nulo frente al 2,5 cm de la especificación; la compatibilidad del sistema no cambió, siendo el mismo valor de 96%; en abrasión húmeda se obtuvo $223,39 \text{ g/m}^2$, muy por debajo de los 807 g/m^2 permitidos en la especificación; finalmente en rueda cargada se obtuvo $177,59 \text{ g/m}^2$ frente a los 538 g/m^2 permitidos. Con los resultados se concluye que,

aunque la mezcla tenga buenas propiedades físico-mecánicas, la puesta en obra de esta será complicada porque no presenta fluidez; esto lleva a descartarla para su uso.

- Al adicionar residuo de caucho al 3% al peso con material de Guayllabamba, se logró realizar todos los ensayos de la Norma ISSA A 105. Se cumplió el tiempo de mezcla con 825 segundos, siendo el mínimo 180 segundos; la consistencia no tuvo tanta fluidez como en la mezcla sin residuo de caucho dando un valor de 2,75 frente al 2,5 cm de la especificación; la compatibilidad del sistema no cambió, siendo el mismo valor de 96%; en abrasión húmeda se obtuvo 153,64 g/m², muy por debajo de los 807 g/m² permitidos en la especificación; finalmente en rueda cargada se obtuvo 287,94 g/m² frente a los 538 g/m² permitidos. Con los resultados se concluye que la mezcla tiene buenas propiedades físico-mecánicas y además su puesta en obra podrá realizarse, ya que presenta una fluidez adecuada. La mezcla es adecuada para llevarla a cabo en campo.
- Al adicionar residuo de caucho al 25% manteniendo la granulometría con material de Pifo, se logró realizar todos los ensayos de la Norma ISSA A 105. No se cumplió el tiempo de mezcla con 135 segundos, siendo el mínimo 180 segundos; la consistencia no tuvo fluidez, aunque mejoro respecto a la mezcla sin residuo de caucho, dando un valor de 0,45 frente al 2,5 cm de la especificación; la compatibilidad del sistema no cambió, siendo el mismo valor de 95%; en abrasión húmeda se obtuvo 73,37 g/m², muy por debajo de los 807 g/m² permitidos en la especificación; finalmente en rueda cargada se obtuvo 271,56 g/m² frente a los 538 g/m² permitidos. Con los resultados se concluye

que, aunque la mezcla tenga buenas propiedades físico-mecánicas y añadir caucho mejore estas propiedades ante la mezcla sin modificación, la puesta en obra será complicada porque no presenta fluidez y el tiempo de mezcla es muy corto, lo que conlleva a secar rápidamente la mezcla; esto lleva a descartarla para su uso.

- Al adicionar residuo de caucho al 5% al peso con material de Pifo, se logró realizar todos los ensayos de la Norma ISSA A 105. Se cumplió el tiempo de mezcla con 60 segundos, siendo el mínimo 180 segundos; la consistencia no tuvo fluidez; la compatibilidad del sistema no cambió, siendo el mismo valor de 95%; en abrasión húmeda se obtuvo 80,93 g/m², muy por debajo de los 807 g/m² permitidos en la especificación; finalmente en rueda cargada se obtuvo 227,59 g/m² frente a los 538 g/m² permitidos. Con los resultados se concluye que, aunque la mezcla tenga buenas propiedades físico-mecánicas y añadir caucho mejore estas propiedades ante la mezcla sin modificación, la puesta en obra será complicada porque no presenta fluidez y el tiempo de mezcla es muy corto, lo que conlleva a secar rápidamente la mezcla; esto lleva a descartarla para su uso.
- El residuo de caucho pudo ser utilizado en mezclas de mortero asfáltico con el fin de no ser desechado como un contaminante para el medio ambiente.

4.2. RECOMENDACIONES

- Si bien se obtuvo mejores propiedades físico-mecánicas al mantener la granulometría con respecto a la forma de mezcla al peso, la diferencia de residuo de caucho real utilizado no es muy significativa, y el trabajo que

implica es muy complejo realizarlo en campo; por lo que se sugiere mezclar al peso.

- Se recomienda utilizar la dosificación agregado de Guayllabamba 97% de agregado, 3% de residuo de caucho mezclando al peso, 13% de emulsión asfáltica y 15,5% de agua; puesto que cumple con todos los parámetros requeridos para un mortero asfáltico; y se aconseja disminuir en un porcentaje el contenido de agua, para que el tiempo de mezcla no sea tan prolongado.
- Utilizar la dosificación del punto anterior garantiza disminuir el costo de la fabricación de un mortero asfáltico, ya que se utiliza el mismo diseño de un mortero tradicional, pero con reducción del 3% en compra de agregados.
- Si se desea utilizar el material de la cantera de Pifo con residuo de caucho, se recomienda aumentar el porcentaje de líquidos y comprobar con los ensayos de mortero asfáltico.
- Los porcentajes de residuo de caucho que pueden ser utilizados en esta investigación están en función al diseño de una mezcla que no contiene este material; esto no implica que no se pueda utilizar una mayor proporción de residuo de caucho, siempre y cuando se realice un diseño específico para esa mezcla.

5. **BIBLIOGRAFÍA**

[American Society of Testing Materials. \(2010\). *ASTM Standards Worldwide*. West Conshohocken: ASTM.](#)

[Asphalt Institute. \(2009\). *Manual Básico de Emulsiones Asfálticas*. Lexington: AEMA.](#)

Banco de Desarrollo de América Latina. (2010). *Mantenimiento vial. Informe sectorial*. CAF.

DGAC. (4 de Enero de 2012). *Dirección General de Aviación Civil*. Recuperado el 2 de Abril de 2018, de <http://www.aviacioncivil.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/12/6-RDAC-Parte-139-Enmienda-3-17-sep-2015-.pdf>

Imptek - Chova del Ecuador. (2018). *Garantía Técnica Emulsión Asfáltica CSS-1h*. Quito: IMPTEK.

Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). *Norma Técnica Ecuatoriana*. Quito, Pichincha, Ecuador: INEN.

International Slurry Surfacing Association. (2010). *Design Technical Bulletins*. Annapolis: ISSA.

International Slurry Surfacing Association. (2017). *ISSA Preserving Pavement*. Recuperado el 7 de Julio de 2018, de <https://www.slurry.org/page/guidelines>

Ministerio de Obras Públicas y Comunicaciones. (2002). *Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos y Puentes*. Quito: MOP.

Muñoz, A., & Orquera, M. (2018). *Mejoramiento de una mezcla asfáltica con la adición del residuo de caucho obtenido tras su remoción de la pista de aterrizaje del Aeropuerto Internacional Mariscal Sucre, por vía seca*. Quito, Pichincha, Ecuador.

Ramírez, N. (2006). *Estudio de la utilización de caucho de neumáticos en mezclas asfálticas en caliente mediante proceso Seco*. Santiago de Chile, Chile.

Reyes, O., Camacho, J., & Londoño, A. (2013). *Caracterización mecánica de mezclas asfálticas en función del origen y gradación del agregado pétreo*. *General José María Córdova*, 215-232.

Rodríguez, R., Castaño, V., & Martínez, M. (2001). *Instituto Mexicano del Transporte*. Recuperado el 4 de Julio de 2018, de <https://imt.mx/archivos/Publicaciones/DocumentoTecnico/dt23.pdf>

Salazar, M. (2010). *Scribd*. Recuperado el 29 de Junio de 2018, de <https://es.scribd.com/document/142684269/Dosificacion-Del-Mortero-Asfaltico-Slurry-Seal-de-Acuerdo-a-Normas-ISSA-a-105>

Solminihaq, H. (2001). *Gestión de la Infraestructura Vial*. Santiago de Chile: Editores Universidad Católica de Chile.

[The University of Wisconsin - Madison Modified Asphalt Research Center. \(2014\). *Optimum Slurry Seal Products Used in Southern California*. Madison: The University of Wisconsin.](#)

6. ANEXOS