



UNIVERSIDAD DE
COSTA RICA



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES

Programa de Infraestructura del Transporte (PITRA)

PROPUESTA: LM-PI-UMP-051-R2

FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO ESPUMADO EN UN TRAMO DE LA RUTA 39

Preparado por:
Unidad de Materiales y Pavimentos

San José, Costa Rica
Febrero, 2016

Documento generado con base en el Art. 6, inciso g) de la Ley 8114 y lo señalado en el Cap. IV, Art. 66 Reglamento al Art. 6 de la precitada ley, publicado mediante decreto DE-37016-MOPT.

Preparado por: Unidad de Materiales y Pavimentos del PITRA-
LanammeUCR jose.aguiar@ucr.ac.cr



Información técnica del documento

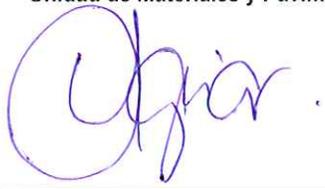
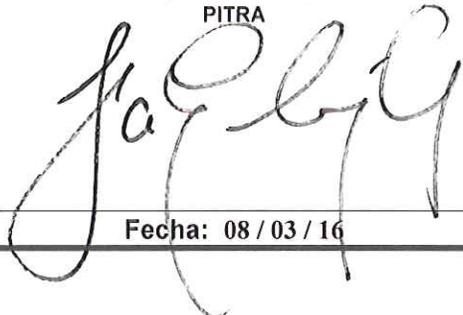
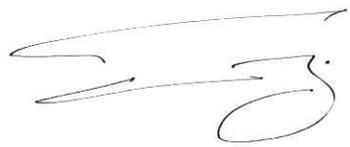
1. Informe LM-PI-UMP-051-R2		2. Copia No. 1
3. Título y subtítulo: FACTIBILIDAD DE APLICACIÓN DE LA TÉCNICA DE ESTABILIZACIÓN CON ASFALTO ESPUMADO EN UN TRAMO DE LA RUTA 39		4. Fecha del Informe Febrero, 2016
7. Organización y dirección Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales Universidad de Costa Rica, Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro de Montes de Oca, Costa Rica Tel: (506) 2511-2500 / Fax: (506) 2511-4440		
8. Notas complementarias		
9. Resumen <i>En este informe se presentan análisis de resultados de campo y de laboratorio para evaluar la factibilidad del uso de la técnica de estabilización con asfalto espumado de un segmento de la Ruta 39. Los datos de campo incluyen deflectometría de impacto y determinación de espesores de capa mediante la técnica de Georadar de penetración soportada por sondeos(extracción de material). Los datos de laboratorio incluyen caracterización de materiales y diseños de bases estabilizadas con asfalto espumado. Los resultados observados tanto con los datos de campo como los resultados de laboratorio indican que la alta variabilidad de materiales y el poco cumplimiento con las especificaciones sugieren que la técnica no es idónea para ser utilizada en el proyecto en cuestión, pues se requería de múltiples diseños y reconformación/preparación del material a estabilizar previo a la estabilización. No obstante, para proyectos donde la variabilidad es menor la técnica es aplicable, siempre y cuando se verifiquen los parámetros de diseño en aras de asegurar la calidad.</i>		
10. Palabras clave Asfalto espumado, bases estabilizadas, contenido óptimo de humedad, contenido óptimo de asfalto, razón de expansión, vida media, RAP, filler, reciclado en frío	11. Nivel de seguridad: Ninguno	12. Núm. de páginas 71
13. Preparado por:		
Ing. Andrea Ulloa Calderón Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos 	Ing. Fabricio Leiva Villacorta, Ph.D. Investigadora Unidad de Materiales y Pavimentos 	Ing. Tania Ávila Esquivel Investigador Unidad de Materiales y Pavimentos 
Fecha: 08 / 03 / 16	Fecha: 08 / 03 / 16	Fecha: 08 / 03 / 16
14. Revisado por:		15. Aprobado por:
Ing. José Pablo Aguiar Moya, Ph.D. Coordinador Unidad de Materiales y Pavimentos 	Ing. Fabián Elizondo Arrieta SubCoordinador PITRA 	Ing. Guillermo Loría Salazar, Ph.D. Coordinador General PITRA 
Fecha: 08 / 03 / 16	Fecha: 08 / 03 / 16	Fecha: 08 / 03 / 16



TABLA DE CONTENIDO

ÍNDICE DE FIGURAS	4
ÍNDICE DE TABLAS	5
1 INTRODUCCIÓN	8
2 ENSAYOS EN SITIO DE LA RUTA 39 (CIRCUNVALACIÓN): LA URUCA - SAN SEBASTIÁN	8
2.1.1 <i>UBICACIÓN Y LONGITUD DEL PROYECTO</i>	9
2.1.2 <i>DEFLECTOMETRÍA</i>	10
2.1.3 <i>GEO-RADAR DE PENETRACIÓN</i>	10
2.2 <i>CARACTERIZACIÓN DE LOS SONDEOS</i>	12
2.3 <i>DISEÑOS</i>	14
3 ANÁLISIS DE APLICABILIDAD	17
4 RECOMENDACIONES	19
5 ANEXOS	20
5.1 <i>CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES</i>	20
5.1.1 <i>PUNTO 1 (0+200 LD)</i>	20
5.1.2 <i>PUNTO 2 (1+900 LI)</i>	22
5.1.3 <i>PUNTO 3 (2+200 LD)</i>	24
5.1.4 <i>PUNTO 4 (4+000 LI)</i>	26
5.1.5 <i>PUNTO 5 (6+000 LI)</i>	28
5.1.6 <i>PUNTO 6 (6+800 LD)</i>	30
5.1.7 <i>PUNTO 7 (8+000 LI)</i>	32
5.1.8 <i>PUNTO 8 (4+200 LD)</i>	34
5.1.9 <i>MATERIAL RECUPERADO (RAP)</i>	36
5.2 <i>DISEÑOS</i>	37
5.2.1 <i>DISEÑO 1. BASE GRANULAR (0+200 LD)</i>	37
5.2.2 <i>DISEÑO 2. BASE GRANULAR + 16% RAP (1+900 LI)</i>	41
5.2.3 <i>DISEÑO 3. BASE GRANULAR + 1% CAL (0+200 LD)</i>	44
5.2.4 <i>DISEÑO 4. BASE GRANULAR + 1% CEMENTO (0+200 LD)</i>	46
5.2.5 <i>DISEÑO 5. BASE 100% RAP (0+300)</i>	48
5.2.6 <i>DISEÑO 6. BASE 100% RAP (0+300)</i>	51

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. UBICACIÓN DEL PROYECTO.	9
FIGURA 2. RESULTADOS DE DEFLECTOMETRÍA.	10
FIGURA 3. RESULTADOS DE GEO RADAR Y SONDEOS EN LA RUTA 39.	12
FIGURA 4. CURVAS GRANULOMÉTRICAS DE MATERIAL DE SONDEO.	13
FIGURA 5. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 0+200 LD.	20
FIGURA 6. PROCTOR PARA EL PUNTO 0+200LD.	21
FIGURA 7. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 1+900 LI.	22
FIGURA 8. PROCTOR PARA EL PUNTO 1+900 LI.	23
FIGURA 9. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 2+200 LD.	24
FIGURA 10. PROCTOR PARA EL PUNTO 2+200 LD.	25
FIGURA 11. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 4+000 LI.	26
FIGURA 12. PROCTOR PARA EL PUNTO 4+000 LI.	27
FIGURA 13. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 6+000 LI.	28
FIGURA 14. PROCTOR PARA EL PUNTO 6+000 LI.	29
FIGURA 15. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 6+800 LD.	30
FIGURA 16. PROCTOR PARA EL PUNTO 6+800 LD.	31
FIGURA 17. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 8+000 LI.	32
FIGURA 18. PROCTOR PARA EL PUNTO 8+000 LI.	33
FIGURA 19. GRANULOMETRÍA PARA EL PUNTO 4+200 LD.	34
FIGURA 20. PROCTOR PARA EL PUNTO 4+200 LD.	35
FIGURA 21. GRANULOMETRÍA DEL RAP.	36
FIGURA 22. GRÁFICOS DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL. BASE GRANULAR (0+200 LD)	39
FIGURA 23. GRÁFICOS DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL. BASE GRANULAR + 16% RAP (1+900 LI)	42
FIGURA 24. GRÁFICOS DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL. BASE 100% RAP (0+300).	49



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. RESUMEN DE DEFLEXIONES Y ESPESORES	12
TABLA 2. CARACTERIZACIÓN DEL MATERIAL DE LOS SONDEOS	14
TABLA 3. RESUMEN DE RESULTADOS DE DISEÑOS DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL, ESTACIONAMIENTOS 0+200 LD, 1+900 LI Y 0+300	15
TABLA 4. RESUMEN DE RESULTADOS DE LOS DISEÑOS DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL, ESTACIONAMIENTOS 2+200 LD, 4+000 LI, 4+200 LD, 6+000 LI, 6+800 LD Y 8+000	17
TABLA 5. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (0+200 LD)	20
TABLA 6. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (1+900 LI).....	22
TABLA 7. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (2+200 LD)	24
TABLA 8. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (4+000 LI).....	26
TABLA 9. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (6+000 LI).....	28
TABLA 10. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (6+800 LD).....	30
TABLA 11. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (8+000 LI)	32
TABLA 12. SUSTITUCIÓN DE GRUESOS RETENIDOS EN TAMIZ 12,5 (4+200 LD).....	34
TABLA 13. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (0+200 LD).....	38
TABLA 14. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (0+200 LD).....	40
TABLA 15. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (1+900 LI, +16% RAP).....	41
TABLA 16. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (1+900 LI, +16% RAP).....	43



TABLA 17. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (0+200 LD, 1% CAL)44

TABLA 18. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (0+200 LD, 1% CAL)45

TABLA 19. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (0+200 LD, 1% CEMENTO)46

TABLA 20. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (0+200 LD, 1% CEMENTO)47

TABLA 21. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (100% RAP).....48

TABLA 22. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (100% RAP).....50

TABLA 23. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (2+200 LD).....52

TABLA 24. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (2+200 LD).....54

TABLA 25. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (4+000 LI)55

TABLA 26. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (4+000 LI)57



TABLA 27. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (6+000 LI)	58
TABLA 28. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (6+000 LI)	60
TABLA 29. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (6+800 LD).....	61
TABLA 30. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (6+800 LD).....	63
TABLA 31. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (8+000 LI)	65
TABLA 32. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (8+000 LI)	67
TABLA 33. RESULTADOS DE LA RESISTENCIA AL DAÑO INDUCIDO POR HUMEDAD PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (4+200 LD).....	69
TABLA 34. RESUMEN DE RESULTADOS DEL DISEÑO DE BASE ESTABILIZADA CON ASFALTO ESPUMADO PARA ESPECÍMENES COMPACTADOS MEDIANTE EL MÉTODO MARSHALL (4+200 LD).....	71



1 INTRODUCCIÓN

Las técnicas de preservación forman parte de convenios y programas establecidos para la conservación vial del país; las cuales mediante actividades destinadas a preservar de forma continua y sostenida, buscan mantener el buen estado de las vías a través del tiempo, donde esto significa que las condiciones de operación, tanto funcionales como estructurales sean garantizadas de manera óptima.

La escogencia del tipo de técnica en un camino que requiere ser intervenido para mejorar sus características estructurales, es compleja y conlleva un proceso de toma de decisiones por parte de la Administración, contratistas y en ocasiones inclusive con la comunidad. Por ello es de suma importancia recopilar toda la información necesaria para obtener un correcto desarrollo de todas las etapas que involucra la selección de la o las técnicas que se utilizarán en una ruta.

Como parte de las técnicas de rehabilitación, se estudia el uso del asfalto espumado (un material innovador en el país), para el mejoramiento de pavimentos que presentan un deterioro considerable en capas de rueda asfálticas, o en la conformación de capas de base granular estabilizadas que provean una mayor resistencia a la estructura del pavimento.

En este informe se presentan análisis de resultados de campo y de laboratorio para evaluar la factibilidad del uso de la técnica de estabilización con asfalto espumado en un segmento de la Ruta Nacional 39. Los datos de campo incluyen deflectometría de impacto y determinación de espesores de capa mediante la técnica de geo-radar de penetración validada por sondeos (extracción de material). Los datos de laboratorio incluyen caracterización de materiales y diseños de bases estabilizadas con asfalto espumado.

2 ENSAYOS EN SITIO DE LA RUTA NACIONAL 39 (CIRCUNVALACIÓN): LA URUCA - SAN SEBASTIÁN

La aplicabilidad de este método es una propuesta de mejora sobre la Ruta Nacional 39 (RN 39): Circunvalación (sentido La Uruca – San Sebastián). A continuación se presenta una descripción del tramo de carretera en estudio, con una distancia total de aproximadamente 8 km, en donde se muestrearon ocho puntos con el fin de realizar la respectiva caracterización.

LM-PI-UMP-051-R2	Fecha de emisión: 18 de marzo de 2016	Página 8 de 71
------------------	---------------------------------------	----------------



2.1.1 Ubicación y longitud del proyecto

La Figura 1 muestra en color celeste el tramo analizado. Es importante mencionar que la misma es de carácter ilustrativo, por lo tanto, no se presenta en ninguna escala en particular. El segmento analizado abarca 8 kilómetros.

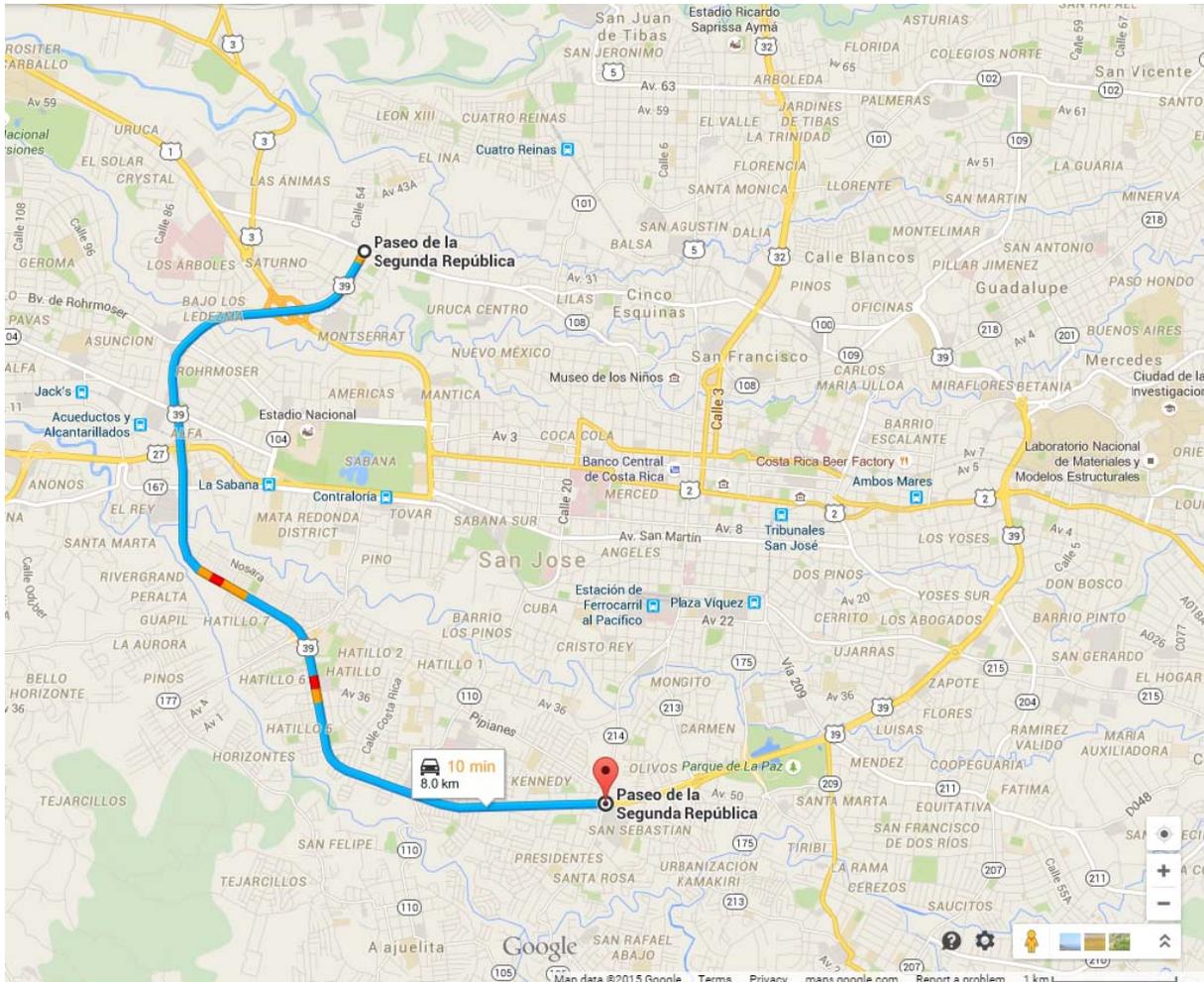


Figura 1. Ubicación del proyecto. Fuente: Google Maps (2015)



2.1.2 Deflectometría

Como parte de los estudios preliminares que se deben realizar, se llevó a cabo la deflectometría a cada 100 m. La temperatura promedio del ensayo de deflectometría de impacto fue de 17.7 °C variando entre 16,1 y 19,1 °C. En la Figura 2 se muestran las deflexiones obtenidas bajo el plato de carga y estandarizadas a una misma temperatura de referencia de 21 °C. La deflexión promedio del ensayo fue de 40,7 mm⁻² variando entre 9,6 y 126,7 mm⁻². A partir de la gráfica de deflexiones acumuladas mostrada en la Figura 2 se pueden apreciar nueve cambios de pendiente, los que representan secciones con características significativamente diferentes en capacidad estructural y por tanto, se identifican tramos homogéneos dentro del proyecto evaluado.

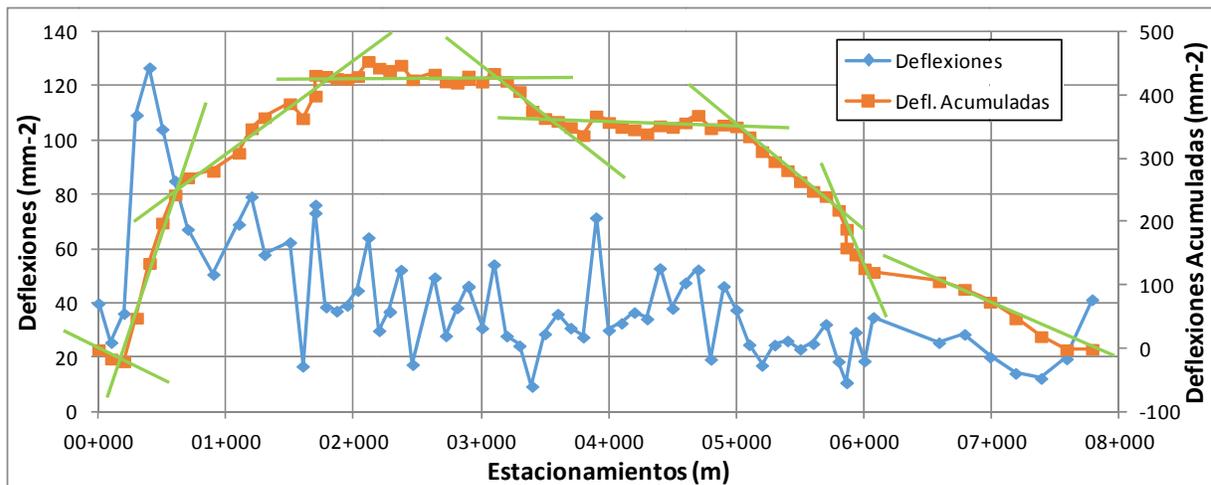


Figura 2. Resultados de Deflectometría. Fuente: LanammeUCR (2014)

La alta variabilidad en los resultados obtenidos indica una gran heterogeneidad en las propiedades de los materiales de las diferentes capas o mucha variabilidad en los espesores de las mismas, o ambas. Por esta razón se llevó a cabo un estudio de campo complementario al de deflectometría para determinar espesores del pavimento evaluado.

2.1.3 Geo-Radar de Penetración

Para la estimación de los espesores de las diferentes estructuras de pavimento que se encuentra en el tramo de estudio se utilizó un método no destructivo, el cual permite tener una radiografía de las diferentes capas que lo componen. La técnica usada para realizar este análisis tiene como base la teoría



del campo electromagnético manteniendo una relación de las propiedades cuantitativas de los materiales.

El Geo-Radar de Penetración (GPR) utiliza las características de la onda del campo electromagnético, la cual depende de la magnitud relativa de la energía perdida (asociado a la conductividad), respecto a la energía almacenada (relacionada con la constante dieléctrica y permeabilidad). El campo electromagnético puede presentarse como una onda que muestra el cambio en las propiedades físicas del material, lo que permite identificar la presencia de las diferentes capas de material o presencia de diferentes elemento. Para el caso del tramo en estudio se analizaron los 8 km a cada 200 m, donde se compararon los espesores obtenidos con los espesores de las capas medidas en los sondeos realizados en campo. En la Figura 3 se pueden observar las variaciones del espesor y la comparación entre el análisis de los datos obtenidos con el GPR y los medidos por sondeosde campo, lo cual muestra variaciones significativas que deberán en algunos casos verificarse y descartar que se deba a intersecciones, alcantarillas, rampas de acceso o puentes. Igualmente, a partir de las imágenes del Geo-Radar es posible detectar intervenciones previas comosobrecapas en algunos sectores, lo que debe considerarse para efectos de diseño de un posible material a estabilizar.

La Tabla 1 muestra los valores promedio de deflexión y espesores de la capa asfáltica y material de base. Con estos datos no se encontró una relación entre deflexiones medidas y espesores de la capa asfáltica, de la capa granular o la combinación de ambas. Por lo tanto la variabilidad observada en las deflexiones se debe a la variabilidad en las propiedades de los materiales constituyentes de las diferentes capas. En el caso de la mezcla asfáltica, estas diferencias se pueden atribuir a diferentes intervenciones de mantenimiento y rehabilitación que se han realizado a lo largo de la vida del pavimento.

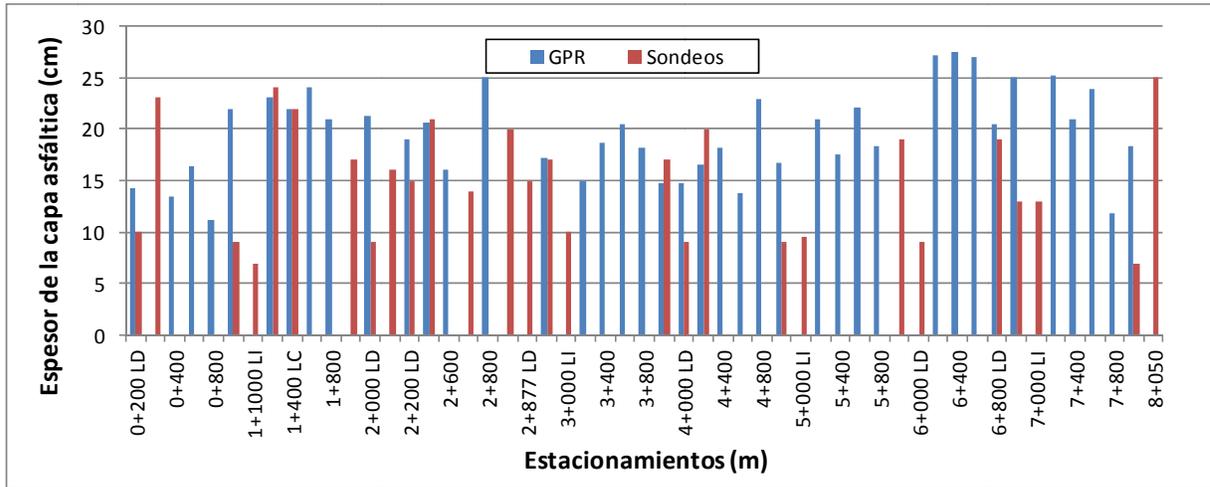


Figura 3. Resultados de Geo Radar y sondeos en la Ruta 39. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 1. Resumen de deflexiones y Espesores

Tramo	Estacionamiento	Deflexión Promedio, mm ⁻²	Espesor CA, cm	Espesor Base, cm
1	00+000 a 00+200	34.1	14.2	25
2	00+300 a 00+601	106.4	14.9	30
3	00+700 a 01+700	61.6	20.4	44
4	01+783 a 03+098	40.8	20.0	42
5	03+198 a 03+798	26.6	18.1	44
6	03+898 a 04+998	41.8	17.0	39
7	05+098 a 05+798	24.2	19.3	38
8	05+861 a 06+071	21.1	18.6	-
9	06+100 a 07+785	23.3	24.6	45

2.2 Caracterización de los sondeos

A continuación se presentan los resultados de los ensayos de laboratorio: granulometría, Proctore Índice de Plasticidad, para ocho sondeos realizados a lo largo del proyecto. Adicionalmente, se presentan algunas de las características de material de RAP obtenido con dos pasadas del equipo recuperador. La Figura 4 muestra las curvas granulométricas del material extraído en cada sitio de



sondeo. Se observa que la mayoría de los casos se obtuvo material fino que incumple especificaciones establecidas para el adecuado desempeño de la base estabilizada. Un porcentaje alto de material fino tiene un efecto negativo, producto de la pérdida de flexibilidad en la capa estabilizada y por tanto aumento de la rigidez de la misma. La incorporación de material de relleno tipo cal hidratada o cemento involucraría una granulometría aún más fina, por lo que desde el punto de vista de granulometría la aplicabilidad de la técnica de estabilización se vuelve poco factible. La Tabla 2 contiene la caracterización de los materiales (Proctore índice de plasticidad) incluyendo el cumplimiento de las especificaciones de granulometría. En el apartado de anexos se incluyen los resultados obtenidos para cada muestra.

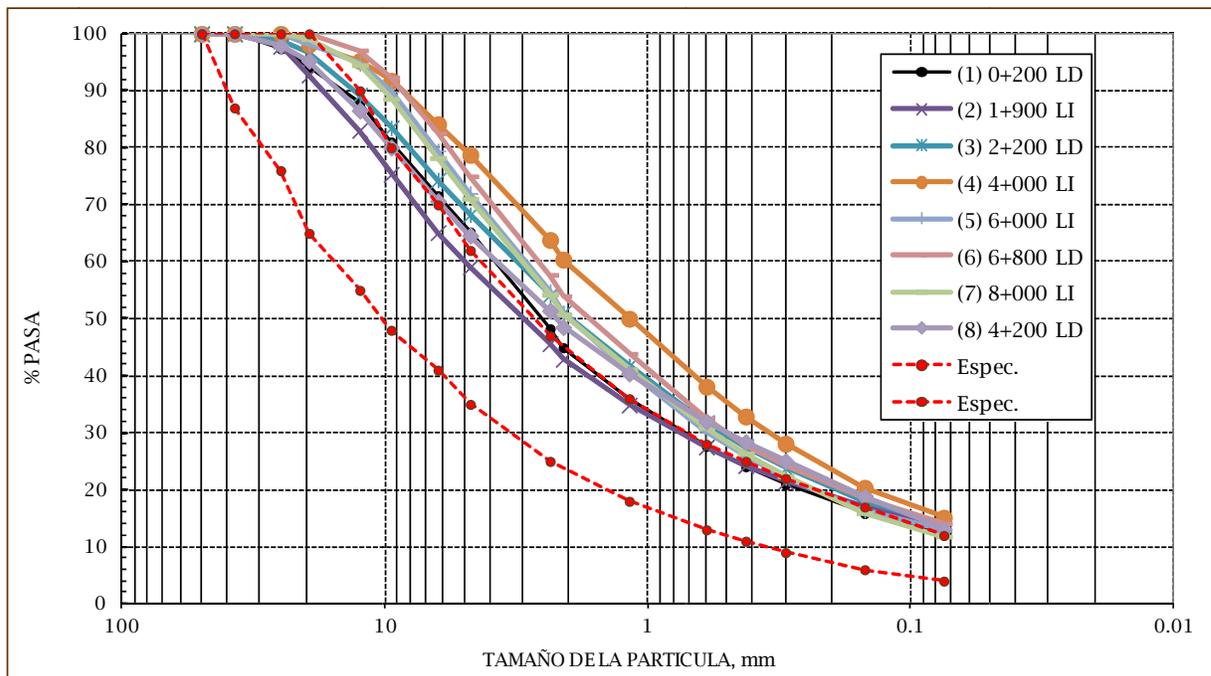


Figura 4. Curvas granulométricas de material de sondeo.

Tabla 2. Caracterización del material de los sondeos

Muestra/ Punto	Ubicación	RAP según espesor recuperado (%)	Cumplimiento Graduación	Densidad máxima	Humedad óptima	Plasticidad
1	0+200 LD	0	En Limite superior	1872,3	12,4	NP
2	1+900 LI	16,0	Cumple, cerca límite superior	1887,1	10,3	NP
3	2+200 LD	8,0	No cumple, límite superior	1915,7	9,7	NP
4	4+000 LI	16,0	No cumple, límite superior	1879,1	9,6	NP
5	6+000 LI	24,0	No cumple, límite superior	1993,9	8,3	NP
6	6+800 LD	24,0	No cumple, límite superior	1841,8	12,3	NP
7	8+000 LI	21,2	No cumple, límite superior	1589,2	17,4	NP
8	4+200 LD	28,0	En Limite superior	1939,6	8,5	NP
9	RAP (0+300)	100	No cumple, hacia extremos		-	

2.3 Diseños

Para dos de los puntos caracterizados anteriormente (0+200 LD & 1+900 LI), se llevaron a cabo un total de 4 diseños; además de un diseño que considera únicamente RAP muestreado en el estacionamiento 0+300. Los resultados obtenidos para estos primeros diseños, se desglosan en la Tabla 3. En los ensayos de tensión indirecta (ITS) se especifica un mínimo de 225kPa para los especímenes sin condicionamiento o secos, mientras que para los especímenes condicionados o húmedos se especifica un mínimo de 100kPa. La resistencia retenida a tensión indirecta (razón entre ITS secos y húmedos) se especifica en un mínimo de 60%.

Tabla 3. Resumen de resultados de diseños de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall, estacionamientos 0+200 LD, 1+900 LI y 0+300

Muestra	Ensayo	Resultados			Unidades	Cumple
Base Granular (0+200 LD) 3,2 % de Asfalto espumado 12,4 % agua de mezcla y compactación	ITS seco	337	±	23	kPa	Sí
	ITS Húmedo	61	±	3	kPa	No
	RR 24h	18			%	No
Base Granular + 16 % RAP (1+900 LI) 3,2 % de Asfalto espumado 10,6 % agua de mezcla y compactación	ITS seco	254	±	103	kPa	Sí
	ITS Húmedo	49	±	7	kPa	No
	RR 24h	19			%	No
Base Granular + 1% Cal (0+200 LD) 3,2 % de Asfalto espumado 12,4 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	343	±	23	kPa	Sí
	ITS Húmedo	256	±	9	kPa	Sí
	RR 24h	75			%	Sí
Base Granular + 1% Cemento (0+200 LD) 3,2 % de Asfalto espumado 12,4 % agua de mezcla y compactación 1% cemento	ITS seco	263	±	12	kPa	Sí
	ITS Húmedo	142	±	12	kPa	Sí
	RR 24h	54			%	No
Base 100% RAP (0+300) 2,0 % de Asfalto espumado 5,0 % agua de mezcla y compactación	ITS seco	312	±	26	kPa	Sí
	ITS Húmedo	133	±	4	kPa	No
	RR 24h	43			%	No

Para estostres puntos o muestras analizadas el contenido óptimo de asfalto espumado estimado fue de 3,2% con un contenido de agua para mezclado y compactación por encima del 10%. Sin embargo, el cumplimiento de los tres parámetros especificados, simultáneamente, se ha logrado con la incorporación adicional de 1,0% de cal hidratada para la muestra 1 (0+200 LD).

En el caso de la muestra de 100% RAP, se obtuvo un contenido inferior de asfalto espumado (2,0%) al igual que una menor cantidad de agua (5,0%). A pesar de contar con un mejor material para la estabilización como es el RAP, este se muestra susceptible al tipo de condicionamiento aplicado. Sin



embargo, su desempeño en estado condicionado duplica al obtenido para el material granular sin la incorporación de relleno mineral activo.

Para los sondeos restantes se llevaron a cabo diseños con cinco puntos diferentes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4% y 3,6%), en los que se incluyó 1% de cal, lo cual se resume en la Tabla 3. Resumen de resultados de diseños de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall, se presentan a menara comparativa únicamente el resultado del diseño con 3,2% de asfalto. En el apartado de anexos se incluyen los resultados obtenidos para cada diseño.

Tabla 4. Resumen de resultados de los diseños de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall con adición de cal, estacionamientos 2+200 LD, 4+000 LI, 4+200 LD, 6+000 LI, 6+800 LD y 8+000

Muestra	Ensayo	Resultados			Unidades	Cumple
Base Granular (2+200 LD) + 8% RAP 3,2 % de Asfalto espumado 9,7 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	133,5	±	17	kPa	No
	ITS Húmedo	119,2	±	4	kPa	<i>Sí</i>
	RR 24h	89,3			%	<i>Sí</i>
Base Granular (4+000 LI) + 16% RAP 3,2 % de Asfalto espumado 9,6 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	313,4	±	39	kPa	<i>Sí</i>
	ITS Húmedo	278,9	±	18	kPa	<i>Sí</i>
	RR 24h	89,0			%	<i>Sí</i>
Base Granular (6+000 LI) + 24% RAP 3,2 % de Asfalto espumado 8,3 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	325,5	±	43	kPa	<i>Sí</i>
	ITS Húmedo	304,9	±	14	kPa	<i>Sí</i>
	RR 24h	93,7			%	<i>Sí</i>
Base Granular (6+800 LD) + 24% RAP 3,2 % de Asfalto espumado 12,3 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	189,6	±	20	kPa	No
	ITS Húmedo	165,0	±	17	kPa	<i>Sí</i>
	RR 24h	87,0			%	<i>Sí</i>
Base Granular 8+000 LI) + 21,2% RAP 3,2 % de Asfalto espumado 17,4 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	125,9	±	26	kPa	No
	ITS Húmedo	113,2	±	12	kPa	<i>Sí</i>
	RR 24h	89,9			%	<i>Sí</i>
Base Granular (4+200 LD) + 28% RAP 3,2 % de Asfalto espumado 8,5 % agua de mezcla y compactación 1% cal	ITS seco	242,5	±	33	kPa	<i>Sí</i>
	ITS Húmedo	267,2	±	15	kPa	<i>Sí</i>
	RR 24h	107,2			%	<i>Sí</i>

3 ANÁLISIS DE APLICABILIDAD

Basados en los resultados observados, tanto con los datos de campo como los resultados de laboratorio no se recomienda la aplicación directa de la técnica de estabilización con asfalto espumado para el



tramo de la R39 en estudio. Cabe aclarar que lo anterior se presenta para el caso particular en estudio y responde a un análisis de cada proyecto definir la viabilidad o eficacia de la técnica. A continuación se muestran las diferentes razones de lo anterior:

- Alta variabilidad en las deflexiones medidas que no pueden ser atribuidas únicamente a variación de los espesores de las capas del pavimento. Esto indica una alta variabilidad en las propiedades de los materiales existentes. La aplicación de la técnica en sitio es ideal para casos donde tanto la estructura como las propiedades de los materiales sean uniformes para tramos de carretera considerables.
- Moderada variabilidad en los espesores obtenidos y el tipo de material de base encontrados (base granular y base estabilizada con cemento) requiere de un análisis más complejo y puntualizado. Esto implica un diseño de la base estabilizada más detallado y una aplicación de la técnica en sitio más controlada. Alternativamente se recomienda la preparación del material a estabilizar previo a la aplicación de la técnica. De requerirse, dicha homogenización del material se puede realizar en planta.
- Incumplimiento de especificaciones establecidas para el adecuado desempeño de la base estabilizada. La mayoría del material extraído tiene un alto de material fino que incumple con especificaciones granulométricas. Esto tendría un efecto negativo, producto de la pérdida de flexibilidad en la capa estabilizada y por tanto aumento de la rigidez de la misma.
- Incumplimiento de especificaciones de resistencia establecidas para el adecuado desempeño de la base estabilizada. La mayoría de los casos analizados incumple la especificación en el estado condicionado (ITS Húmedo), con lo cual se evidencia una susceptibilidad al daño por la presencia de humedad. No obstante, se evidenció que el uso de un bajo porcentaje de filler activo (cal) logró aumentar la resistencia significativamente en combinación con el asfalto adicionado.



4 RECOMENDACIONES

A pesar de que se demostró que esta técnica evidencia mejoras en las características de resistencia de la base tratada para estabilización, se recomienda realizar diseños en más puntos de la ruta o rutas alternas para poder determinar conclusiones más generalizadas. La definición de tramos homogéneos es fundamental para la correcta aplicación de la técnica, pues así se puede controlar adecuadamente un diseño particular para cada uno. Además, se debe analizar el efecto que implica utilizar este método de estabilización en las secciones en los cuales existen capas de base estabilizada con cemento.

Con base en los resultados de los diseños realizados, la aplicación de la técnica en los tramos de la Ruta 39 analizados no se considera factible: se recomienda primeramente ajustar la granulometría para garantizar un cumplimiento de acuerdo al rango especificado para esta técnica de manera que se garantice el desempeño del mismo. El uso de cal como mejorador de resistencia entre el material granular y el asfalto espumado puede aportar de forma beneficiosa al comportamiento del material. Sin embargo, es necesario realizar estudios adicionales relacionados a la sensibilidad cuánto porcentaje es el que realmente se requiere para no sobrepasar el contenidos de finos totales y que esto pueda afectar el desempeño a fatiga de la base estabilizada dado que se agrega más material fino. Por lo tanto, se recomienda ajustar la granulometría al incorporar cualquier tipo de relleno mineral activo.

Esto adicionalmente debe verificarse aún más cuando el material recuperado es de una base estabilizada con cemento, dado que en estos casos las resistencias podrían aumentar más de lo requerido y la técnica a la final no resulta viable.

Finalmente, se recomienda el uso de material de RAP fraccionado (grueso, retenido en el tamiz No4) para mejorar la granulometría y reducir contenidos de asfalto espumado y agua de mezclado y compactación.



5 ANEXOS

5.1 Caracterización de materiales

5.1.1 Punto 1 (0+200 LD)

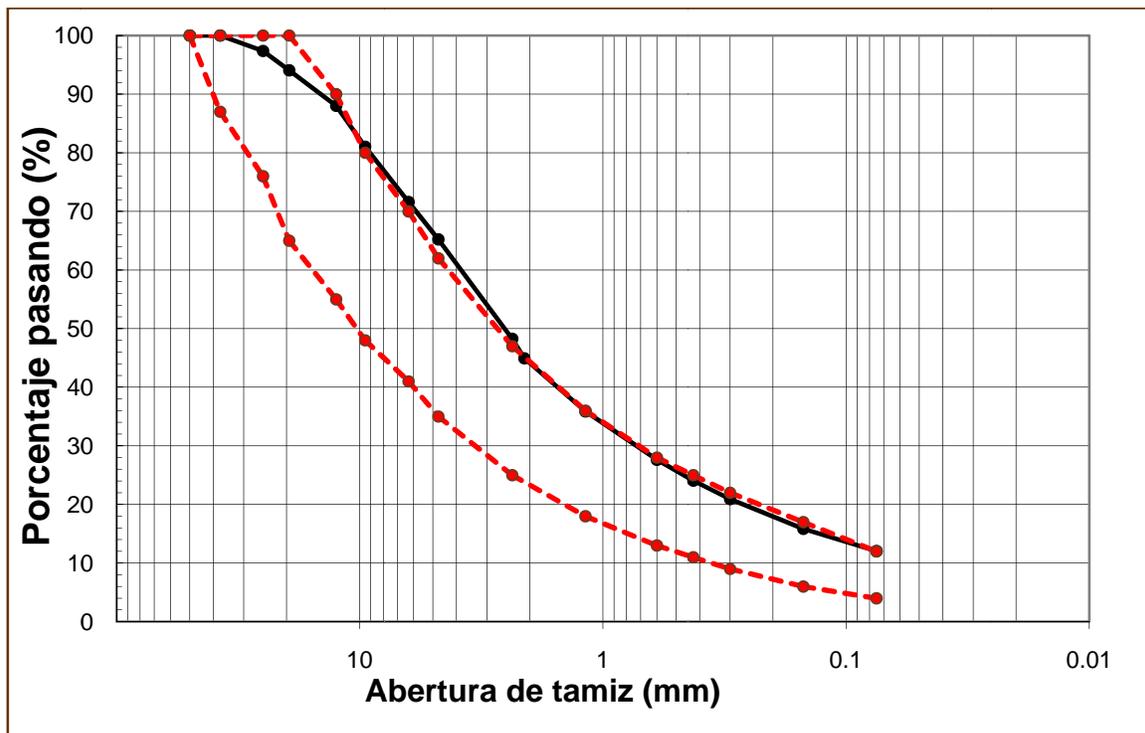


Figura 5. Granulometría para el punto 0+200LD. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 5. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (0+200 LD)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	12,0
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	22,8
Pasando 4,75 mm	65,2
Total	100,0

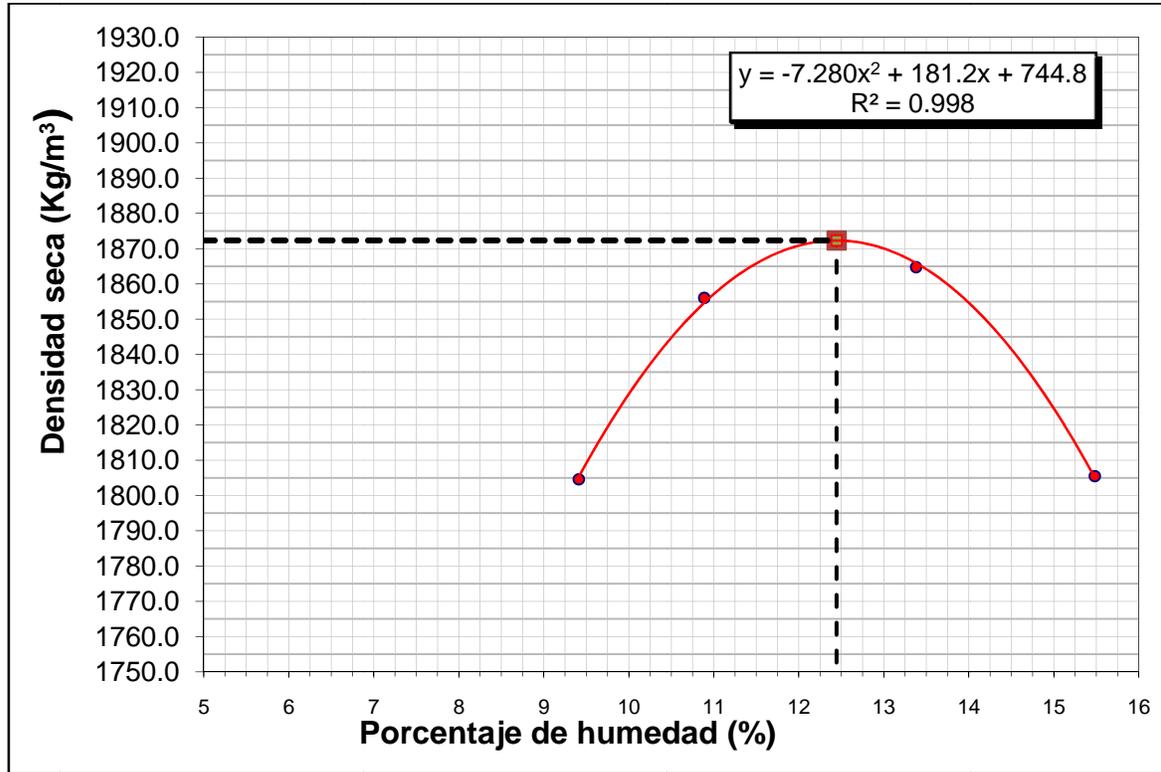


Figura 6. Proctor para el punto 0+200LD. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.2 Punto 2 (1+900 LI)

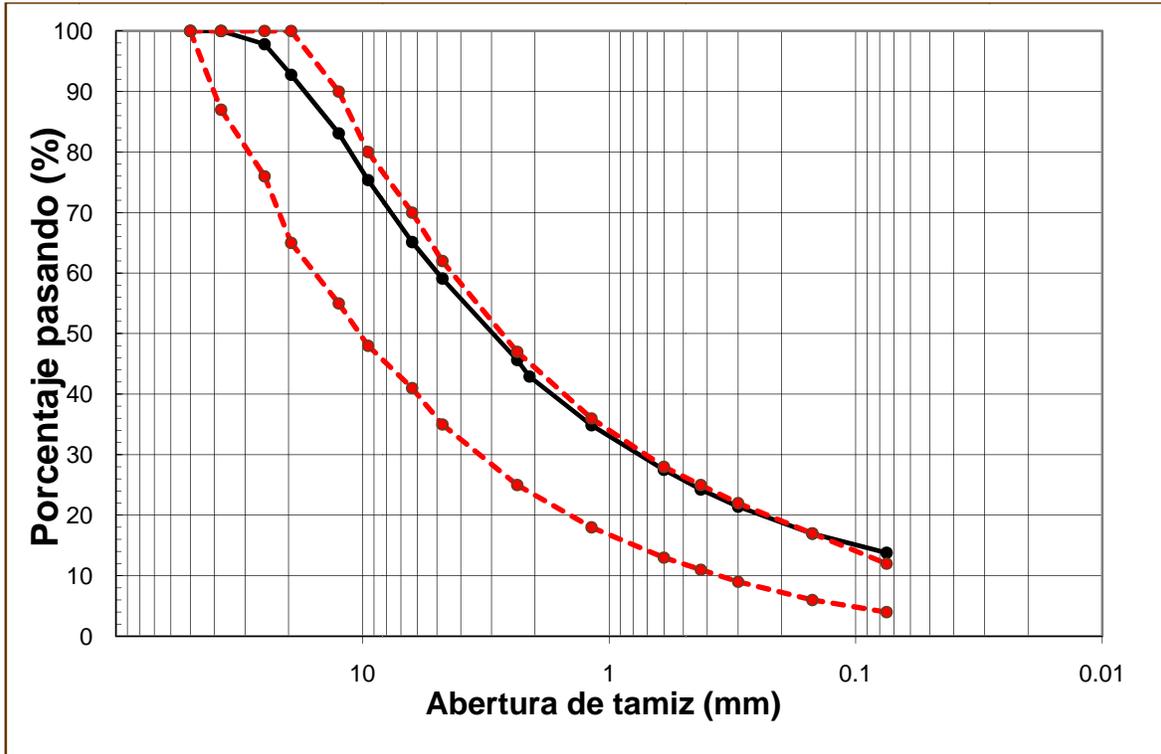


Figura 7. Granulometría para el punto 1+900LI. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 6. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (1+900 LI)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	16,9
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	24,0
Pasando 4,75 mm	59,1
Total	100,0

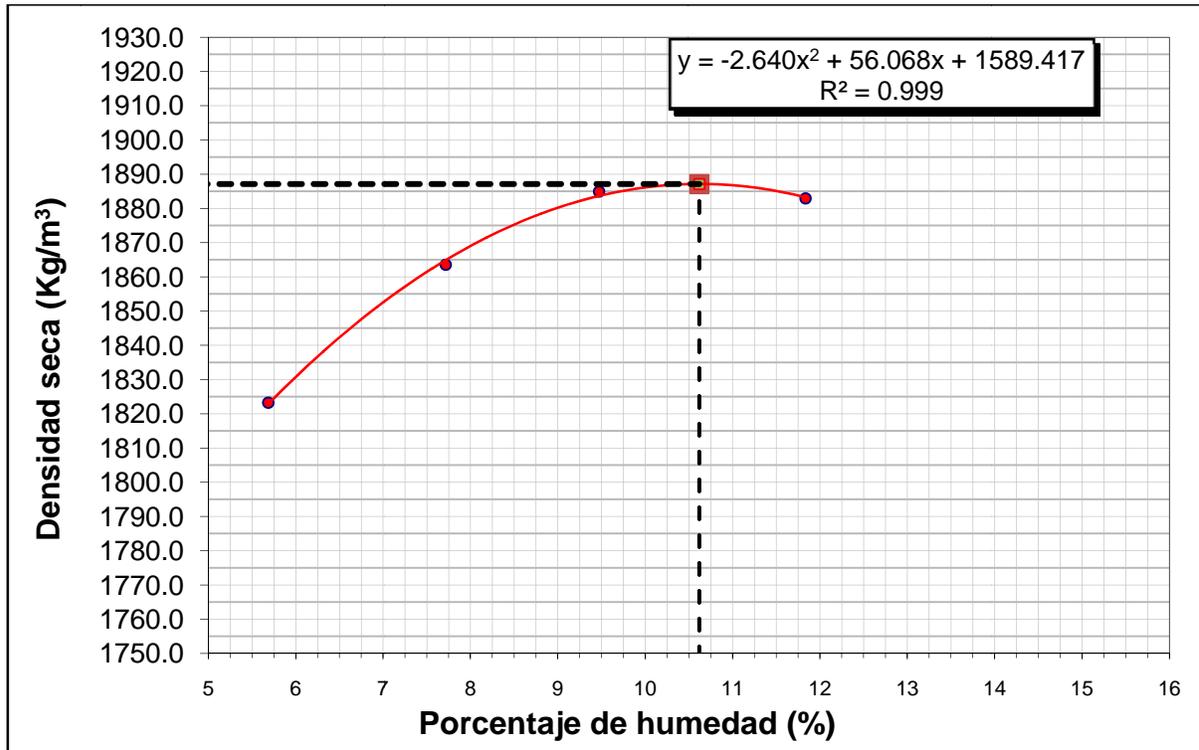


Figura 8. Proctor para el punto 1+900LI. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.3 Punto 3 (2+200 LD)

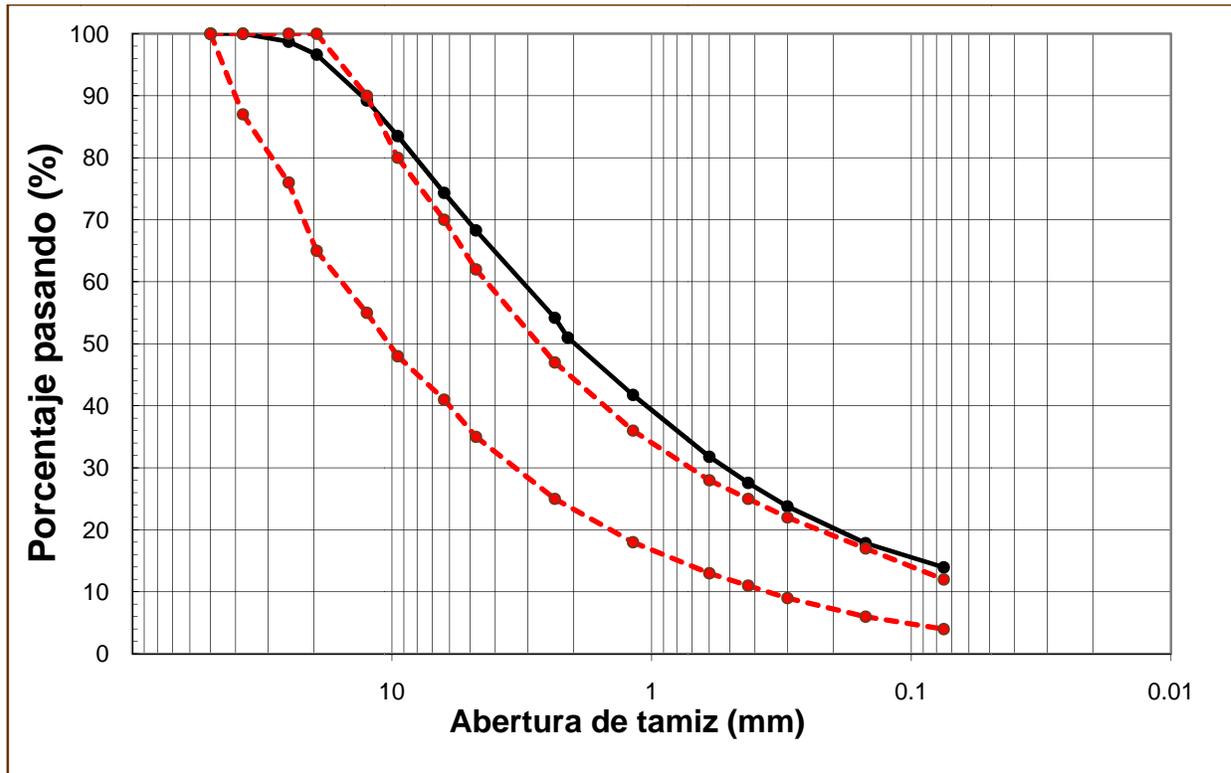


Figura 9. Granulometría para el punto 2+200 LD. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 7. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (2+200 LD)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	10,8
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	21,0
Pasando 4,75 mm	68,3
Total	100,0

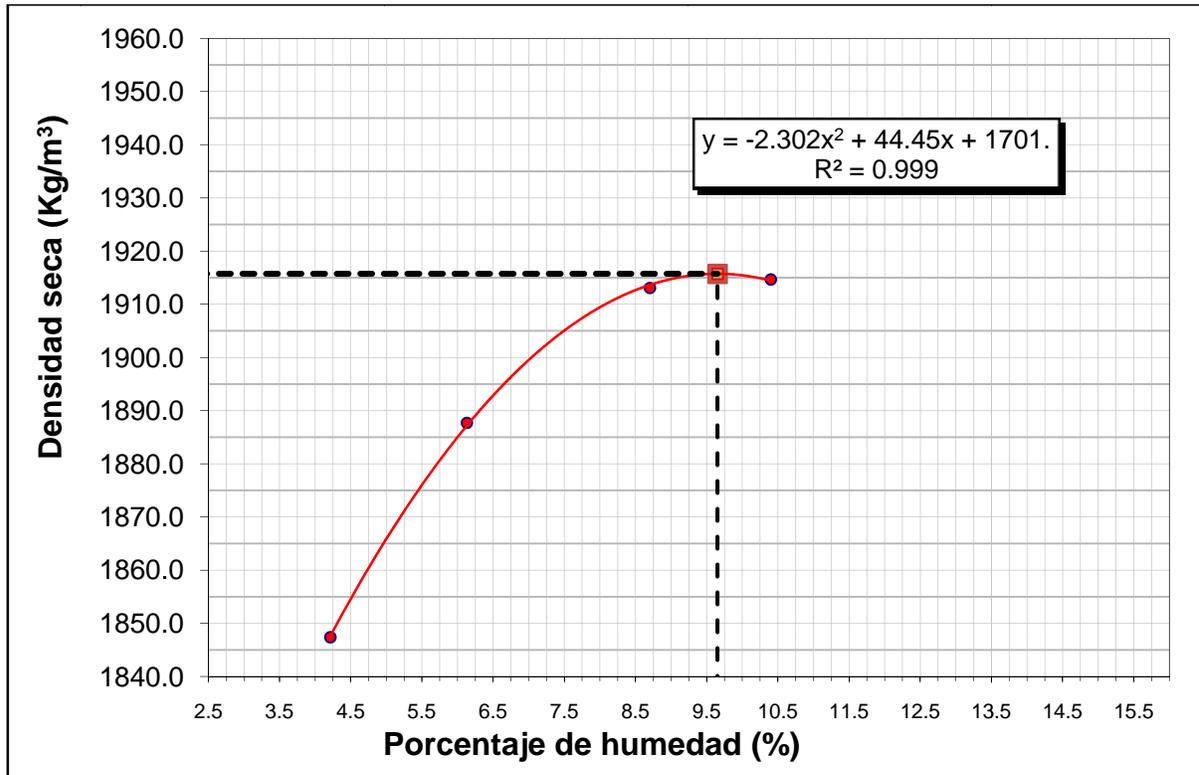


Figura 10. Proctor para el punto 2+200 LD. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.4 Punto 4 (4+000 LI)

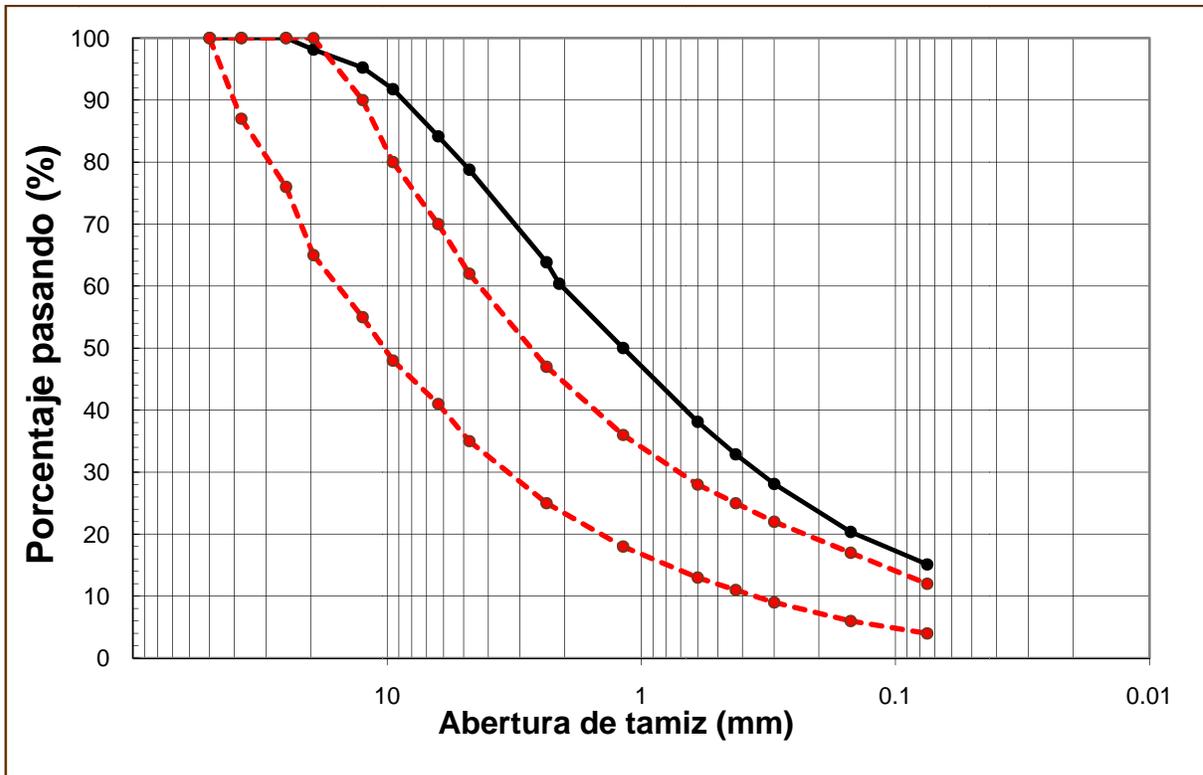


Figura 11. Granulometría para el punto 4+000 LI. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 8. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (4+000 LI)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	4,8
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	16,5
Pasando 4,75 mm	78,8
Total	100,0

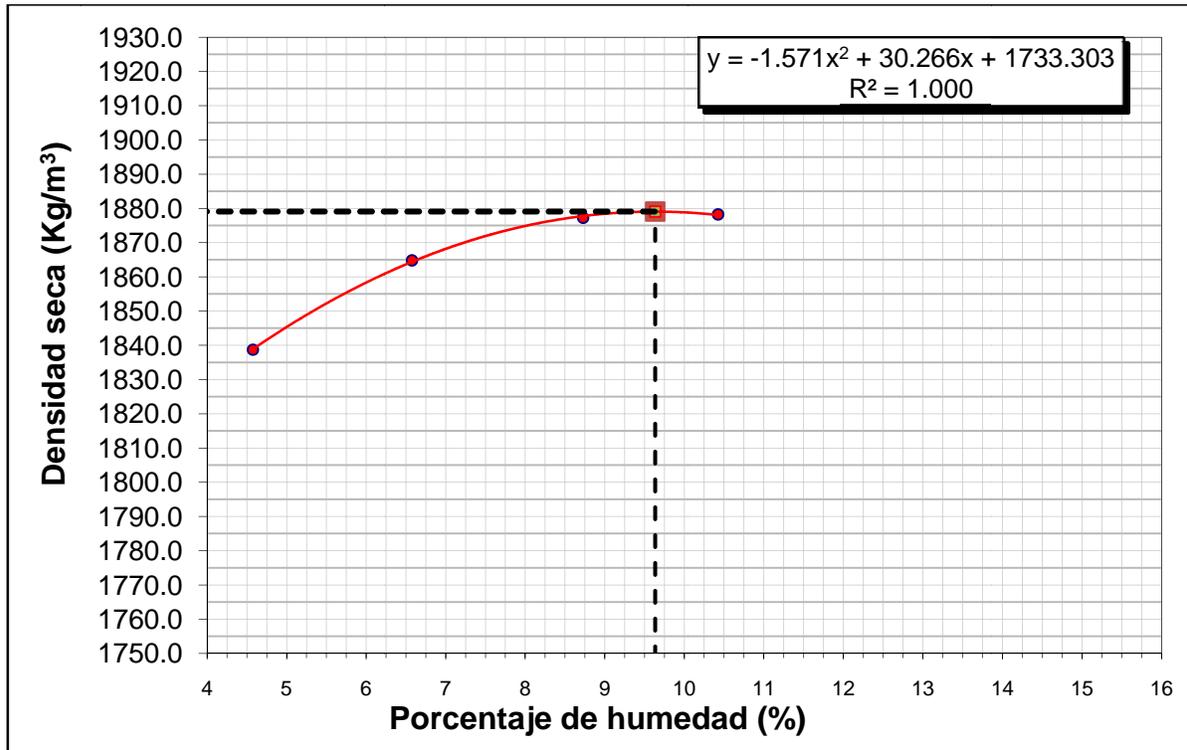


Figura 12. Proctor para el punto 4+000 LI. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.5 Punto 5 (6+000 LI)

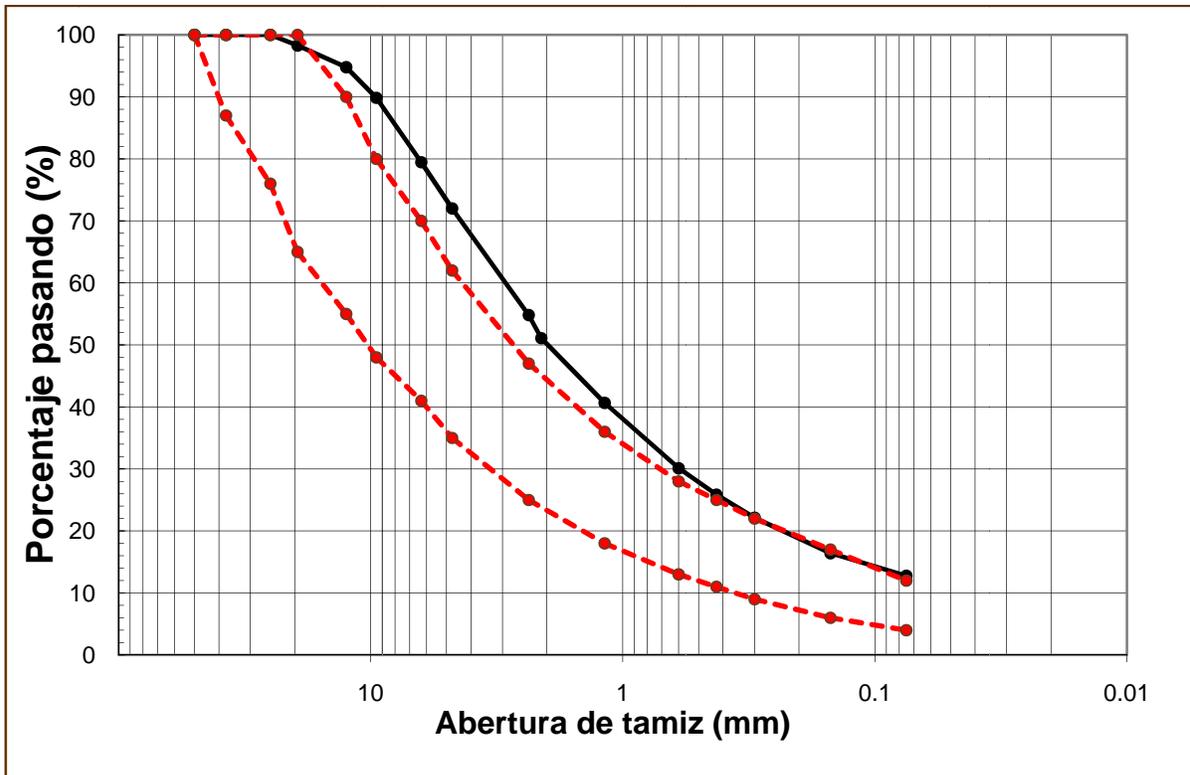


Figura 13. Granulometría para el punto 6+000 LI. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 9. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (6+000 LI)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	5,2
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	22,8
Pasando 4,75 mm	72,0
Total	100,0

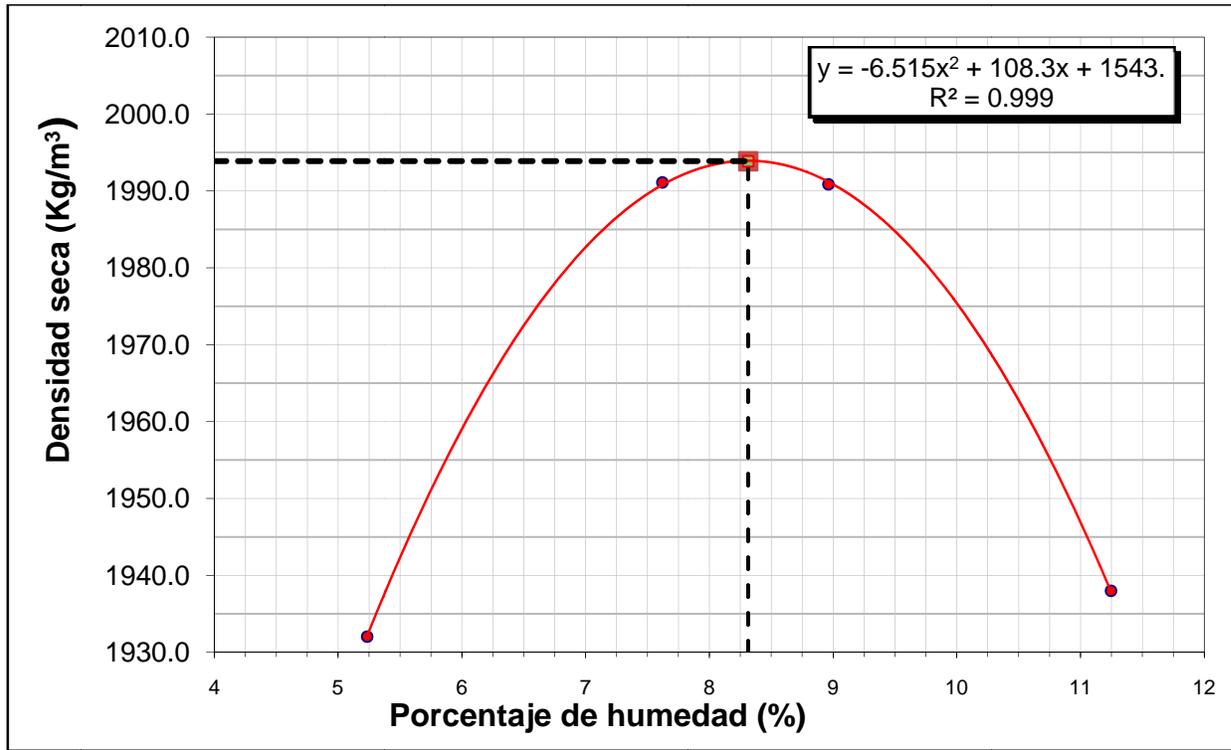


Figura 14. Proctor para el punto 6+000 LI. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.6 Punto 6 (6+800 LD)

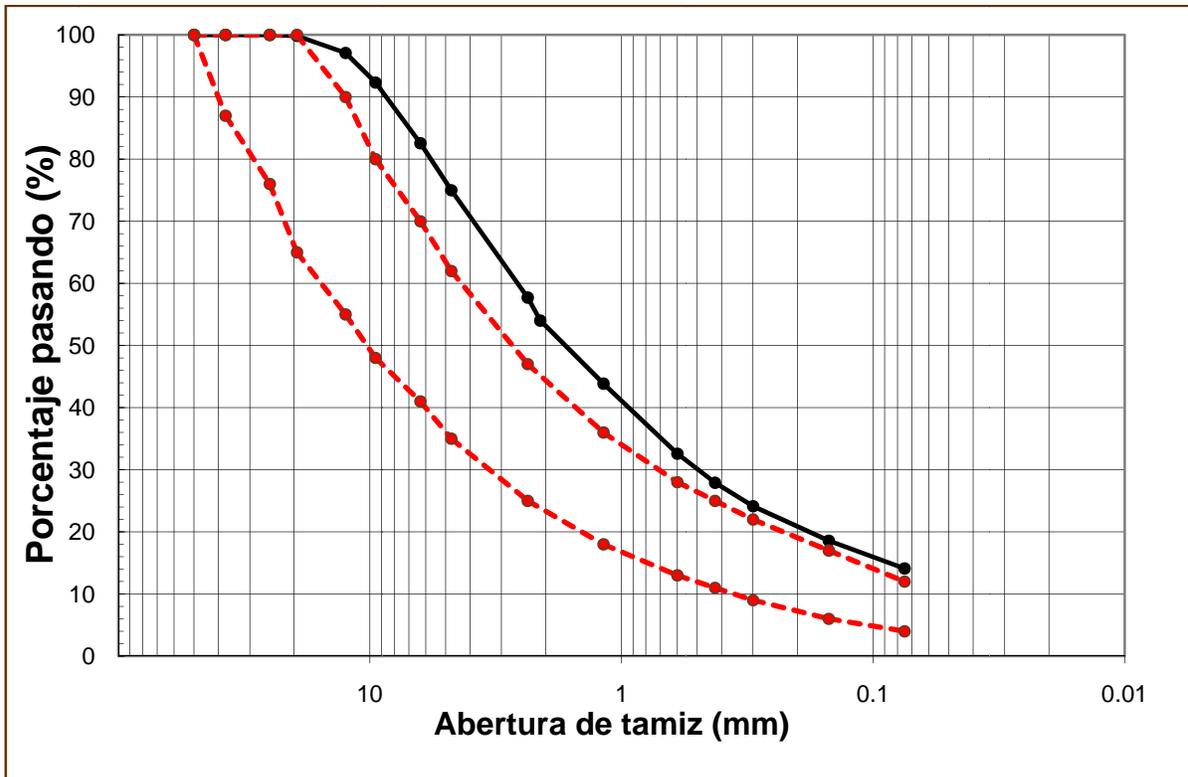


Figura 15. Granulometría para el punto 6+800 LD. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 10. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (6+800 LD)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	2,9
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	22,1
Pasando 4,75 mm	75,0
Total	100,0

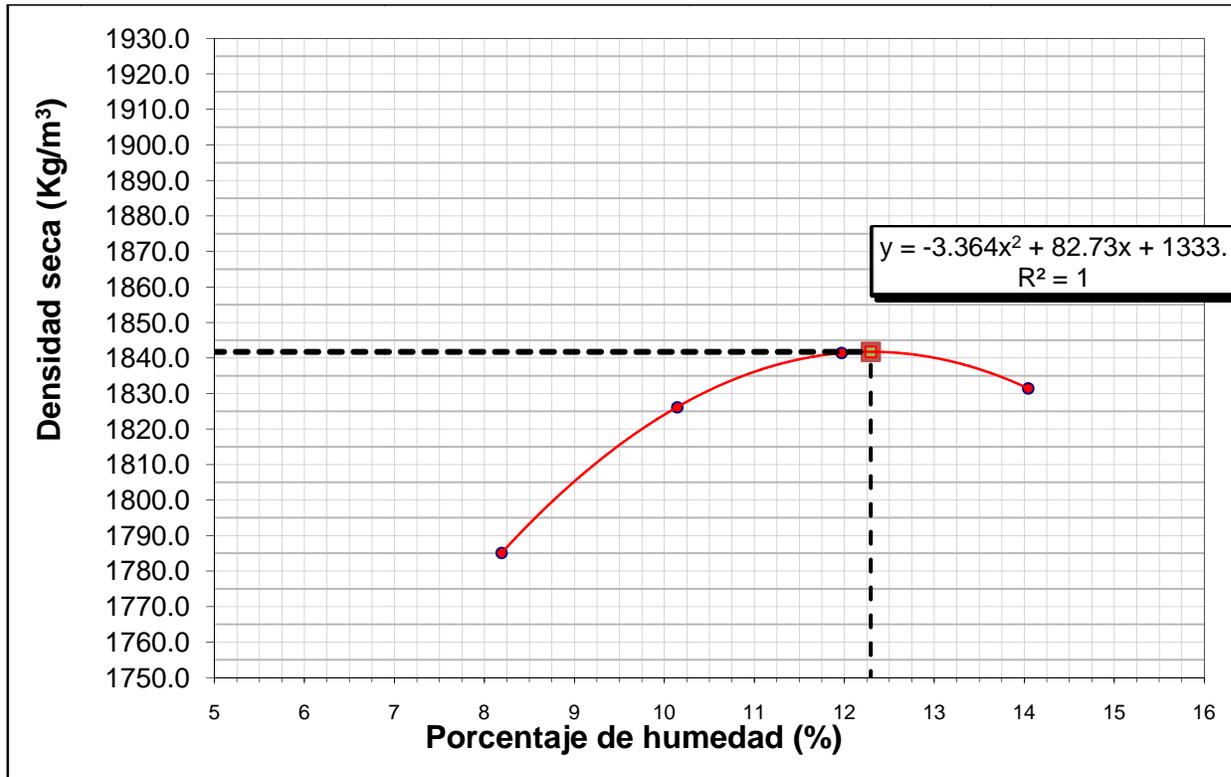


Figura 16. Proctor para el punto 6+800 LD. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.7 Punto 7 (8+000 LI)

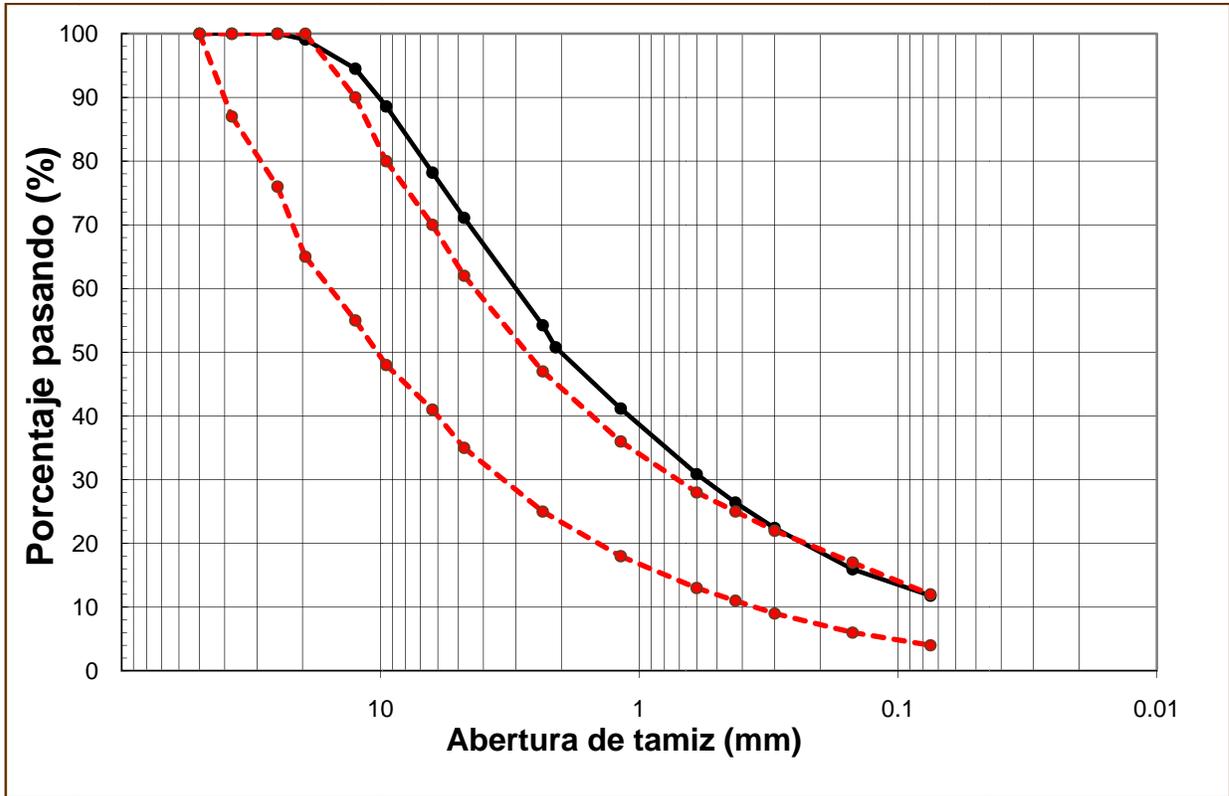


Figura 17. Granulometría para el punto 8+000 LI. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 11. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (8+000 LI)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	5,5
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	23,4
Pasando 4,75 mm	71,1
Total	100,0

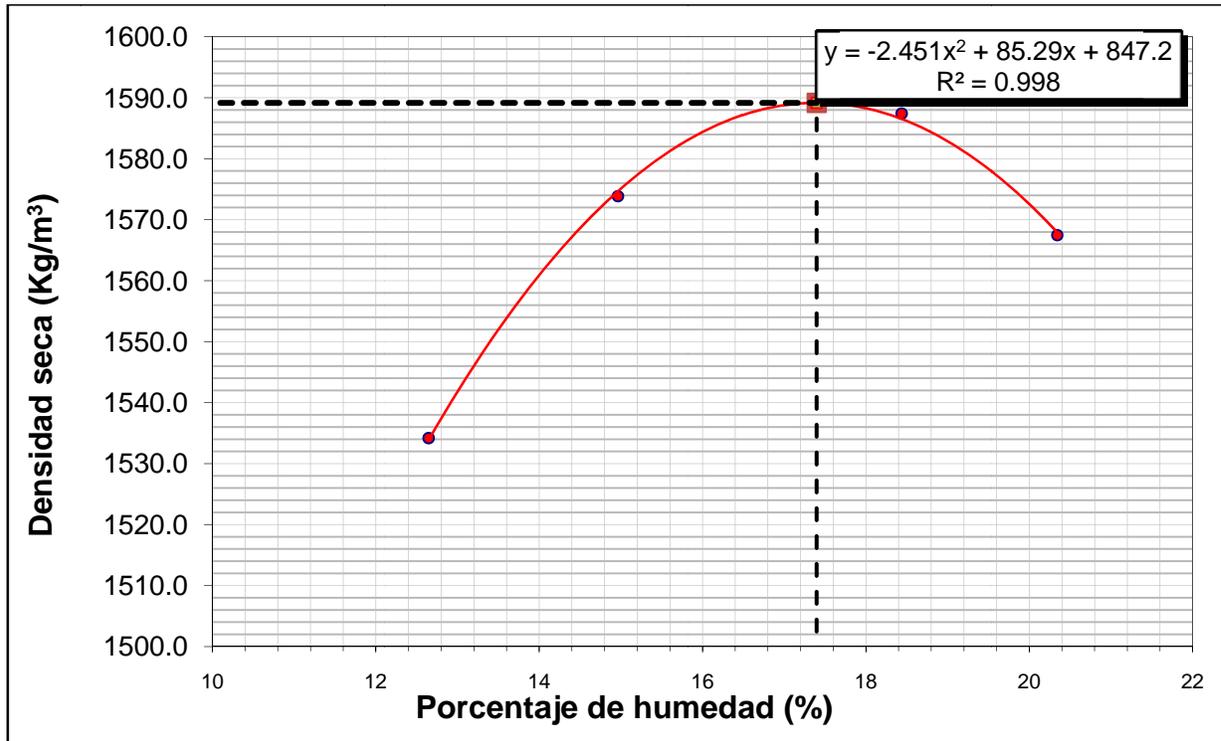


Figura 18. Proctor para el punto 8+000 LL. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.8 Punto 8 (4+200 LD)

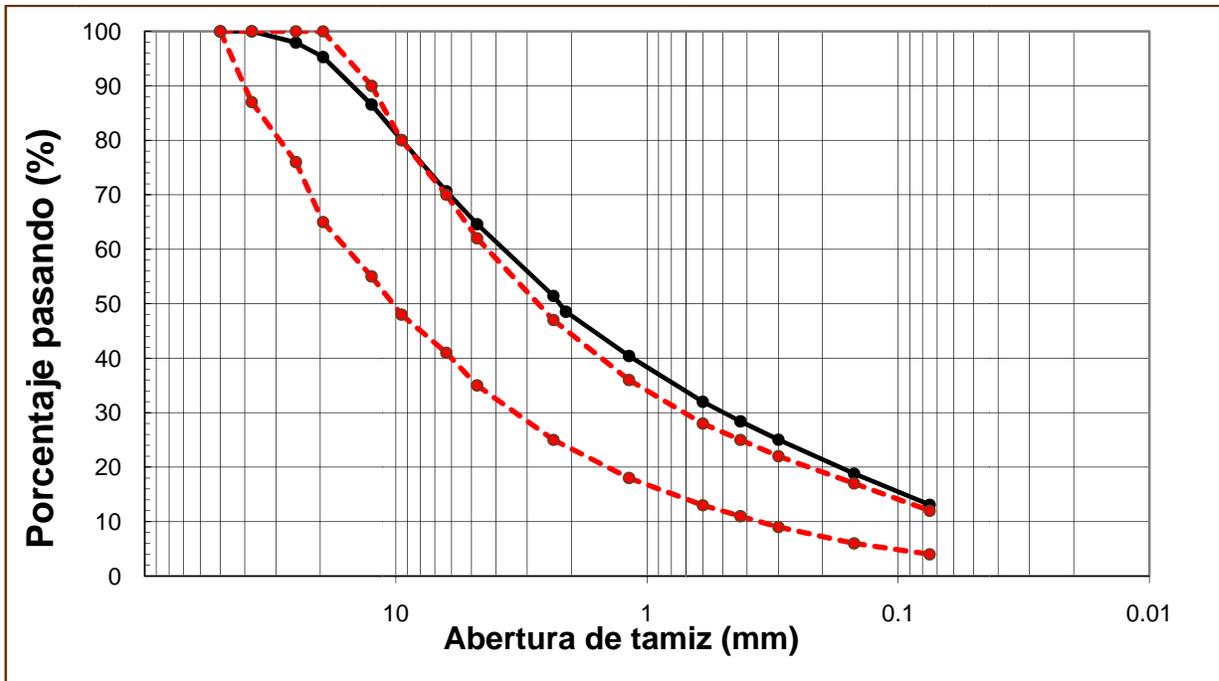


Figura 19. Granulometría para el punto 4+200 LD. Fuente: LanammeUCR (2014)

Tabla 12. Sustitución de gruesos retenidos en tamiz 12,5 (4+200 LD)

Sustitución de gruesos retenido en tamiz 12,5 mm para relación densidad-humedad	
Retenido 12,5 mm	13,5
Pasando 12,5 mm retenido 4,75 mm	21,9
Pasando 4,75 mm	64,6
Total	100,0

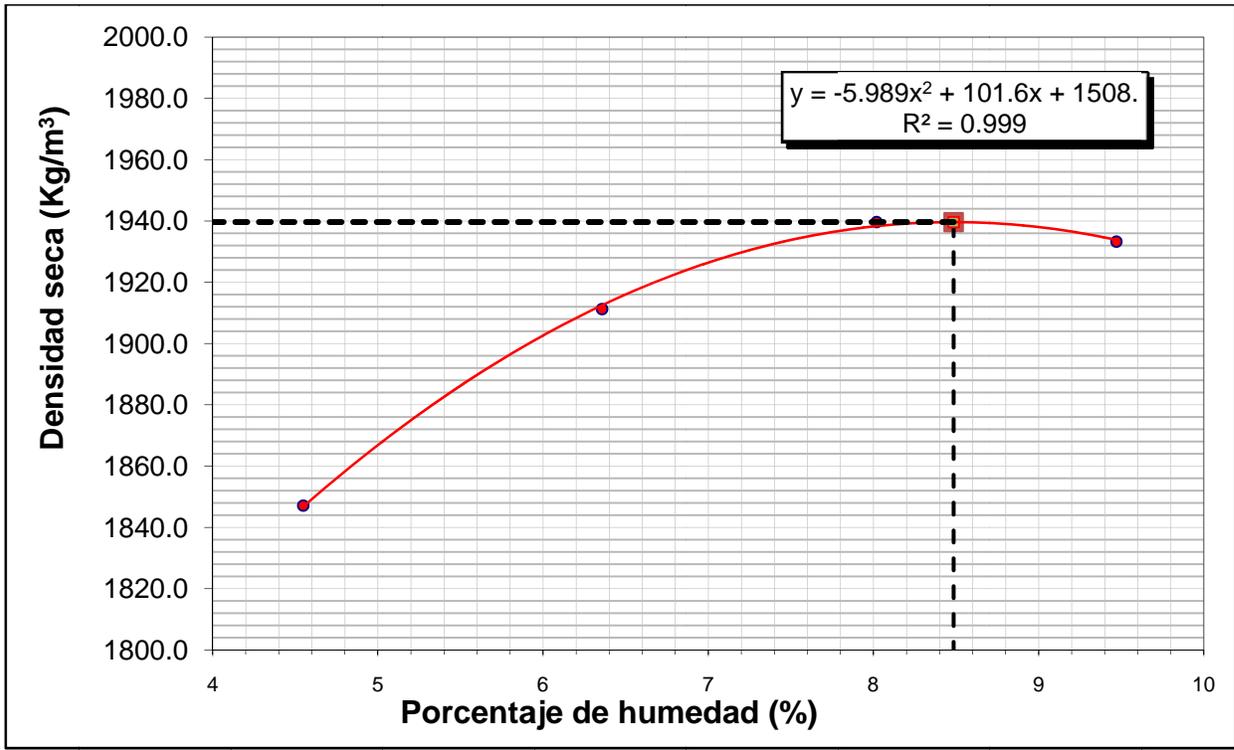


Figura 20. Proctor para el punto 4+200 LD. Fuente: LanammeUCR (2014)



5.1.9 Material recuperado (RAP)

Para el material reciclado, recuperado mediante dos pasadas del equipo, se asume 5% de humedad óptima y sin plasticidad. En la figura 34 se muestra la distribución granulométrica correspondiente.

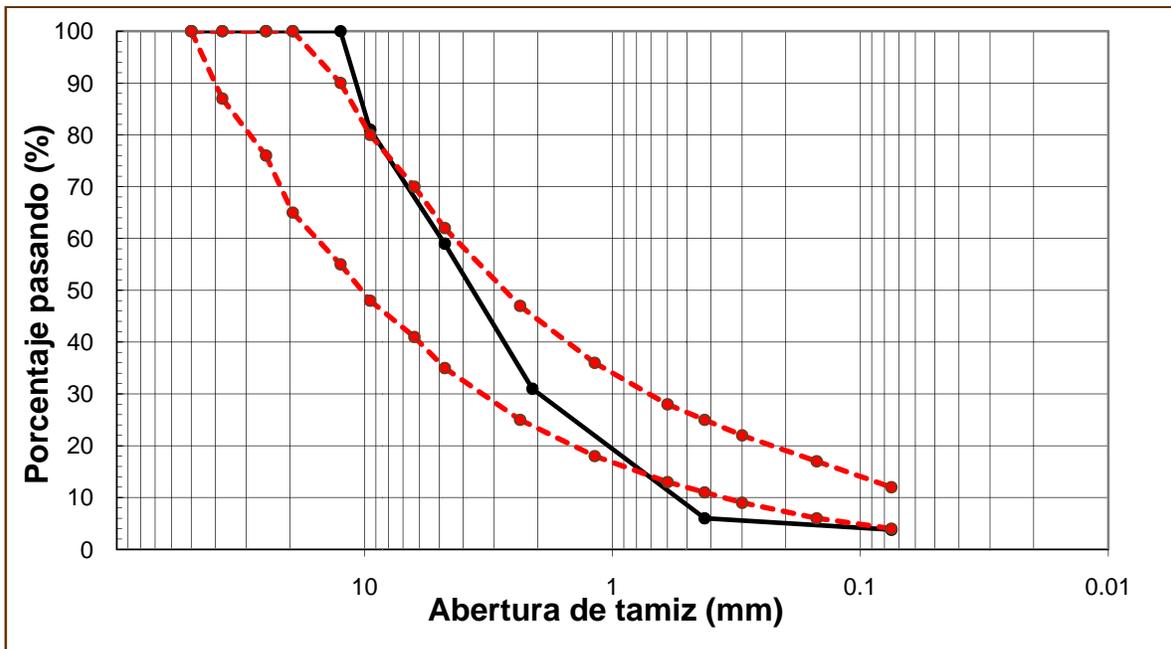


Figura 21. Granulometría del RAP.Fuente: LanammeUCR (2014)



5.2 Diseños

- En una primera fase para los puntos 0+200 LD y 1+900 LI, sellearon a cabo un total de 4 diseños; además de un diseño que considera únicamente RAPmuestreado en el estacionamiento 0+300.
- En la siguiente fase y a partir de los resultados en la primera fase se decidió realizar cinco diseños para los puntos 2+200 LD, 4+000 LI, 4+200 LD, 6+000 LI, 6+800 LD y 8+000, esto para cinco porcentajes de asfalto y 1% cal.
- Los resultados obtenidos para cada uno, se desglosan a continuación:

5.2.1 Diseño 1. Base Granular (0+200 LD)

Los resultados completos para este diseño se encuentran en el informe I-0685-14. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.1.

Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2.8%, 3.0%, 3.2%, 3.4 y 3.6%) y según la calibración para expansión y vida media del asfalto espumado, se determinó que para una temperatura de 160 °C y un flujo de agua óptimo de 2,6%:

- La vida media es de 12,2 segundos
- La expansión es de 10,8 veces

Con base en el procedimiento descrito en este manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 13 y 14 muestran los resultados.

Tabla 13. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall(0+200 LD)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	260 ± 46	kPa
	ITS Húmedo	54 ± 3	kPa
	RR 24h	21	%
3,0%	ITS seco	320 ± 21	kPa
	ITS Húmedo	51 ± 8	kPa
	RR 24h	16	%
3,2%	ITS seco	337 ± 23	kPa
	ITS Húmedo	61 ± 3	kPa
	RR 24h	18	%
3,4%	ITS seco	392 ± 6	kPa
	ITS Húmedo	67 ± 5	kPa
	RR 24h	17	%
3,6%	ITS seco	304 ± 69	kPa
	ITS Húmedo	71 ± 6	kPa
	RR 24h	23	%

12,4 % agua de mezcla y compactación

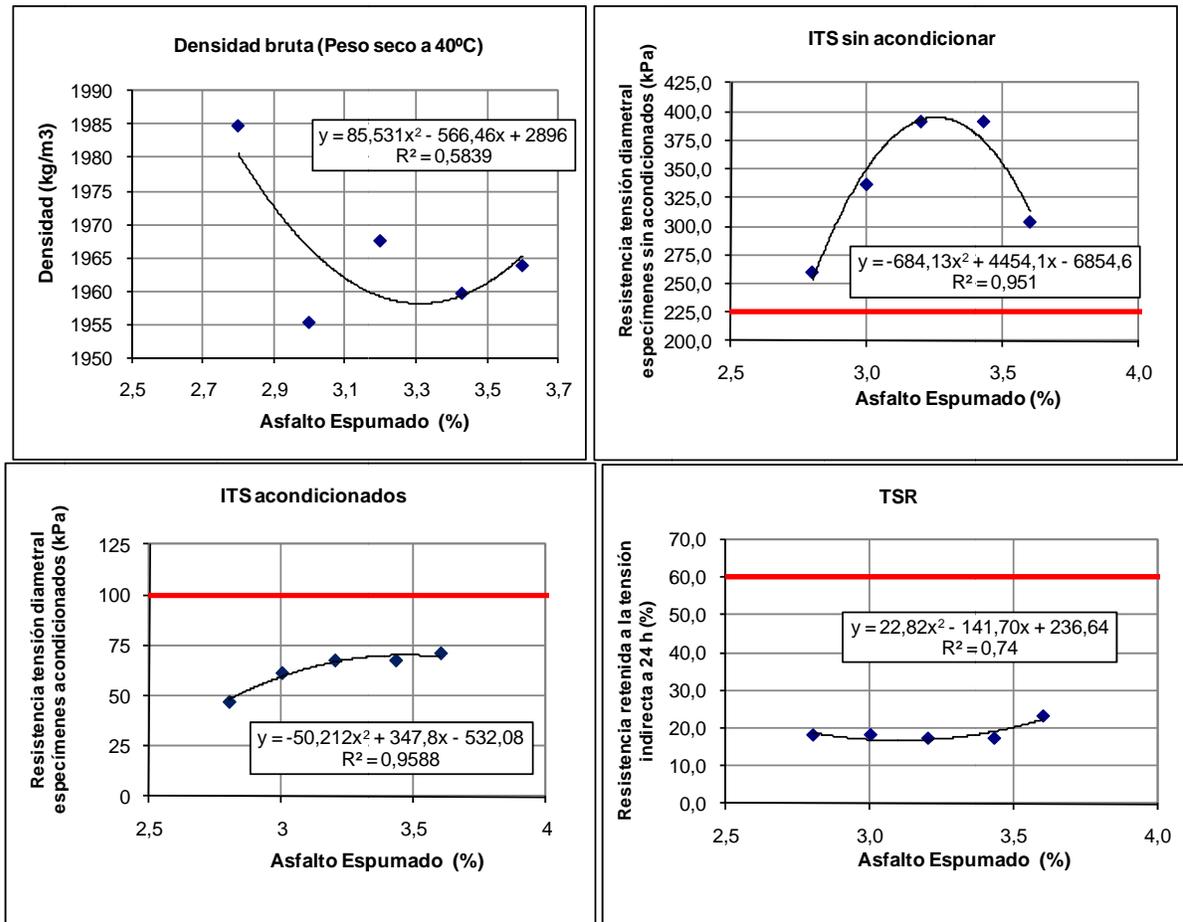


Figura 22. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (0+200 LD). Fuente: LanammeUCR (2013)



Tabla 14. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (0+200 LD)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,2	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	12,4	-	%	-
Gravedad específica bruta	-	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos	337	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados	61	>100 ⁴	kPa	No Cumple
Resistencia retenida (RRTD)	-	≥ 60 ⁵	%	No Cumple
¹ Se obtuvo a partir del valor de resistencia obtenido en las pruebas de falla a la tensión diametral.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				



5.2.2 Diseño 2. Base Granular + 16% RAP (1+900 LI)

Los resultados completos para este diseño se encuentran en el informe I-0686-14. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las descritas en el apartado 5.1.2.

Para un total de tres diferentes porcentajes de asfalto (3,0%, 3,2% y 3,4%), una temperatura de 160 °C y 2,6 % de contenido de agua óptimo; y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 1, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

Con base en el procedimiento descrito en este manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto y fueron sometidos a la prueba ITS (para un nivel de diseño I). Las tablas 15 y 16 muestran los resultados de los mismos.

Tabla 15. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (1+900 LI, +16% RAP)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
3,0%	ITS seco	389 ± 25	kPa
	ITS Húmedo	41 ± 1	kPa
	RR 24h	10	%
3,2%	ITS seco	254 ± 103	kPa
	ITS Húmedo	49 ± 7	kPa
	RR 24h	19	%
3,4%	ITS seco	407 ± 19	kPa
	ITS Húmedo	72 ± 6	kPa
	RR 24h	18	%

10,6 % agua de mezcla y compactación

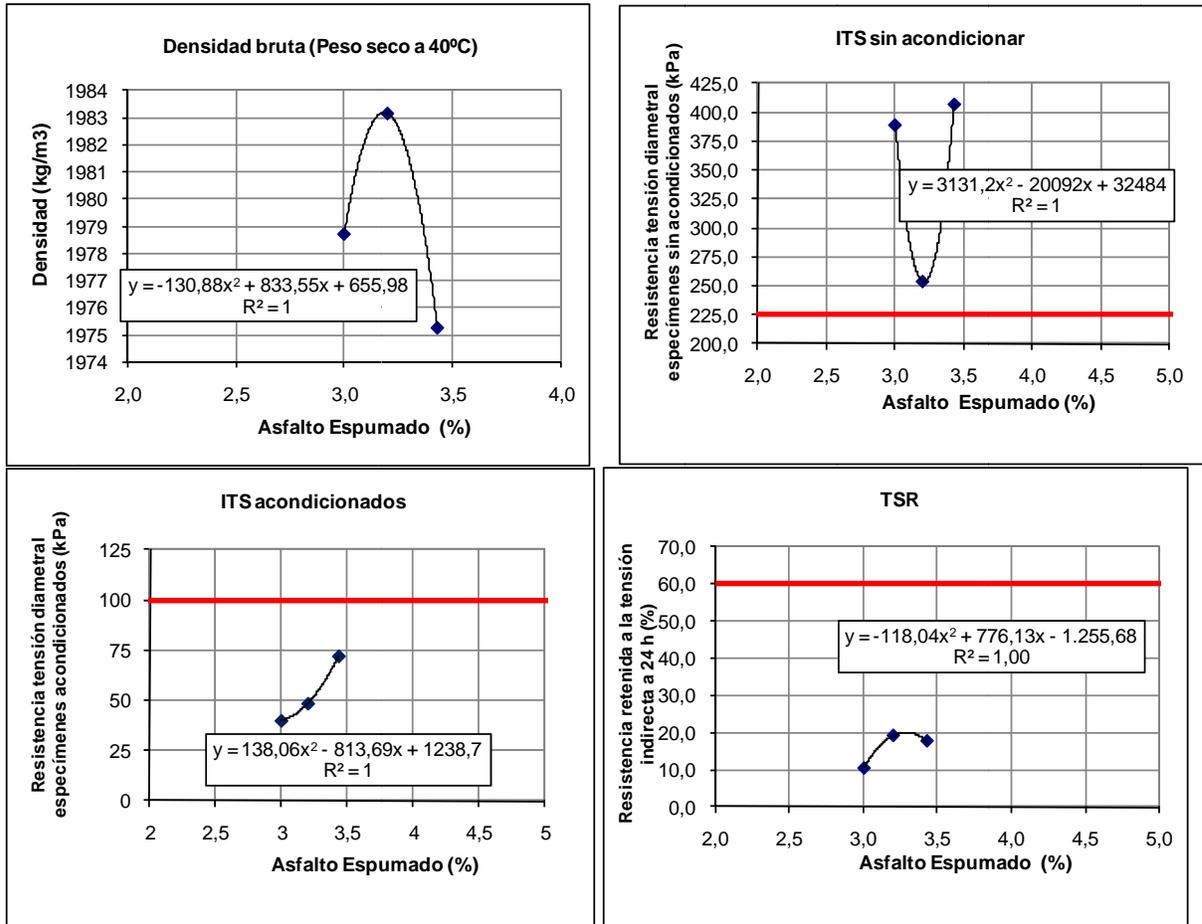


Figura 23. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular + 16% RAP (1+900 LI). Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 16. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (1+900 LI, +16% RAP)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,2	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	10,6	-	%	-
Gravedad específica bruta	-	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos	259	> 225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados	49	>100 ⁴	kPa	No Cumple
Resistencia retenida (RRTD)	19,2	≥ 70 ⁵	%	No Cumple
¹ Se obtuvo a partir del valor de resistencia obtenido en las pruebas de falla a la tensión diametral.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				



5.2.3 Diseño 3. Base Granular + 1% Cal (0+200 LD)

Los resultados completos para este diseño se encuentran en el informe I-0755-14. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las descritas en el apartado 5.2.1.

Para un único porcentaje de asfalto (3,2%), una temperatura de 160 °C y 2,6 % de contenido de agua óptimo y un 1% de cal; y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 1 y 2, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

La fabricación del espécimen se realizó según el procedimiento descrito en este manual y este fue sometido a la prueba ITS. Las tablas 17, 18 y 19 muestran los resultados.

Tabla 17. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (0+200 LD, 1% Cal)

Ensayo	Resultados	Unidades
ITS seco	343 ± 23	kPa
ITS Húmedo	256 ± 9	kPa
RR 24h	75	%

12,4 % agua de mezcla y compactación

Tabla 18. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (0+200 LD, 1% Cal)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo asfalto (PTA) ¹	3,20	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA)	2,60	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada ⁴	12,4	-	%	-
Filler	1% cal	1 a 1,5 máximo	%	Cumple
Gravedad específica bruta ³	1,925 ± 0,010	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos ³	343 ± 23	> 225 ²	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados ³	256 ± 9	>100 ²	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD) ³	75	≥ 60	%	Cumple
¹ Se obtuvo a partir del valor de resistencia obtenido en las pruebas de falla a la tensión diametral.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				

5.2.4



5.2.5 Diseño 4. Base Granular + 1% Cemento (0+200 LD)

Los resultados completos para este diseño se encuentran en el informe I-0755-14 al igual que para el caso en el cual se utilizó cal. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las descritas en el apartado 5.1.1.

Para un único porcentaje de asfalto (3,2%), una temperatura de 160 °C y 2,6 % de contenido de agua óptimo y un 1% de cemento; y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 1 y 2, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

La fabricación del espécimen se realizó según el procedimiento descrito en este manual y este fue sometido a la prueba ITS. Las tablas 19 y 20 muestran los resultados.

Tabla 19. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (0+200 LD, 1% Cemento)

Ensayo	Resultados			Unidades
ITS seco	263	±	12	kPa
ITS Húmedo	142	±	12	kPa
RR 24h	54			%

12,4 % agua de mezcla y compactación

Tabla 20. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (0+200 LD, 1% Cemento)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo asfalto (PTA) ¹	3,20	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA)	2,60	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada ⁴	12,4	-	%	-
Filler	1% cemento	1 máximo	%	Cumple
Gravedad específica bruta ³	1,922 ± 0,009	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos ³	263 ± 12	>225 ²	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados ³	142 ± 12	>100 ²	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD) ³	54	≥ 60	%	No cumple
¹ Se obtuvo a partir del valor de resistencia obtenido en las pruebas de falla a la tensión diametral.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				



5.2.6 Diseño 5. Base 100% RAP (0+300)

Los resultados completos para este diseño se encuentran en el informe I-0825-14. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las descritas en el apartado 5.2.3.

Para un total de tres diferentes porcentajes de asfalto (1,8%, 2,0% y 2,2%), una temperatura de 160 °C y 3,6 % de contenido de agua óptimo; y según la calibración para expansión y vida media del asfalto espumado, se determinó que para una temperatura de 160 °C y un flujo de agua óptimo de 2,6%:

- La vida media es de 18,7 segundos
- La expansión es de 11,0 veces

Con base en el procedimiento descrito en este manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 21 y 22 muestran los resultados.

Tabla 21. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (100% RAP)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
1,8%	ITS seco	272 ± 26	kPa
	ITS Húmedo	153 ± 7	kPa
	RR 24h	56	%
2,0%	ITS seco	312 ± 26	kPa
	ITS Húmedo	133 ± 4	kPa
	RR 24h	43	%
2,2%	ITS seco	301 ± 11	kPa
	ITS Húmedo	139 ± 39	kPa
	RR 24h	46	%

5,0 % agua de mezcla y compactación

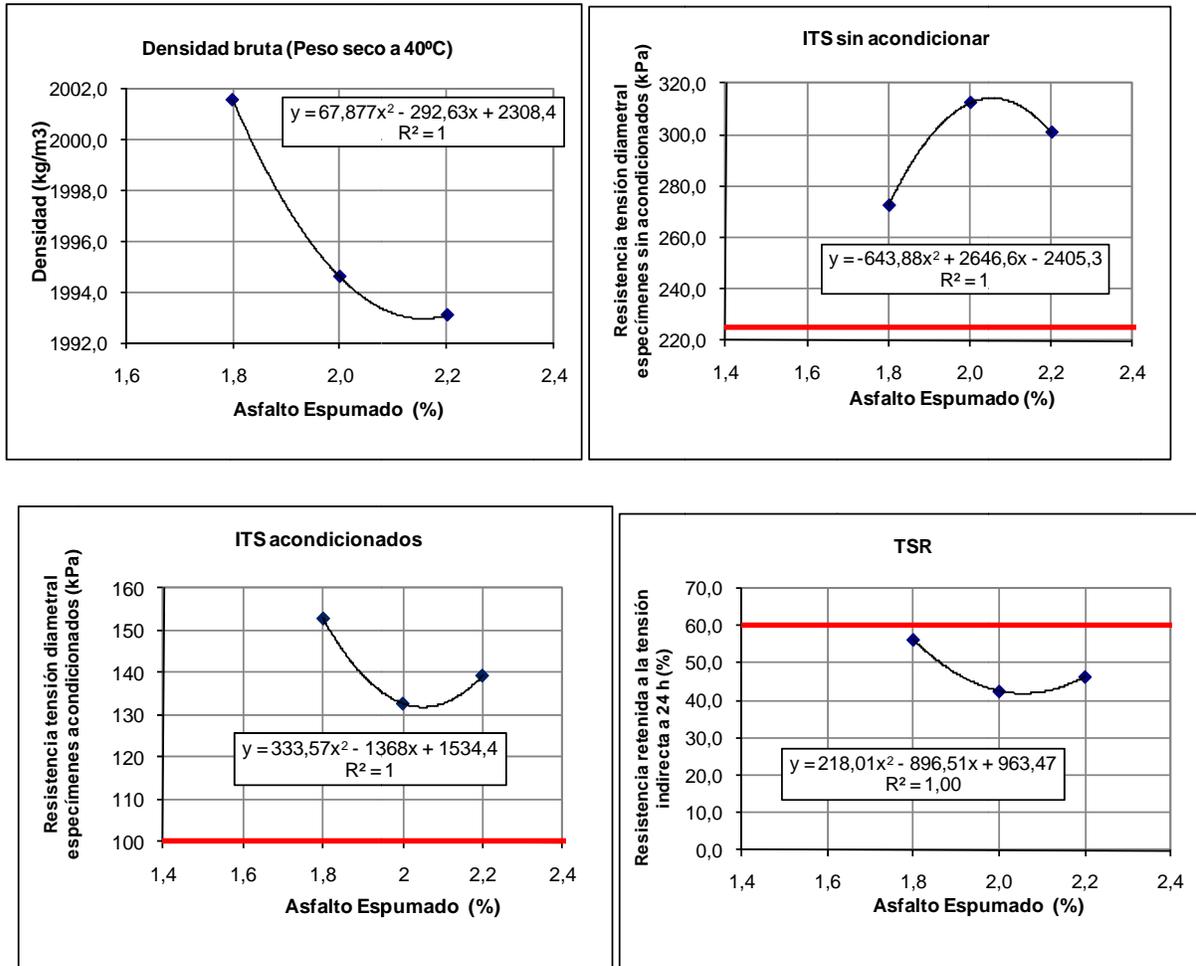


Figura 24. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base 100% RAP (0+300). Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 22. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (100% RAP)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) 1	2,2	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	3,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	5,0	-	%	-
Gravedad específica bruta	-	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos	301	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados	139	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD)	46	≥ 60 ⁵	%	No Cumple
¹ Se obtuvo a partir del valor de resistencia obtenido en las pruebas de falla a la tensión diametral.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				



5.2.7 Diseño 6. Base Granular + 1% Cal (2+200 LD)

Los resultados completos se llevaron a cabo para la muestra M-2670-14. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.3.

Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4 y 3,6%) y según la calibración para expansión y vida media del asfalto espumado, se determinó que para una temperatura de 160 °C y un flujo de agua óptimo de 2,6%:

- La vida media es de 14 segundos
- La expansión es de 9 veces

Con base en el procedimiento descrito en manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 23y24muestran los resultados.



Tabla 23. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (2+200 LD)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	366 ± 38	kPa
	ITS Húmedo	282 ± 15	kPa
	RR 24h	77	%
3,0%	ITS seco	338 ± 42	kPa
	ITS Húmedo	306 ± 26	kPa
	RR 24h	91	%
3,2%	ITS seco	138 ± 17	kPa
	ITS Húmedo	119 ± 4	kPa
	RR 24h	89	%
3,4%	ITS seco	126 ± 14	kPa
	ITS Húmedo	98 ± 1	kPa
	RR 24h	77	%
3,6%	ITS seco	113 ± 17	kPa
	ITS Húmedo	94 ± 6	kPa
	RR 24h	83	%

9,7 % agua de mezcla y compactación.

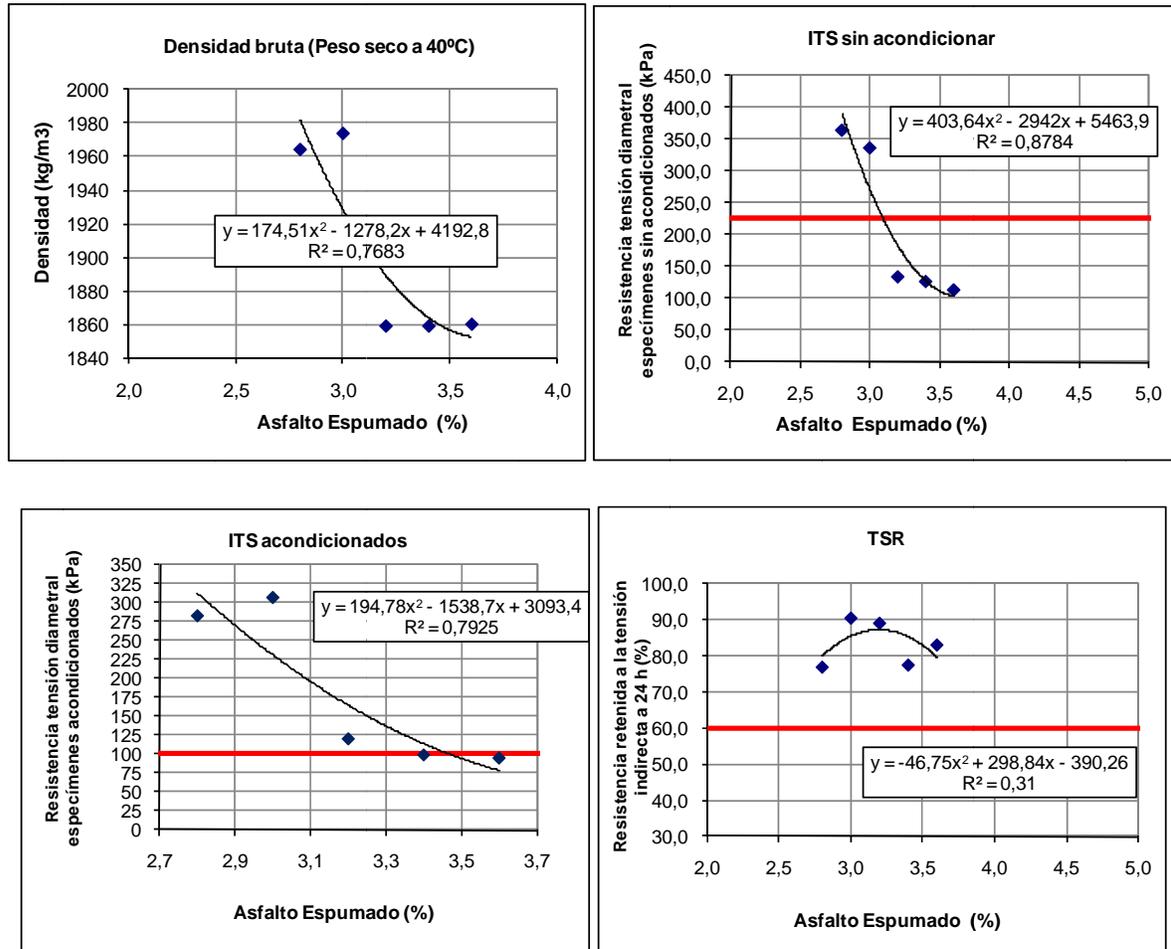


Figura 25. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (2+200 LD). Fuente: LanammeUCR (2013)



Tabla 24. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (2+200 LD)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,1	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	9,7	-	%	-
Gravedad específica bruta para el óptimo	1909	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos para el óptimo	225	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados para el óptimo	197	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD), para el óptimo	87	≥ 60 ⁵	%	Cumple
¹ Se calculó a partir de los valores de resistencia obtenidos en las pruebas de falla a la tensión diametral para especímenes sin acondicionar.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				

5.2.8 Diseño 7. Base Granular + 1% Cal (4+000 LI)

Los resultados completos se llevaron a cabo para la muestra M-1381-15. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.4.



Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4 y 3,6%) y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 6, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

Con base en el procedimiento descrito en el manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 25y26muestran los resultados.

Tabla 25. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (4+000 LI)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	364 ± 38	kPa
	ITS Húmedo	334 ± 9	kPa
	RR 24h	92	%
3,0%	ITS seco	353 ± 15	kPa
	ITS Húmedo	304 ± 15	kPa
	RR 24h	86	%
3,2%	ITS seco	313 ± 39	kPa
	ITS Húmedo	279 ± 18	kPa
	RR 24h	89	%
3,4%	ITS seco	334 ± 4	kPa
	ITS Húmedo	267 ± 12	kPa
	RR 24h	80	%
3,6%	ITS seco	332 ± 35	kPa
	ITS Húmedo	271 ± 8	kPa
	RR 24h	82	%

9,6 % agua de mezcla y compactación.

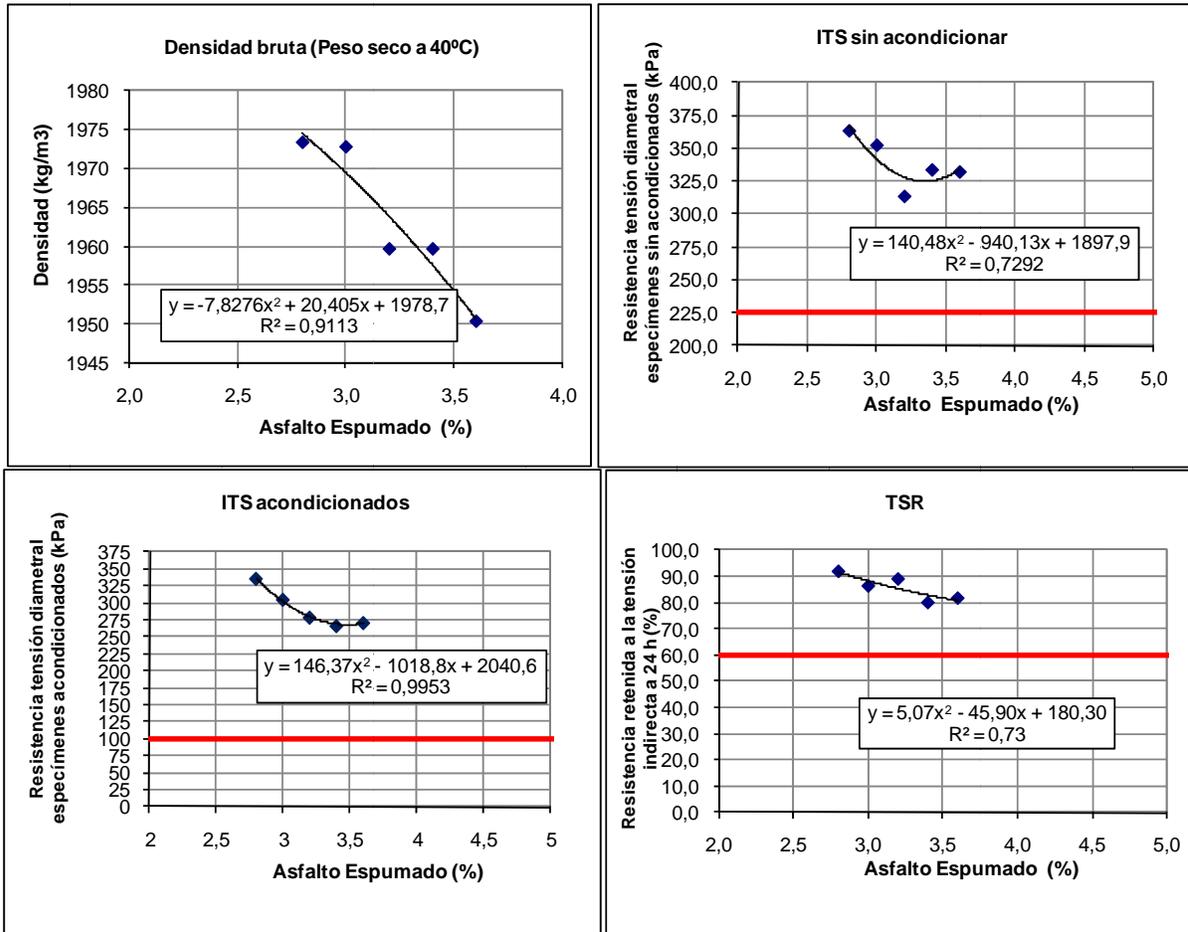


Figura 26. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (4+000 LI). Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 26. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (4+000 LI)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,4	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	9,6	-	%	-
Gravedad específica bruta para el óptimo	1959	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos para el óptimo	358	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados para el óptimo	270	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD), para el óptimo	83,5	≥ 60 ⁵	%	Cumple
¹ Se calculó a partir de los valores de resistencia obtenidos en las pruebas de falla a la tensión diametral para especímenes sin acondicionar.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				

5.2.9 Diseño 7. Base Granular + 1% Cal (6+000 LI)

Los resultados completos se llevaron a cabo para la muestra M-1459-15. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.5.

Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4 y 3,6%) y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 6, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

Con base en el procedimiento descrito en el manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 27y28muestran los resultados.

Tabla 27. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (6+000 LI)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	586 ± 34	kPa
	ITS Húmedo	454 ± 5	kPa
	RR 24h	78	%
3,0%	ITS seco	349 ± 12	kPa
	ITS Húmedo	285 ± 23	kPa
	RR 24h	82	%
3,2%	ITS seco	325 ± 43	kPa
	ITS Húmedo	305 ± 14	kPa
	RR 24h	94	%
3,4%	ITS seco	342 ± 31	kPa
	ITS Húmedo	324 ± 47	kPa
	RR 24h	95	%
3,6%	ITS seco	388 ± 11	kPa
	ITS Húmedo	325 ± 5	kPa
	RR 24h	84	%

8,3 % agua de mezcla y compactación.

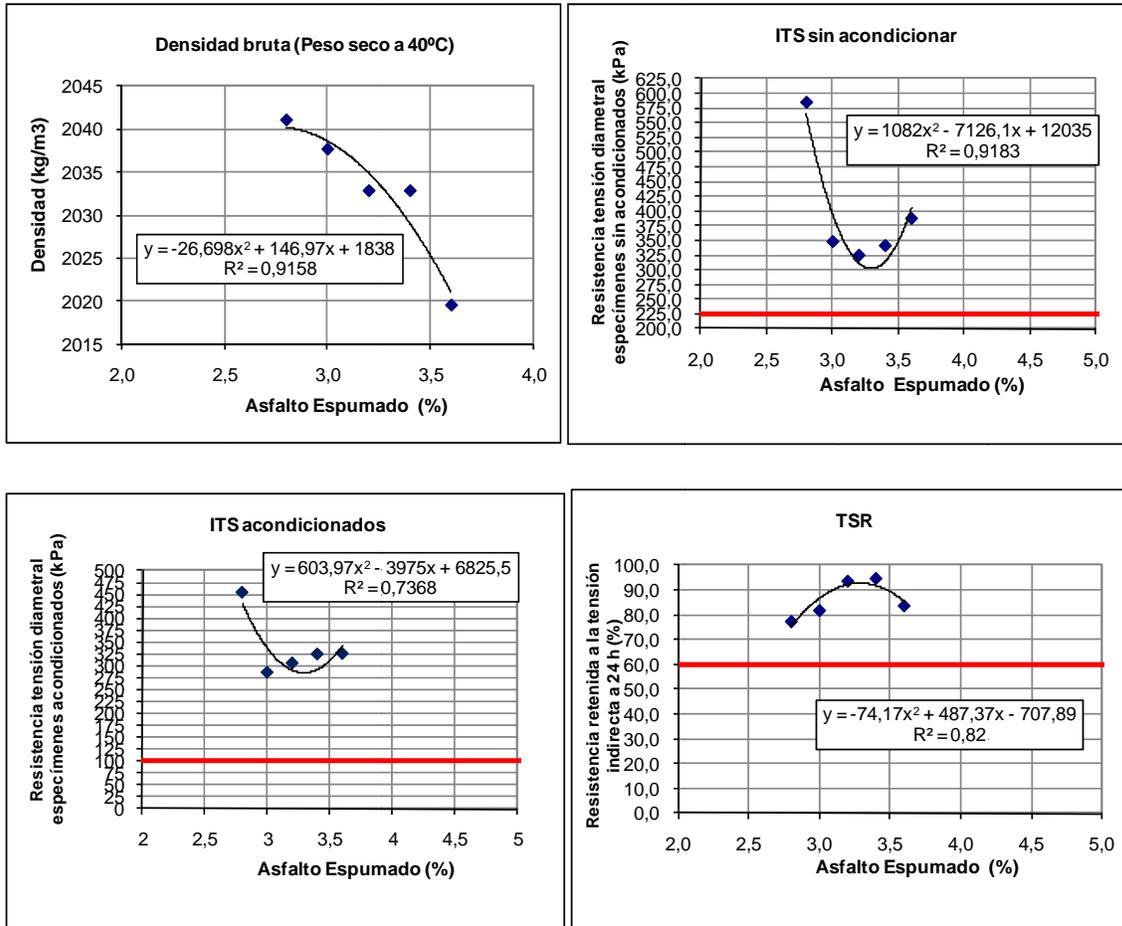


Figura 27. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (6+000 LI). Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 28. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (6+000 LI)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,29	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	8,3	-	%	-
Gravedad específica bruta para el óptimo	2032	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos para el óptimo	302	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados para el óptimo	285	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD), para el óptimo	92,7	≥ 60 ⁵	%	Cumple
¹ Se calculó a partir de los valores de resistencia obtenidos en las pruebas de falla a la tensión diametral para especímenes sin acondicionar.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				

5.2.10 Diseño 7. Base Granular + 1% Cal (6+800 LD)

Los resultados completos se llevaron a cabo para la muestra M-1522-15. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.6.

Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4 y 3,6%) y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 6, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

Con base en el procedimiento descrito en el manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 29y30muestran los resultados.

Tabla 29. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (6+800 LD)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	200 ± 17	kPa
	ITS Húmedo	153 ± 8	kPa
	RR 24h	77	%
3,0%	ITS seco	169 ± 51	kPa
	ITS Húmedo	159 ± 3	kPa
	RR 24h	94	%
3,2%	ITS seco	190 ± 20	kPa
	ITS Húmedo	165 ± 17	kPa
	RR 24h	87	%
3,4%	ITS seco	185 ± 7	kPa
	ITS Húmedo	136 ± 16	kPa
	RR 24h	74	%
3,6%	ITS seco	189 ± 4	kPa
	ITS Húmedo	170 ± 12	kPa
	RR 24h	90	%
LM-PI-UMP-051-R2	Fecha de emisión: 18 de marzo de 2016	Página 61 de 71	



12,3 % agua de mezcla y compactación.

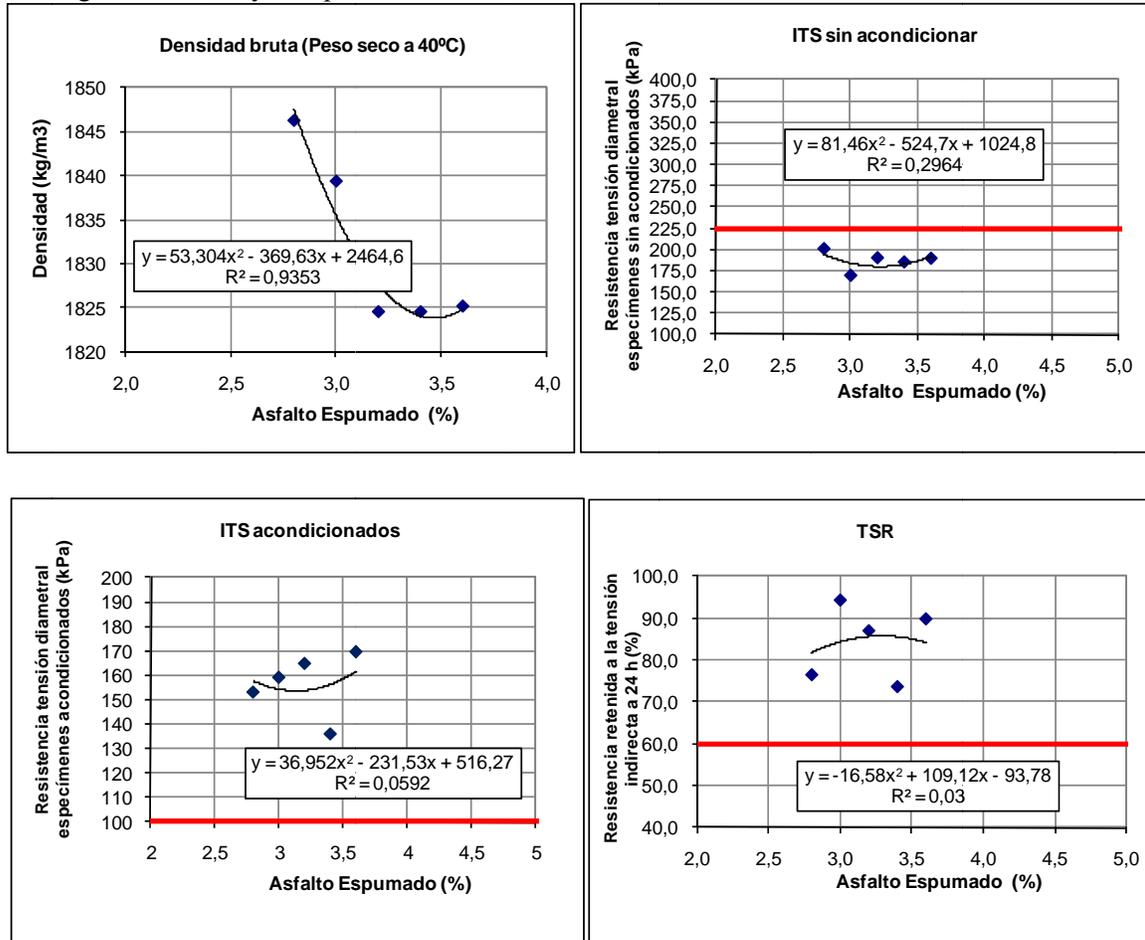


Figura 28. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (6+800 LD). Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 30. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (6+800 LD)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,96	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	12,3	-	%	-
Gravedad específica bruta para el óptimo	1837	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos para el óptimo	225	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados para el óptimo	179	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD), para el óptimo	78,2	≥ 60 ⁵	%	Cumple
¹ Se calculó a partir de los valores de resistencia obtenidos en las pruebas de falla a la tensión diametral para especímenes sin acondicionar.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				



5.2.11 Diseño 7. Base Granular + 1% Cal (8+000 LI)

Los resultados completos se llevaron a cabo para la muestra M-1669-15. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.7.

Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4 y 3,6%) y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 6, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

Con base en el procedimiento descrito en el manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 31y32 muestran los resultados.



Tabla 31. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (8+000 LI)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	124 ± 16	kPa
	ITS Húmedo	96 ± 14	kPa
	RR 24h	78	
3,0%	ITS seco	129 ± 19	kPa
	ITS Húmedo	99 ± 7	kPa
	RR 24h	77	
3,2%	ITS seco	126 ± 26	kPa
	ITS Húmedo	113 ± 12	kPa
	RR 24h	90	
3,4%	ITS seco	120 ± 14	kPa
	ITS Húmedo	100 ± 8	kPa
	RR 24h	84	
3,6%	ITS seco	153 ± 2	kPa
	ITS Húmedo	118 ± 13	kPa
	RR 24h	77	

17,4% agua de mezcla y compactación.

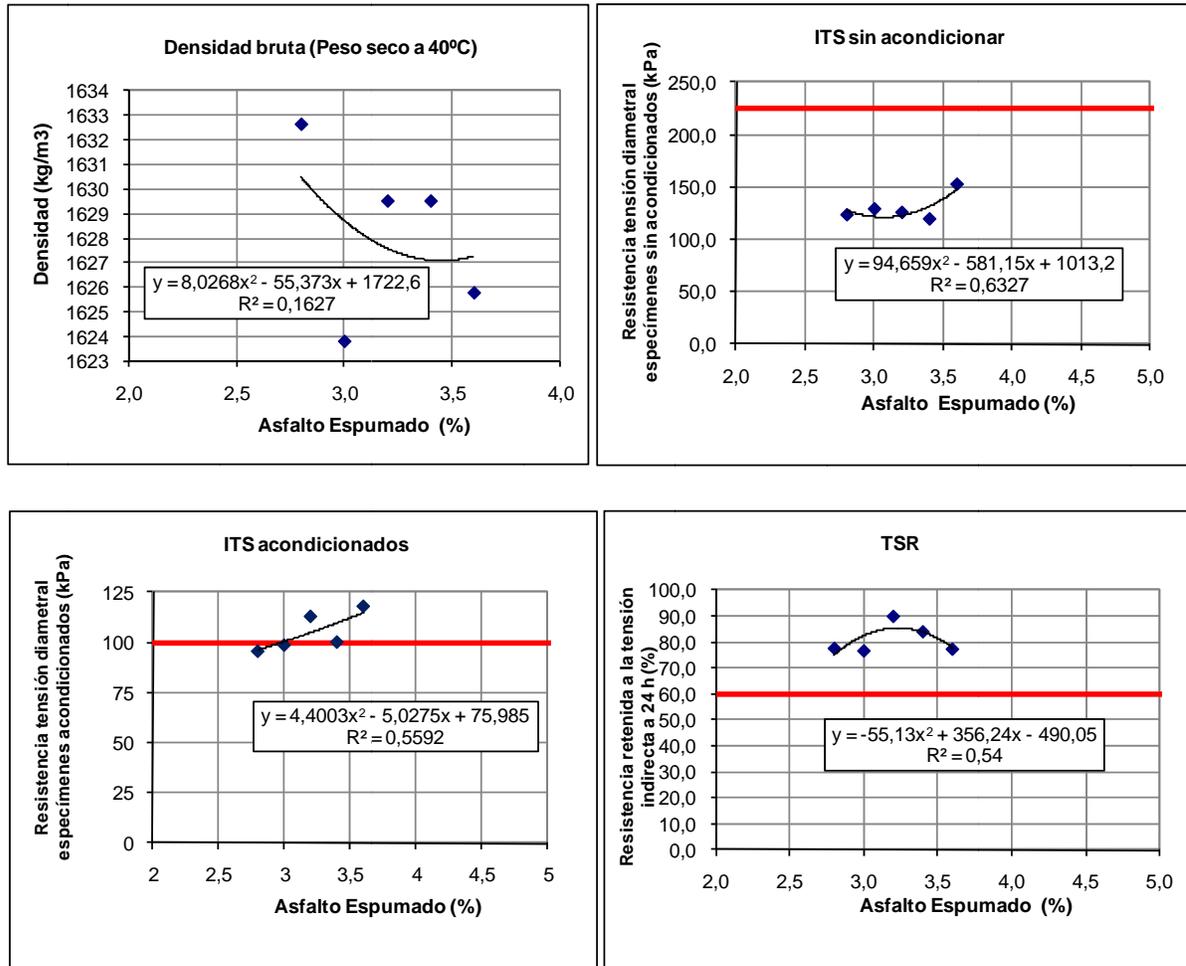


Figura 29. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (8+000 LI).Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 32. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (8+000 LI)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	4,12	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	9,6	-	%	-
Gravedad específica bruta para el óptimo	1631	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos para el óptimo	225	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados para el óptimo	130	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD), para el óptimo	42,2	≥ 60 ⁵	%	No Cumple
¹ Se calculó a partir de los valores de resistencia obtenidos en las pruebas de falla a la tensión diametral para especímenes sin acondicionar.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				



5.2.12 Diseño 7. Base Granular + 1% Cal (4+200 LD)

Los resultados completos se llevaron a cabo para la muestra M-1670-15. En este apartado únicamente se presenta un resumen del mismo y las características del material son las presentadas en el apartado 5.1.8.

Para un total de cinco diferentes porcentajes de asfalto (2,8%, 3,0%, 3,2%, 3,4 y 3,6%) y debido a que se utilizó el mismo asfalto que para el diseño 6, los valores de la calibración de asfalto espumado son los mismos.

Con base en el procedimiento descrito en el manual, se elaboraron los especímenes para cada uno de los porcentajes de asfalto, para un nivel de diseño I y fueron sometidos a la prueba ITS. Las tablas 33y34 muestran los resultados.



Tabla 33. Resultados de la resistencia al daño inducido por humedad para especímenes compactados mediante el método Marshall (4+200 LD)

Contenido de Asfalto	Ensayo	Resultados	Unidades
2,8%	ITS seco	302 ± 12	kPa
	ITS Húmedo	307 ± 9	kPa
	RR 24h	102	
3,0%	ITS seco	320 ± 12	kPa
	ITS Húmedo	309 ± 22	kPa
	RR 24h	97	
3,2%	ITS seco	253 ± 33	kPa
	ITS Húmedo	271 ± 15	kPa
	RR 24h	107	
3,4%	ITS seco	292 ± 10	kPa
	ITS Húmedo	291 ± 32	kPa
	RR 24h	100	
3,6%	ITS seco	321 ± 17	kPa
	ITS Húmedo	320 ± 4	kPa
	RR 24h	96	

8,5% agua de mezcla y compactación.

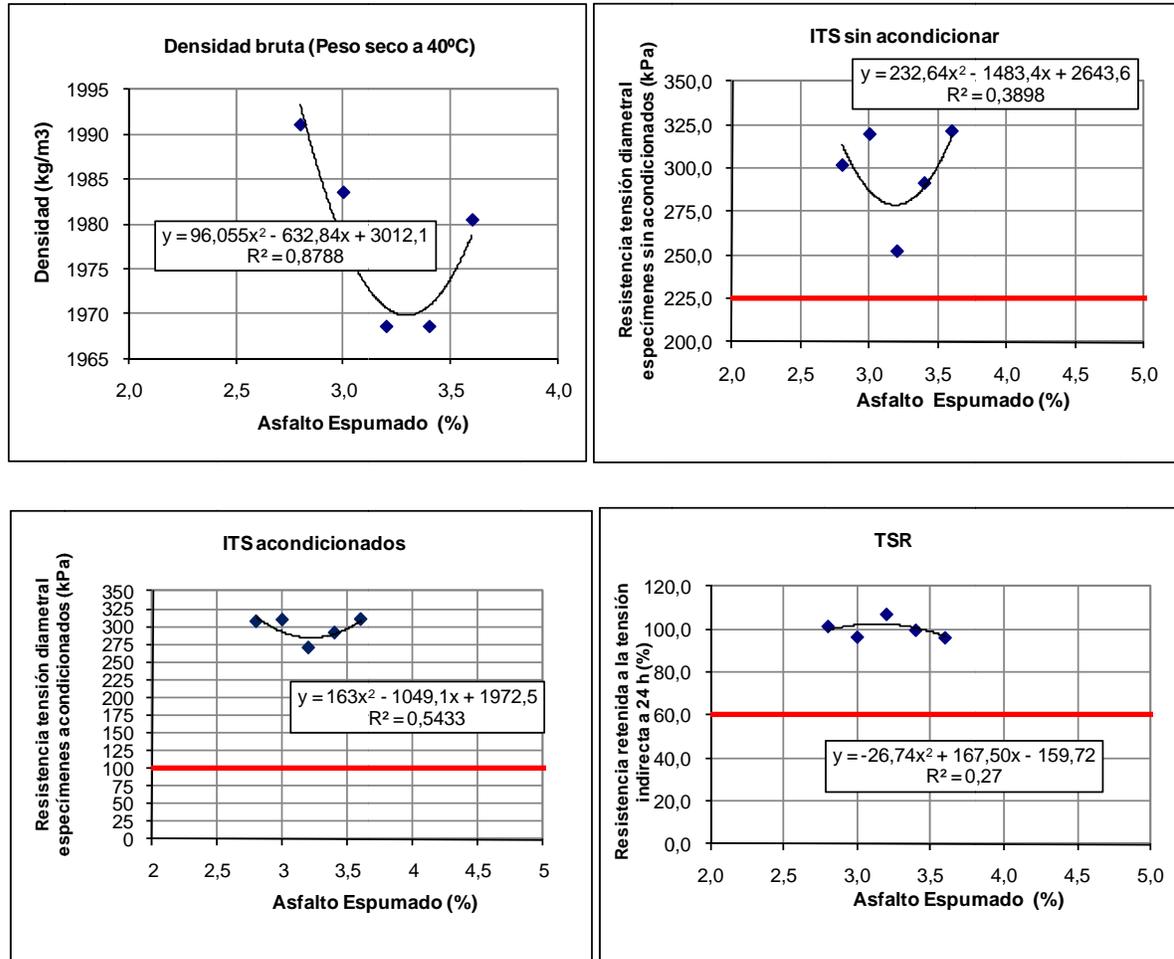


Figura 30. Gráficos de diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall. Base Granular (4+200 LD). Fuente: LanammeUCR (2013)

Tabla 34. Resumen de resultados del diseño de base estabilizada con asfalto espumado para especímenes compactados mediante el método Marshall (4+200 LD)

Ensayo	Resultados	Especificación	Unidades	Condición
Porcentaje óptimo de asfalto (PTA) ¹	3,19	-	%	-
Porcentaje óptimo de agua para espumar (PTA) ²	2,6	-	%	-
Porcentaje de humedad utilizada para mezclar ³	8,5	-	%	-
Gravedad específica bruta para el óptimo	1971	-	NA	-
Resistencia en especímenes secos para el óptimo	276	>225 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia en especímenes acondicionados para el óptimo	285	>100 ⁴	kPa	Cumple
Resistencia retenida (RRTD), para el óptimo	103	≥ 60 ⁵	%	Cumple
¹ Se calculó a partir de los valores de resistencia obtenidos en las pruebas de falla a la tensión diametral para especímenes sin acondicionar.				
² Con respecto a la calibración realizada a 160°C, Tabla 3				
³ De acuerdo a los ensayos de laboratorio mostrados en las tablas anteriores. Un 80% de la óptima reportada antes de mezclarse con el asfalto y el restante 20% luego del espumado para compactar.				
⁴ Developing Standards and Specifications for Full Depth Pavement Reclamation, Pennsylvania Department of Transportation, 2012. Y el criterio experimental de los resultados en laboratorio.				
⁵ Jenkins, Kim, 2009, Technical Guideline: Bitumen Stabilized Material, A Guide for Design and Construction of Bitumen Emulsion and Foamed Bitumen Stabilized Materials.				