

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA ARENA INDUSTRIAL
PROVENIENTE DE PROCESOS METALÚRGICOS
COMO PARTE DEL AGREGADO
EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br.:
Gil V., Liriana
Para optar al Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2010

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA ARENA INDUSTRIAL
PROVENIENTE DE PROCESOS METALÚRGICOS
COMO PARTE DEL AGREGADO
EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Rubén Landaeta Ing. Msc.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por la Br.:
Gil V., Liriana
Para optar a Título de
Ingeniero Civil

Caracas, 2010

ACTA

El día **26 de octubre** se reunió el jurado formado por los profesores:

Roberto Rosendo
Gustavo Comedon
Ruben Jandaete

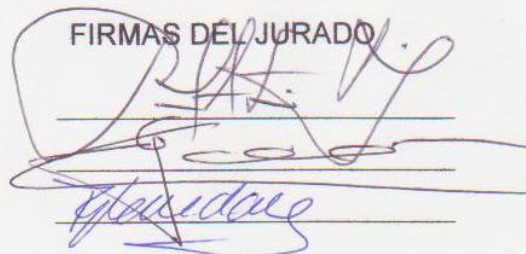
Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado:
**“EVALUACIÓN DEL USO DE LA ARENA INDUSTRIAL
PROVENIENTE DE PROCESOS METALÚRGICOS COMO PARTE
DEL AGREGADO EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE”.**

Presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al Título
de **INGENIERO CIVIL**.

Una vez oída la defensa oral que la bachiller hizo de su Trabajo Especial de
Grado, este jurado decidió las siguientes calificaciones:

NOMBRE	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Br. Liriana Gil Vargas	17	Diecisiete

Recomendaciones:

FIRMAS DEL JURADO


Caracas, 26 de octubre de 2010

Dedicado, primeramente, a mis padres, mis máximos y mejores impulsores, y luego, a aquellos que me brindaron su ayuda y apoyo incondicional a lo largo de mi carrera; ellos todos hicieron posible llenarme de conocimientos, experiencias y recuerdos muy gratos. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa Minera Loma de Níquel, en especial al Ing. Pedro Leal, por su colaboración y tiempo dedicado.

Al personal del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME), por la ayuda prestada en cada momento que la necesité.

A mi tutor, el Prof. Rubén, por toda la colaboración prestada en el transcurso de este trabajo.

A mi amor, Luis, por haberme brindado toda su ayuda y apoyo incondicional; por toda la paciencia mostrada en los momentos difíciles y agotadores de este proceso de investigación.

A mis amigos y cuasi compañeros de tesis Willy, José Manuel, Yanina, Nailett, Christian y Yeison, por toda su ayuda y colaboración.

A mi tía Lisbey, profesional de Letras, por haber dedicado su tiempo a la revisión sintáctica y morfológica de este trabajo.

Gil Vargas, Liriana

**EVALUACIÓN DEL USO DE LA ARENA INDUSTRIAL
PROVENIENTE DE PROCESOS METALÚRGICOS
COMO PARTE DEL AGREGADO
EN MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

Tutor Académico: Prof. Rubén Landaeta

Trabajo Especial de Grado. Caracas, UCV Facultad de Ingeniería

Escuela de Ingeniería Civil. 2010, 162 Págs.

Palabras Claves: Mezclas asfálticas en caliente, Método Marshall, Arena Industrial, Propiedades Marshall.

RESUMEN

En este Trabajo Especial de Grado se realizó una evaluación del uso de la arena industrial proveniente de los procesos metalúrgicos de la Empresa Minera Loma de Níquel, como parte del agregado en mezclas asfálticas en caliente, empleando el Método Marshall y siguiendo las especificaciones de la norma COVENIN 2000:87 “Sector Construcción. Especificaciones. Codificación y mediciones. Parte 1: Carreteras”.

Para la evaluación de la mezcla asfáltica tipo IV COVENIN, se obtuvieron tres combinaciones de agregados: arena industrial, piedra picada, polvillo; arena industrial, arena, piedra picada, polvillo; arena industrial, arrocillo, piedra picada, polvillo. A estos agregados, se les realizaron ensayos de Granulometría, Desgaste Los

Ángeles, % Caras Largas y Aplanadas, y Peso Específico, con los que verificó su adecuación, para luego elaborar las mezclas siguiendo el método Marshall obteniendo así los valores de las propiedades Marshall, pudiéndose determinar que sí es factible el uso de la Arena Industrial en este tipo de mezcla, ya que cumplen con los parámetros exigidos por la norma.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN	1
I.1. Planteamiento del Problema	2
I.2. Objetivos	4
<i>I.2.1. Objetivo General</i>	4
<i>I.2.2. Objetivos Específicos</i>	4
I.3. Aportes	5

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO	6
II.1. Arena Industrial	6
<i>II.1.1. Ensayo de Determinación de la Resistencia al Desgaste por Abrasión e Impacto Mediante el "Método de Desgaste Los Ángeles"</i>	6
<i>II.1.2. Ensayo de Determinación de la Dureza por Microdureza de Vickers (HV)</i>	7
<i>II.1.3. Ensayo de Determinación de la Densidad Específica Aparente, Gravedad Específica Aparente (por Picnometría de Polvos) y Densidad de Empaque (por Desplazamiento de Agua)</i>	7
<i>II.1.4. Ensayo de Determinación del Contenido de Azufre (S) y Carbono (C) Empleando el Equipo LECO</i>	8
<i>II.1.5. Ensayo de Determinación del Contenido de Humedad de lote (en Porcentaje)</i>	9
<i>II.1.6. Ensayo de Determinación de la Composición Química de Elementos Minoritarios Trazas Mediante Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma</i>	

(ICP).....	9
II.1.7. Ensayo de Determinación de la Composición Química (Compuestos Mayoritarios) Mediante Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (FRX).....	10
II.1.8. Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado.....	11
II.1.9. Ensayo de Determinación de las Fases Presentes Mediante Difracción de Rayos X (DRX).....	11
II.1.10. Ensayo de Determinación de la Finura de Blaine y Retenidos en Tamiz N° 325 por el Método de Permeabilidad de Blaine.....	12
II.2. Mezclas Asfálticas en Caliente.....	13
II.2.1. Composición de las Mezclas Asfálticas en Caliente.....	13
II.2.1.1. Cemento Asfáltico.....	13
II.2.1.2. Agregado Mineral Pétreo.....	13
II.2.2. Tipos de Agregados para Mezclas Asfálticas.....	14
II.2.2.1. Agregados Naturales.....	14
II.2.2.2. Agregados Procesados.....	14
II.2.2.3. Agregados Sintéticos o Artificiales.....	14
II.2.3. Características Físicas Deseables en los Agregados para Mezclas Asfálticas.....	15
II.2.3.1. Tamaño y Estructura Granulométrica.....	15
II.2.3.2. Granulometrías Convenientes para las Mezclas Asfálticas.....	15
II.2.3.3. Resistencia y Durabilidad.....	15
II.2.3.3.1. Resistencia.....	15

II.2.3.3.2. Durabilidad.....	15
II.2.3.4. Forma de las Partículas.....	16
II.2.3.4.1. Angularidad de la Fracción Gruesa.....	16
II.2.3.4.2. Angularidad de la Fracción Fina.....	16
II.2.3.5. Textura Superficial.....	16
II.2.3.6. Porosidad.....	17
II.2.3.7. Adherencia.....	17
II.2.3.8. Limpieza.....	17
II.2.3.8.1. Agregados Gruesos.....	17
II.2.3.8.2. Agregado Fino.....	17
II.2.3.9. Gravedad Específica.....	17
II.2.3.9.1. Gravedad Específica Bulk (o masiva).....	18
II.2.3.9.2. Gravedad Específica Aparente.....	18
II.2.3.9.3. Gravedad Específica Efectiva.....	18
II.2.4. Tipos de Mezclas Asfálticas en Caliente.....	19
II.2.5. Características de las Mezclas Asfálticas en Caliente.....	19
II.2.5.1. Densidad de la Mezcla.....	19
II.2.5.2. Vacíos Totales.....	20
II.2.5.3. Vacíos en el Agregado Mineral.....	20
II.2.5.4. Contenido de Asfalto.....	21
II.2.6. Propiedades de las Mezclas Asfálticas en Caliente.....	21
II.2.6.1. Estabilidad.....	21

II.2.6.2. Durabilidad.....	22
II.2.6.3. Impermeabilidad.....	22
II.2.6.4. Trabajabilidad.....	22
<i>II.2.7. Método Marshall a Emplear en la Elaboración de Mezclas Asfálticas en Caliente</i>	22
II.2.7.1. Aplicabilidad.....	23
II.2.7.2. Objetivo del Método.....	23
CAPÍTULO III	
MÉTODO	24
III.1. Obtención de la Arena Industrial	24
III.2. Selección del Cemento Asfáltico (CA)	24
III.3. Obtención y Preparación de los Agregados Pétreos	25
<i>III.3.1. Composición Granulométrica de los Agregados Finos, Gruesos y Muestras de Suelo. A.S.T.M. C 136 - / A.A.S.H.T.O. T - 27 / MVAG - 07 / 08</i>	25
<i>III.3.2. Desgaste Los Ángeles A.S.T.M. C 131 - C535 / N.L.T. 149 / I.N.V.E. 218 - 219 / FLNV - MVAG - 07 / 08</i>	26
<i>III.3.3. % Caras largas y Aplanadas. COVENIN 264 - 77 A.S.T.M. D 4791 - 99 I.N.V.E. 230 NLT - 354 / 90</i>	27
<i>III.3.4. Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso. A.S.T.M. C 127 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 85 / FLNV - MVAG - 32 / FLNV - MVAG - 33</i>	29
<i>III.3.5. Peso Específico y Absorción de Agregado Fino A.S.T.M. C 128 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 88 / L.N.V.A.G. - 12</i>	30

III.3.6. Peso Específico de Material Pasante 200	32
III.3.7. Peso Específico de los Agregados	34
III.3.8. Peso Específico del Agregado Total Combinado	35
III.4. Elaboración de Mezcla y Preparación de las Briquetas.	
Método Marshall	35
III.4.1. Combinación de los Agregados	35
III.4.2. Estimación de Contenido Asfáltico	36
III.4.3. Calentamiento del Asfalto	36
III.4.4. Preparación de los Agregados	37
III.4.5. Pesaje de Agregados y del Cemento Asfáltico	37
III.4.6. Mezclado	37
III.4.7. Calentamiento de los Moldes	37
III.4.8. Compactación	37
III.4.9. Determinación del Peso Específico de la Mezcla Compactada	38
III.4.10. Estabilidad y Fluencia	39
III.4.11. Ensayo Rice A.S.T.M. D 2041/95- I.N.V.E. 745-98	40
III.4.12. Peso Específico Efectivo	43
III.4.13. Cálculo de los Vacíos Totales (V_V)	43
III.4.14. Cálculo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)	44
III.4.15. Cálculo de los Vacíos Llenados (V_{II})	44
III.4.16. Representación Gráfica de las Propiedades Marshall	45

III.4.16.1. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	45
III.4.16.2. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	45
III.4.16.3. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	45
III.4.16.4. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	45
III.4.16.5. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	45
III.4.16.6. Vacíos Llenados (V _{ll})-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	45
<i>III.4.17. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto.....</i>	<i>45</i>
<i>III.4.18. Verificación de los Criterios Establecidos en las Especificaciones Para el Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico.....</i>	<i>46</i>

CAPÍTULO IV

RESULTADOS.....	47
IV.1. Composición Granulométrica de los Agregados.....	47
<i>IV.1.1. Composición Granulométrica de la Arena Industrial.....</i>	<i>47</i>
<i>IV.1.2. Composición Granulométrica de la Arena.....</i>	<i>48</i>
<i>IV.1.3. Composición Granulométrica del Arrocillo.....</i>	<i>49</i>
<i>IV.1.4. Composición Granulométrica de la Piedra Picada.....</i>	<i>50</i>

V.1.5. Composición Granulométrica del Polvillo.....	51
IV.2. Ensayo de Desgaste Los Ángeles.....	52
IV.2.1. Composición Granulométrica de la Muestra.....	52
IV.2.2. Resultado de Ensayo de Desgaste Los Ángeles.....	52
IV.3. Ensayo de % de Caras Largas y Aplanadas.....	53
IV.3.1. Resultado de Ensayo de % de Caras Largas y Aplanadas.....	53
IV.4. Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos Ret. N° 8.....	53
IV.4.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Ret. N° 8.....	53
IV.4.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Ret. N° 8.....	54
IV.4.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Ret. N° 8.....	55
IV.4.4. Peso Específico y Absorción de la Piedra Picada Ret. N° 8.....	56
IV.4.5. Peso Específico y Absorción del Polvillo Ret. N° 8.....	57
IV.5. Peso Específico y Absorción de los Agregados Finos Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	58
IV.5.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	58
IV.5.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	59
IV.5.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Pasa N° 8.....	60

8-Ret. N° 200.....	61
IV.5.4. <i>Peso Específico y Absorción del Polvillo Pasa N°</i>	
8-Ret. N° 200.....	61
IV.6. Peso específico de los Agregados Pasa 200	62
IV.7. Peso Específico de los Agregados	62
IV.7.1. <i>Peso Específico de la Arena Industrial</i>	62
IV.7.2. <i>Peso Específico de la Arena</i>	63
IV.7.3. <i>Peso Específico del Arrocillo</i>	63
IV.7.4. <i>Peso Específico de la Piedra Picada</i>	64
IV.7.5. <i>Peso Específico del Polvillo</i>	64
IV.8. Peso Específico de los Agregados Totales	
Combinados	64
IV.9. Combinación de los Agregados	65
IV.9.1. <i>1era. Combinación de los Agregados</i>	65
IV.9.2. <i>2da. Combinación de los Agregados</i>	66
IV.9.3. <i>3era. Combinación de los Agregados</i>	67
IV.10. Estimación de Contenido Asfáltico	68
IV.10.1. <i>Estimación de Contenido Asfáltico. 1era.</i>	
<i>Combinación</i>	68
IV.10.2. <i>Estimación de Contenido Asfáltico. 2da.</i>	
<i>Combinación</i>	69
IV.10.3. <i>Estimación de Contenido Asfáltico. 3era.</i>	
<i>Combinación</i>	70
IV.11. Ensayo Rice	71
IV.11.1. <i>Resultado de Ensayo Rice. 1era.</i>	
<i>Combinación</i>	71
IV.11.2. <i>Resultado de Ensayo Rice. 2da.</i>	
<i>Combinación</i>	72
IV.11.3. <i>Resultado de Ensayo Rice. 3era.</i>	
<i>Combinación</i>	73

IV.12. Medición de Briquetas.....	74
<i>IV.12.1. Medición de Briquetas. 1era. Combinación.....</i>	74
<i>IV.12.2. Medición de Briquetas. 2da. Combinación.....</i>	76
<i>IV.12.3. Medición de Briquetas. 3era. Combinación.....</i>	78
IV.13. Propiedades Marshall.....	80
<i>IV.13.1. Propiedades Marshall. 1era. Combinación.....</i>	80
<i>IV.13.2. Propiedades Marshall. 2da. Combinación.....</i>	82
<i>IV.13.3. Propiedades Marshall. 3era. Combinación.....</i>	84
IV.14. Representación Gráfica de las Propiedades Marshall.....	86
<i>IV.14.1. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	86
<i>IV.14.2. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	87
<i>IV.14.3. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	89
<i>IV.14.4. Vacíos Totales (V_v)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	90
<i>IV.14.5. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	92
<i>IV.14.6. Vacíos Llenados (V_{ll})-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	93
IV.15. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto.....	95

<i>IV.15.1. Determinación del Contenido Óptimo de asfalto. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	95
<i>IV.15.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	98
<i>IV.15.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	101
<i>IV.15.4. Determinación del Contenido Óptimo de asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	104
<i>IV.15.5. Determinación del Contenido Óptimo de asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	107
<i>IV.15.6. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{ll})-vs.-% de Cemento Asfáltico.....</i>	110
IV.16. Verificación de los Criterios Establecidos en las Especificaciones para el Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico.....	113
<i>IV.16.1. Verificación de Resultados. 1era. Combinación.....</i>	113
<i>IV.16.2. Verificación de Resultados. 2da. Combinación.....</i>	113
<i>IV.16.3. Verificación de Resultados. 3era. Combinación.....</i>	114

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	115
V.1. Ensayo de Desgaste Los Ángeles.....	115
V.2. Ensayo de % Caras Largas y Aplanadas.....	115
V.3. Combinación de los Agregados.....	115

V.4. Gráfica Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	115
V.5. Gráfica Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	116
V.6. Gráfica Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	116
V.7. Gráfica Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	116
V.8. Gráfica Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	117
V.9. Gráfica Vacíos Llenados (V_{ll})-vs.-% de Cemento Asfáltico.....	117
V.10. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto.....	117
V.11. Verificación de los Criterios Establecidos en las Especificaciones para el Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico.....	117
CAPÍTULO VI	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS.....	121
ANEXOS.....	123
Anexo 1. Empresa Minera Loma de Níquel.....	123
Anexo 2. Arena Industrial suministrada por la empresa.....	123
Anexo 3. Composición Granulométrica. Arena Industrial.....	124
Anexo 4. Composición Granulométrica. Arena.....	124
Anexo 5. Composición Granulométrica. Arrocillo.....	125
Anexo 6. Composición Granulométrica. Piedra Picada.....	125
Anexo 7. Composición Granulométrica. Polvillo.....	126
Anexo 8. Composición Granulométrica. Tamices.....	126

Anexo 9. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Máquina de tamices.....	127
Anexo 10. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra a ensayar.....	127
Anexo 11. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Máquina de desgaste Los Ángeles.....	128
Anexo 12. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra preparada para la trituración.....	128
Anexo 13. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra triturada.....	129
Anexo 14. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra retenida en el tamiz N° 12.....	129
Anexo 15. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra sobrante.....	130
Anexo 16. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. Muestra a ensayar.....	130
Anexo 17. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. Medición del largo de las partículas.....	131
Anexo 18. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. Medición del espesor de las partículas.....	131
Anexo 19. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. % de partículas de caras largas y aplanadas.....	132
Anexo 20. Peso Específico de Agregados Gruesos. Muestra a ensayar.....	132
Anexo 21. Peso Específico de Agregados Gruesos. Muestra lavada.....	133
Anexo 22. Peso Específico de Agregados Gruesos. Muestra en remojo.....	133
Anexo 23. Peso Específico de Agregados Gruesos. Peso en el	134

agua.....	
Anexo 24. Peso Específico de Agregados Gruesos. Secado de la muestra.....	134
Anexo 25. Peso Específico de Agregados Gruesos. Pesado de la muestra húmeda.....	135
Anexo 26. Peso Específico de Agregados Gruesos. Secado de agregados en el horno.....	135
Anexo 27. Peso Específico de Agregados Finos. Muestra a ensayar.....	136
Anexo 28. Peso Específico de Agregados Finos. Muestra en remojo.....	136
Anexo 29. Peso Específico de Agregados Finos. Secado de la muestra.....	137
Anexo 30. Peso Específico de Agregados Finos. Pesaje del picnómetro.....	137
Anexo 31. Peso Específico de Agregados Finos. Ensayo del cono.....	138
Anexo 32. Peso Específico de Agregados Finos. Resultado del ensayo del cono.....	138
Anexo 33. Peso Específico de Agregados Finos. Pesaje de la muestra.....	139
Anexo 34. Peso Específico de Agregados Pasa 200. Muestra a ensayar.....	139
Anexo 35. Peso Específico de Agregados Pasa 200. Preparación de las muestras para la extracción de vacíos.....	140
Anexo 36. Peso Específico de Agregados Pasa 200. Extracción de vacíos.....	140
Anexo 37. Peso Específico de Agregados Pasa 200. Muestra después de la extracción.....	141
Anexo 38. Ensayo Marshall. Horno para calentar el cemento	141

asfáltico.....	
Anexo 39. Ensayo Marshall. Cemento asfáltico.....	142
Anexo 40. Ensayo Marshall. Agregados en el horno.....	142
Anexo 41. Ensayo Marshall. Pesaje de agregados.....	143
Anexo 42. Ensayo Marshall. Pesaje de cemento asfáltico.....	143
Anexo 43. Ensayo Marshall. Mezclado.....	144
Anexo 44. Ensayo Marshall. Calentamiento de los moldes.....	144
Anexo 45. Ensayo Marshall. Preparación de los moldes.....	145
Anexo 46. Ensayo Marshall. Ajuste de los moldes.....	145
Anexo 47. Ensayo Marshall. Colocación de la mezcla.....	146
Anexo 48. Ensayo Marshall. Preparación de la mezcla.....	146
Anexo 49. Ensayo Marshall. Preparación de la mezcla.....	147
Anexo 50. Ensayo Marshall. Compactación de la mezcla.....	147
Anexo 51. Ensayo Marshall. Enfriamiento de las briquetas.....	148
Anexo 52. Ensayo Marshall. Extracción de las briquetas.....	148
Anexo 53. Ensayo Marshall. Extracción de las briquetas.....	149
Anexo 54. Ensayo Marshall. Briquetas.....	149
Anexo 55. Ensayo Marshall. Medición de las briquetas.....	150
Anexo 56. Ensayo Marshall. Medición de las briquetas.....	150
Anexo 57. Ensayo Marshall. Pesaje de las briquetas.....	151
Anexo 58. Ensayo Marshall. Pesaje en el agua.....	151
Anexo 59. Ensayo Marshall. Secado de las briquetas.....	152

Anexo 60. Ensayo Marshall. Pesaje de las briquetas después del secado.....	152
Anexo 61. Ensayo Marshall. Briquetas en baño de María.....	153
Anexo 62. Ensayo Marshall. Colocación de la briqueta en la prensa.....	153
Anexo 63. Ensayo Marshall. Ajuste de la prensa.....	154
Anexo 64. Ensayo Marshall. Obtención de Estabilidad y Fluencia.....	154
Anexo 65. Ensayo Marshall. Briquetas después del ensayo.....	155
Anexo 66. Ensayo Rice. Muestra a ensayar fracción fina.....	155
Anexo 67. Ensayo Rice. Muestra a ensayar fracción gruesa.....	156
Anexo 68. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + lámina de vidrio.....	156
Anexo 69. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + agua + lámina de vidrio.....	157
Anexo 70. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + muestra + lámina de vidrio.....	157
Anexo 71. Ensayo Rice. Bomba de extracción de vacíos.....	158
Anexo 72. Ensayo Rice. Extracción de vacíos.....	158
Anexo 73. Ensayo Rice. Extracción de vacíos.....	159
Anexo 74. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + muestra + agua +lámina de vidrio después de la extracción de vacíos.....	159
Apéndice 75. Gráfica de calibración Marshall.....	160

GLOSARIO	161
ÍNDICE DE TABLAS	
Tabla IV.1.1. Composición Granulométrica de la Arena Industrial.....	47
Tabla IV.1.2. Composición Granulométrica de la Arena.....	48
Tabla IV.1.3. Composición Granulométrica del Arrocillo.....	49
Tabla IV.1.4. Composición Granulométrica de la Piedra Picada.....	50
Tabla IV.1.5. Composición Granulométrica del Polvillo.....	51
Tabla IV.2.1. Composición Granulométrica de la Muestra.....	52
Tabla IV.2.2. Resultado de Ensayo de Desgaste Los Ángeles.....	52
Tabla IV.3.1. Resultado de Ensayo de % de Caras Largas y Aplanadas.....	53
Tabla IV.4.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Ret. N° 8.....	53
Tabla IV.4.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Ret. N° 8.....	54
Tabla IV.4.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Ret. N° 8.....	55
Tabla IV.4.4. Peso Específico y Absorción de la Piedra Picada Ret. N° 8....	56
Tabla IV.4.5. Peso Específico y Absorción del Polvillo Ret. N° 8.....	57
Tabla IV.5.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	58
Tabla IV.5.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	59
Tabla IV.5.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	60
Tabla IV.5.4. Peso Específico y Absorción del Polvillo Pasa N° 8-Ret. N° 200.....	61
Tabla IV.6. Peso Específico de los Agregados Pasa 200.....	62
Tabla IV.7.1. Peso Específico de la Arena Industrial.....	62
Tabla IV.7.2. Peso Específico de la Arena.....	63
Tabla IV.7.3. Peso Específico del Arrocillo.....	63

Tabla IV.7.4. Peso Específico de la Piedra Picada.....	64
Tabla IV.7.5. Peso Específico del Polvillo.....	64
Tabla IV.8. Peso Específico de los Agregados Totales Combinados.....	64
Tabla IV.9.1. 1era. Combinación de los Agregados.....	65
Tabla IV.9.2. 2da. Combinación de los Agregados.....	66
Tabla IV.9.3. 3era. Combinación de los Agregados.....	67
Tabla IV.10.1. Estimación de Contenido Asfáltico. 1era. Combinación.....	68
Tabla IV.10.2. Estimación de Contenido Asfáltico. 2da. Combinación.....	69
Tabla IV.10.3. Estimación de Contenido Asfáltico. 3era. Combinación.....	70
Tabla IV.11.1. Resultado de Ensayo Rice. 1era. Combinación.....	71
Tabla IV.11.2. Resultado de Ensayo Rice. 2da. Combinación.....	72
Tabla IV.11.3. Resultado de Ensayo Rice. 3era. Combinación.....	73
Tabla IV.12.1.1. Medición de Briquetas. 1era. Combinación. Parte 1.....	74
Tabla IV.12.1.2. Medición de Briquetas. 1era. Combinación. Parte 2.....	75
Tabla IV.12.2.1. Medición de Briquetas. 2da. Combinación. Parte 1.....	76
Tabla IV.12.2.2. Medición de Briquetas. 2da. Combinación. Parte 2.....	77
Tabla IV.12.3.1. Medición de Briquetas. 3era. Combinación. Parte 1.....	78
Tabla IV.12.3.2. Medición de Briquetas. 3era. Combinación. Parte 2.....	79
Tabla IV.13.1.1. Propiedades Marshall. 1era. Combinación. Parte 1.....	80
Tabla IV.13.1.2. Propiedades Marshall. 1era. Combinación. Parte 2.....	81
Tabla IV.13.2.1. Propiedades Marshall. 2da. Combinación. Parte 1.....	82
Tabla IV.13.2.2. Propiedades Marshall. 2da. Combinación. Parte 2.....	83
Tabla IV.13.3.1. Propiedades Marshall. 3era. Combinación. Parte 1.....	84
Tabla IV.13.1.1. Propiedades Marshall. 3era. Combinación. Parte 2.....	85
Tabla IV.16.1. Verificación de Resultados. 1era. Combinación.....	113
Tabla IV.16.2. Verificación de Resultados. 2da. Combinación.....	113

Tabla IV.16.3. Verificación de Resultados. 3era. Combinación.....	114
---	-----

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica IV.14.1.1. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	86
Gráfica IV.14.1.2. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	86
Gráfica IV.14.1.3. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	87
Gráfica IV. 14.2.1. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	87
Gráfica IV. 14.2.2. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	88
Gráfica IV. 14.2.3. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	88
Gráfica IV.14.3.1. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	89
Gráfica IV.14.3.2. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	89
Gráfica IV.14.3.3. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	90
Gráfica IV.14.4.1. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	90
Gráfica IV.14.4.2. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	91
Gráfica IV.14.4.3. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	91
Gráfica IV.14.5.1. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	92
Gráfica IV.14.5.2. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de	92

Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	
Gráfica IV.14.5.3. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	93
Gráfica IV.14.6.1. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	93
Gráfica IV.14.6.2. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	94
Gráfica IV.14.6.3. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	94
Gráfica IV.15.1.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (V_v)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	95
Gráfica IV.15.1.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (V_v)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	96
Gráfica IV.15.1.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (V_v)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	97
Gráfica IV.15.2.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	98
Gráfica IV.15.2.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	99
Gráfica IV.15.2.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	100
Gráfica IV. 15.3.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	101
Gráfica IV. 15.3.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	102

Gráfica IV. 15.3.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	103
Gráfica IV.15.4.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	104
Gráfica IV.15.4.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	105
Gráfica IV.15.4.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	106
Gráfica IV.15.5.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	107
Gráfica IV.15.5.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	108
Gráfica IV.15.5.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	109
Gráfica IV.15.6.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.....	110
Gráfica IV.15.6.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.....	111
Gráfica IV.15.6.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.....	112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura II. 1. Varios Tipos de Pesos Específicos de Agregado.....	19
Figura II.2. Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada.....	21
Figura III.1. Granulometrías Representativas de los Agregados, para la Selección del Método de Ensayo a Usar.....	26
Figura III.2. Relación del Tamaño Máximo Nominal vs. Peso Mínimo de la Partícula.....	28
Figura III.3. Densidad del Agua y Factores de Conversión (k) para Varias Temperaturas.....	33
Figura III.4. Mezclas de Granulometría Densa.....	36
Figura III.5. Especificación por Tráfico de Diseño.....	38
Figura III.6. Factores de Corrección de la Estabilidad Medida en Briquetas Elaboradas Siguiendo el Método Marshall de Diseño de Mezclas.....	40
Figura III.7. Mezclas de Granulometría Densa.....	46
Figura III.8. Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos).....	46

LISTA DE SÍMBOLOS

AASHTO	<i>American Association State Highway and Transportation Officials.</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials.</i>
FLNV	Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad.
Gmb	Densidad de la briqueta compactada.
Gmm	Densidad máxima Rice.
Gsa	Peso específico aparente.
Gsb	Peso específico de los agregados Bulk.
Gse	Peso específico efectivo.
MLdN	Minera Loma de Níquel.
VAM	Vacíos de agregado mineral de la mezcla.
V_{II}	Vacíos llenos de asfalto de la mezcla.
V_v	Vacíos Totales de la mezcla.
% C. A.	Porcentaje de cemento asfáltico.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

El presente trabajo de grado ha sido realizado con la finalidad de evaluar la factibilidad del uso de la arena industrial proveniente de procesos metalúrgicos como parte del agregado en las mezclas asfálticas en caliente.

En la empresa Minera Loma de Níquel (MLdN) se lleva a cabo la producción de Ferroníquel. Este proceso de producción genera un material de desecho (arena industrial) que la empresa pone a la disposición de los interesados para la realización de una serie de estudios que determinen su comportamiento en las mezclas asfálticas.

Este trabajo se divide en los siguientes seis capítulos:

El capítulo I presenta la introducción al problema planteado, los objetivos que se desean lograr y los aportes a alcanzar.

El capítulo II enmarca el desarrollo teórico en torno a la información básica de la arena industrial y las mezclas asfálticas.

El capítulo III presenta la técnica usada para la obtención de los resultados, esto es, la metodología del trabajo.

El capítulo IV muestra los resultados obtenidos, y que serán analizados en el capítulo V.

Finalmente, el capítulo VI es propicio para las conclusiones y recomendaciones.

I.1.Planteamiento del Problema

El ferro-níquel (FeNi) es un metal ferromagnético de alta dureza que fácilmente es transformado en una variedad de productos. La producción está en el orden de 17.500 toneladas por año de Ferroníquel; su uso más frecuente es como componente de varias aleaciones, de las cuales los aceros inoxidable son los más comunes utilizándose en diversas áreas de consumo, tales como construcción, transporte, artículos del hogar, industrias de proceso, tubos soldados, y la mayoría de los productos expuestos a altas temperaturas y medios corrosivos.

Durante el proceso de producción se consideran dos fases: una de menor densidad o escoria, compuesta principalmente por óxidos de Si, Fe y Mg, y otra fase más pesada o fase metálica, con una proporción importante de Ni y Fe.

Lo que nos ocupa y delimita el planteamiento del problema tiene que ver con esa primera fase llamada escoria, a la cual nos referiremos a partir de ahora como “arena industrial” y la posibilidad de que ésta sea empleada en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.

Sabemos que una mezcla asfáltica en caliente está compuesta por agregados pétreos y cemento asfáltico. Aun cuando en nuestro país la “arena industrial” no ha sido empleada en la elaboración de este tipo de mezcla, sí se ha experimentado con otra escoria, llamada escoria de acería, la cual ha sido empleada con resultados favorables en obras de pavimentación, siendo, entre otras, la de mayor importancia, el segundo puente sobre el Orinoco: Orinoquia.

Tal experiencia con la escoria de acería es lo que nos induce y motiva a evaluar el uso de la “arena industrial” como parte del agregado en la mezcla asfáltica en caliente, considerando la posibilidad de que esta arena tenga un mayor uso industrial,

lo cual reduciría los costos en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente. Actualmente esta “arena industrial” está siendo usada en la fabricación de adoquines.

Dicho planteamiento nos lleva a nuestra interrogante principal: ¿será factible el uso de la arena industrial en las mezclas asfálticas en caliente?, para dar respuesta a la interrogante llevaremos a cabo los objetivos planteados.

I.2. Objetivos

I.2.1. Objetivo General

Evaluar la factibilidad del uso de arena industrial proveniente de procesos metalúrgicos como parte del agregado en mezclas asfálticas en caliente para pavimentos.

I.2.2. Objetivos Específicos

1. Verificar experimentalmente la adecuación del uso de los materiales empleados en la elaboración de la mezcla en caliente tipo IV, empleando la arena industrial proveniente de procesos metalúrgicos como parte de los agregados.
2. Elaborar la mezcla asfáltica en caliente tipo IV.
3. Contrastar los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio, con los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000-87 “Sector Construcción ESPECIFICACIONES, CODIFICACIÓN Y MEDICIONES Parte I Carreteras”.

I.3. Aportes

1. Dar una solución a un problema ambiental, dándole uso a un desecho.
2. Darle un nuevo material al sector de la construcción de pavimentos.
3. Emplear la arena industrial en mezclas asfálticas, para abaratar los costos de estas y que pueda utilizarse en la pavimentación de zonas rurales y agrícolas cercanas al sitio de producción de la arena, así como en otras locaciones de la región central del país o donde sea factible económicamente su uso; para así dar una mejor calidad de vida a los que habitan estas zonas. Así mismo, se puede emplear la arena en localizaciones petroleras.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

II.1. Arena Industrial

La arena industrial proviene de los procesos metalúrgicos para la producción del metal ferro-níquel realizados por la empresa Minera Loma de Níquel (MLdN) ubicada en el Km. 19 vía Tiara, Edo. Miranda. Esta empresa junto con otros laboratorios, han realizado una serie de ensayos para determinar la caracterización de la arena. A continuación se presentan los resultados de los ensayos y el laboratorio encargado de realizarlos:

II.1.1. Ensayo de Determinación de la Resistencia al Desgaste por Abrasión e Impacto Mediante el "Método de Desgaste Los Ángeles"

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Metalurgia Extractiva
Universidad Simón Bolívar.

Este ensayo pudo determinar, que el porcentaje de desgaste que sufre la arena industrial por efecto de abrasión e impacto de una carga de cuerpos molidores (bolas de acero) es de 24,9 %, presentando una dispersión de los resultados de 13,7 %, lo cual se puede considerar un valor alto de dispersión. El resultado obtenido revela que dicha arena posee una alta resistencia al desgaste, por lo que podría ser apta en el uso de estructuras donde se emplee el concreto y en capas de rodadura, así como bases y sub-bases, siempre y cuando reúna todos los criterios necesarios para cada aplicación.

II.1.2. Ensayo de Determinación de la Dureza por Microdureza de Vickers (HV)

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Metalografía Universidad Simón Bolívar.

Este ensayo pudo determinar, que la fase clara o fase de espinelas, presenta una dureza ligeramente superior a la fase oscura o fase de forsterita. La espinela posee una dureza de Vickers

(HV) de $866,9 \pm 19,8 \text{ Kg. /mm}^2$, en cambio, la dureza de la forsterita es de $574,1 \pm 31,2 \text{ Kg. /mm}^2$. Dicha diferencia se debe básicamente a dos factores: primero, composición química, donde la espinela posee mayor contenido de elementos metálicos como Fe y Mn. Segundo, al tipo de estructura cristalina, donde la espinela posee una estructura cúbica, y la forsterita posee una estructura tipo hexagonal. Es importante destacar, que la dureza de Mohs, presenta el mismo comportamiento. Las espinelas poseen una dureza Mohs de 8, y en cambio los compuestos del grupo olivinos, presentan una dureza de Mohs, de 6,5 - 7. Estos resultados revelan que la arena industrial presenta una alta dureza lo cual es corroborado por su alta resistencia al desgaste por abrasión e impacto, su alta molturabilidad y una abrasividad superior al del carburo de silicio y la sílice artificial. Sin embargo, a su alta dureza, se encuentra asociada una alta fragilidad, debido al temple que se le aplica a la arena durante su enfriamiento y granulación.

II.1.3. Ensayo de Determinación de la Densidad Específica Aparente, Gravedad Específica Aparente (por Picnometría de Polvos) y Densidad de Empaque (por Desplazamiento de Agua)

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Procesos Cerámicos Universidad Simón Bolívar.

Este ensayo pudo determinar, que dicha arena posee una densidad específica aparente de $2,95 \pm 0,05 \text{ g. /cm}^3$, y una densidad de empaque de $1,59 \pm 0,10 \text{ g. /cm}^3$. La gravedad específica es de $2,96 \pm 0,05$. La densidad aparente se determinó mediante Picnometría de polvos, y el resultado no presenta una dispersión mayor 2,00 % (1,69 %). La densidad de empaque o de bulto, se determinó en cambio, mediante desplazamiento de agua (volumen desplazado), y el resultado presento una mayor dispersión, de 6,30 %, lo cual esta asociado directamente al nivel de precisión de la técnica empleada. Esta técnica presenta cierto número de factores que pueden introducir errores considerables a la medición, por lo que la misma debe realizarse cuidadosamente. La gravedad específica es una medida indirecta de la densidad aparente.

II.1.4. Ensayo de Determinación del Contenido de Azufre (S) y Carbono (C) Empleando el Equipo LECO

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Calidad Minera Loma de Níquel, C.A.

Este ensayo pudo determinar, que el contenido tanto de azufre (S) como de carbono (C), es bastante bajo, 0,014 % y 0,016 % respectivamente. Es tan bajo dicho contenido, que se presentó el resultado tanto en porcentaje (%) como en concentración (ppm). El azufre (S), sin embargo, presentó una significativa dispersión de resultados (71,4 %), por lo que se recomienda emplear el valor de confianza. Esta dispersión, puede estar relacionada con fenómenos de segregación, por lo que no existe una distribución uniforme del elemento en el material. A pesar de esto, el contenido de azufre no supera en ninguna muestra el 0,025 %. Por lo general, tanto el azufre como el carbono tienden a desmejorar las propiedades mecánicas de los materiales, por lo que el control del contenido de los mismos es importante, en especial en metales.

El contenido de carbono, por el contrario, presentó un comportamiento más uniforme, con una dispersión de resultados de 18,75 %. Tampoco el contenido de carbono supera el 0,025 % en ninguna muestra.

II.1.5. Ensayo de Determinación del Contenido de Humedad de Lote (en Porcentaje)

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Calidad Minera Loma de Níquel, C.A.

Este ensayo pudo determinar, que el contenido de humedad, expresado en porcentaje de humedad, es de 3,86 %. Estos resultados están sujetos a dos condiciones importantes: la primera es que las muestras fueron empaquetadas en bolsas de plástico resistente y se dejaron al menos 24 horas de reposo, en forma vertical para que el agua residual escurriera, no tomando la muestra del fondo de la bolsa para el secado, y así evitar tomar esa agua residual. Esto se hizo debido a que la arena fue tomada de las piscinas directamente, por lo que se toma también mucha agua residual. La segunda, es que el tiempo de secado fue de mínimo 8 horas continuas a una temperatura de 105 ± 5 °c. Este resultado indica, que el contenido de humedad superficial de las muestras es bajo, no supera al 5,00 % en casi ninguna muestra. Sin embargo, es preferible en este caso tomar el valor de confianza y no el valor promedio, ya que este último es bastante alto (23,05 % de dispersión).

II.1.6. Ensayo de Determinación de la Composición Química de Elementos Minoritarios Trazas Mediante Espectroscopía de Emisión Atómica de Plasma (ICP)

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Calidad Minera Loma de Níquel, C.A.

Este ensayo pudo determinar la composición química de elementos minoritarios y trazas de las muestras, y que viene a completar la obtenida para compuestos mayoritarios, esta compuesta por: 0,085 % de CaO, 0,360 % de MnO, 0,010 % de CoO, 0,002 % de Cu₂O y 1,012 % de Cr₂O₃. El Co y Cu, están presentes en la arena industrial de forma casi despreciable. En cambio, es notable la cantidad de cromo, seguido de la cantidad de Mn y un porcentaje similar al de níquel para el CaO. La dispersión de resultados obtenida tanto para el Co (70,0%) y Cu (50,0%), es significativamente elevada, por lo que es recomendable trabajar con los valores de confianza, y no con los valores promedios. Esto se debe al porcentaje casi despreciable que poseen dentro de la composición, y al presentarse un valor elevado respecto a la media, la dispersión se ve significativamente afectada. En cambio la dispersión obtenida tanto para el CaO, Mn y Cr, es muy inferior, de 23,5%, 21,9% y 9,9% respectivamente, pero aún así, son variaciones algo elevadas. Sin embargo, es recomendable utilizar para estos últimos el valor promedio, debido a que si poseen un porcentaje apreciable dentro de la composición química.

II.1.7. Ensayo de Determinación de la Composición Química (Compuestos Mayoritarios) Mediante Espectroscopía de Fluorescencia de Rayos X (FRX)

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Calidad Minera Loma de Níquel, C.A.

Este ensayo pudo determinar la composición química de elementos mayoritarios de la arena industrial, muestra que el MgO presenta una variación máxima de 3,21% con respecto al valor promedio, el Al₂O₃, SiO₂, FeO y NiO, presentan una variación de 20,98 %, 0,38 %, 4,96 % y 9,84 % respectivamente. Como es de notar, el Al₂O₃ y el NiO son los que presentan

mayores fluctuaciones, siendo la del Al_2O_3 muy significativa respecto a los otros compuestos. En cambio, los demás compuestos no alcanzan una variación mayor al 5,00 %, lo cual sugiere, que la arena industrial no varía significativamente su composición en el tiempo. Igual sucede con la relación $\text{SiO}_2 / \text{MgO}$, cuya variación es del 3,45 % con respecto al valor promedio.

II.1.8. Ensayo de Análisis Granulométrico por Tamizado

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Calidad Minera Loma de Níquel, C.A.

Este ensayo pudo determinar, que el tamaño promedio de las partículas es de 1,60 mm, siendo los tamaños de partículas más frecuentes, el de 2,00 mm (31,10%) y 1,00 mm (44,38%). Esto indica, que aproximadamente el 75.0 % de las partículas, poseen tamaños entre 2,00 y 1,00 mm. El módulo de tamaño, indica que el tamaño máximo teórico de las partículas es de 4,398 mm, aunque se consigan partículas de tamaño incluso superiores a los 25,0 mm. El módulo de distribución, de 0,027, es un valor bastante bajo, lo cual indica una presencia importante de partículas finas en la distribución. Esto se comprueba, al observar que casi 21,0% de las partículas poseen tamaños menores a 500 μm . En las piscinas, se puede observar una acumulación notable de partículas de más de 12,5 mm en la zona más próxima al canal de granulación.

II.1.9. Ensayo de Determinación de las Fases Presentes Mediante Difracción de Rayos X (DRX)

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Difracción de Rayos X (DRX)
Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC).

Este ensayo pudo determinar marcadamente la presencia de las siguientes fases cristalinas: 2 Silicatos: uno de magnesio denominado Forsterita el cual cristaliza en el sistema ortorrómbico, y el otro, de Hierro-Magnesio, otra variación de la Forsterita, el cual cristaliza de igual forma en el sistema ortorrómbico. 2 óxidos: uno de hierro, denominado Magnetita, el cual cristaliza en un sistema cúbico. El segundo, es de cromo, denominado Cromita, el cual cristaliza en un sistema Cúbico simple. Estos dos óxidos complejos constituyen la Fase de Espinelas, el cual varía de acuerdo al catión. Entre los ángulos 5° y 16°, no se puede identificar fase alguna, ya que: 1° La resolución del equipo no permite el suficiente desarrollo de los picos, o, 2° Es una fase amorfa, no cristalina, por lo cual carece de estructura cristalina ordenada, siendo una fase vítrea. Se recomienda ampliamente, la realización de otros ensayos de difracción de X, en equipos de mayor resolución.

II.1.10. Ensayo de Determinación de la Finura de Blaine y Retenidos en Tamiz N° 325 por el Método de Permeabilidad de Blaine

Laboratorio Encargado: Laboratorio de Control de Calidad Holcim de Venezuela, S.A. - Planta San Sebastian.

Este ensayo pudo determinar la Finura Blaine, variando el tiempo de molienda. A mayor tiempo de molienda, la muestra es más fina, por lo que el porcentaje de retenidos en tamiz N° 325 es menor, y viceversa. Estos resultados, permitieron la construcción de una curva para evaluar la relación entre la Finura de Blaine y el porcentaje de retenidos en Tamiz N° 325, para el rango de 23,0 - 8,0 %. Se pudo determinar que la Finura Blaine para un retenido de 12,0 % fue de 4145 cm²/g. Se utilizó el valor de 12,0%, debido a que el retenido en este tamiz del producto de molienda en los ensayos de medición de Índice de Bond fue en promedio de 12,0%. De esta forma, se puede conocer la Finura Blaine de la arena, bajo los parámetros de molienda

del Índice de Trabajo de Bond. No se plantea tratamiento estadístico o probabilístico de los resultados, debido a que la Finura de Blaine posee una relación inversamente proporcional a el porcentaje de retenidos en tamiz N° 325. A mayor retenido, la Finura de Blaine es menor, indicando menor finura en la muestra, y viceversa. Sin embargo, el grado de dispersión de resultados viene dado por el factor de R cuadrado en la curva, el cual es de 0,54%.

II.2. Mezclas Asfálticas en Caliente

Las mezclas asfálticas en caliente son una composición de cemento asfáltico (CA) y agregados minerales pétreos. Dichas mezclas se emplean en pavimentos flexibles para la construcción de carreteras.

Se desea que las mezclas sean durables, es decir, que resistan a las acciones tales como el despegue de la película de asfalto del agregado por efectos del agua, abrasión del tránsito, etc. Debe ser resistente a las sollicitaciones de tránsito a través de su estabilidad. Esta debe ser impermeable para que sus componentes no estén bajo la acción directa de los agentes atmosféricos y debe ser trabajable para su fácil colocación y compactación en terreno.

II.2.1. Composición de las Mezclas Asfálticas en Caliente

Como se mencionó anteriormente las mezclas están compuestas por cemento asfáltico (CA) y agregados minerales.

II.2.1.1. Cemento Asfáltico: es el producto directo de la refinación, y tal como son producidos son empleados en la pavimentación de carreteras.

II.2.1.2. Agregado Mineral Pétreo: es cualquier material mineral, en forma de partículas, granos o fragmentos que, adecuadamente

proporcionados en diferentes tamaños, conforman una mezcla asfáltica. Los agregados conforman aproximadamente entre el 90 y 95% del total en peso de la mezcla.

II.2.2. Tipos de Agregados para Mezclas Asfálticas

De acuerdo a los procesos de cómo son producidos, los agregados para mezclas asfálticas se clasifican como:

II.2.2.1. Agregados Naturales: son aquellos que se emplean tal como han sido obtenidos de los saques o préstamos, sin ningún otro procesamiento que la eliminación del “sobretamaño”. Los más comunes son de origen sedimentario, como las arenas y gravas de río.

II.2.2.2. Agregados Procesados: los agregados procesados son aquellos que han sido triturados y cernidos con el fin de modificar su forma, tamaño y distribución granulométrica, y en un menor grado, su textura. Las fuentes más comunes de agregados procesados son las gravas de río y los materiales de cantera.

II.2.2.3. Agregados Sintéticos o Artificiales: son agregados que no existen en la naturaleza y se obtienen como producto del procesamiento físico o químico de los materiales. Algunos son el subproducto de procesos industriales como el refinamiento de metales: la escoria de acería o agregado siderúrgico. Otro agregado sintético se obtiene al quemar arcilla o arcilla esquistosa quedando un material totalmente diferente al de sus orígenes.

II.2.3. Características Físicas Deseables en los Agregados para Mezclas Asfálticas

Independientemente del tipo de mezcla asfáltica, las siguientes propiedades físicas son deseables en los agregados que la constituyen:

II.2.3.1. **Tamaño y Estructura Granulométrica:** se define como la distribución de tamaños del agregado que se empleará para “formar” una mezcla asfáltica. Es la característica más importante de los agregados ya que afecta la estabilidad y la trabajabilidad de las mezclas, y constituye por lo tanto, uno de los requisitos básicos de las especificaciones.

II.2.3.2. **Granulometrías Convenientes para las Mezclas Asfálticas:** en las mezclas asfálticas en caliente, como norma general, deben preferirse agregados con granulometría densa; ya que contienen cantidades adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, incluyendo filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos; esto es necesario para que exista un pequeño, aunque suficiente, espacio dentro de la mezcla a ser ocupado tanto por el cemento asfáltico como por el aire.

II.2.3.3. **Resistencia y Durabilidad**

II.2.3.3.1. Resistencia: es la habilidad de un material para mantener su granulometría original ante los efectos y esfuerzos que tienden a triturar y degradar las partículas.

II.2.3.3.2. Durabilidad: la durabilidad se basa en la resistencia que deben tener los agregados a la disgregabilidad, es decir a la acción química que produce la rotura y degradación de las partículas.

II.2.3.4. Forma de las Partículas: la estabilidad de las mezclas depende, en un grado muy alto, de la trabazón de los agregados. Las mayores estabilidades se alcanzan cuando las partículas tienen forma angular, debido a que oponen mayor resistencia a su desplazamiento ante el efecto de una carga. En las mezclas con granulometrías continuas, con agregados gruesos y finos, la angularidad de las partículas finas es más importante que la de los gruesos, debido al mayor número de "puntos de contacto" que logran la trabazón.

II.2.3.4.1. Angularidad de la Fracción Gruesa: la experiencia venezolana, plasmada en las Normas COVENIN, establece que el agregado grueso tenga al menos un 60% de caras producidas por fractura, para las mezclas de concreto asfálticos. Durante el desarrollo del Método Venezolano para el Diseño de Pavimentos Flexibles, se recomendó que, en zonas de pendiente fuerte y de tráfico muy pesado y lento, esta proporción deba ser incrementada al menos a un 75%.

II.2.3.4.2. Angularidad de la Fracción Fina: se exige que los finos sean de forma angular ya que asegura un alto grado de fricción interna del agregado fino y permite una mejor resistencia al ahuellamiento. La angularidad de los finos se define como el porcentaje de vacíos de aire presente en las partículas menores a los 2,36mm (tamiz N° 8) cuando están levemente compactados.

II.2.3.5. Textura Superficial: se considera que la textura superficial (rugosidad) de los agregados es el principal contribuyente en la resistencia de las mezclas asfálticas a su deformación. La textura es más importante que la angularidad del agregado en la estabilidad de una mezcla, lo cual se atribuye a que entre las partículas, más que "puntos de

contacto" existen "zonas de contacto", y por ello, mientras más rugosa es su superficie más difícil es el desplazamiento de una sobre otra.

II.2.3.6. Porosidad: se define como la propiedad de absorción de asfalto que tienen los agregados. Es conveniente que estos agregados sean algo porosos, para que el asfalto "penetre" dentro de él y se adhiera mecánicamente a cada partícula, lo cual ayuda a evitar el desplazamiento de la película de asfalto que se forma entre las diversas partículas de agregado ante el efecto de las cargas, y a la pérdida de ella ante la presencia y efecto del agua.

II.2.3.7. Adherencia: la adherencia es la propiedad de un agregado para mantener sobre él la película de asfalto añadida. Depende no sólo del agregado, de su textura y composición química, sino en parte muy importante, del asfalto en sí. Para que una mezcla sea durable, debe existir una buena adherencia entre el agregado y el asfalto, para que se evite la separación de la película de asfalto en presencia de agua.

II.2.3.8. Limpieza

II.2.3.8.1. Agregados Gruesos: deben estar limpios, sin partículas de polvo o arcillas que los recubran, ya que esto afecta negativamente la efectiva adherencia del asfalto.

II.2.3.8.2. Agregado Fino: no deben contener cantidades perjudiciales de arcillas, o de tamaños excesivamente pequeños.

II.2.3.9. Gravedad Específica: se define como la relación entre el peso de un volumen de una cantidad determinada de agregados y el peso de un volumen igual de agua. Este valor se emplea en los cálculos

volumétricos de una mezcla asfáltica y en la corrección de la combinación granulométrica de la mezcla de varios agregados.

En las mezclas asfálticas se emplean tres (3) tipos diferentes de gravedades Específicas:

II.2.3.9.1. *Gravedad Específica Bulk (o masiva)*: la gravedad específica

Bulk es cuando se considera el volumen del agregado incluyendo tanto los espacios ocupados por los vacíos impermeables al agua, como aquellos vacíos que pueden ser ocupados por el agua (vacíos permeables al agua) durante de un período de inmersión de 24 horas.

II.2.3.9.2. *Gravedad Específica Aparente*: es cuando se considera el

volumen del agregado -incluyendo los espacios ocupados por los vacíos impermeables al agua - pero excluyendo aquellos vacíos que pueden ser ocupados por el agua (vacíos permeables al agua) durante de un período de inmersión de 24 horas.

II.2.3.9.3. *Gravedad Específica Efectiva*: es cuando se considera el

volumen del agregado incluyendo tanto los espacios ocupados por los vacíos impermeables al agua, como aquellos vacíos que pueden ser ocupados por el asfalto.

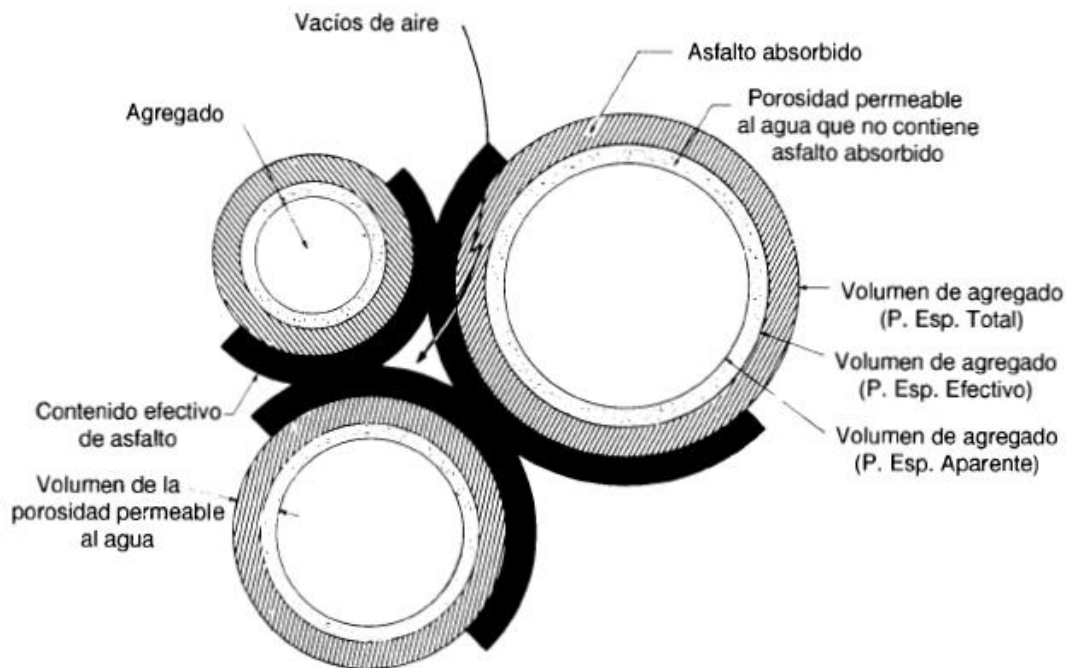


Figura II. 1. Varios Tipos de Pesos Específicos de Agregado. Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute, 1982, Pág. 52.

II.2.4. Tipos de Mezclas Asfálticas en Caliente

Existen distintos tipos de mezcla, distinguidas en función de su tamaño nominal máximo.

II.2.5. Características de las Mezclas Asfálticas en Caliente

II.2.5.1. Densidad de la Mezcla: la densidad de la mezcla compactada esta definida como su peso unitario. Esta es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico

(Kg. /m³). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000 Kg. /m³).

II.2.5.2. Vacíos Totales: los vacíos totales son espacios pequeños de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que las mezclas densamente gradadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios a donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos para capas base y capas superficiales está entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico. La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La densidad y el contenido de vacíos están directamente relacionados. Entre más alta la densidad, menor es el porcentaje de vacíos en la mezcla, y viceversa.

II.2.5.3. Vacíos en el Agregado Mineral: los vacíos en el agregado mineral son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada de pavimentación, incluyendo los espacios que están llenos de asfalto. Estos representan el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesario en la mezcla. Cuanto mayor sean, más espacio habrá disponible para las películas de asfalto.

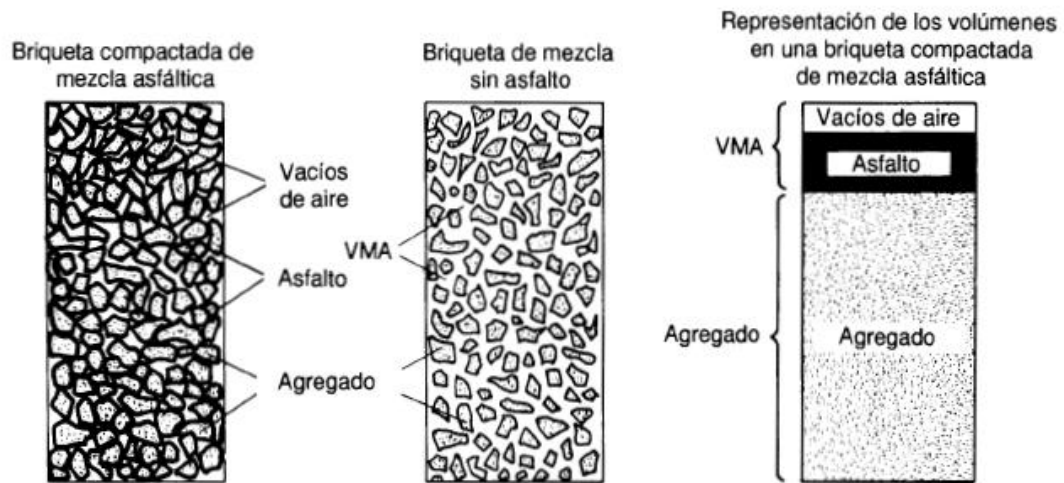


Figura II.2. Ilustración del VMA en una Probeta de Mezcla Compactada. Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute, 1982, Pág. 59.

II.2.5.4. Contenido de Asfalto: el contenido de asfalto de una mezcla se establece usando los criterios dictados por el método de diseño seleccionado. Este depende, en gran parte, de las características del agregado, tales como la granulometría y la capacidad de absorción. La granulometría del agregado está directamente relacionada con el contenido óptimo de asfalto. Entre más finos contenga la gradación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas las partículas. Por otro lado, las mezclas más gruesas exigen menos asfalto debido a que poseen menos área de superficie total.

II.2.6. *Propiedades de las Mezclas Asfálticas en Caliente*

II.2.6.1. Estabilidad: la estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas

repetidas; un pavimento inestable desarrolla ahuellamiento, ondulaciones y otras señas que indican cambios en la mezcla. La estabilidad de la mezcla depende también de la fricción y la cohesión interna.

II.2.6.2. Durabilidad: la durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las partículas de asfalto. Estos factores pueden ser el resultado de la acción del clima, el tránsito, o una combinación de ambos.

II.2.6.3. Impermeabilidad: la impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada, y es así como gran parte de las discusiones sobre vacíos en las secciones de diseño de mezcla se relacionan con impermeabilidad.

II.2.6.4. Trabajabilidad: la trabajabilidad está descrita por la factibilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar.

II.2.7. Método Marshall a Emplear en la Elaboración de Mezclas Asfálticas en Caliente

El Método Marshall para el diseño de mezclas asfálticas fue formulado por el Ingeniero Bruce Marshall, junto con otros ingenieros del Departamento de Carreteras del Estado de Misisipi, en los Estados Unidos. El Cuerpo de Ingenieros de Carreteras de los Estados Unidos, a través de extensas

investigaciones y estudios de correlación, lo mejoró e incorporó ciertas modificaciones al método, conduciéndolo al procedimiento actual, el cual también ha sido adoptado por la ASTM bajo la codificación ASTM D 1559: "Resistencia al Flujo de las Mezclas Asfálticas Mediante el Empleo del Equipo Marshall".

II.2.7.1. Aplicabilidad: el Método Marshall, tal como ha sido normalizado por la ASTM, es aplicable a mezclas asfálticas en caliente elaboradas con cemento asfáltico y agregados de granulometría densa o fina, con un tamaño nominal máximo de 25 mm. Se utiliza tanto para el diseño en laboratorio como para el control de mezclas elaboradas en planta. Su empleo en mezclas abiertas es de relativa conveniencia, y exige la aplicación del criterio del ingeniero para que conduzca a resultados confiables.

II.2.7.2. Objetivo del Método: el método persigue la determinación de un contenido de asfalto óptimo, para la combinación de agregados establecida, tal que resulte en una mezcla con las características de estabilidad, durabilidad, impermeabilidad y trabajabilidad que han sido definidas y comentadas anteriormente. El método no mide la resistencia a la deformación ni la resistencia a la fatiga de la mezcla, pero estas características de la mezcla se miden de una manera indirecta por medio de una propiedad fundamental.

CAPÍTULO III

MÉTODO

Este trabajo especial se realizó con el fin de evaluar la factibilidad del uso de la arena industrial como parte del agregado en las mezclas asfálticas en caliente, por lo que se desarrollaron tres etapas donde, con la culminación de cada una, se completaron sucesivamente los objetivos específicos planteados. La primera de éstas consistió en la obtención y preparación de la arena, selección del cemento asfáltico y la realización de ensayos a los materiales pétreos; la segunda, en la elaboración de la mezcla; y la tercera en cálculos, análisis, gráficas de resultados, determinación del contenido óptimo de asfalto y la verificación de los criterios de diseño. Con la culminación de estas etapas se logró completar el objetivo general planteado. Los ensayos necesarios para la obtención de resultados fueron realizados en las instalaciones del Instituto de Materiales y Modelos Estructurales (IMME).

III.1. Obtención de la Arena Industrial

La Arena Industrial fue suministrada por la empresa venezolana Minera Loma de Níquel (MLdN). A la misma se le realizó una granulometría para determinar la distribución de los tamaños que la conforman.

III.2. Selección del Cemento Asfáltico (CA)

El cemento asfáltico utilizado para la elaboración de las mezclas fue un A20, el cual fue suministrado por la empresa Arpigra ubicada en Filas de Mariche, Edo. Miranda.

III.3. Obtención y Preparación de los Agregados Pétreos

Los agregados pétreos utilizados fueron suministrados, por la empresa Arpigra ubicada en Filas de Mariche, Edo. Miranda. A estos agregados se le realizaron los siguientes ensayos:

III.3.1. Composición Granulométrica de los Agregados Finos, Gruesos y Muestras de Suelo. A.S.T.M. C 136 - / A.A.S.H.T.O. T - 27 / MVAG - 07 / 08

El objeto de este ensayo fue conocer la gradación de cada uno de los agregados. Procedimiento:

- III.3.1.1. Se secaron los agregados a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- III.3.1.2. Se procedió a ensamblar los cedazos especificados en la figura en orden de tamaños de aberturas, desde arriba hacia abajo, colocando la muestra en el cedazo superior.
- III.3.1.3. Se movieron los cedazos vigorosamente hacia los lados con ambas manos, a razón de 150 veces por minuto aproximadamente, rotando el cedazo en un sexto de vuelta cada 25 golpes.
- III.3.1.4. Una vez cernida la muestra, se pesó el material retenido en cada cedazo y se calculó el porcentaje en relación a la muestra total.

III.3.2. Desgaste Los Angeles A.S.T.M. C 131 – C535 / N.L.T. 149 / I.N.V.E. 218 – 219 / FLNV – MVAG – 07 / 08

Empleando la máquina de Los Ángeles, el objeto de este ensayo fue determinar la resistencia al desgaste de agregados, consecuencia de la acción combinada de la abrasión e impacto. Procedimiento:

III.3.2.1. Se prepararon los agregados y se realizó la granulometría con la que se determinó el método a utilizar para el ensayo.

Tamaño del Cedazo		ASTM C 131				ASTM C 535		
Pasa	Retenido	A	B	C	D	1	2	3
3"	2½"					2500±50		
2½"	2"					2500±50		
2"	1½"					5000±50	5000±50	
1½"	1"	1250±25					5000±25	5000±25
1"	¾"	1250±25						5000±25
¾"	½"	1250±10	2500±10					
½"	⅜"	1250±10	2500±10					
⅜"	¼"			2500±10				
¼"	Nº 4			2500±10				
Nº 4	Nº 8				5000±10			
TOTAL PESO, g		5000±10	5000±10	5000±10	5000±10	10000±100	10000±75	10000±50
Nº DE ESFERAS		12	11	8	6	12	12	12
REVOLUCIONES		500				1000		

Figura III.1. Granulometrías Representativas de los Agregados para la Selección del Método de Ensayo a Usar. Fuente: Manual visualizado. Método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados al desgaste utilizando la máquina de Los Ángeles, FUNDALANAVIAL, 2003, Pág. 9.

III.3.2.2. Una vez determinado el método, se procedió a pesar el material a utilizar.

III.3.2.3. Luego se colocó el material en la máquina junto con las esferas, y se encendió ésta para empezar con las revoluciones.

III.3.2.4. Una vez completadas las revoluciones, se apagó la máquina y se sacó el material para proceder a cernirlo a través del tamiz N° 12.

III.3.2.5. Luego se procedió a registrar el peso del material retenido en el tamiz y se desechó el restante.

III.3.2.6. Por último, se obtuvo el porcentaje de desgaste con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de Desgaste} = \frac{W_i - W_f}{W_i} \times 100$$

Donde: W_i = Peso Inicial
 W_f = Peso Final

III.3.3. % Caras Largas y Aplanadas. COVENIN 264 - 77 A.S.T.M. D 4791 - 99 I.N.V.E. 230 NLT – 354 / 90

El objeto de este ensayo fue determinar el porcentaje de caras largas y aplanadas de los agregados empleados para la elaboración de la mezcla.
Procedimiento:

III.3.3.1. Se tomó la muestra de agregado y se procedió a separarla por los tamices 1½” y 3/8”. Se descartó el material que se retuvo en el tamiz 1½” y el que pasó por el tamiz de 3/8”.

Tamaño Máximo Nominal de la Partícula (Pulg.)-(mm)	Peso Mínimo de la Partícula (Kg.)
3/8" (9,5)	1,0
1/2" (12,5)	2,0
3/4" (19,0)	5,0
1" (25,0)	10,0
1½" (37,5)	15,0
2" (50,0)	20,0
2½" (63,0)	35,0

Figura III.2. Relación del Tamaño Máximo Nominal vs. Peso Mínimo de la Partícula. Fuente: Manual Visualizado. Método de ensayo para determinar el porcentaje de caras largas y aplanadas, FUNDALANAVIAL, 2003, Pág. 5.

III.3.3.2. Se pesó el material restante y se registró éste como el peso total de la muestra ensayada.

III.3.3.3. Se extendió la muestra en un lugar suficientemente grande, con lo que se pudo visualizar las partículas con caras planas y alargadas. Se midió cada una de éstas, registrando el largo y espesor.

III.3.3.4. Se determinó el cociente de longitud máxima entre longitud mínima de cada partícula.

$$C = L / E > 5 \quad \text{Donde: } C = \text{Cociente}$$

L= Largo (Longitud Máxima)

E= Espesor (Longitud Mínima)

III.3.3.5. Una vez determinados los cocientes, se pesaron las partículas cuyo cociente fue mayor que 5.

III.3.3.6. Por último, se determinó el porcentaje de caras largas y aplanadas con la siguiente formula:

$$\% = \frac{\text{Peso de caras largas y aplanadas}}{\text{Peso total de la muestra}} \times 100$$

III.3.4. *Peso Específico y Absorción de Agregado Grueso. A.S.T.M. C 127 - 88 / A.A.S.H.T.O. T - 85 / FLNV - MVAG - 32 / FLNV - MVAG - 33*

El objeto de este ensayo fue determinar las propiedades Marshall (densidades, vacíos en mezclas asfálticas), para conocer el peso específico y el porcentaje de absorción. Procedimiento:

III.3.4.1. Se preparó la muestra de cada agregado por separado y se cernió por el tamiz N° 8, tomando solamente el material retenido.

III.3.4.2. Se lavó muy bien el material hasta remover los finos superficiales y adheridos.

III.3.4.3. Se dejó en remojo el material durante 24 horas.

III.3.4.4. Se colocó en una cesta y se introdujo en el recipiente con agua de la balanza hidrostática, y se pesó.

III.3.4.5. Luego se colocó en un paño absorbente y se rodaron las partículas hasta que la película de agua visible desapareció. Con esto, se logró la condición superficie saturada seca y se procedió a pesar.

III.3.4.6. Una vez obtenido el peso sumergido y el saturado, se introdujo la muestra en el horno y se secó hasta obtener un peso constante.

III.3.4.7. Cuando se tuvo el peso constante, se retiró del horno y se dejó enfriar a temperatura ambiente y se pesó. Este peso se registró como peso seco.

III.3.4.8. Por último, se calculó el peso específico con las siguientes fórmulas:

$$Gsa = \frac{A}{A - C} \quad Gsb = \frac{A}{B - C} \quad \text{Absorción}(\%) = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde: Gsa= Peso Específico Aparente

Gsb= Peso Específico Bulk

A= Peso Seco

B= Peso Saturado Superficie Seca

C= Peso en el Agua

III.3.5. Peso Específico y Absorción de Agregado Fino A.S.T.M. C 128 – 88 / A.A.S.H.T.O. T – 88 / L.N.V.A.G. – 12

El objeto de este ensayo fue determinar el peso específico del agregado. Procedimiento:

III.3.5.1. Se tomó la muestra de cada agregado por separado, y se procedió a tamizarlos por los tamices N° 8 y N° 200, desechando el material retenido en el tamiz N° 8 y el pasante del N° 200.

III.3.5.2. Una vez tamizados los agregados, se lavaron para eliminar los residuos de material fino que pudiesen haber quedado.

III.3.5.3. Ya limpios los agregados se dejaron en reposo durante 24 horas.

- III.3.5.4. Por otra parte se pesó el picnómetro a utilizar en el ensayo, registrando su peso vacío y después con agua.
- III.3.5.5. Luego del remojo del material, se eliminó la mayor cantidad de agua posible y se procedió a secar con una corriente de aire tibio, procurando remover la muestra con frecuencia para garantizar un secado uniforme.
- III.3.5.6. Se continuó secando la muestra uniformemente hasta que los granos no se adhiriesen entre sí tan marcadamente.
- III.3.5.7. Luego se colocó el material en el molde cónico estándar hasta llenarlo, y se golpeó suavemente la superficie 25 veces con la barra estándar.
- III.3.5.8. Se levantó el cono de forma vertical, y al momento de derrumbarse el cono, se consideró la condición “Saturado con Superficie Seca”.
- III.3.5.9. Ya una vez lograda la condición deseada, se introdujo rápidamente el material en el picnómetro por medio de un embudo.
- III.3.5.10. Luego se colocó agua hasta saturar la muestra y se procedió a la extracción de vacío.
- III.3.5.11. Ya terminada la extracción, se terminó de llenar el picnómetro y se pesó.
- III.3.5.12. Se sacó la muestra del picnómetro y se pasó a una bandeja.

III.3.5.13. Se dejó reposar hasta que el agua estuvo clara, y así se pudo eliminar un poco antes de introducirla al horno.

III.3.5.14. Ya en el horno, se dejó secar hasta que la muestra tuvo un peso constante; después, se dejó enfriar para finalmente pesar.

III.3.5.15. Por último, se procedió al cálculo del peso específico con las siguientes fórmulas:

$$Gsa = \frac{A}{B + A - C} \quad Gsb = \frac{A}{B + S - C} \quad Absorción(\%) = \frac{S - A}{A} \times 100$$

Donde: Gsa= Peso Específico Aparente

Gsb= Peso Específico Bulk

A= Peso Seco

B= Peso del Matraz + Agua

C= Peso de Muestra + Matraz + Agua

S= Peso Saturado Superficie Seca

III.3.6. *Peso Específico de Material Pasante 200*

El objeto de este ensayo fue determinar el peso específico del agregado. Procedimiento:

III.3.6.1. Se prepararon las muestras de cada agregado por separado.

III.3.6.2. Se procedió al pesado del picnómetro limpio y seco.

III.3.6.3. Luego, con la ayuda de un embudo, se agregó la muestra en el picnómetro y se registró este nuevo peso.

III.3.6.4. Una vez obtenido los pesos, se añadió agua hasta las tres cuartas partes del picnómetro y se dejó en reposo.

III.3.6.5. Luego se procedió a la extracción de vacío.

III.3.6.6. Ya terminada la extracción, se terminó de añadir agua al picnómetro para proceder a su pesado. Se registró la temperatura de cada picnómetro.

III.3.6.7. Por último, se procedió al cálculo del peso específico con las siguientes fórmulas:

$$G_s = \frac{W_s}{W_s + W_{pt} + W_{pws}} \times G_w$$

Donde: G_s = Peso Específico

W_s = Peso de la Muestra

W_{pt} = Peso del Picnómetro + Agua a una cierta Temperatura

W_{pws} = Peso del Picnómetro + Agua + Muestra

G_w = Peso Específico del Agua a una cierta Temperatura

Temperatura °c	Densidad del Agua	Corrección Factor K
16,0	0,99897	1,0007
16,5	0,99889	1,0007
17,0	0,99880	1,0006
17,5	0,99871	1,0005
18,0	0,99862	1,0004
18,5	0,99853	1,0003
19,0	0,99843	1,0002
19,5	0,99833	1,0001
20,0	0,99823	1,0000
20,5	0,99812	0,9999
21,0	0,99802	0,9998
21,5	0,99791	0,9997
22,0	0,99780	0,9996

22,5	0,99768	0,9995
23,0	0,99757	0,9993
23,5	0,99745	0,9992
24,0	0,99732	0,9991
24,5	0,99720	0,9990
25,0	0,99707	0,9988
25,5	0,99694	0,9987
26,0	0,99681	0,9986
26,5	0,99668	0,9984
27,0	0,99654	0,9983
27,5	0,99640	0,9982
28,0	0,99626	0,9980
28,5	0,99612	0,9979
29,0	0,99597	0,9977
29,5	0,99582	0,9976
30,0	0,99567	0,9974

Figura III.3. Densidad del Agua y Factores de Conversión (k) para Varias Temperaturas.

Fuente: Manual visualizado. Método de ensayo para determinar el peso específico de los suelos y llenante mineral (filler), FUNDALANAVIAL, 2003, Pág. 9.

III.3.7. *Peso Específico de los Agregados*

El peso específico de cada agregado se cálculo con el objeto de tener un total de los tres pesos específicos obtenidos para cada uno de los agregados. La fórmula utilizada fue la siguiente:

$$Gsb = \frac{100}{\frac{\% \text{ ret } N^{\circ}8}{Gsb \text{ ret } N^{\circ}8} + \frac{\% N^{\circ}8 - N^{\circ}200}{Gsb N^{\circ}8 - N^{\circ}200} + \frac{\% \text{ pasa } 200}{Gsb \text{ pasa } 200}}$$

$$Gsa = \frac{100}{\frac{\% \text{ ret } N^{\circ}8}{Gsa \text{ ret } N^{\circ}8} + \frac{\% N^{\circ}8 - N^{\circ}200}{Gsa N^{\circ}8 - N^{\circ}200} + \frac{\% \text{ pasa } 200}{Gsa \text{ pasa } 200}}$$

Donde: Gsb= Peso Específico Bulk del Agregado

Gsa= Peso Específico Aparente del Agregado

III.3.8. *Peso Específico del Agregado Total Combinado*

Para el Ensayo Marshall, se utilizaron tres combinaciones de agregados, por lo que se debió calcular el peso específico de cada una de estas combinaciones. Para esto, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Gsb = \frac{100}{\sum \frac{\% \text{ agregado}}{Gsb \text{ agregado}}} \qquad Gsa = \frac{100}{\sum \frac{\% \text{ agregado}}{Gsa \text{ agregado}}}$$

Donde: Gsb= Peso Específico Bulk del Agregado Total

Gsa= Peso Específico Aparente del Agregado Total

III.4 *Elaboración de Mezcla y Preparación de las Briquetas. Método Marshall.*

A. S. T. M. D 1559 / NLT – 159 – 168 / I. N. V. E. 748

Para la ejecución del Método Marshall, se utilizaron moldes de 102 mm (4,0 pulg.) de diámetro y 64 mm (2,5 pulg.) de altura; este método se realizó bajo el siguiente procedimiento:

III.4.1. *Combinación de los Agregados*

Una vez se obtuvo la granulometría de los agregados y la arena industrial, se procedió a realizar una serie de tanteos, siguiendo los límites de combinación de diseño que se muestran a continuación, (en nuestro caso se utilizó el Tipo IV):

Cedazo	Tipo I Rodam.	Tipo II Rodam.	Tipo III Rodam.	Tipo IV Rodam. O intermed.	Tipo V Intermed. O base
1 ½"					100
1"				100	80 – 100
¾"	100		100	80 – 100	70 – 90
½"	85 – 100	100	80 – 100		
3/8"		80 – 100	70 – 90	60 – 80	55 – 75
Nº 4	65 – 80	50 – 75	50 – 70	48 – 65	45 – 62
Nº 8	50 – 65	35 – 50	35 – 50	35 – 50	35 – 50
Nº 30	25 – 40	18 – 29	18 – 29	19 – 30	19 – 30
Nº 50	18 – 30	13 – 23	13 – 23	13 – 23	13 – 23
Nº 100	10 – 20	8 – 16	8 – 16	7 – 15	7 – 15
Nº 200	3 – 10	4 – 10	4 – 10	2 – 8	2 – 8

Figura III.4. Mezclas de Granulometría Densa. Fuente: Norma COVENIN 2000:1987, Artículo 12-10-11 Tabla a, Pág. 152.

III.4.2. Estimación de Contenido Asfáltico

Luego de obtenerse las combinaciones, se calcularon mezclas para cada combinación con contenidos asfálticos de 4%; 4,5%; 5%; 5,5%; 6% y 6,5%; cada mezcla fue calculada con un peso total de 1200 g.

III.4.3. Calentamiento del Asfalto

Para proceder con la elaboración de las mezclas, se procedió al calentamiento del cemento asfáltico a una temperatura de 160 °c.

III.4.4. Preparación de los Agregados

Luego de haber realizado todos los ensayos a los agregados, y haber comprobado su adecuación, se secaron y se calentaron en el horno a una temperatura de $150\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

III.4.5. Pesaje de Agregados y del Cemento Asfáltico

Una vez preparados los agregados y el cemento asfáltico, se procedió a pesarlos en un mismo recipiente.

III.4.6. Mezclado

Al tener pesados todos los agregados y el cemento asfáltico, se procedió a mezclarlos hasta que el cemento asfáltico se adhirió totalmente a los agregados.

III.4.7. Calentamiento de los Moldes

Simultáneamente con la preparación de mezcla, se calentaron los moldes y el martillo Marshall a una temperatura de $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

III.4.8. Compactación

III.4.8.1. Una vez que la mezcla alcanzó la temperatura deseada ($130\text{ }^{\circ}\text{C}$), se vertió en los moldes (se colocó papel parafinado en el fondo del molde para evitar que la mezcla se adhiriera al molde).

III.4.8.2. Se punzó la misma 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en su interior.

III.4.8.3. Luego se procedió a compactar mediante el empleo del “martillo Marshall” (por ambas caras de la briqueta). El número de golpes que se aplicó sobre cada cara fue de 75, el cual corresponde a un tráfico pesado, según las especificaciones de diseño que se presenta a continuación:

Tipo de tráfico	Nº de golpes por caras
Liviano	35
Mediano	50
Pesado	75

Figura III.5. Especificación por Tráfico de Diseño. Fuente: Manual visualizado. Método de ensayo para determinar las propiedades marshall de las mezclas asfálticas en caliente (compactadas), FUNDALANAVIAL, 2003, Pág. 7.

III.4.8.4. Se dejaron enfriar las briquetas hasta obtener una temperatura ambiente.

III.4.8.5. Una vez que se enfriaron, se procedió a extraerlas de los moldes, para así realizar los distintos pesados.

III.4.9. Determinación del Peso Específico de la Mezcla Compactada

III.4.9.1. Una vez extraídas las briquetas, se determinó el peso en el aire en una balanza con apreciación de 0,01 g.

III.4.9.2. Luego se determinó el peso en agua; para esto se sumergió la briqueta en el baño de agua de la balanza hidrostática, y se procedió a registrar el peso.

III.4.9.3. Por último, se extrajo la briqueta del agua y se secó superficialmente con un paño absorbente y se pesó de nuevo en el aire. Este pesaje se determinó como peso saturado superficie seca.

III.4.9.4. Una vez obtenidos todos los pesajes, se calculó el peso específico con las siguientes fórmulas:

$$V = P_s - P_{sss} \qquad Gmb = \frac{P_a}{V}$$

Donde: V = Volumen (cm³)

Ps = Peso Sumergido (g)

Psss = Peso Saturado Superficie Seca (g)

Pa = Peso al Aire (g)

Gmb = Densidad o Peso Unitario (g/cm³) se multiplica por la Gravedad Específica del Agua (1000 Kg. /m³)

III.4.10. Estabilidad y Fluencia

III.4.10.1 Se calentaron las briquetas en un baño de agua a 60 °c.

III.4.10.2 Las briquetas se removieron del baño, se secaron y se colocaron rápidamente en el aparato Marshall.

III.4.10.3 Una vez colocada la briqueta en el aparato, se aplicó la carga del ensayo a una velocidad constante de 51mm (2 pulg.) por minuto hasta que falló. La carga de falla se registró como el valor de estabilidad Marshall, y la lectura del medidor (medida en centésimas de pulgada) se registró como la fluencia o flujo. Este registro representa la deformación de la briqueta, y a su vez, esta deformación representa la disminución en el diámetro vertical de la briqueta.

III.4.10.4 La estabilidad medida o leída en el ensayo debió ser corregida en función del volumen de cada briqueta.

Volumen de la Briqueta (cm ³)	Altura Aproximada de la Briqueta		Factor multiplicador de la "Estabilidad Leída"
	mm	Pulgadas	
368 a 379	46,0	1 13/16	1,79
380 a 392	47,6	1 7/8	1,67
393 a 405	49,2	1 15/16	1,56
406 a 420	50,8	2	1,47
421 a 431	52,4	2 1/16	1,39
432 a 443	54,0	2 1/8	1,32
444 a 456	55,6	2 3/16	1,25
457 a 470	57,2	2 ¼	1,19
471 a 482	58,7	2 5/16	1,14
483 a 495	60,3	2 3/8	1,09
496 a 508	61,9	2 7/16	1,04
509 a 522	63,5	2 ½	1,00
523 a 535	64,0	2 9/16	0,96
536 a 546	65,1	2 5/8	0,93
547 a 559	66,7	2 11/16	0,89
560 a 573	68,3	2 ¾	0,86
574 a 585	71,4	2 13/16	0,83
586 a 598	73,0	2 7/8	0,81
599 a 610	74,6	2 15/16	0,78
611 a 625	76,2	3	0,76

Figura III.6. Factores de Corrección de la Estabilidad Medida en Briquetas Elaboradas Siguiendo el Método Marshall de Diseño de Mezclas. Fuente: Apuntes de pavimentos. Volumen 2. Mezclas asfálticas materiales y diseño, Corredor, G., 2008, Pág. 5-14.

III.4.11. Ensayo Rice A.S.T.M. D 2041/95- I.N.V.E. 745-98

El objeto de este ensayo fue determinar la gravedad máxima teórica (Gmm), la cual fue utilizada para obtener el porcentaje de vacíos totales que afectan directamente la calidad de las mezclas. Procedimiento:

III.4.11.1. Se procedió al pesaje del frasco más la lámina de vidrio. Este valor se registró como:

$$A = \text{PESO DEL FRASCO} + \text{LÁMINA DE VIDRIO}$$

III.4.11.2. Luego se pesó el frasco con agua a su capacidad total más la lámina de vidrio. Este valor se registró como:

$$B = \text{PESO DEL FRASCO A CAPACIDAD TOTAL} + \text{LÁMINA DE VIDRIO}$$

III.4.11.3. Se realizó el procedimiento de elaboración de mezclas, pero sin compactar, y se dejó reposar hasta tomar una temperatura ambiente.

III.4.11.4. Una vez que se enfrió la mezcla, se tamizó por el tamiz ¼” para separar la fracción gruesa de la fina.

III.4.11.5. Ya separadas la fracciones, se colocó la fina en el fondo del frasco y luego la gruesa (esto con el fin de evitar la suspensión de finos y facilitar la extracción de los vacíos).

III.4.11.6. Se pesó el frasco con la muestra más la lámina de vidrio. Este valor se registró como:

$$C = \text{PESO DEL FRASCO} + \text{MUESTRA} + \text{LÁMINA DE VIDRIO}$$

III.4.11.7. Luego se le agregó agua al frasco hasta la mitad de su capacidad y se inició el vacío parcial a una presión de 30 mm de Hg durante 15 minutos. Se agitó la muestra de 2 a 3 veces para facilitar la extracción.

III.4.11.8. Pasados los 15 minutos, se agregó agua y se realizó nuevamente el procedimiento.

III.4.11.9. una vez finalizada la extracción de vacío, se tomó la temperatura.

III.4.11.10. Se llenó el frasco hasta enrasar con la lámina de vidrio, sin dejar ninguna burbuja, y se pesó. Este peso se registró como:

$$E = \text{PESO DEL FRASCO} + \text{MUESTRA} + \text{AGUA} + \text{LÁMINA DE VIDRIO}$$

III.4.11.11. Luego se registró la suma de los pesos D y B.

$$F = D + B$$

III.4.11.12. Se obtuvo el peso de un volumen de agua igual a la muestra. Es peso se registró como:

$$G = F - E$$

III.4.11.13. Por último, se obtuvo la gravedad máxima teórica (Gmm). Esta se registró como:

$$Gmm = D / G$$

Se multiplicó por la Gravedad Específica del agua (1000 Kg. /m³).

III.4.12. *Peso Específico Efectivo*

El Peso Específico Efectivo se calculó con el fin de obtener un valor más cercano al que podría tener el Peso Específico de los Agregados al ser mezclado con el asfalto. Para su obtención, se utilizó la siguiente fórmula:

$$G_{se} = \frac{100 - \% C.A.}{\left(\frac{100}{G_{mm}}\right) - \left(\frac{\% C.A.}{G_b}\right)}$$

Donde: %C.A.= Porcentaje de Contenido Asfáltico aprox. Óptimo

G_{mm}= Peso Específico Rice correspondiente al Contenido Asfáltico aprox. al Óptimo

G_b= Peso Específico del Cemento Asfáltico

Una vez obtenido el G_{se}, se calcularon los G_{mm} del resto de los contenidos asfálticos con la siguiente fórmula:

$$G_{mm} = \frac{100}{\left(\frac{100 - \% C.A.}{G_{se}}\right) + \left(\frac{\% C.A.}{G_b}\right)}$$

Donde: G_{mm}= Peso Específico Rice

%C.A.= Porcentaje de Contenido Asfáltico

G_{se}= Peso Específico Efectivo

G_b= Peso Específico del Cemento Asfáltico

III.4.13. *Cálculo de los Vacíos Totales (V_V)*

Los vacíos totales de las mezclas se calcularon con la siguiente fórmula:

$$V_v = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mb}} \times 100$$

Donde: V_v = Vacíos Totales

G_{mm} = Peso Específico Rice

G_{mb} = Peso Específico de la Briqueta

III.4.14. Cálculo de Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) se calcularon con la siguiente fórmula:

$$VAM = 100 - \left(\frac{G_{mb} \times (100 - \% C.A.)}{G_{sb}} \right)$$

Donde: VAM= Vacíos de Agregados Minerales

G_{mb} = Peso Específico de la Briqueta

% C.A.= Porcentaje de Contenido asfáltico

G_{sb} = Peso Específico Bulk del Agregado Total

III.4.15. Cálculo de los Vacíos Llenados (V_{ll})

Los vacíos llenados por asfalto (V_{ll}) se calcularon con la siguiente fórmula:

$$V_{ll} = \frac{VAM - V_v}{VAM} \times 100$$

Donde: V_{ll} = Vacíos Llenados

VAM= Vacíos de Agregados Minerales

V_v = Vacíos Totales

III.4.16. Representación Gráfica de las Propiedades Marshall

Una vez realizados todos los ensayos y obtenidos los resultados, se graficaron las siguientes relaciones:

- III.4.16.1. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico

- III.4.16.2. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico

- III.4.16.3. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico

- III.4.16.4. Vacíos Totales (V_v)-vs.-% de Cemento Asfáltico

- III.4.16.5. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico

- III.4.16.6. Vacíos Llenados (V_{ll})-vs.-% de Cemento Asfáltico

III.4.17. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto

El contenido óptimo se determinó de acuerdo al procedimiento recomendado por el Instituto del Asfalto Americano (IDA), el cual ha sido adoptado en otros países como en Venezuela. Para esto, se procedió a entrar en la gráfica de *Vacíos Totales (V_v)-vs.-% de Cemento Asfáltico* con un valor del 4% de V_v . El valor obtenido se consideró el contenido óptimo de asfalto; con este valor se entró en las gráficas restantes y se obtuvo las demás propiedades.

III.4.18. Verificación de los Criterios Establecidos en las Especificaciones para el Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico

Luego de haber obtenido los nuevos valores de las propiedades, se contrastaron con los valores exigidos por la norma. Finalmente, se pudo evaluar la factibilidad del uso de la arena industrial en las mezclas.

Uso de la mezcla asfáltica	Estabil. Marshall (en lb.)	Flujo 1/100 Pulg.	% de vacíos de la mezcla	% de vacíos llenados con cemento asfáltico
Rodamiento	1200 min.	8 – 16	3 - 5	75 – 85
Intermedia	1000 min.	8 – 16	3 - 7	70 – 85
Base	900 min.	8 – 16	3 - 8	65 – 85

Figura III.7. Mezclas de Granulometría Densa. Norma COVENIN 2000:1987, Artículo 12-10-16 Tabla a, Pág. 153.

Tamaño Máximo en mm Porcentaje		VMA mínimo, por ciento		
mm	in.	Vacíos de Diseño, por ciento ³		
		3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	3/8	14.0	15.0	16.0
12.5	1/2	13.0	14.0	15.0
19.0	3/4	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

¹ Especificación Normal para Tamaños de Tamices usados en Pruebas, ASTM E 11 (AASHTO M 92)
² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas de 10 por ciento del material.
³ Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Figura III.8. Vacíos en el Agregado Mineral (Requisitos). Fuente: Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente, Asphalt Institute, 1982, Pág. 59.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

IV.1. Composición Granulométrica de los Agregados

IV.1.1. Composición Granulométrica de la Arena Industrial

Tamaño de Partícula (mm)	Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
25,4	1	0,00	0,00	0,00	100,00
19,1	¾	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	3/8	0,00	0,00	0,00	100,00
4,75	Nº 4	7,05	1,41	1,41	98,59
2,36	Nº 8	72,65	14,53	15,94	84,06
0,6	Nº 30	401,25	80,25	96,19	3,81
0,3	Nº 50	17,00	3,40	99,59	0,41
0,15	Nº 100	1,05	0,21	99,80	0,20
0,075	Nº 200	0,35	0,07	99,87	0,13
	Pasa 200	0,65	0,13	100,00	0,00
Peso Total (g)		500,00			

Tabla IV.1.1. Composición Granulométrica de la Arena Industrial.

IV.1.2. Composición Granulométrica de la Arena

Tamaño de Partícula (mm)	Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
25,4	1	0,00	0,00	0,00	100,00
19,1	¾	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	3/8	43,43	2,17	2,17	97,83
4,75	Nº 4	414,97	20,75	22,92	77,08
2,36	Nº 8	377,43	18,87	41,79	58,21
0,6	Nº 30	619,20	30,96	72,75	27,25
0,3	Nº 50	284,67	14,23	86,99	13,02
0,15	Nº 100	191,83	9,59	96,58	3,42
0,075	Nº 200	41,27	2,06	98,64	1,36
	Pasa 200	27,20	1,36	100,00	0,00
Peso Total (g)		2000,00			

Tabla IV.1.2. Composición Granulométrica de la Arena.

IV.1.3. Composición Granulométrica del Arrocillo

Tamaño de Partícula (mm)	Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
25,4	1	0,00	0,00	0,00	100,00
19,1	¾	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	3/8	407,80	20,39	20,39	79,61
4,75	Nº 4	1297,63	64,88	85,27	14,73
2,36	Nº 8	191,43	9,57	94,84	5,16
0,6	Nº 30	47,60	2,38	97,22	2,78
0,3	Nº 50	3,83	0,19	97,42	2,59
0,15	Nº 100	8,70	0,43	97,85	2,15
0,075	Nº 200	22,67	1,13	98,98	1,02
	Pasa 200	20,33	1,02	100,00	0,00
Peso Total (g)		2000,00			

Tabla IV.1.3. Composición Granulométrica del Arrocillo.

IV.1.4. Composición Granulométrica de la Piedra Picada

Tamaño de Partícula (mm)	Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
25,4	1	0,00	0,00	0,00	100,00
19,1	¾	71,60	3,58	3,58	96,42
9,5	3/8	1901,47	95,07	98,65	1,35
4,75	Nº 4	22,50	1,13	99,78	0,22
2,36	Nº 8	0,47	0,02	99,80	0,20
0,6	Nº 30	0,33	0,02	99,82	0,18
0,3	Nº 50	0,17	0,01	99,83	0,17
0,15	Nº 100	0,17	0,01	99,84	0,17
0,075	Nº 200	0,23	0,01	99,85	0,15
	Pasa 200	3,07	0,15	100,00	0,00
Peso Total (g)		2000,00			

Tabla IV.1.4. Composición Granulométrica de la Piedra Picada.

IV.1.5. Composición Granulométrica del Polvillo

Tamaño de Partícula (mm)	Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
25,4	1	0,00	0,00	0,00	100,00
19,1	¾	0,00	0,00	0,00	100,00
9,5	3/8	125,80	6,29	6,29	93,71
4,75	Nº 4	305,23	15,26	21,55	78,45
2,36	Nº 8	485,43	24,27	45,82	54,18
0,6	Nº 30	512,37	25,62	71,44	28,56
0,3	Nº 50	149,33	7,47	78,91	21,09
0,15	Nº 100	212,37	10,62	89,53	10,47
0,075	Nº 200	138,50	6,93	96,45	3,55
	Pasa 200	70,97	3,55	100,00	0,00
Peso Total (g)		2000,00			

Tabla IV.1.5. Composición Granulométrica del Polvillo.

IV.2. Ensayo de Desgaste Los Ángeles

IV.2.1. Composición Granulométrica de la Muestra

Tamiz	Peso Retenido (g)	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante
3"		0,00	0,00	100,00
2½"		0,00	0,00	100,00
2"		0,00	0,00	100,00
1½"		0,00	0,00	100,00
1"		0,00	0,00	100,00
¾"	600,00	2,14	2,14	97,86
½"	19200,00	68,57	70,71	29,29
3/8"	5350,00	19,11	89,82	10,18
¼"	2100,00	7,50	97,32	2,68
Fondo	750,00	2,68	100,00	0,00
Peso Total (g)	28000,00			

Tabla IV.2.1. Composición Granulométrica de la Muestra.

IV.2.2. Resultado de Ensayo de Desgaste Los Ángeles

Método ASTM C 131 "B"	
11 Esferas	500 Revoluciones
Peso Inicial (g)	5000
Peso Final (g)	3281
% de Desgaste	34,38

Tabla IV.2.2. Resultado de Ensayo de Desgaste Los Ángeles.

IV.3. Ensayo de % de Caras Largas y Aplanadas

IV.3.1. Resultado de Ensayo de % de Caras Largas y Aplanadas

Peso Total de las Partículas (g)	5000
Peso de Partículas C>5 (g)	145
% de Partículas C>5	2,9

Tabla IV.3.1. Resultado de Ensayo de % de Caras Largas y Aplanadas.

IV.4. Peso Específico y Absorción de los Agregados Gruesos Ret. N° 8

IV.4.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Ret. N° 8

	Retenido N° 8
Peso Seco	
Tara #	1
Peso de la Tara (g)	75,7
Peso de la Tara + Muestra (g)	589,5
Peso Seco "A" (g)	513,8
Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	1
Peso de la Tara (g)	75,7
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	593,2
Peso Sat. Sup. Seca "B" (g)	517,5
Peso Saturado en el Agua	
Peso en el Agua "C" (g)	353,3
Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(A-C)$	3,20
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B-C)$	3,13
Absorción (%) = $100*(B-A)/A$	0,72

Tabla IV.4.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Ret. N° 8.

IV.4.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Ret. N° 8

	Retenido N° 8
Peso Seco	
Tara #	2
Peso de la Tara (g)	255,5
Peso de la Tara + Muestra (g)	1023,5
Peso Seco "A" (g)	768,0

Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	2
Peso de la Tara (g)	255,5
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	1033,5
Peso Sat. Sup. Seca "B" (g)	778,0

Peso Saturado en el Agua	
Peso en el Agua "C" (g)	485,0

Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(A-C)$	2,71
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B-C)$	2,62
Absorción (%) = $100*(B-A)/A$	1,30

Tabla IV.4.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Ret. N° 8.

IV.4.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Ret. N° 8

	Retenido N° 8
Peso Seco	
Tara #	3
Peso de la Tara (g)	585,9
Peso de la Tara + Muestra (g)	2812,1
Peso Seco "A" (g)	2226,2

Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	3
Peso de la Tara (g)	585,9
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	2837,0
Peso Sat. Sup. Seca "B" (g)	2251,1

Peso Saturado en el Agua	
Peso en el Agua "C" (g)	1421,3

Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(A-C)$	2,77
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B-C)$	2,68
Absorción (%) = $100*(B-A)/A$	1,12

Tabla IV.4.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Ret. N° 8.

IV.4.4. *Peso Específico y Absorción de la Piedra Picada Ret. N° 8*

	Retenido N° 8
Peso Seco	
Tara #	4
Peso de la Tara (g)	490,1
Peso de la Tara + Muestra (g)	3461,1
Peso Seco "A" (g)	2971
Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	4
Peso de la Tara (g)	490,1
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	3504,9
Peso Sat. Sup. Seca "B" (g)	3014,8
Peso Saturado en el Agua	
Peso en el Agua "C" (g)	1852,0
Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(A-C)$	2,66
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B-C)$	2,56
Absorción (%) = $100*(B-A)/A$	1,47

Tabla IV.4.4. Peso Específico y Absorción de la Piedra Picada Ret. N° 8.

IV.4.5. *Peso Específico y Absorción del Polvillo Ret. N° 8*

	Retenido N° 8
Peso Seco	
Tara #	5
Peso de la Tara (g)	142,0
Peso de la Tara + Muestra (g)	901,9
Peso Seco "A" (g)	759,9

Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	5
Peso de la Tara (g)	142,0
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	913,7
Peso Sat. Sup. Seca "B" (g)	771,7

Peso Saturado en el Agua	
Peso en el Agua "C" (g)	481,2

Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(A-C)$	2,73
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B-C)$	2,62
Absorción (%) = $100*(B-A)/A$	1,55

Tabla IV.4.5. Peso Específico y Absorción del Polvillo Ret. N° 8.

IV.5. Peso Específico y Absorción de los Agregados Finos Pasa N° 8-Ret. N° 200

IV.5.1. *Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Pasa N° 8-Ret. N° 200*

Pasa N° 8-Ret. N° 200	
Peso Seco	
Tara #	6
Peso de la Tara (g)	250,7
Peso de la Tara + Muestra (g)	749,7
Peso Seco "A" (g)	499,0
Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	6
Peso de la Tara (g)	250,7
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	750,7
Peso Sat. Sup. Seca "S" (g)	500,0
Peso Saturado en Agua	
Peso del Matraz + Agua "B" (g)	1270,5
Peso Muestra + Matraz + Agua "C" (g)	1614,0
Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(B+A-C)$	3,21
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B+S-C)$	3,19
Absorción (%) = $100*(S-A)/A$	0,20

Tabla IV.5.1. Peso Específico y Absorción de la Arena Industrial Pasa N° 8-Ret. N° 200.

IV.5.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Pasa N° 8-Ret. N° 200

Pasa N° 8-Ret. N° 200	
Peso Seco	
Tara #	7
Peso de la Tara (g)	46,3
Peso de la Tara + Muestra (g)	542,0
Peso Seco "A" (g)	495,7

Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	7
Peso de la Tara (g)	46,3
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	546,3
Peso Sat. Sup. Seca "S" (g)	500,0

Peso Saturado en Agua	
Peso del Matraz + Agua "B" (g)	1270,5
Peso Muestra + Matraz + Agua "C" (g)	1582,5

Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(B+A-C)$	2,70
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B+S-C)$	2,64
Absorción (%) = $100*(S-A)/A$	0,87

Tabla IV.5.2. Peso Específico y Absorción de la Arena Pasa N° 8-Ret. N° 200.

IV.5.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Pasa N° 8-Ret. N° 200

Pasa N° 8-Ret. N° 200	
Peso Seco	
Tara #	8
Peso de la Tara (g)	256,1
Peso de la Tara + Muestra (g)	751,3
Peso Seco "A" (g)	495,2

Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	8
Peso de la Tara (g)	256,1
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	756,1
Peso Sat. Sup. Seca "S" (g)	500,0

Peso Saturado en Agua	
Peso del Matraz + Agua "B" (g)	1270,5
Peso Muestra + Matraz + Agua "C" (g)	1585,8

Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(B+A-C)$	2,75
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B+S-C)$	2,68
Absorción (%) = $100*(S-A)/A$	0,97

Tabla IV.5.3. Peso Específico y Absorción del Arrocillo Pasa N° 8-Ret. N° 200.

IV.5.4. Peso Específico y Absorción del Polvillo Pasa N° 8-Ret. N° 200

Pasa N° 8-Ret. N° 200	
Peso Seco	
Tara #	9
Peso de la Tara (g)	271,6
Peso de la Tara + Muestra (g)	767,1
Peso Seco "A" (g)	495,5

Peso Saturado Superficie Seca	
Tara #	9
Peso de la Tara (g)	271,6
Peso de la Tara + Peso Sat. Sup. Seca (g)	771,6
Peso Sat. Sup. Seca "S" (g)	500,0

Peso Saturado en Agua	
Peso del Matraz + Agua "B" (g)	1270,5
Peso Muestra + Matraz + Agua "C" (g)	1584,3

Peso Específico Aparente, $G_{sa} = A/(B+A-C)$	2,73
Peso Específico Bulk, $G_{sb} = A/(B+S-C)$	2,66
Absorción (%) = $100*(S-A)/A$	0,91

Tabla IV.5.4. Peso Específico y Absorción del Polvillo Pasa N° 8-Ret. N° 200.

IV.6. Peso Específico de los Agregados Pasa 200

	Polvillo	Arena	Arrocillo
N° Picnómetro	355	356	364
Peso Picnómetro (g)	32,610	32,710	52,207
Peso de Muestra (g)	20,000	20,000	20,000
P. Picn.+P. Muestra (g)	52,610	52,710	72,207
P. Picn.+P. M.+Agua (g)	94,920	94,895	94,485
P. Picn.+Agua (g)	82,363	82,404	81,880
Temperatura °c	29	29	30
GwT	0,998	0,998	0,997
Gs	2,68	2,66	2,7

Tabla IV.6. Peso Específico de los Agregados Pasa 200.

IV.7. Peso Específico de los Agregados

IV.7.1. *Peso Específico de la Arena Industrial*

Fracción	Peso Específico		% en el Material
	Bulk (Gsb)	Aparente (Gsa)	
Retenido N° 8	3,13	3,20	16
Pasa 8 – Retenido N° 200	3,19	3,21	84
Pasa 200	0	0	0

Gsb	3,18
Gsa	3,21

Tabla IV.7.1. Peso Específico de la Arena Industrial.

IV.7.2. *Peso Específico de la Arena*

Fracción	Peso Específico		% en el material
	Bulk (Gsb)	Aparente (Gsa)	
Retenido N° 8	2,62	2,71	42
Pasa 8 – Retenido N° 200	2,64	2,70	57
Pasa 200	2,66	2,66	1

Gsb	2,63
Gsa	2,70

Tabla IV.7.2. Peso Específico de la Arena.

IV.7.3. *Peso Específico del Arrocillo*

Fracción	Peso Específico		% en el material
	Bulk (Gsb)	Aparente (Gsa)	
Retenido N° 8	2,68	2,77	95
Pasa 8 – Retenido N° 200	2,68	2,75	4
Pasa 200	2,7	2,7	1

Gsb	2,68
Gsa	2,76

Tabla IV.7.3. Peso Específico del Arrocillo.

IV.7.4. *Peso Específico de la Piedra Picada*

Fracción	Peso Específico		% en el material
	Bulk (Gsb)	Aparente (Gsa)	
Retenido N° 8	2,56	2,66	100
Pasa 8 – Retenido N° 200	0	0	0
Pasa 200	0	0	0

Gsb	2,56
Gsa	2,66

Tabla IV.7.4. Peso Específico de la Piedra Picada.

IV.7.5. *Peso Específico del Polvillo*

Fracción	Peso Específico		% en el material
	Bulk (Gsb)	Aparente (Gsa)	
Retenido N° 8	2,62	2,73	46
Pasa 8 – Retenido N° 200	2,66	2,73	50
Pasa 200	2,68	2,68	4

Gsb	2,64
Gsa	2,72

Tabla IV.7.5. Peso Específico del Polvillo.

IV.8. *Peso Específico de los Agregados Totales Combinados*

Combinación	Gsb Total	Gsa Total
I	2,656	2,741
II	2,644	2,729
III	2,668	2,752

Tabla IV.8. Peso Específico de los Agregados Totales Combinados.

IV.9. Combinación de los Agregados

IV.9.1. 1era. Combinación de los Agregados

Diámetro de Partículas (mm)	Tamiz	Arena	Arrocillo	Piedra P.	Polvillo	Arena Industrial	Combinación	Condición
		0	15	15	65	5		
25,4	1	0,00	15,00	15,00	65,00	5,00	100,00	OK
19,1	¾	0,00	15,00	14,46	65,00	5,00	99,46	OK
9,5	3/8	0,00	11,94	0,20	60,91	5,00	78,06	OK
4,75	Nº 4	0,00	2,21	0,03	50,99	4,93	58,16	OK
2,36	Nº 8	0,00	0,77	0,03	35,21	4,20	40,22	OK
0,6	Nº 30	0,00	0,42	0,03	18,56	0,19	19,20	OK
0,3	Nº 50	0,00	0,39	0,03	13,71	0,02	14,14	OK
0,15	Nº 100	0,00	0,32	0,02	6,81	0,01	7,16	OK
0,075	Nº 200	0,00	0,15	0,02	2,31	0,01	2,49	OK

Tabla IV.9.1. 1era. Combinación de los Agregados.

IV.9.2. 2da. Combinación de los Agregados

Diámetro de Partículas (mm)	Tamiz	Arena	Arrocillo	Piedra P.	Polvillo	Arena Industrial	Combinación	Condición
		10	0	20	65	5		
25,4	1	10,00	0,00	20,00	65,00	5,00	100,00	OK
19,1	¾	10,00	0,00	19,28	65,00	5,00	99,28	OK
9,5	3/8	9,78	0,00	0,27	60,91	5,00	75,96	OK
4,75	Nº 4	7,71	0,00	0,04	50,99	4,93	63,67	OK
2,36	Nº 8	5,82	0,00	0,04	35,21	4,20	45,28	OK
0,6	Nº 30	2,72	0,00	0,04	18,56	0,19	21,51	OK
0,3	Nº 50	1,30	0,00	0,03	13,71	0,02	15,07	OK
0,15	Nº 100	0,34	0,00	0,03	6,81	0,01	7,19	OK
0,075	Nº 200	0,14	0,00	0,03	2,31	0,01	2,48	OK

Tabla IV.9.2. 2da. Combinación de los Agregados.

IV.9.3. 3era. Combinación de los Agregados

Diámetro de Partículas (mm)	Tamiz	Arena	Arrocillo	Piedra P.	Polvillo	Arena Industrial	Combinación	Condición
		0	0	20	70	10		
25,4	1	0,00	0,00	20,00	70,00	10,00	100,00	OK
19,1	¾	0,00	0,00	19,28	70,00	10,00	99,28	OK
9,5	3/8	0,00	0,00	0,27	65,60	10,00	75,87	OK
4,75	Nº 4	0,00	0,00	0,04	54,91	9,86	64,82	OK
2,36	Nº 8	0,00	0,00	0,04	37,92	8,41	46,37	OK
0,6	Nº 30	0,00	0,00	0,04	19,99	0,38	20,41	OK
0,3	Nº 50	0,00	0,00	0,03	14,76	0,04	14,84	OK
0,15	Nº 100	0,00	0,00	0,03	7,33	0,02	7,38	OK
0,075	Nº 200	0,00	0,00	0,03	2,48	0,01	2,53	OK

Tabla IV.9.3. 3era. Combinación de los Agregados.

IV.10. Estimación de Contenido Asfáltico

IV.10.1. Estimación de Contenido Asfáltico. 1era. Combinación

Tipo de Mezcla:	ASFALTO EN CALIENTE MEZCLA TIPO IV COVENIN						
Referencia	1era Combinación						
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
	Asfalto	48	54	60	66	72	78
Porcentaje	Agregado	1.152,00	1.146,00	1.140,00	1.134,00	1.128,00	1.122,00
15%	Arrocillo	172,80	171,90	171,00	170,10	169,20	168,30
15%	Piedra P.	172,80	171,90	171,00	170,10	169,20	168,30
65%	Polvillo	748,80	744,90	741,00	737,10	733,20	729,30
5%	Escoria	57,60	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
100%	Total	1.152,00	1.146,00	1.140,00	1.134,00	1.128,00	1.122,00

Tabla IV.10.1. Estimación de Contenido Asfáltico. 1era. Combinación.

IV.10.2. Estimación de Contenido Asfáltico. 2da. Combinación

Tipo de Mezcla:		ASFALTO EN CALIENTE MEZCLA TIPO IV COVENIN					
Referencia		2da Combinación					
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
	Asfalto	48	54	60	66	72	78
Porcentaje	Agregado	1.152,00	1.146,00	1.140,00	1.134,00	1.128,00	1.122,00
10%	Arena	115,20	114,60	114,00	113,40	112,80	112,20
20%	Piedra P.	230,40	229,20	228,00	226,80	225,60	224,40
65%	Polvillo	748,80	744,90	741,00	737,10	733,20	729,30
5%	Escoria	57,60	57,30	57,00	56,70	56,40	56,10
100%	Total	1.152,00	1.146,00	1.140,00	1.134,00	1.128,00	1.122,00

Tabla IV.10.2. Estimación de Contenido Asfáltico. 2da. Combinación.

IV.10.3. Estimación de Contenido Asfáltico. 3era. Combinación

Tipo de Mezcla:		ASFALTO EN CALIENTE MEZCLA TIPO IV COVENIN					
Referencia		3era Combinación					
		Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6
		4%	4,5%	5%	5,5%	6%	6,5%
Asfalto		48	54	60	66	72	78
Porcentaje	Agregado	1.152,00	1.146,00	1.140,00	1.134,00	1.128,00	1.122,00
10%	Escoria	115,20	114,60	114,00	113,40	112,80	112,20
70%	Polvillo	806,40	802,20	798,00	793,80	789,60	785,40
20%	Piedra P.	230,40	229,20	228,00	226,80	225,60	224,40
100%	Total	1.152,00	1.146,00	1.140,00	1.134,00	1.128,00	1.122,00

Tabla IV.10.3. Estimación de Contenido Asfáltico. 3era. Combinación.

IV.11. Ensayo Rice

IV.11.1 Resultado de Ensayo Rice. 1era. Combinación.

		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
(%) Porcentaje de Cemento Asfáltico		6,0		
A	Peso del Frasco	10680	10682	10682
B	Peso del Frasco + Agua	23357	23359	23359
C	Peso del Frasco + Muestra	12658	12654	12658
D	Peso de la Muestra (C-A)	1978	1972	1976
E	Peso del Frasco + Muestra + Agua, después del Vacío Parcial	24546	24544	24543
F	suma de pesos (D+B)	25335	25331	25335
G	Peso de un Volumen igual a la Muestra (F-E)	789	787	792
H	Peso Máximo Teórico de la Muestra (D/G)	2,507	2,506	2,495
I	Temperatura °c	25	25	25
PROMEDIO		2,503		

Tabla IV.11.1. Resultado de Ensayo Rice. 1era. Combinación.

IV.11.2 Resultado de Ensayo Rice. 2da. Combinación.

		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
(%) Porcentaje de Cemento Asfáltico		5,0		
A	Peso del Frasco	10682	10683	10682
B	Peso del Frasco + Agua	23359	23360	23359
C	Peso del Frasco + Muestra	12677	12666	12679
D	Peso de la Muestra (C-A)	1995	1983	1997
E	Peso del Frasco + Muestra + Agua, después del Vacío Parcial	24540	24556	24552
F	suma de pesos (D+B)	25354	25343	25356
G	Peso de un Volumen igual a la Muestra (F-E)	814	787	804
H	Peso Máximo Teórico de la Muestra (D/G)	2,451	2,520	2,484
I	Temperatura °c	25	25	25
PROMEDIO		2,467		

Tabla IV.11.2. Resultado de Ensayo Rice. 2da. Combinación.

IV.11.3 Resultado de Ensayo Rice. 3era. Combinación.

		Ensayo 1	Ensayo 2	Ensayo 3
(%) Porcentaje de Cemento Asfáltico		6,0		
A	Peso del Frasco	10676	10683	10682
B	Peso del Frasco + Agua	23353	23360	23359
C	Peso del Frasco + Muestra	12670	12680	12641
D	Peso de la Muestra (C-A)	1994	1997	1959
E	Peso del Frasco + Muestra + Agua, después del Vacío Parcial	24549	24558	24527
F	suma de pesos (D+B)	25347	25357	25318
G	Peso de un Volumen igual a la Muestra (F-E)	798	799	791
H	Peso Máximo Teórico de la Muestra (D/G)	2,499	2,499	2,477
I	Temperatura °c	25	25	25
PROMEDIO		2,499		

Tabla IV.11.3. Resultado de Ensayo Rice. 3era. Combinación.

IV.12. Medición de Briquetas

IV.12.1. Medición de Briquetas. 1era. Combinación

Briqueta	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1 - 4%	61,3	61,2	97,5	97,6
	62,3		97,6	
	60,0		97,7	
2 - 4%	59,4	60,1	98,0	98,1
	60,4		98,1	
	60,5		98,3	
3 - 4%	60,4	60,2	97,9	98,0
	60,5		98,0	
	59,8		98,1	
1 - 4,5%	59,0	59,6	97,7	97,9
	60,0		97,9	
	59,9		98,1	
2 - 4,5%	59,3	59,2	98,0	98,2
	59,4		98,3	
	59,0		98,2	
3 - 4,5%	60,9	60,7	98,3	98,2
	60,9		98,2	
	60,2		98,2	
1 - 5%	61,0	60,6	98,0	98,1
	60,4		98,0	
	60,5		98,2	
2 - 5%	59,1	59,4	97,9	98,0
	59,4		97,9	
	59,6		98,2	
3 - 5%	59,9	59,5	98,0	98,3
	59,6		98,3	
	59,0		98,5	

Tabla IV.12.1.1. Medición de Briquetas. 1era. Combinación. Parte 1.

Briqueta	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1 - 5,5%	60,1	60,5	97,7	98,1
	60,5		98,5	
	60,9		98,2	
2 - 5,5%	60,1	60,0	98,3	98,4
	59,6		98,4	
	60,3		98,4	
3 - 5,5%	59,1	59,5	98,5	98,5
	60,0		98,5	
	59,3		98,4	
1 - 6%	58,4	59,1	98,1	98,2
	58,8		98,3	
	60,0		98,2	
2 - 6%	59,8	59,0	98,0	98,1
	58,7		98,4	
	58,5		98,0	
3 - 6%	59,1	59,5	97,8	97,9
	59,3		98,0	
	60,0		98,0	
1 - 6,5%	59,4	59,5	97,9	98,1
	60,0		98,4	
	59,2		98,0	
2 - 6,5%	59,0	59,2	97,8	97,9
	60,0		98,0	
	58,6		98,0	
3 - 6,5%	59,4	60,2	97,7	97,8
	60,5		97,8	
	60,7		97,9	

Tabla IV.12.1.2. Medición de Briquetas. 1era. Combinación Parte 2.

IV.12.2. Medición de Briquetas. 2da. Combinación

Briqueta	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1 – 4%	61,0	61,4	98,2	98,2
	61,7		98,0	
	61,4		98,3	
2 – 4%	61,6	61,9	98,2	98,3
	61,7		98,3	
	62,3		98,4	
3 – 4%	61,3	61,5	98,3	98,3
	61,3		98,3	
	62,0		98,4	
1 – 4,5%	60,7	60,7	98,1	98,2
	60,3		98,3	
	61,1		98,2	
2 – 4,5%	62,0	61,8	98,4	98,4
	61,6		98,4	
	61,8		98,4	
3 – 4,5%	60,6	61,0	98,3	98,2
	61,0		98,2	
	61,5		98,2	
1 – 5%	61,4	61,1	98,0	98,0
	60,6		98,0	
	61,3		98,0	
2 – 5%	60,0	60,4	98,0	98,0
	60,7		98,0	
	60,6		98,1	
3 – 5%	59,0	59,1	97,8	98,2
	59,1		98,4	
	59,3		98,3	

Tabla IV.12.2.1. Medición de Briquetas. 2da. Combinación. Parte 1.

Briqueta	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1 – 5,5%	60,4	50,4	98,1	98,2
	60,7		98,4	
	60,2		98,0	
2 – 5,5%	60,0	59,7	98,0	98,2
	59,8		98,4	
	59,3		98,2	
3 – 5,5%	59,1	59,4	98,0	98,0
	59,0		98,0	
	60,0		98,0	
1 – 6%	61,0	50,6	98,4	98,4
	61,0		98,4	
	59,7		98,3	
2 – 6%	59,0	58,7	98,0	97,9
	58,4		97,8	
	58,7		97,8	
3 – 6%	58,4	58,5	98,0	98,1
	58,5		98,2	
	58,7		98,1	
1 – 6,5%	58,0	58,0	98,0	98,0
	58,1		98,1	
	57,9		98,0	
2 – 6,5%	58,0	59,1	98,0	97,9
	59,3		97,7	
	60,0		98,1	
3 – 6,5%	58,0	58,5	98,0	98,0
	59,0		98,0	
	58,6		98,1	

Tabla IV.12.2.2. Medición de Briquetas. 2da. Combinación. Parte 2.

IV.12.3. Medición de Briquetas. 3era. Combinación

Briqueta	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1 - 4%	60,9	61,0	98,3	98,0
	61,4		97,9	
	60,7		97,9	
2 - 4%	61,8	62,2	98,1	98,3
	62,0		98,4	
	62,7		98,3	
3 - 4%	61,2	60,6	98,2	98,2
	60,6		98,1	
	59,9		98,3	
1 - 4,5%	63,5	62,9	98,0	98,1
	61,6		98,1	
	63,6		98,1	
2 - 4,5%	61,7	61,7	98,6	98,4
	61,8		98,3	
	61,5		98,3	
3 - 4,5%	65,0	64,0	98,3	98,4
	63,3		98,5	
	63,6		98,3	
1 - 5%	60,5	60,2	98,2	98,2
	60,0		98,4	
	60,0		98,1	
2 - 5%	61,3	60,9	98,4	98,4
	61,0		98,4	
	60,5		98,4	
3 - 5%	60,1	60,2	98,4	98,2
	60,4		98,0	
	60,2		98,1	

Tabla IV.12.3.1. Medición de Briquetas. 3era. Combinación. Parte 1.

Briqueta	Altura (mm)	Altura Promedio (mm)	Diámetro (mm)	Diámetro Promedio (mm)
1 - 5,5%	59,1	59,3	98,3	98,3
	59,5		98,3	
	59,3		98,3	
2 - 5,5%	60,3	60,6	98,1	98,3
	60,0		98,4	
	61,4		98,5	
3 - 5,5%	58,0	58,0	98,3	98,1
	58,1		98,1	
	58,0		98,0	
1 - 6%	58,4	58,3	98,1	97,9
	58,2		97,8	
	58,3		97,8	
2 - 6%	58,9	58,8	98,0	98,2
	58,7		98,2	
	58,7		98,3	
3 - 6%	58,4	58,4	98,0	98,0
	58,3		98,0	
	58,6		98,1	
1 - 6,5%	58,5	58,6	98,1	98,2
	58,5		98,2	
	58,7		98,2	
2 - 6,5%	58,9	58,7	97,7	97,9
	58,2		98,0	
	59,0		98,0	
3 - 6,5%	58,0	58,0	98,0	98,2
	58,1		98,4	
	58,0		98,2	

Tabla IV.12.3.2. Medición de Briquetas. 3era. Combinación. Parte 2.

IV.13. Propiedades Marshall

IV.13.1. Propiedades Marshall. 1era. Combinación

P.E. BULK PROMEDIO DE LOS AGREGADOS (Gsb): 2656 Kg./m ³					MEZCLA: TIPO IV COVENIN					GOLPES POR CARA: 75			
TRÁFICO: ALTO		MEZCLA TAMAÑO NOMINAL MÁX.: ¾ Pulg.			P.E. DEL CEMENTO ASFALTICO: 1027 Kg./m ³			TEMP. (°C) 130					
% C.A	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO AIRE DESPUÉS DE SUMERGIDO	VOLUMEN	DENSIDAD		VACIOS DE LA MEZCLA			ESTABILIDAD			FLUJO
					BRIQUETA (Gmb)	MAXIMA - RICE- (Gmm)	TOTALES (Vv)	V.A.M	LLENADOS (VII)	MEDIDA - lb-	FACTOR	VALOR CORREGIDO	
	g	g	g	Cm ³	Kg./m ³	Kg./m ³	%	%	%			(lb)	1/100"
4,0	1172,1	671,2	1175,0	503,8	2327	2582	9,64	16,06	39,93	933	1,04	971	11
	1192,6	684,4	1194,6	510,2	2338					1452	1,00	1452	10
	1176,5	675,3	1179,2	503,9	2335					830	1,04	863	9
										2333	-	-	1095
4,5	1194,6	694,3	1196,7	502,4	2378	2562	7,78	15,44	49,60	1971	1,04	2049	11
	1188,3	685,1	1189,8	504,7	2354					1815	1,04	1888	10
	1188,6	685,3	1190,0	504,7	2355					1504	1,04	1564	9
										2362	-	-	1834
5,0	1192,3	689,9	1194,0	504,1	2365	2542	6,82	15,67	56,45	1504	1,04	1564	10
	1185,1	687,4	1187,1	499,7	2372					1815	1,04	1888	9
	1178,5	685,1	1180,1	495,0	2381					2230	1,09	2431	11
										2368	-	-	1961
												Gse	2756

Tabla IV.13.1.1. Propiedades Marshall. 1era. Combinación. Parte 1.

P.E. BULK PROMEDIO DE LOS AGREGADOS (Gsb): 2656 Kg./m ³					MEZCLA: TIPO IV COVENIN					GOLPES POR CARA: 75			
TRÁFICO: ALTO		MEZCLA TAMAÑO NOMINAL MÁX.: ¾			Pulg.		P.E. DEL CEMENTO ASFALTICO: 1027 Kg./m ³			TEMP. (°C) 130			
% C.A	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO AIRE DESPUÉS DE SUMERGIDO	VOLUMEN	DENSIDAD		VACIOS DE LA MEZCLA			ESTABILIDAD			FLUJO
					BRIQUETA (Gmb)	MAXIMA -RICE- (Gmm)	TOTALES (Vv)	V.A.M	LLENADOS (VII)	MEDIDA - lb-	FACTOR	VALOR CORREGIDO	
	g	g	g	cm ³	Kg./m ³	Kg./m ³	%	%	%			(lb)	1/100"
5,5	1187,8	689,5	1188,6	499,1	2380	2522	6,08	16,09	62,22	2385	1,04	2481	11
	1178,6	680,2	1179,9	499,7	2359					1556	1,04	1618	9
	1181,3	684,2	1183,0	498,8	2368					1400	1,04	1456	9
					2369					-	-	1852	10
6,0	1183,6	689,6	1184,3	494,7	2393	2503	4,15	15,47	73,18	1711	1,09	1865	10
	1173,2	685,2	1174,0	488,8	2400					2022	1,09	2205	12
	1186,7	694,3	1187,8	493,5	2405					1815	1,09	1978	12
					2399					-	-	2016	11
6,5	1179,7	683,8	1180,9	497,1	2373	2484	3,94	16,38	75,92	1141	1,04	1187	14
	1174,8	686,2	1175,4	489,2	2401					1296	1,09	1413	14
	1182,9	687,5	1183,8	496,3	2383					1245	1,04	1294	14
					2386					-	-	1298	14
												Gse	2756

Tabla IV.13.1.2. Propiedades Marshall. 1era. Combinación. Parte 2.

IV.13.2. Propiedades Marshall. 2da. Combinación

P.E. BULK PROMEDIO DE LOS AGREGADOS (Gsb): 2644 Kg./m ³					MEZCLA: TIPO IV COVENIN					GOLPES POR CARA: 75			
TRÁFICO: ALTO		MEZCLA TAMAÑO NOMINAL MÁX.: ¾ Pulg.			P.E. DEL CEMENTO ASFALTICO: 1027 Kg./m ³			TEMP. (°C) 130					
% C.A	PESO AIRE g	PESO SATURADO g	PESO AIRE DESPUÉS DE SUMERGIDO g	VOLUMEN Cm ³	DENSIDAD		VACIOS DE LA MEZCLA			ESTABILIDAD			FLUJO 1/100"
					BRIQUETA (Gmb) Kg./m ³	MAXIMA - RICE- (Gmm) Kg./m ³	TOTALES (Vv) %	V.A.M %	LLENADOS (VII) %	MEDIDA - lb-	FACTOR	VALOR CORREGIDO (lb)	
4,0	1191,9	678,8	1192,5	513,7	2320	2504	7,62	16,76	54,57	1763	1,00	1763	10
	1189,9	677,0	1191,4	514,4	2313					1089	1,00	1089	11
	1183,4	672,1	1185,2	513,1	2306					882	1,00	882	12
										2313	-	-	1245
4,5	1193,7	684,5	1194,6	510,1	2340	2485	6,37	16,70	61,88	1971	1,00	1971	11
	1189,6	677,8	1190,7	512,9	2319					1089	1,00	1089	12
	1188,0	677,4	1189,1	511,7	2322					1659	1,00	1659	12
										2327	-	-	1573
5,0	1183,1	679,9	1184,1	504,2	2346	2467	4,97	16,52	69,92	1452	1,04	1510	10
	1180,6	678,5	1181,7	503,2	2346					1400	1,04	1456	12
	1177,5	675,1	1178,2	503,1	2340					1919	1,04	1996	12
										2344	-	-	1654
												Gse	2664

Tabla IV.13.2.1. Propiedades Marshall. 2da. Combinación. Parte 1.

P.E. BULK PROMEDIO DE LOS AGREGADOS (Gsb): 2644 Kg./m ³					MEZCLA: TIPO IV COVENIN					GOLPES POR CARA: 75			
TRÁFICO: ALTO		MEZCLA TAMAÑO NOMINAL MÁX.: ¾ Pulg.			P.E. DEL CEMENTO ASFALTICO: 1027 Kg./m ³					TEMP. (°C) 130			
% C.A	PESO AIRE g	PESO SATURADO g	PESO AIRE DESPUÉS DE SUMERGIDO g	VOLUMEN cm ³	DENSIDAD		VACIOS DE LA MEZCLA			ESTABILIDAD			FLUJO 1/100"
					BRIQUETA (Gmb) Kg./m ³	MAXIMA - RICE- (Gmm) Kg./m ³	TOTALES (Vv) %	V.A.M %	LLENADOS (VII) %	MEDIDA - lb-	FACTOR	VALOR CORREGIDO (lb)	
5,5	1189,2	682,1	1189,9	507,8	2342	2449	4,22	16,92	75,07	1556	1,04	1618	14
	1173,0	675,7	1174,4	498,7	2352					1348	1,04	1402	12
	1170,3	672,1	1171,6	499,5	2343					1245	1,04	1294	14
										2346	-	-	1438
6,0	1183,1	678,2	1183,5	505,3	2341	2431	3,82	17,62	78,30	1245	1,04	1294	12
	1182,3	677,2	1182,8	505,6	2338					1763	1,09	1922	14
	1180,4	675,5	1181,1	505,6	2335					1504	1,09	1639	12
										2338	-	-	1619
6,5	1165,4	664,8	1166,2	501,4	2324	2414	3,20	18,13	82,33	1193	1,09	1300	11
	1180,1	676,5	1180,8	504,3	2340					1711	1,09	1865	14
	1173,6	674,0	1174,6	500,6	2344					1452	1,09	1583	14
										2336	-	-	1583
												Gse	2664

Tabla IV.13.2.2. Propiedades Marshall. 2da. Combinación. Parte 2.

IV.13.3. Propiedades Marshall. 3era. Combinación

P.E. BULK PROMEDIO DE LOS AGREGADOS (Gsb):		2668	Kg./m ³	MEZCLA: TIPO IV COVENIN			GOLPES POR CARA: 75						
TRÁFICO:	ALTO	MEZCLA TAMAÑO NOMINAL MÁX.:		¾	Pulg.	P.E. DEL CEMENTO ASFALTICO:		1027	Kg./m ³	TEMP. (°C)	130		
% C.A	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO AIRE DESPUÉS DE SUMERGIDO	VOLUMEN Cm ³	DENSIDAD		VACIOS DE LA MEZCLA			ESTABILIDAD			FLUJO 1/100"
	g	g	g		BRIQUETA (Gmb) Kg./m ³	MAXIMA - RICE- (Gmm) Kg./m ³	TOTALES (Vv) %	V.A.M %	LLENADOS (VII) %	MEDIDA - lb-	FACTOR	VALOR CORREGIDO (lb)	
4,0	1168,3	667,5	1170,5	503,0	2323	2578	9,96	16,49	39,59	1919	1,04	1996	10
	1183,1	677,1	1187,3	510,2	2319					1400	1,00	1400	11
	1199,6	690,9	1201,0	510,1	2352					1919	1,00	1919	11
					2321							1698	11
4,5	1184,4	677,0	1186,6	509,6	2324	2557	9,05	16,74	45,95	1608	1,00	1608	11
	1178,6	673,0	1180,2	507,2	2324					2126	1,04	2211	10
	1179,0	675,0	1180,9	505,9	2331					1089	0,96	1045	10
					2326							1909	11
5,0	1184,0	688,6	1185,3	496,7	2384	2538	6,59	15,59	57,74	2230	1,04	2319	9
	1187,7	688,9	1188,8	499,9	2376					1815	1,04	1888	12
	1177,3	678,4	1179,0	500,6	2352					1815	1,04	1888	14
					2370							2031	12
											Gse	2751	

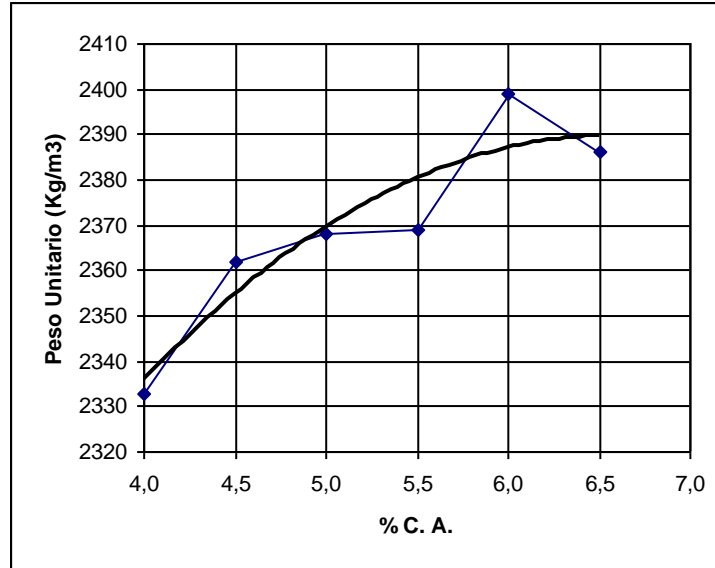
Tabla IV.13.3.1. Propiedades Marshall. 3era. Combinación. Parte 1.

P.E. BULK PROMEDIO DE LOS AGREGADOS (Gsb): 2668 Kg./m ³					MEZCLA: TIPO IV COVENIN					GOLPES POR CARA: 75			
TRÁFICO: ALTO		MEZCLA TAMAÑO NOMINAL MÁX.: ¾ Pulg.			P.E. DEL CEMENTO ASFALTICO: 1027 Kg./m ³					TEMP. (°C) 130			
% C.A	PESO AIRE	PESO SATURADO	PESO AIRE DESPUÉS DE SUMERGIDO	VOLUMEN	DENSIDAD		VACIOS DE LA MEZCLA			ESTABILIDAD			FLUJO
	g	g	g	cm ³	BRIQUETA (Gmb) Kg./m ³	MAXIMA - RICE- (Gmm) Kg./m ³	TOTALES (Vv) %	V.A.M %	LLENADOS (VII) %	MEDIDA - lb-	FACTOR	VALOR CORREGIDO (lb)	
5,5	1170,9	681,4	1171,3	489,9	2390	2518	4,51	14,83	69,58	2074	1,09	2261	10
	1184,0	693,5	1184,5	491,0	2411					2178	1,09	2374	11
	1173,8	687,6	1174,2	486,6	2412					2230	1,09	2431	12
					2405								2355
6,0	1185,8	697,5	1186,0	488,5	2427	2499	3,09	14,67	78,96	2489	1,09	2713	14
	1180,4	690,0	1180,8	490,8	2405					1971	1,09	2148	14
	1198,8	706,3	1199,0	492,7	2433					2489	1,09	2713	14
					2422								2525
6,5	1190,4	698,2	1190,9	492,7	2416	2480	2,58	15,33	83,17	1971	1,09	2148	14
	1183,9	693,8	1184,3	490,5	2414					1919	1,09	2091	14
	1188,5	697,5	1188,9	491,4	2419					1971	1,09	2148	14
					2416								2129
												Gse	2751

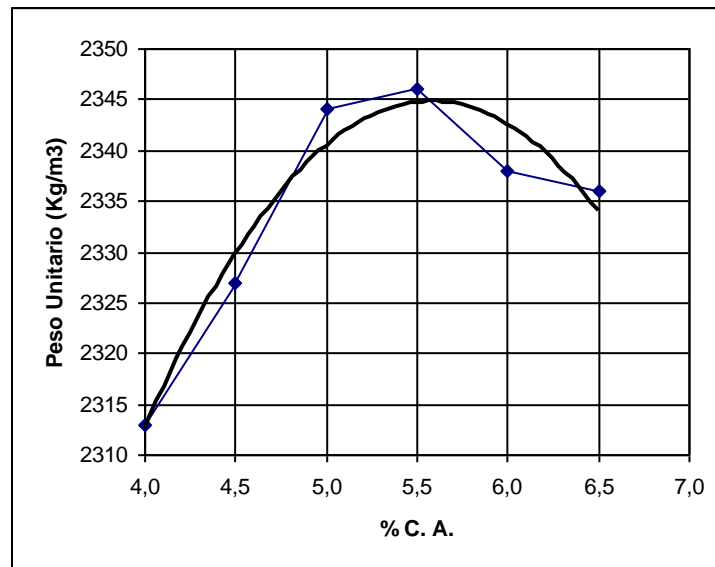
Tabla IV.13.3.2. Propiedades Marshall. 3era. Combinación. Parte 2.

IV.14. Representación Gráfica de las Propiedades Marshall

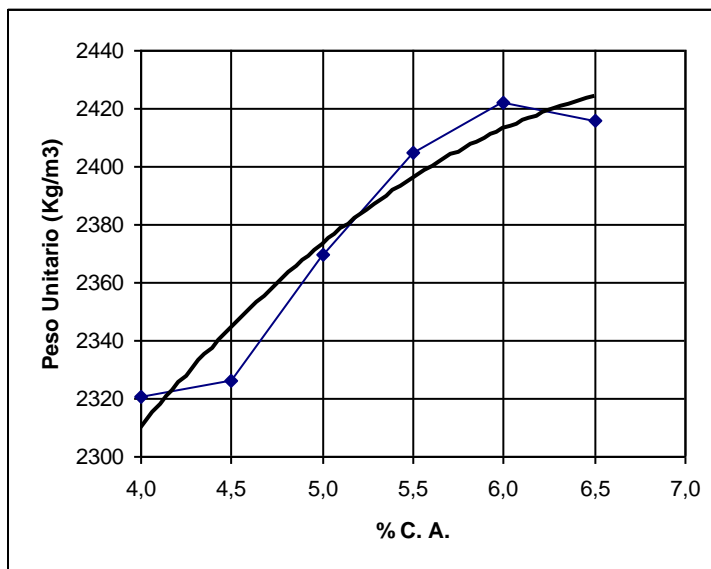
IV.14.1. *Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico*



Gráfica IV.14.1.1. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

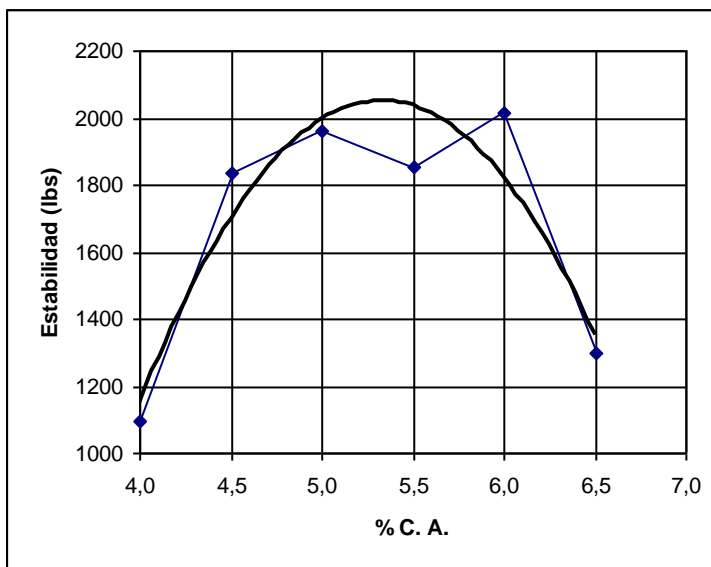


Gráfica IV.14.1.2. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

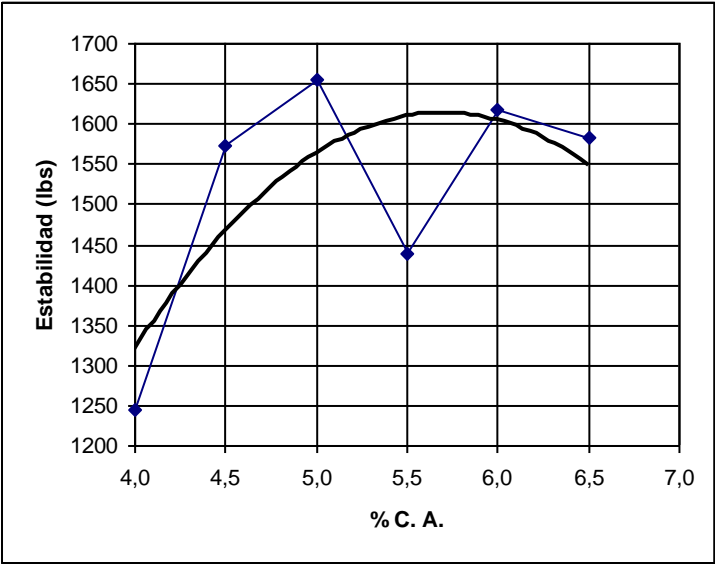


Gráfica IV.14.1.3. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

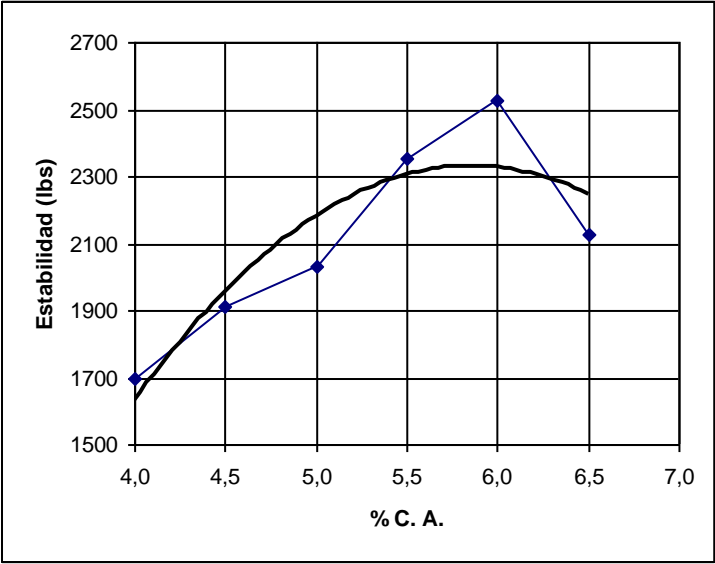
IV.14.2. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV. 14.2.1. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

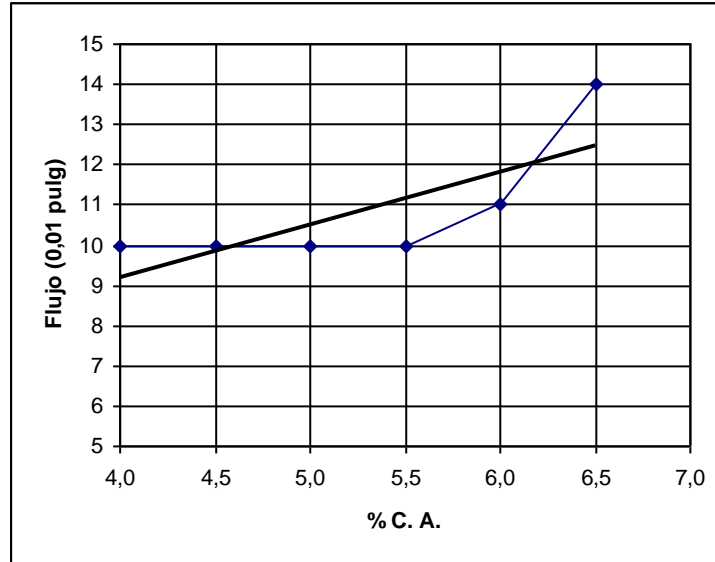


Gráfica IV. 14.2.2. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

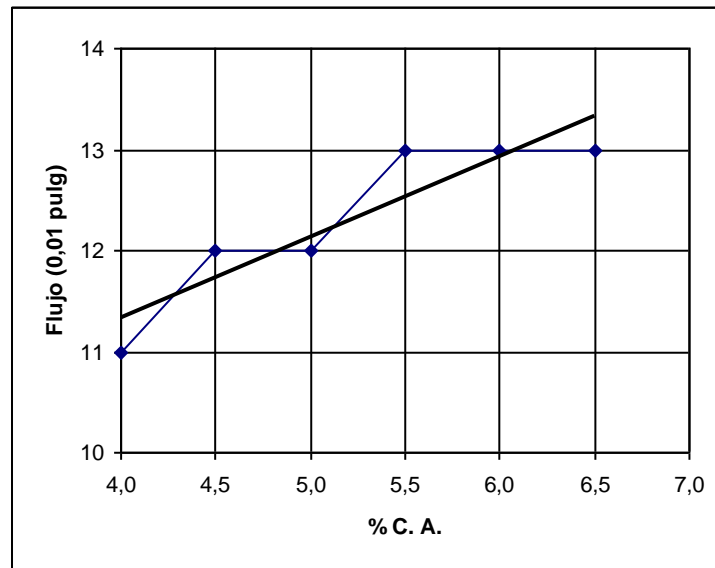


Gráfica IV. 14.2.3. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

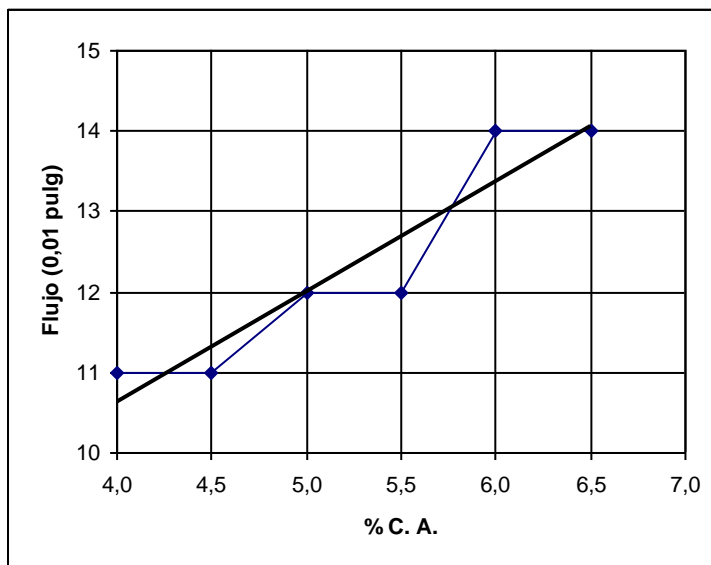
IV.14.3. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.14.3.1. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

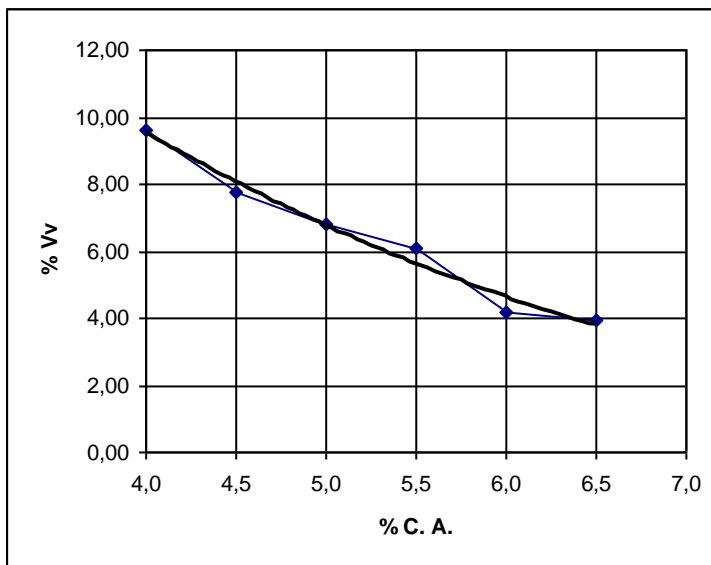


Gráfica IV.14.3.2. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

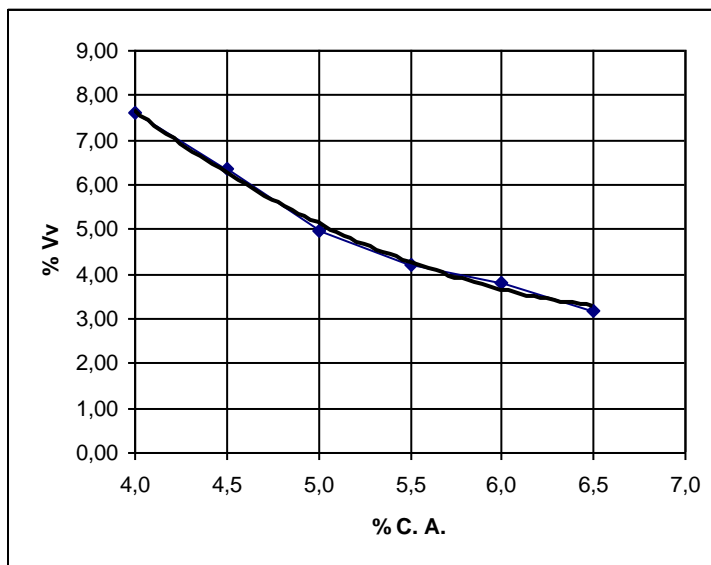


Gráfica IV.14.3.3. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

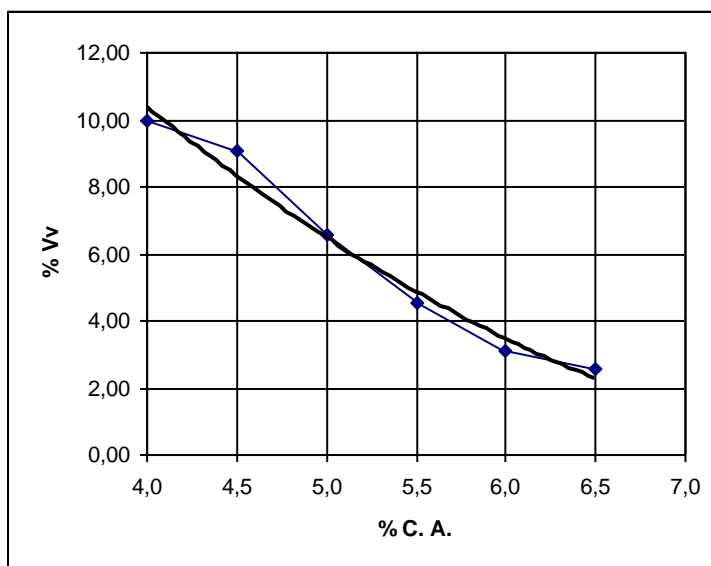
IV.14.4. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.14.4.1. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

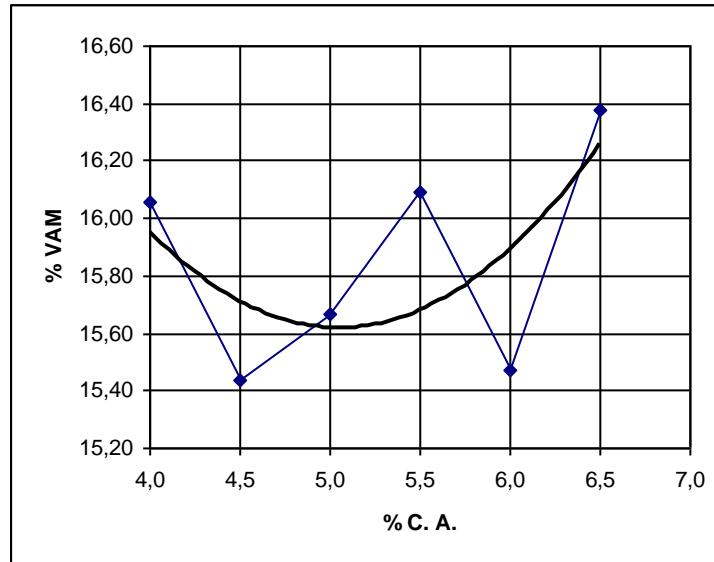


Gráfica IV.14.4.2. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

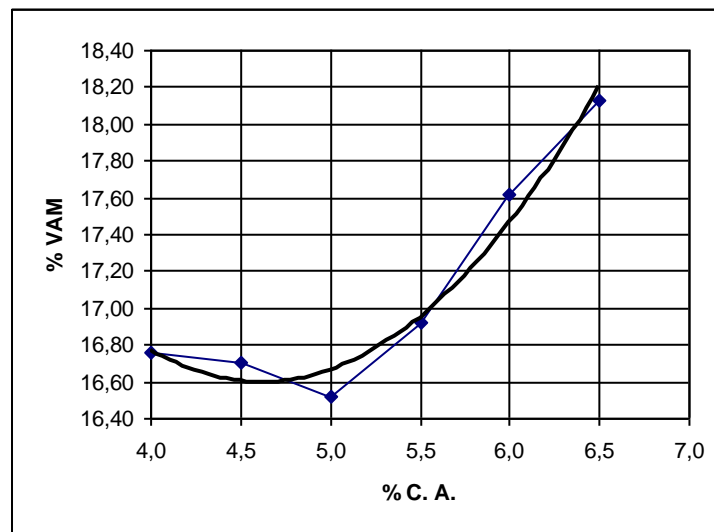


Gráfica IV.14.4.3. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

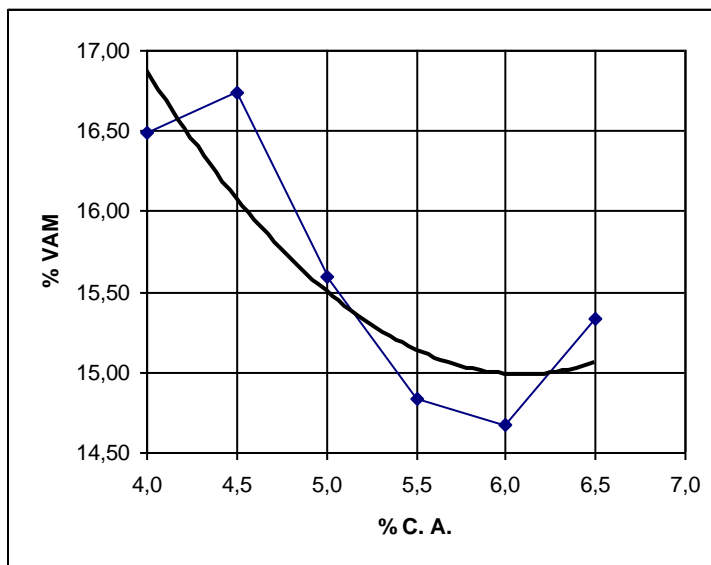
IV.14.5. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.14.5.1. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

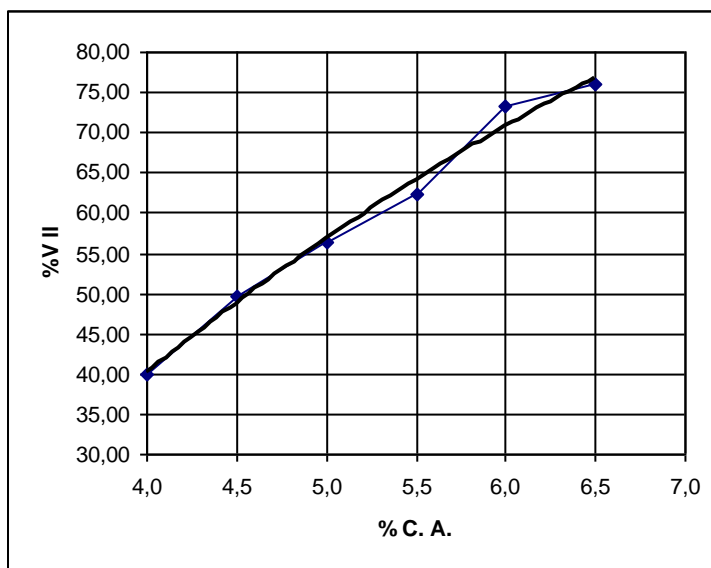


Gráfica IV.14.5.2. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

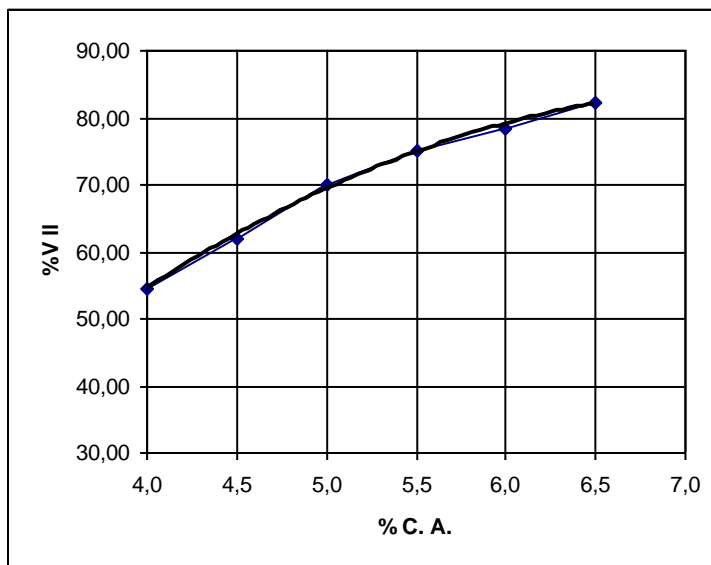


Gráfica IV.14.5.3. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

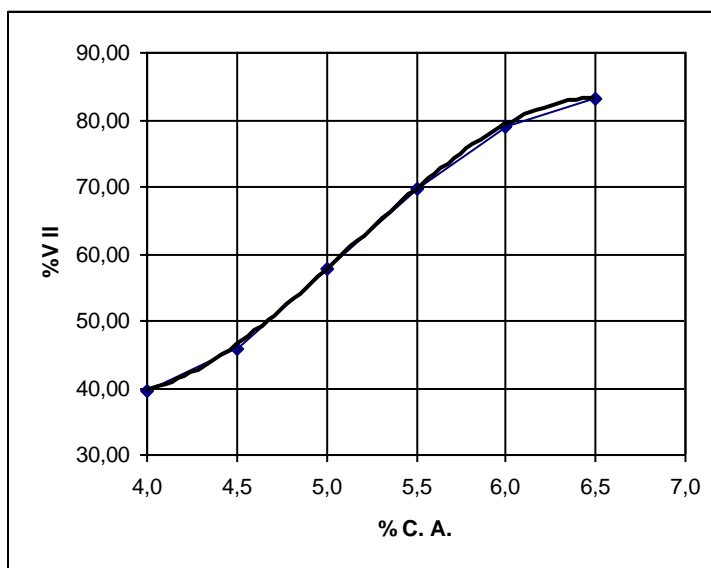
IV.14.6. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.14.6.1. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.



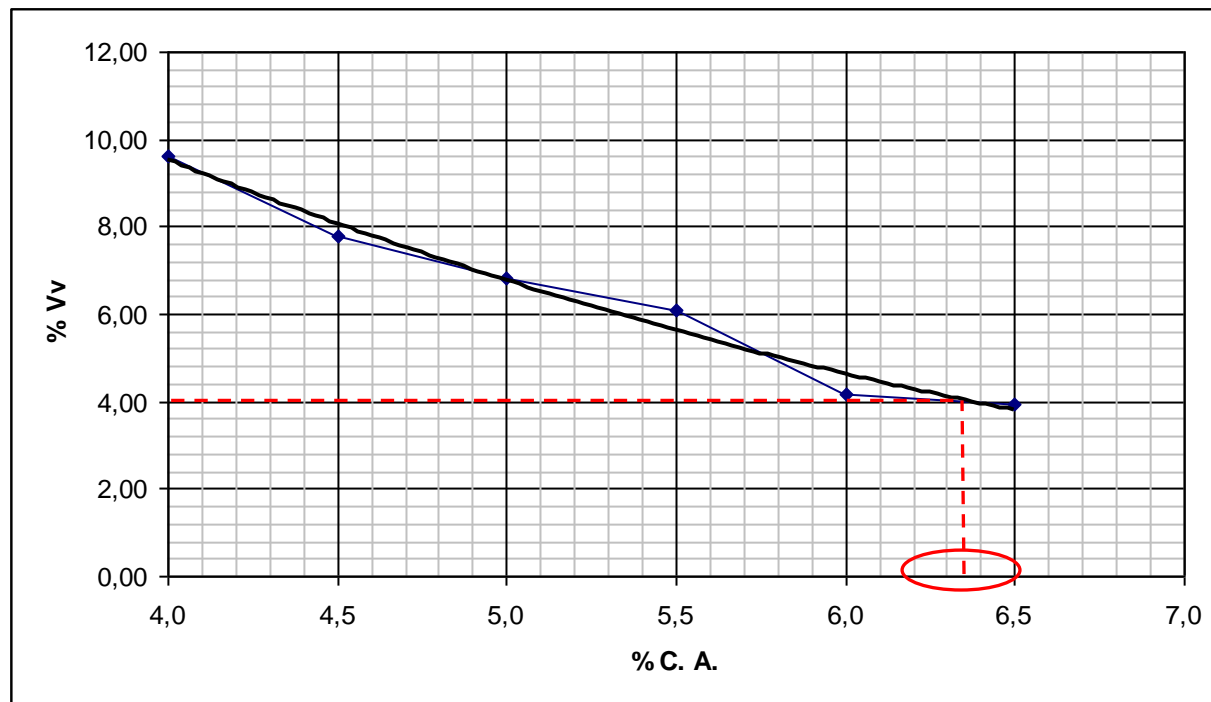
Gráfica IV.14.6.2. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.



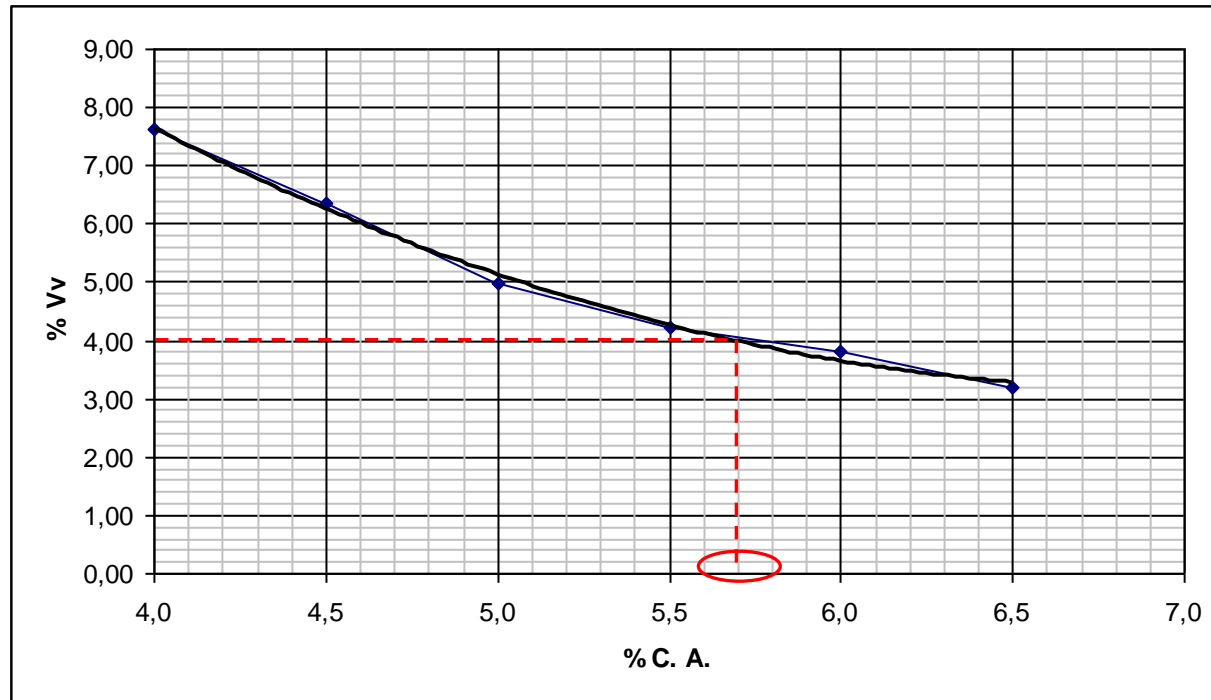
Gráfica IV.14.6.3. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

IV.15. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto

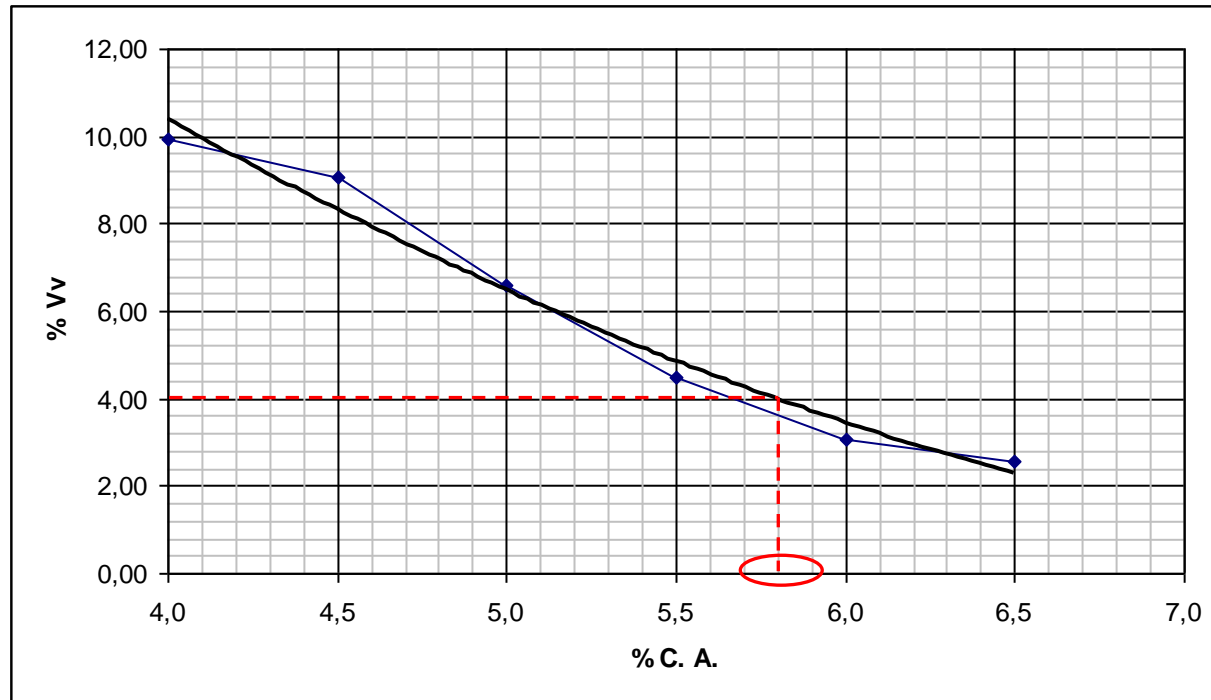
IV.15.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.15.1.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

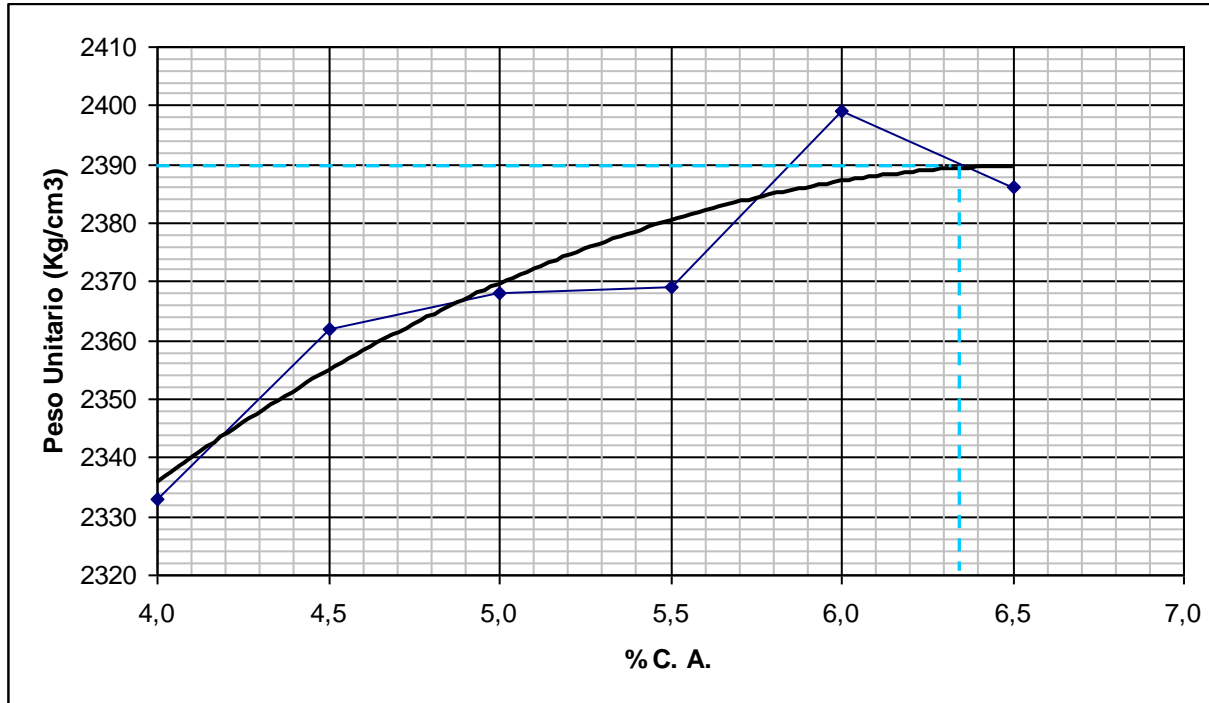


Gráfica IV.15.1.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

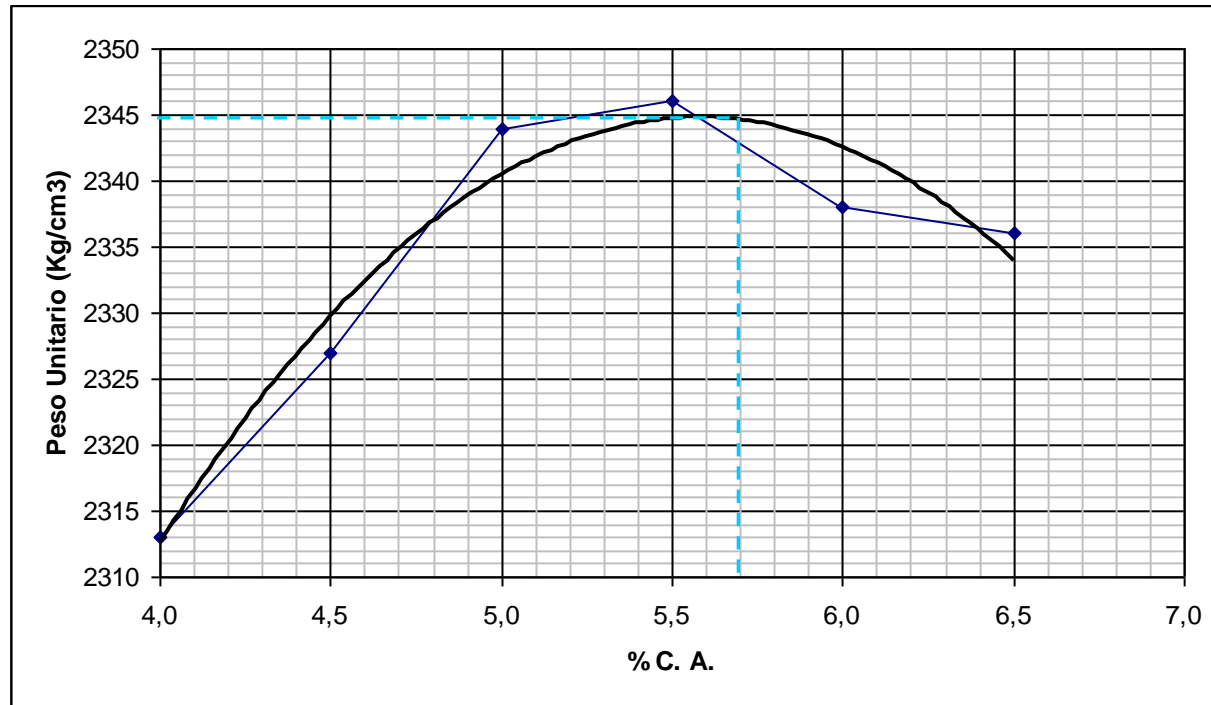


Gráfica IV.15.1.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

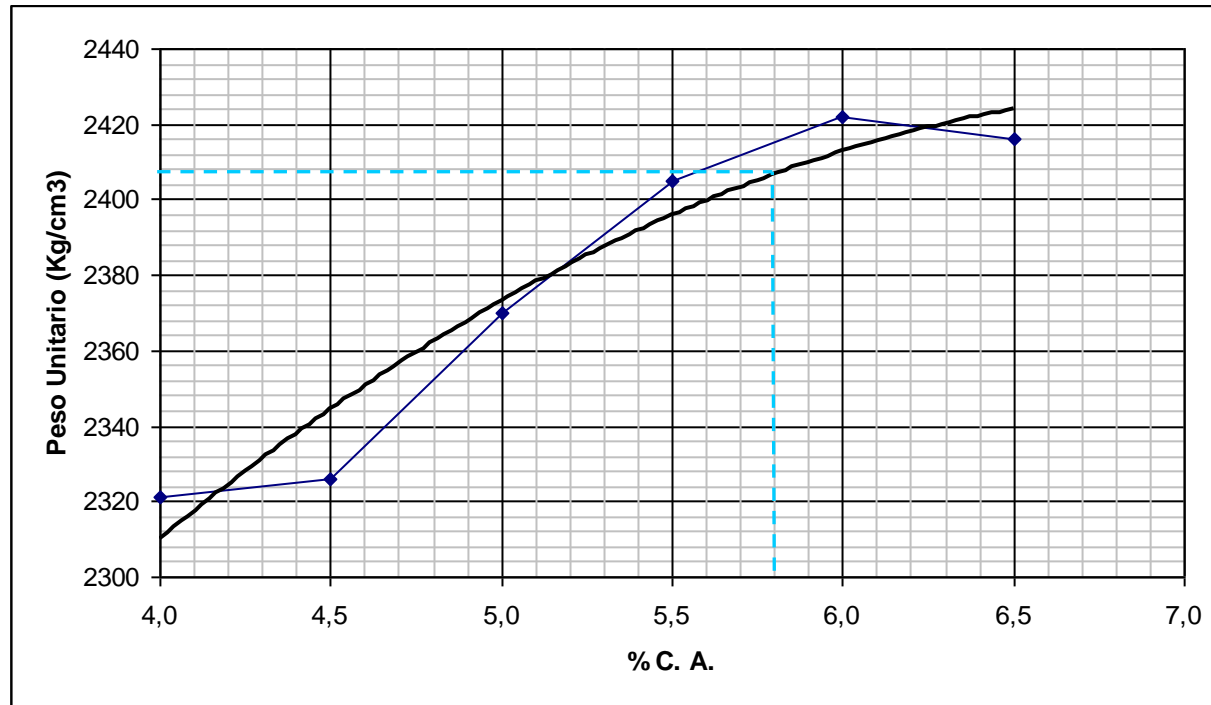
IV.15.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.15.2.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

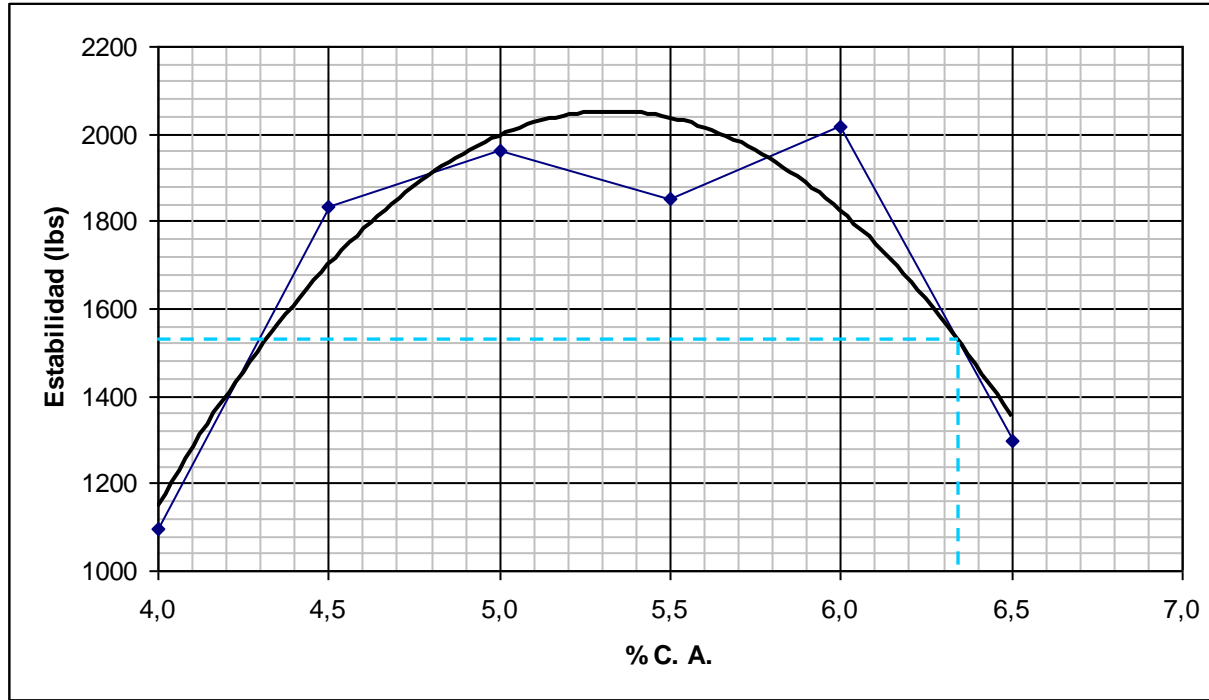


Gráfica IV.15.2.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

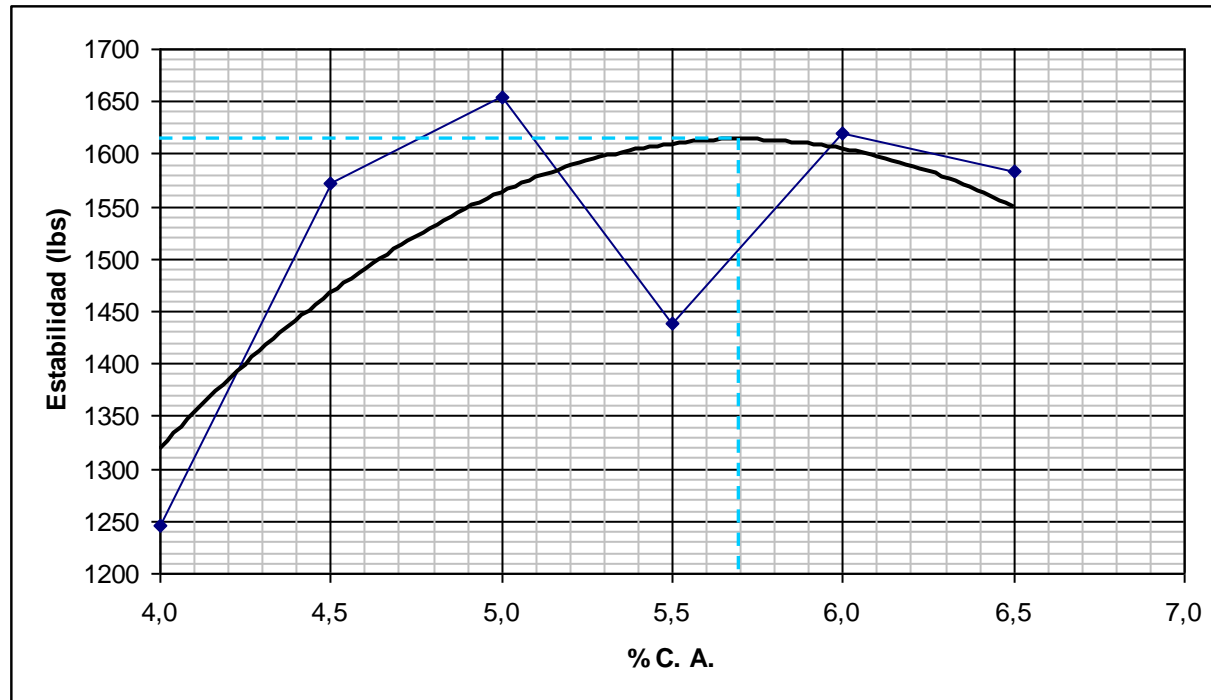


Gráfica IV.15.2.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

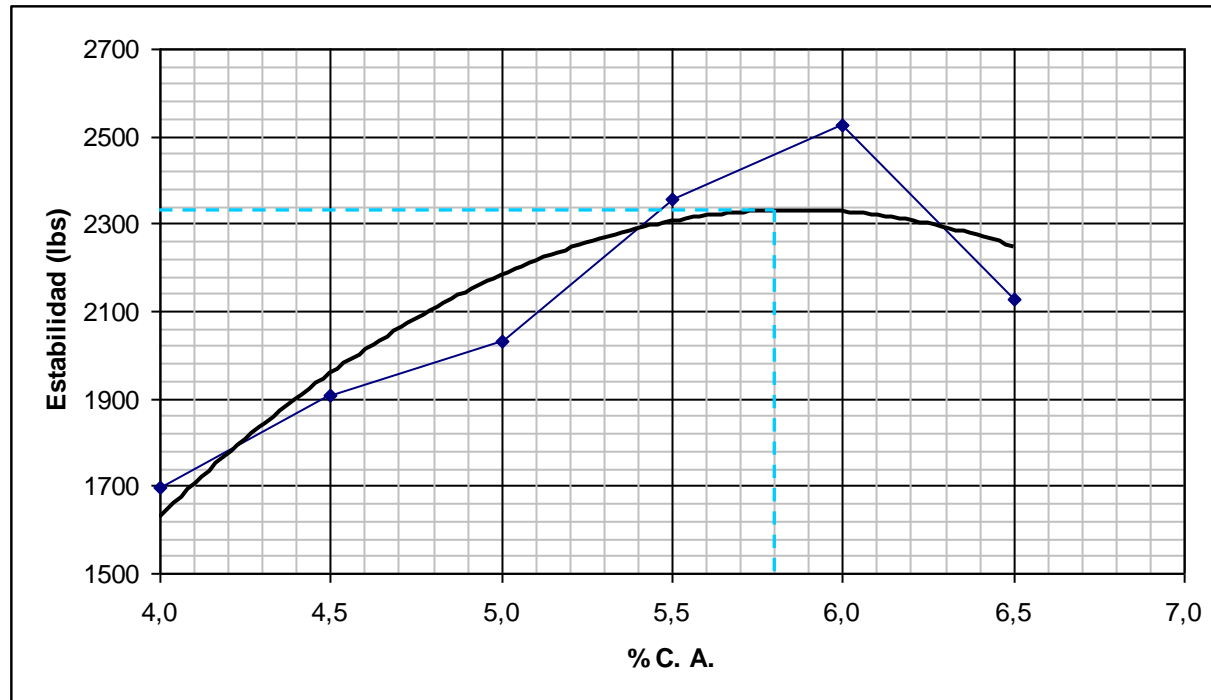
IV.15.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV. 15.3.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

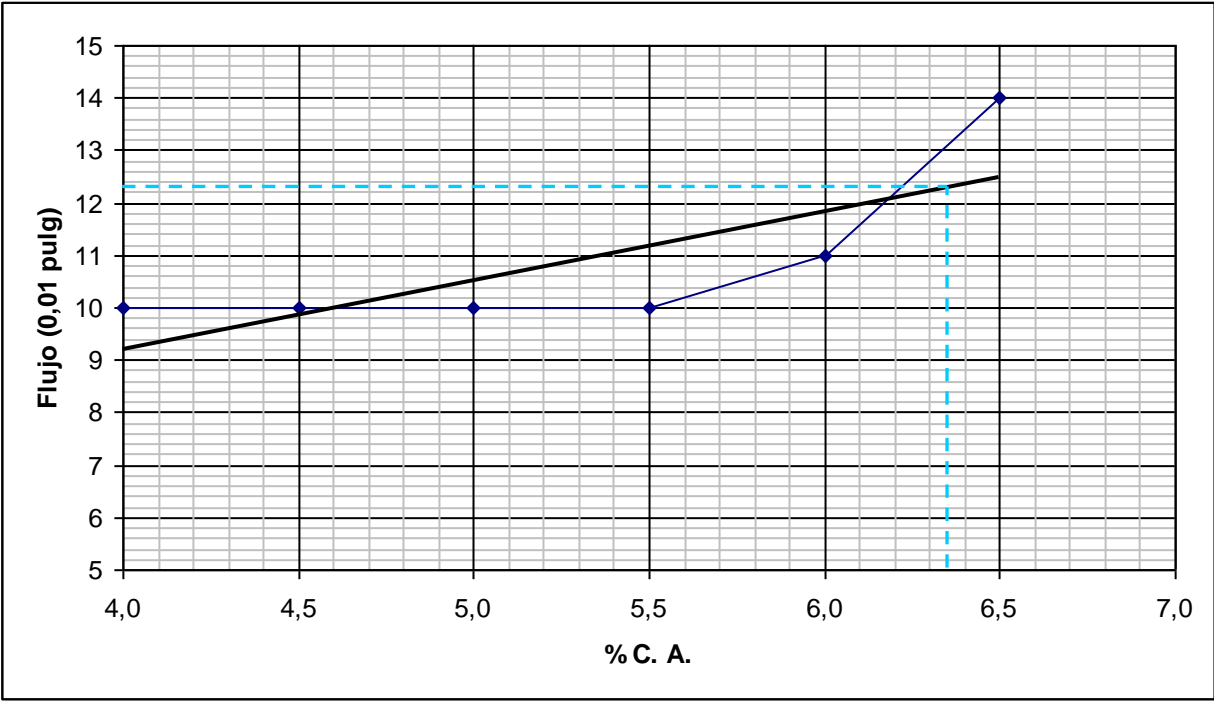


Gráfica IV. 15.3.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

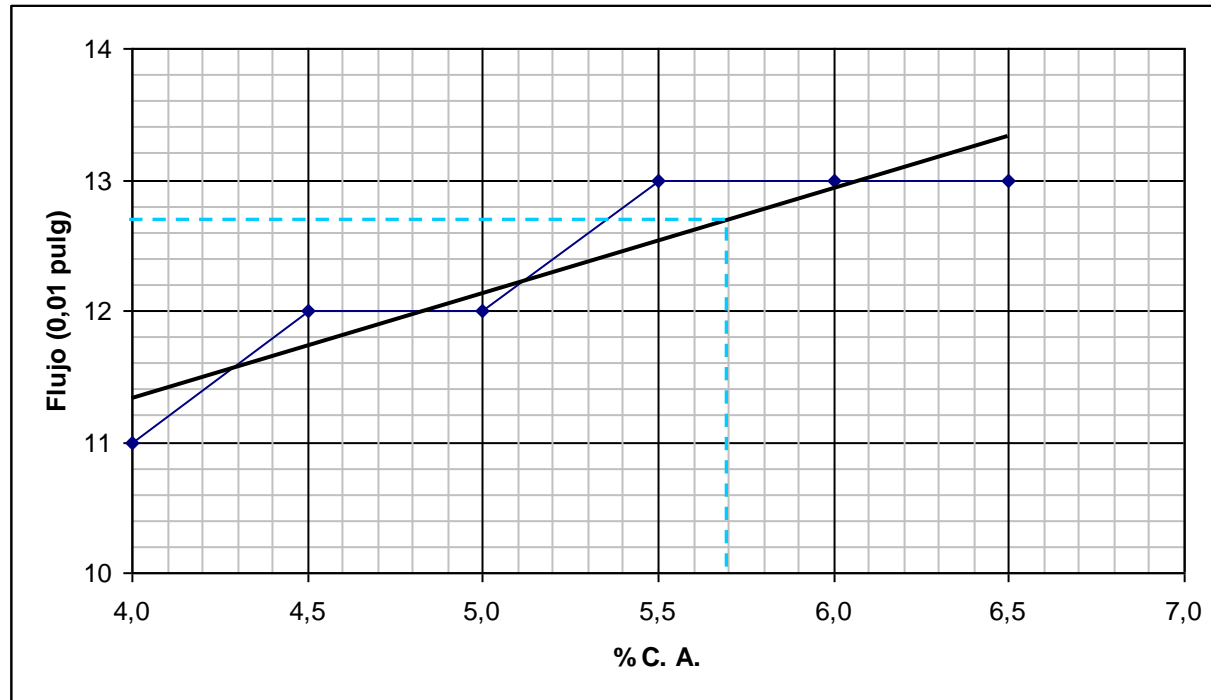


Gráfica IV. 15.3.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

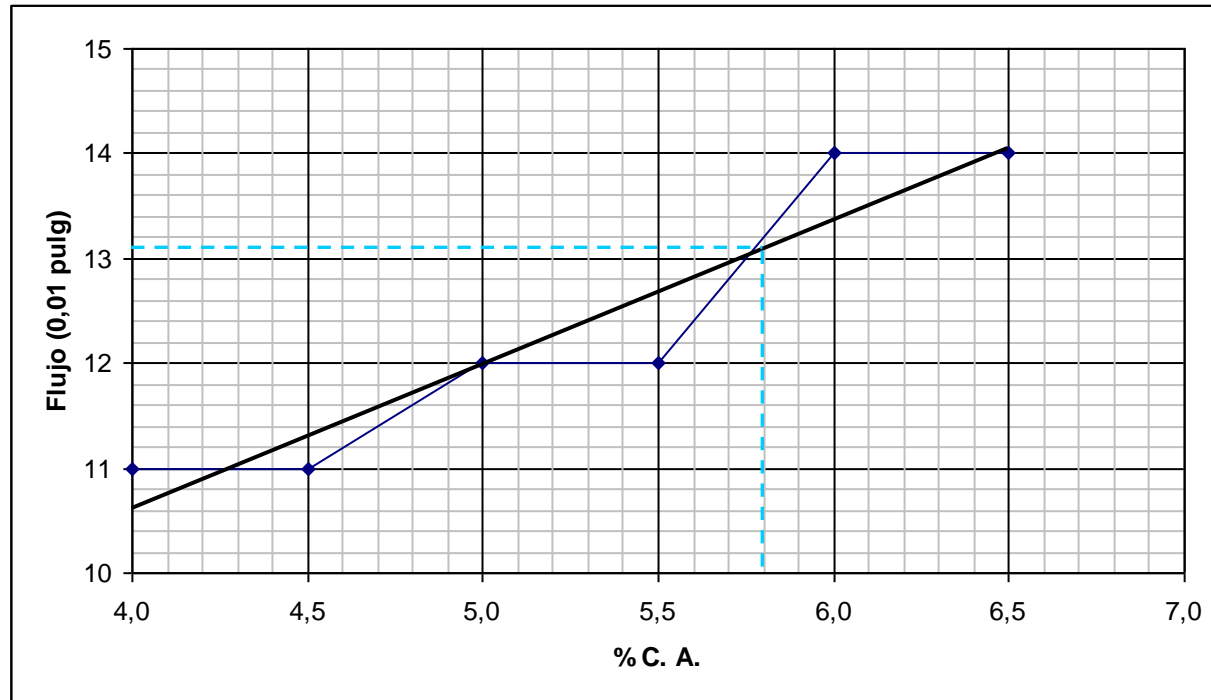
IV.15.4. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.15.4.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

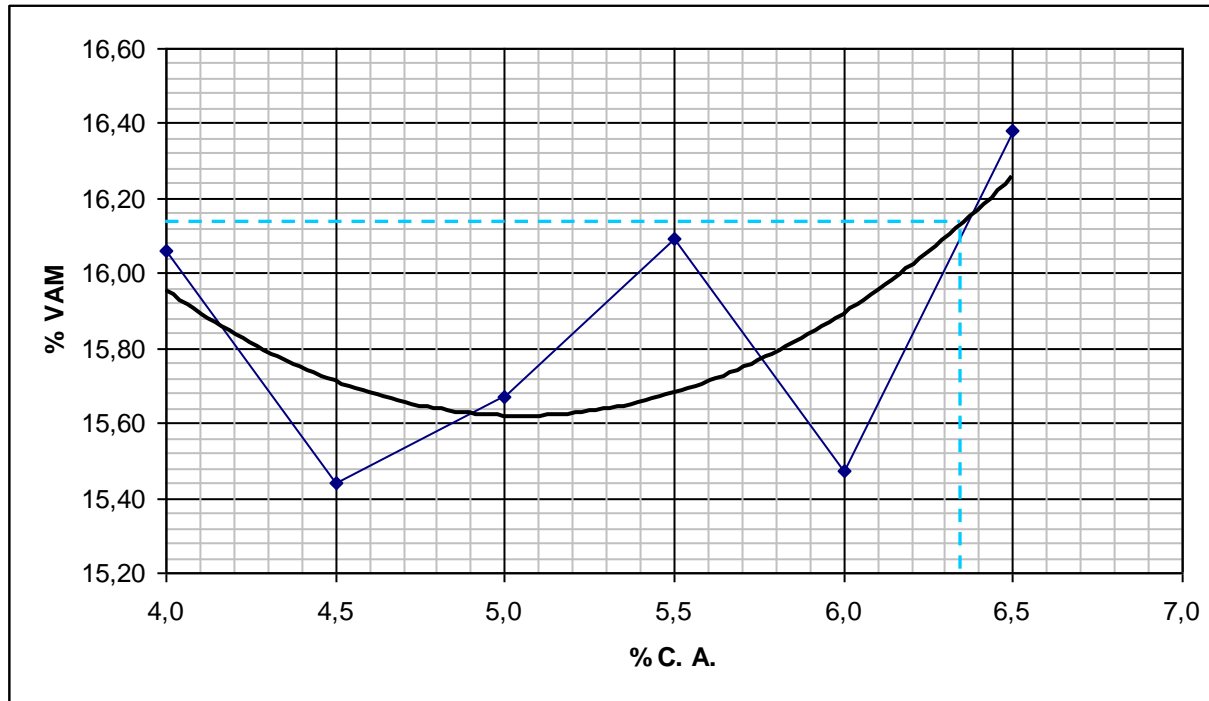


Gráfica IV.15.4.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

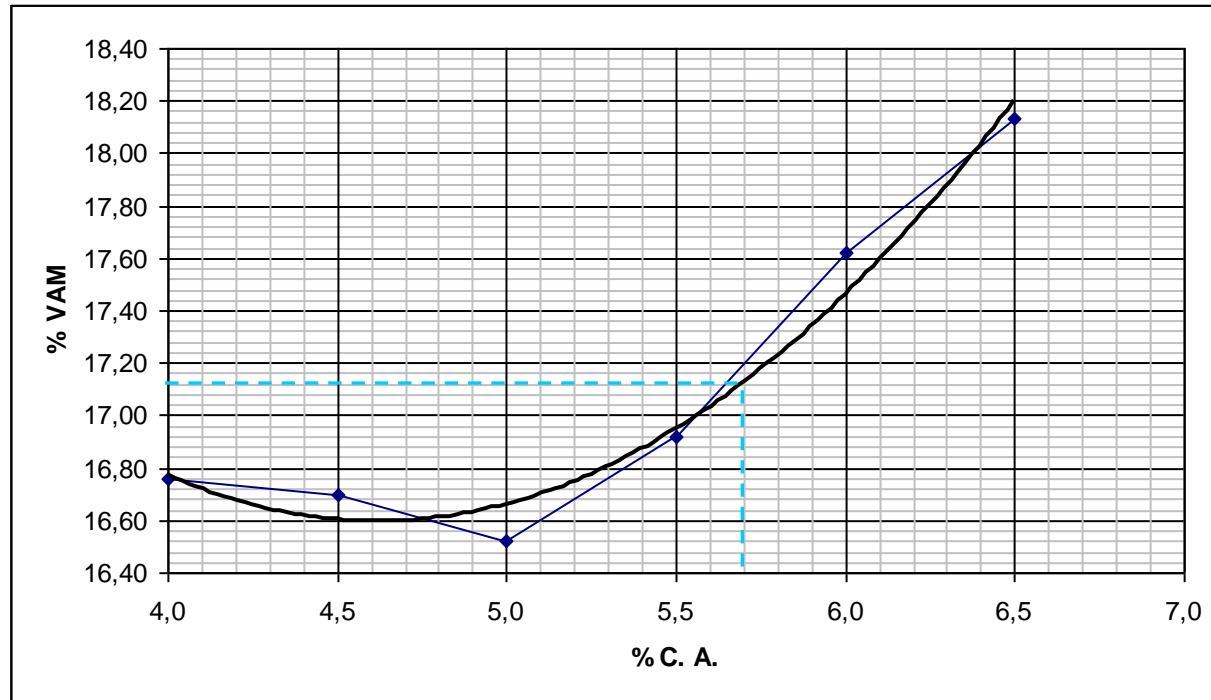


Gráfica IV.15.4.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

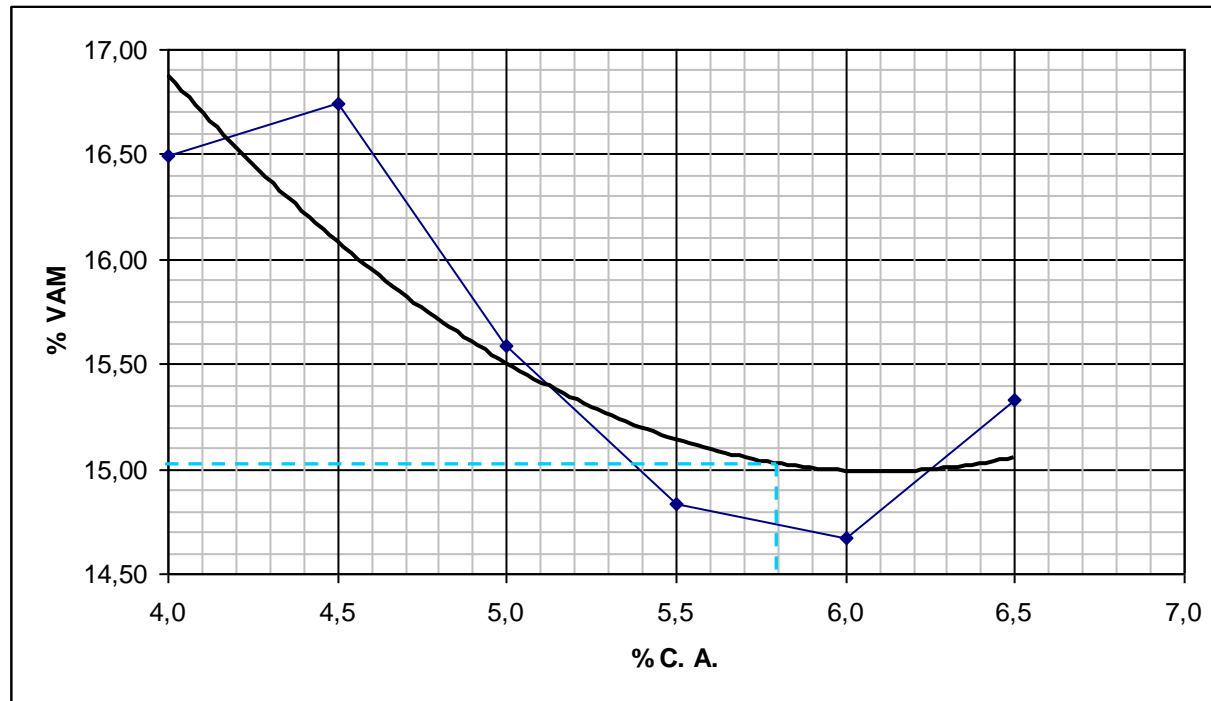
IV.15.5. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.15.5.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.

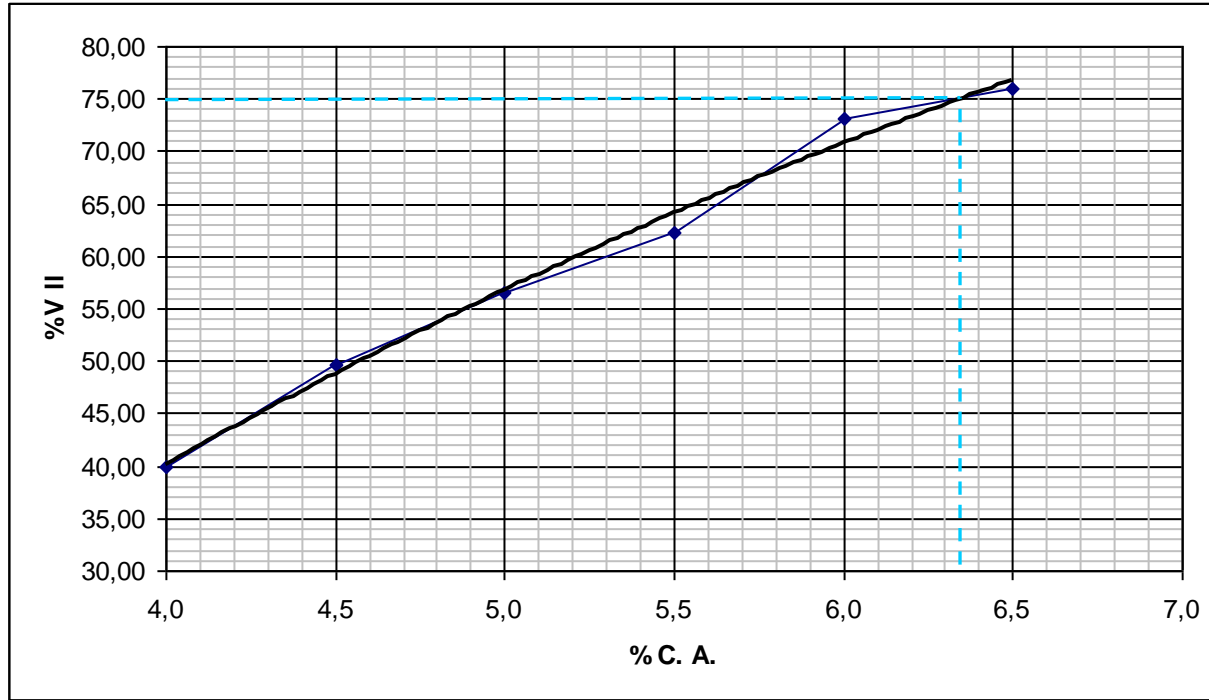


Gráfica IV.15.5.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.

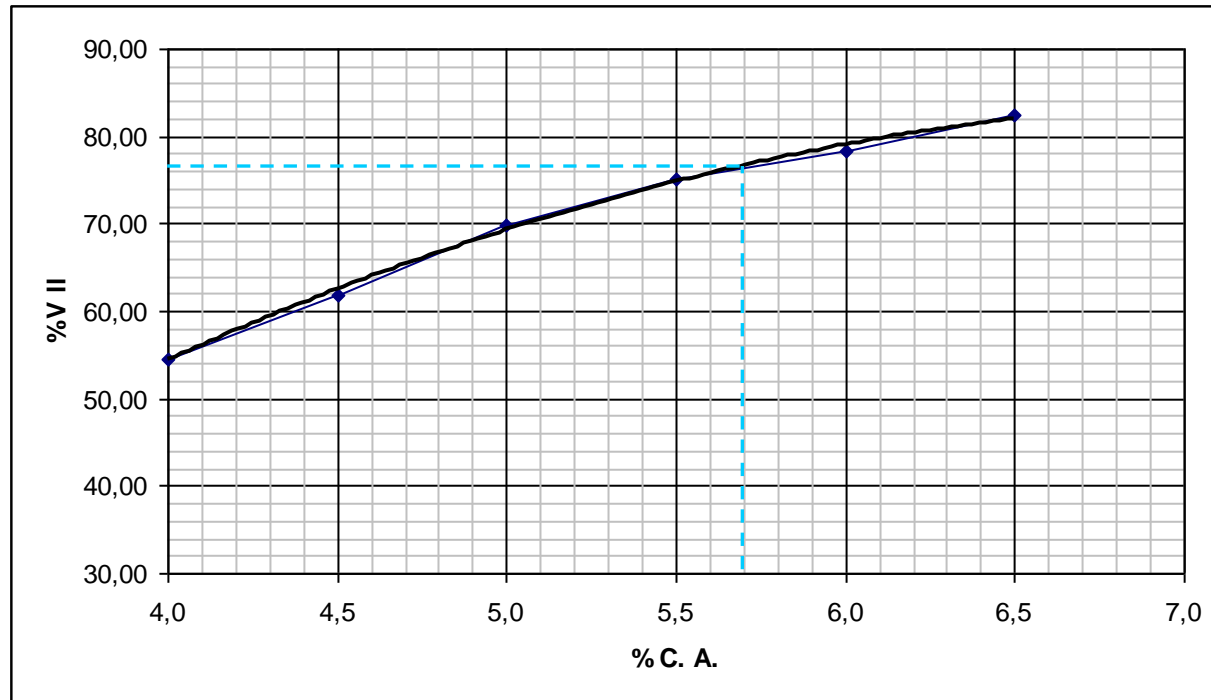


Gráfica IV.15.5.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

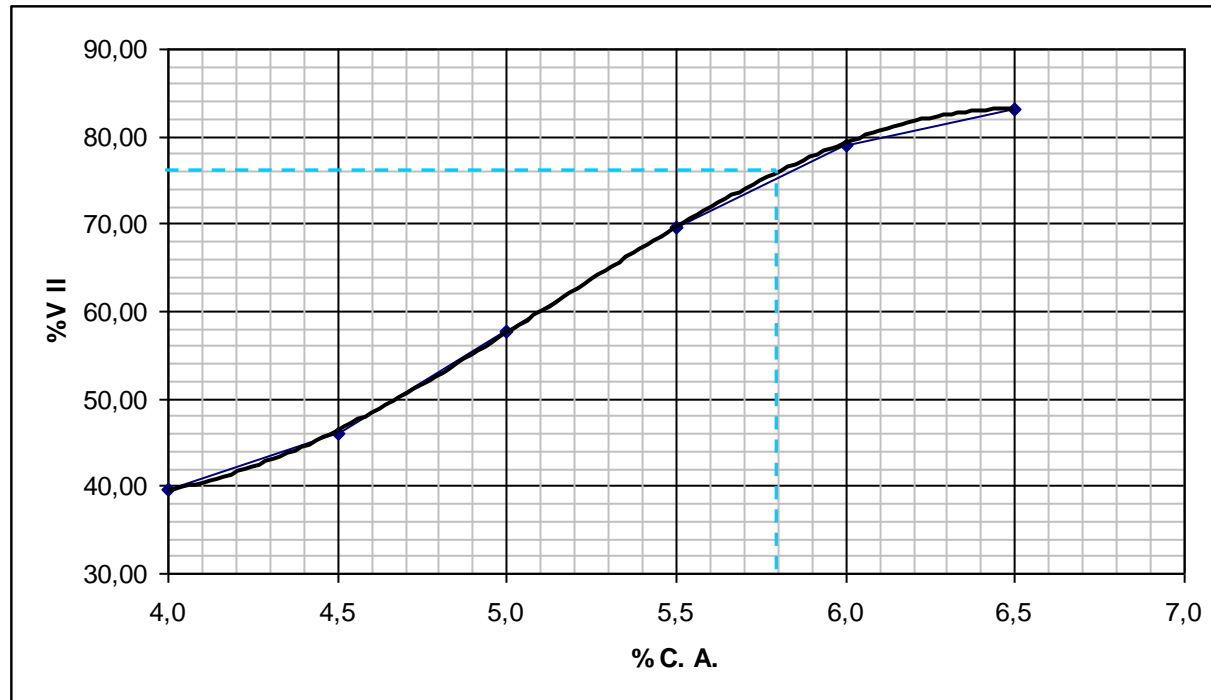
IV.15.6. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico



Gráfica IV.15.6.1. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 1era. Combinación.



Gráfica IV.15.6.2. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 2da. Combinación.



Gráfica IV.15.6.3. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto. Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico. 3era. Combinación.

IV.16. Verificación de los Criterios Establecidos en las Especificaciones para el Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico

IV.16.1. Verificación de Resultados. 1era. Combinación

Propiedad Marshall	Unidad de Medición	Valor Requerido	Valor Obtenido	Condición
Peso Unitario	Kg./m ³	-	2389	-
Estabilidad	Libras	1200 mín.	1522	Cumple
Flujo	0,01 Pulg.	8-16	12,3	Cumple
Vacíos Totales (Vv)	%	4 (Establecido)	4	-
Vacíos en el Agregado (VAM)	%	13 mín.	16,1	Cumple
Vacíos llenados con asfalto (VII)	%	75-85	75	Cumple

Tabla IV.16.1. Verificación de Resultados. 1era. Combinación.

IV.16.2. Verificación de Resultados. 2da. Combinación

Propiedad Marshall	Unidad de Medición	Valor Requerido	Valor Obtenido	Condición
Peso Unitario	Kg./m ³	-	2345	-
Estabilidad	Libras	1200 mín.	1613	Cumple
Flujo	0,01 Pulg.	8-16	12,7	Cumple
Vacíos Totales (Vv)	%	4 (Establecido)	4	-
Vacíos en el Agregado (VAM)	%	13 mín.	17,1	Cumple
Vacíos llenados con asfalto (VII)	%	75-85	76,7	Cumple

Tabla IV.16.2. Verificación de Resultados. 2da. Combinación.

IV.16.3. Verificación de Resultados. 3era. Combinación

Propiedad Marshall	Unidad de Medición	Valor Requerido	Valor Obtenido	Condición
Peso Unitario	Kg/m ³	-	2407	-
Estabilidad	Libras	1200 mín.	2331	Cumple
Flujo	0,01 Pulg.	8-16	13,1	Cumple
Vacíos Totales (Vv)	%	4 (Establecido)	4	-
Vacíos en el Agregado (VAM)	%	-	15	-
Vacíos llenados con asfalto (VII)	%	75-85	75,8	Cumple

Tabla IV.16.3. Verificación de Resultados. 3era. Combinación.

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

V.1. Ensayo de Desgaste Los Ángeles

El resultado del ensayo realizado al agregado arrojó un porcentaje de desgaste de 34,38 por ciento. Dicho valor cumple con los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000:87, la cual establece que para agregados empleados en carpetas de rodamiento, el porcentaje de desgaste no podrá ser mayor a 40.

V.2. Ensayo de % Caras Largas y Aplanadas

El resultado del ensayo realizado al agregado arrojó un porcentaje de caras largas y aplanadas de 2,90 por ciento. Dicho valor cumple con los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000:87, la cual establece que el porcentaje no debe ser mayor a 5.

V.3. Combinación de los Agregados

Luego de obtener las granulometrías, se realizó una serie de tanteos mediante los cuales se obtuvo tres combinaciones en las que se eliminó, en la primera, el “arrocillo”, en la segunda, la “arena”, y en la tercera, se eliminaron ambos. Las tres combinaciones cumplen con los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000:87.

V.4. Gráfica Peso Unitario-vs.-% de Cemento Asfáltico

La gráfica de peso unitario obtenida refleja el comportamiento típico en cada una de las combinaciones, presentando un incremento en el peso unitario a

medida que aumenta el contenido de asfalto; llegado a un punto máximo, comienza a descender. La curva de tendencia de la 1era combinación no refleja totalmente el comportamiento deseado, aunque los valores obtenidos si lo reflejan.

V.5. Gráfica Estabilidad Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico

La gráfica de estabilidad obtenida refleja el comportamiento típico en cada una de las combinaciones, presentando al igual que el peso unitario, un incremento en la estabilidad a medida que aumenta el contenido de asfalto; llegado a un punto máximo, comienza a descender. Las combinaciones presentan un comportamiento muy similar entre sí.

V.6. Gráfica Flujo Marshall-vs.-% de Cemento Asfáltico

La gráfica de flujo obtenida refleja el comportamiento típico en cada una de las combinaciones, presentando un incremento en el flujo a medida que aumenta el contenido de asfalto. Ello demuestra que las mezclas ricas de asfalto son más flexibles y deformables, lo cual quedó comprobado con el ensayo Marshall (ver Anexo 65.).

V.7. Gráfica Vacíos Totales (Vv)-vs.-% de Cemento Asfáltico

La gráfica de vacíos obtenida refleja el comportamiento típico en cada una de las combinaciones, presentando un descenso en el porcentaje de vacíos a medida que aumenta el contenido de asfalto. Las tres combinaciones reflejan el mismo comportamiento.

V.8. Gráfica Vacíos en el Agregado Mineral (VAM)-vs.-% de Cemento Asfáltico

La gráfica de VAM obtenida refleja el comportamiento típico en cada una de las combinaciones, presentando un descenso a medida que aumenta el contenido de asfalto, llegado a un punto mínimo, comienza a ascender. La curva de tendencia de la 3era. Combinación, aunque no desarrolla totalmente la rama ascendente, tiene el mismo comportamiento.

V.9. Gráfica Vacíos Llenados (V_{II})-vs.-% de Cemento Asfáltico

La gráfica de vacíos llenados obtenida refleja el comportamiento típico en cada una de las combinaciones, presentando un incremento a medida que aumenta el contenido de asfalto.

V.10. Determinación del Contenido Óptimo de Asfalto

Con el valor del 4% de V_v se obtuvo un contenido de asfalto de 6,35; 5,7 y 5,8 correspondiente a cada una de las combinaciones. Así mismo, se obtuvieron los valores de las propiedades Marshall de cada combinación concerniente al contenido óptimo.

V.11. Verificación de los Criterios Establecidos en las Especificaciones para el Porcentaje Óptimo de Cemento Asfáltico

Los valores obtenidos de las propiedades Marshall en cada una de las combinaciones, se contrastaron con los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000:87; todos los valores cumplieron con estos parámetros.

De esta manera, se definen el valor de V_v como 4% y el contenido óptimo correspondiente a éste, al igual que los valores obtenidos de las propiedades Marshall.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los análisis realizados a las tres combinaciones obtenidas de la mezcla asfáltica tipo IV, arrojan valores de contenido óptimo de asfalto que se consideran elevados, esto debido a que la mezcla fue rica en materiales finos, siendo el polvillo el material más resaltante en las combinaciones.

Aun y cuando las tres combinaciones cumplieron con los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000:87, tomamos como mejor combinación la 3era, debido a que esta combinación, obtuvo valores densidad y estabilidad más elevados, siendo estas unas de las propiedades más importantes en la mezclas asfálticas. Además, vale destacar que con esta combinación se logró eliminar dos agregados (arena, arrocillo), y fue en la que más porcentaje de arena industrial se utilizó

La evaluación de esta combinación nos demostró que sí es factible el uso de la arena industrial en las mezclas asfálticas, dado que empleando esta arena como parte del agregado (sustituyendo la arena y el arrocillo), y contrastando los resultados obtenidos se cumple con todos los parámetros exigidos por la norma COVENIN 2000:87.

Se recomienda dar continuación a los estudios de la arena industrial en otros tipos de mezclas asfálticas en caliente y frías, con el fin de ampliar más la investigación y poseer mayor información sobre este material, además de darle un aprovechamiento máximo.

También se recomienda llevar la investigación a pruebas más extensas, como podría ser la ejecución de un tramo de prueba, donde se pueda evaluar el comportamiento de la mezcla bajo los efectos del tráfico y daños producidos por el

clima, para así emplear esta nueva mezcla no sólo en zonas rurales y agrícolas cercanas al sitio de producción de la arena, sino también en otras zonas de la región central del país, en localizaciones petroleras o donde sea factible económicamente su uso, ya que parte de los costos de pavimentación se reducirían considerablemente, esto debido a que la arena industrial es un desecho y el polvillo -que como se mencionó anteriormente es el agregado que más resalta en la mezcla- es uno de los agregados más económico. Además, se estaría dando un aporte a los habitantes de las zonas, rehabilitando sus rutas de tránsito con el fin de mejorar su calidad de vida.

Por último, la utilización de la arena industrial en las mezclas, ayudaría a dar una alternativa de solución al problema ambiental que se está presentando en la zona adyacente a la empresa, donde la cantidad de arena industrial acumulada y que se sigue acumulando, está abarcando grandes áreas naturales.

REFERENCIAS

Annual Book of ASTM Standards. (2002). *Volume 04.03 Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems*. Estados Unidos de América.

Asphalt Institute. (1982). *Principios de construcción pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Series de manuales N° 22 (MS-22)*. Estados Unidos de América.

Corredor, G. (2008). *Apuntes de pavimentos. Volumen 2 mezclas asfálticas materiales y diseño*. Universidades Santa maría y Católica Andrés Bello, Caracas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de ensayo para determinar el peso específico de los suelos y llenante mineral (filler)*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado fino*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de ensayo para determinar el peso específico y la absorción del agregado grueso*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de ensayo para determinar el porcentaje de caras largas y aplanadas*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual Visualizado. Método de ensayo para determinar la composición granulométrica de los agregados finos, gruesos y muestras de suelo*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de Ensayo para determinar La gravedad específica teórica máxima de la mezcla sin compactar (Gmm)*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de ensayo para determinar las propiedades Marshall de las mezclas asfálticas en caliente (compactadas)*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Fundación de Laboratorio Nacional de Vialidad. (2003). *Manual visualizado. Método de ensayo para determinar la resistencia de los agregados al desgaste utilizando la máquina de Los Ángeles*. Catia La Mar, Edo. Vargas.

Empresa Minera Loma de Níquel. (2007). [Página Web en línea]. Disponible: <http://www.mineralomadeniquel.com> [Consulta: 2009, octubre 15]

Minera Loma de Níquel, C. A. Departamento de Ingeniería y Desarrollo & Departamento de Procesos. (2003). *Sub-Proyecto: Caracterización y evaluación de usos potenciales de escorias de reducción del proceso de producción de Ferro-Níquel*. Venezuela.

Norma Venezolana COVENIN. (1987). *COVENIN 2000:1987. Sector Construcción. Especificaciones. Codificación y mediciones. Parte I: Carreteras*. Venezuela.

Pérez Sierra, E. (2008). *Evaluación de la escoria de horno como agregado en mezclas asfálticas*. Tesis de pregrado. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala.

ANEXOS



Anexo 1. Empresa Minera Loma de Níquel.



Anexo 2. Arena Industrial suministrada por la empresa.



Anexo 3. Composición granulométrica. Arena Industrial.



Anexo 4. Composición granulométrica. Arena.



Anexo 5. Composición granulométrica. Arrocillo.



Anexo 6. Composición Granulométrica. Piedra Picada.



Anexo 7. Composición granulométrica. Polvillo.



Anexo 8. Composición granulométrica. Tamices.



Anexo 9. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Máquina de tamices.



Anexo 10. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra a ensayar.



Anexo 11. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Máquina de desgaste Los Ángeles.



Anexo 12. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra preparada para la trituración.



Anexo 13. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra triturada.



Anexo 14. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra retenida en el tamiz N° 12.



Anexo 15. Ensayo Desgaste Los Ángeles. Muestra sobrante.



Anexo 16. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. Muestra a ensayar.



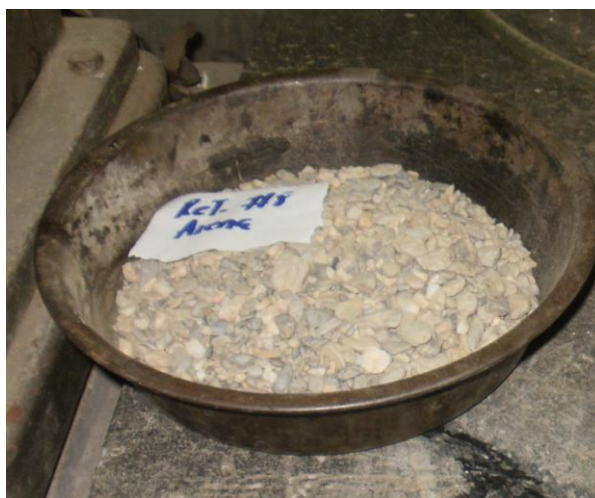
Anexo 17. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. Medición del largo de las partículas.



Anexo 18. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. Medición del espesor de las partículas.



Anexo 19. Ensayo % Caras Largas y Aplanadas. % de partículas de caras largas y aplanadas.



Anexo 20. Peso específico de Agregados Gruesos. Muestra a ensayar.



Anexo 21. Peso específico de Agregados Gruesos. Muestra lavada.



Anexo 22. Peso específico de Agregados Gruesos. Muestra en remojo.



Anexo 23. Peso específico de Agregados Gruesos. Peso en el agua.



Anexo 24. Peso específico de Agregados Gruesos. Secado de la muestra.



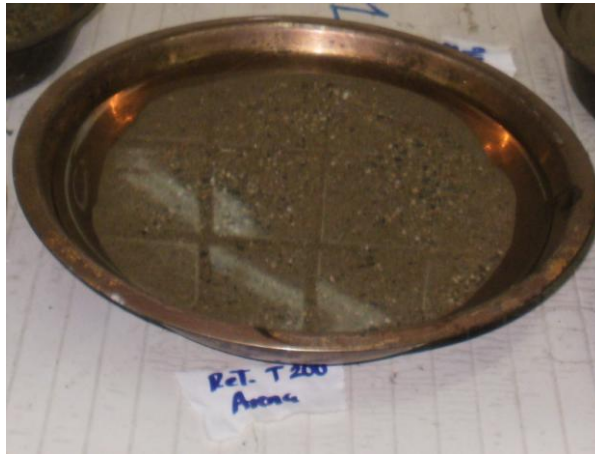
Anexo 25. Peso específico de Agregados Gruesos. Pesado de la muestra húmeda.



Anexo 26. Peso específico de Agregados Gruesos. Secado de agregados en el horno.



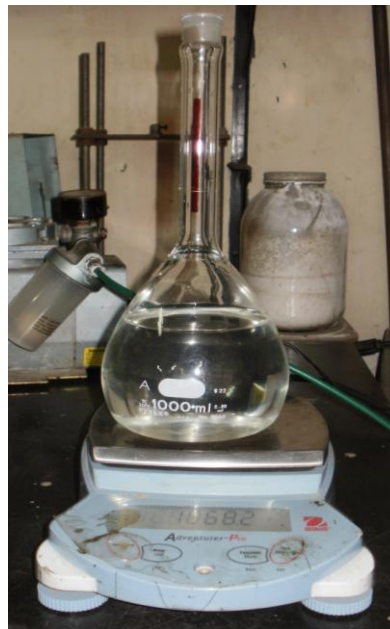
Anexo 27. Peso específico de Agregados Finos. Muestra a ensayar.



Anexo 28. Peso específico de Agregados Finos. Muestra en remojo.



Anexo 29. Peso específico de Agregados Finos. Secado de la muestra.



Anexo 30. Peso específico de Agregados Finos. Pesaje del picnómetro.



Anexo 31. Peso específico de Agregados Finos. Ensayo del cono.



Anexo 32. Peso específico de Agregados Finos. Resultado del ensayo del cono.



Anexo 33. Peso específico de Agregados Finos. Pesaje de la muestra.



Anexo 34. Peso específico de Agregados pasa 200. Muestra a ensayar.



Anexo 35. Peso específico de Agregados pasa 200. Preparación de las muestras para la extracción de vacíos.



Anexo 36. Peso específico de Agregados pasa 200. Extracción de vacíos.



Anexo 37. Peso específico de Agregados pasa 200. Muestra después de la extracción.



Anexo 38. Ensayo Marshall. Horno para calentar el cemento asfáltico.



Anexo 39. Ensayo Marshall. Cemento asfáltico.



Anexo 40. Ensayo Marshall. Agregados en el horno.



Anexo 41. Ensayo Marshall. Pesaje de agregados.



Anexo 42. Ensayo Marshall. Pesaje de Cemento Asfáltico.



Anexo 43. Ensayo Marshall. Mezclado.



Anexo 44. Ensayo Marshall. Calentamiento de los moldes.



Anexo 45. Ensayo Marshall. Preparación de los moldes.



Anexo 46. Ensayo Marshall. Ajuste de los moldes.



Anexo 47. Ensayo Marshall. Colocación de la mezcla.



Anexo 48. Ensayo Marshall. Preparación de la mezcla.



Anexo 49. Ensayo Marshall. Preparación de la mezcla.



Anexo 50. Ensayo Marshall. Compactación de la mezcla.



Anexo 51. Ensayo Marshall. Enfriamiento de las briquetas.



Anexo 52. Ensayo Marshall. Extracción de las briquetas.



Anexo 53. Ensayo Marshall. Extracción de las briquetas.



Anexo 54. Ensayo Marshall. Briquetas.



Anexo 55. Ensayo Marshall. Medición de las briquetas.



Anexo 56. Ensayo Marshall. Medición de las briquetas.



Anexo 57. Ensayo Marshall. Pesaje de las briquetas.



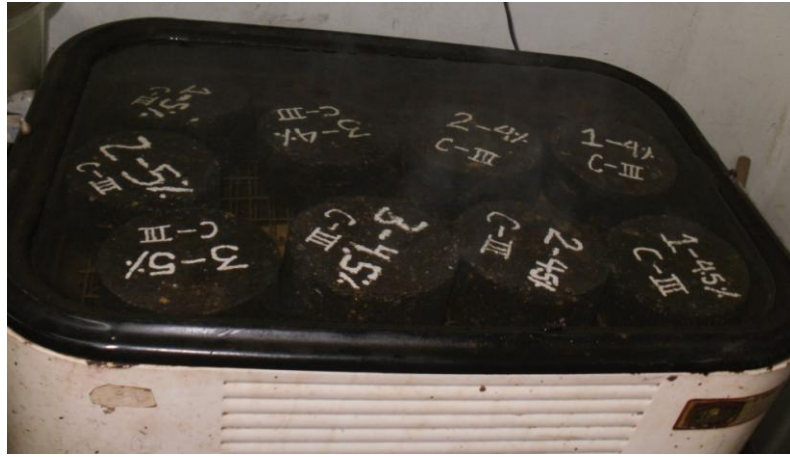
Anexo 58. Ensayo Marshall. Pesaje en el agua.



Anexo 59. Ensayo Marshall. Secado de las briquetas.



Anexo 60. Ensayo Marshall. Pesaje de las briquetas después del secado.



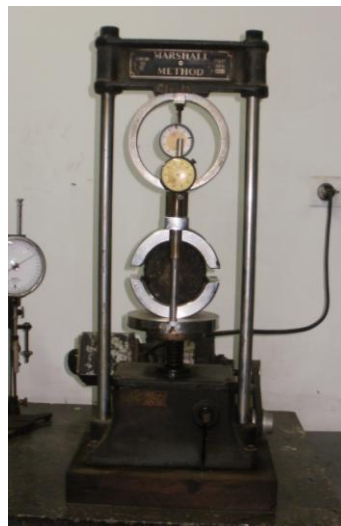
Anexo 61. Ensayo Marshall. Briquetas en baño de María.



Anexo 62. Ensayo Marshall. Colocación de la briqueta en la prensa.



Anexo 63. Ensayo Marshall. Ajuste de la prensa.



Anexo 64. Ensayo Marshall. Obtención de Estabilidad y Fluencia.



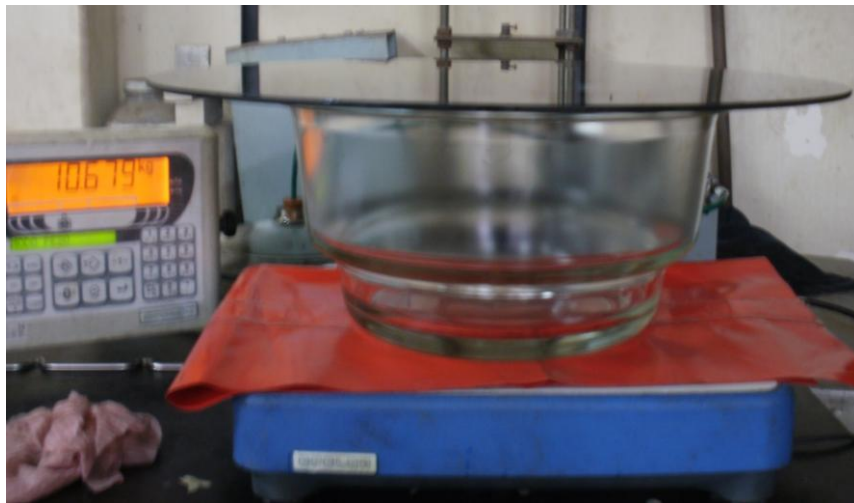
Anexo 65. Ensayo Marshall. Briquetas después del ensayo.



Anexo 66. Ensayo Rice. Muestra a ensayar fracción fina.



Anexo 67. Ensayo Rice. Muestra a ensayar fracción gruesa.



Anexo 68. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + lámina de vidrio.



Anexo 69. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + agua + lámina de vidrio.



Anexo 70. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + muestra + lámina de vidrio.



Anexo 71. Ensayo Rice. Bomba de extracción de vacíos.



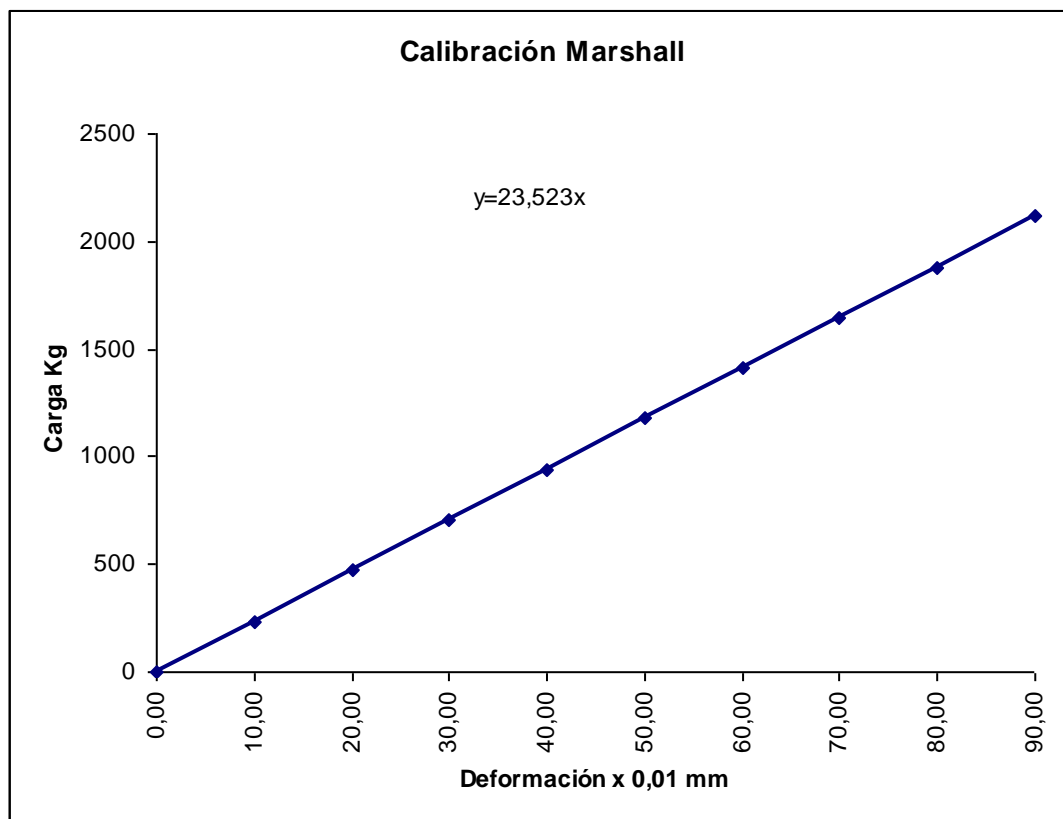
Anexo 72. Ensayo Rice. Extracción de vacíos.



Anexo 73. Ensayo Rice. Extracción de vacíos.



Anexo 74. Ensayo Rice. Pesaje de frasco + muestra + agua +lámina de vidrio después de la extracción de vacíos.



Anexo 75. Gráfica de calibración Marshall.

GLOSARIO

Agregado fino: es el agregado que pasa el tamiz de 2,36 mm (Nº 8).

Agregado grueso: es el agregado retenido en el tamiz de 2,36 mm (Nº 8).

Ahuellamiento: son surcos que pueden desarrollarse sobre un pavimento en los carriles de las ruedas. Los ahuellamientos pueden ser el resultado de una consolidación o movimiento lateral de una o más capas del pavimento bajo efectos del tráfico, o pueden ser generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento. Pueden ocurrir bajo los efectos del tráfico en pavimentos asfálticos nuevos que han tenido muy poca compactación durante su construcción.

Asfalto: es un material cementante, entre carmelito oscuro y negro, en el cual los constituyentes predominantes son bitúmenes que aparecen en la naturaleza o se obtienen en el procesamiento del petróleo. El asfalto es un constituyente, en proporciones variables, de la mayoría de los petróleos crudos.

Compactación: es el acto de comprimir un volumen dado de material en un volumen más pequeño. Muy poca compactación en las capas asfálticas de pavimento puede generar una canalización de la superficie. Generalmente, la compactación se logra usando los rodillos o cilindradoras.

Deformación: la deformación de un pavimento es cualquier cambio que presente el pavimento con respecto a su forma original.

Flexibilidad: es la habilidad de un pavimento asfáltico para ajustarse a asentamientos en la fundación. Generalmente, un alto contenido de asfalto mejora la flexibilidad de una mezcla.

Ondulaciones y Desplazamiento: son tipos de deformaciones en el pavimento. Las ondulaciones son una forma de movimiento plástico caracterizado por “ondas” en la superficie del pavimento. El desplazamiento es una forma de movimiento plástico que causa pandeo local en la superficie del pavimento. Este tipo de deformaciones ocurre, generalmente, en sitios donde el tráfico para y arranca, en colinas donde los vehículos frenan en la bajada, en curvas agudas, o en lugares donde los vehículos golpean protuberancias en la carretera. También ocurre en capas asfálticas que no poseen suficiente estabilidad. La falta de estabilidad puede ser causada por una mezcla muy rica en asfalto, una con una alta proporción de finos, una mezcla con agregado grueso o fino demasiado redondo o liso, por contaminación debido a un derrame de aceite, o por falta de ventilación cuando se colocan mezclas usando asfaltos líquidos.

Pavimento: es una estructura con todas sus capas compuestas de mezclas de asfalto y agregado, o con una combinación de capas de asfalto y capas de agregados sin tratar, colocadas sobre una subrasante tratada o sin tratar.

Pavimento flexible: se denominan a aquellos que la estructura total del pavimento se deflecta o flexiona, un pavimento flexible se adapta a las cargas.

Resistencia a la Fatiga: es la habilidad de un pavimento asfáltico para resistir flexión repetida causada por el paso de las cargas de las ruedas. Generalmente, entre más alto el contenido de asfalto, mayor será la resistencia a la fatiga.

Tamaño nominal máximo: es el menor tamaño de la malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño.