



**UNIVERSIDAD LAICA “ELOY ALFARO” DE  
MANABI**

**FACULTAD DE INGENIERIA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

**TESIS**

**Previa a la Obtención del Título de  
INGENIERO CIVIL**

**TEMA:**

***DISEÑO DE UNA MEZCLA ASFALTICA DE ALTO  
RENDIMIENTO PARA BACHES SUPERFICIALES Y  
PROFUNDOS EN LA CIUDAD DE MANTA***

**DIRECTOR DE TESIS:**

**ING. JAVIER MOREIRA ROCA**

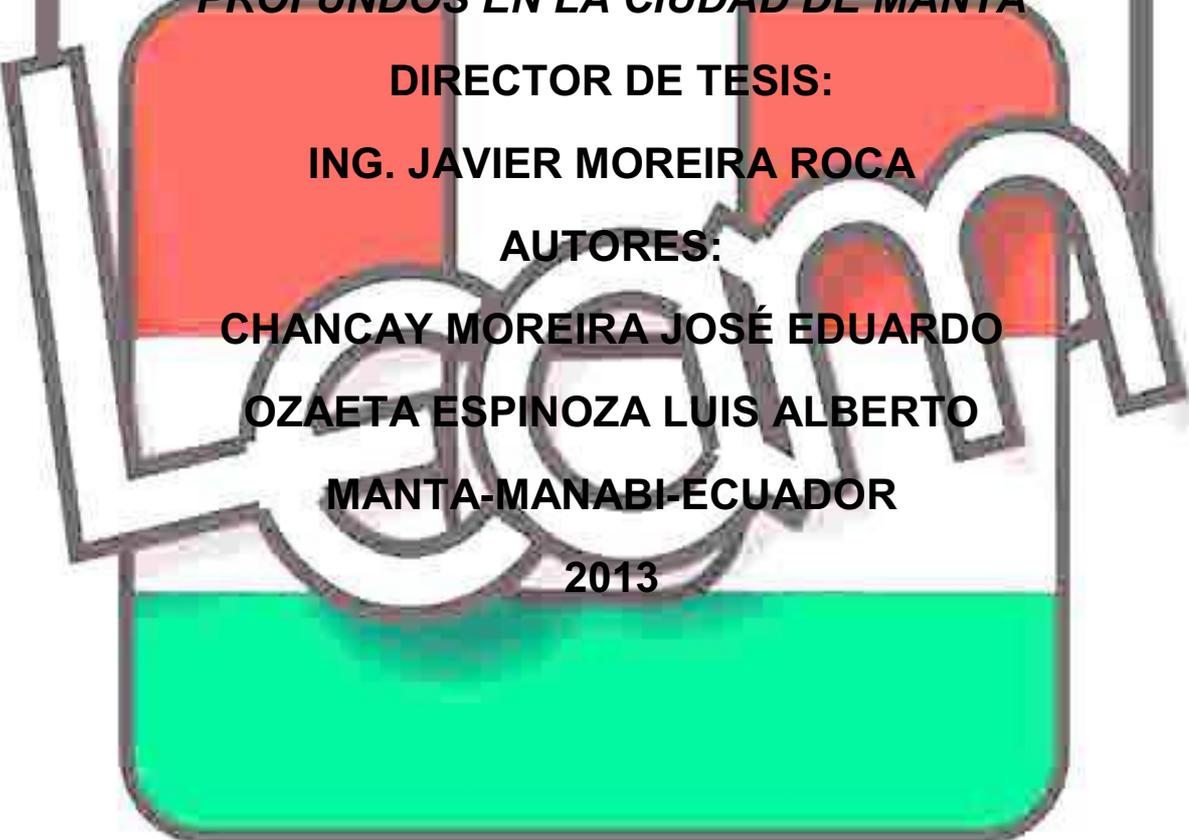
**AUTORES:**

**CHANCAY MOREIRA JOSÉ EDUARDO**

**OZAETA ESPINOZA LUIS ALBERTO**

**MANTA-MANABI-ECUADOR**

**2013**



## **Agradecimiento**

*Agradezco a Dios por darnos la oportunidad de vivir esta experiencia que ha enriquecido nuestras vidas y por las fuerzas necesarias que nos ayudaron a lograr alcanzar esta meta.*

*Dejamos constancia de nuestra gratitud a nuestro director de tesis Ing. Javier Morería Roca por habernos dedicado su tiempo y conocimiento a la elaboración y culminación de nuestra tesis de grado.*

*Agradecemos a la Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, a la facultad de Ingeniería y a su Escuela de Ingeniería Civil y sobre todo a sus catedráticos.*

*Además, agradecemos a nuestras familias y a todas las amistades incondicionales que colaboraron para que este proyecto haya culminado, quienes fueron fuente de información inagotable cuando recurrimos a ellos.*

**José Chancay Moreira**

**Luis Ozaeta Espinoza**

## **Dedicatoria**

*Al finalizar mis estudios universitarios, dedico este trabajo a mis padres por el apoyo brindado y la comprensión, el ejemplo y todo el esfuerzo ofrecido para educarme y guiarme en el camino de la superación.*

*A mis hermanos por las palabras de aliento que siempre me motivaron a salir adelante.*

**José Chancay Moreira**

## **Dedicatoria**

*Al finalizar mis estudios universitarios, dedico este trabajo a mis Padres por el apoyo brindado y la comprensión, el ejemplo y todo el esfuerzo ofrecido para educarme y guiarme en el camino de la superación.*

*A mis hermanos Cristian y Raisal, por cada una de las palabras de aliento que siempre me motivaron a salir adelante y a mi sobrina Anahí quien es mi alegría.*

**Luis Ozaeta Espinoza**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico, que el presente trabajo investigativo, fue realizado en su totalidad por los egresados de la Escuela de Ingeniería Civil, Sr. José Eduardo Chancay Moreira y el Sr. Luis Alberto Ozaeta Espinoza, como requerimiento parcial a la obtención del título de Ingeniero Civil.

Manta, Enero del 2013

**Ing. Javier Moreira R.**  
DIRECTOR DE TESIS

*“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestos en esta tesis, corresponden exclusivamente a los autores, y el patrimonio intelectual de la tesis de grado corresponderá a la Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí”.*

***Egdo. José Chancay Moreira***

***Egdo. Luis Ozaeta Espinoza***

## RESUMEN

Desde que el hombre tuvo la necesidad de trasladarse de un lugar a otro, este se ha preocupado por proveerse de los medios que les proporcionan rapidez y comodidad creando el vehículo que lo transportara y el camino sobre el que circule, para el caso de la transportación terrestre.

Por su aportación en las diversas actividades sociales, la ingeniería ocupa un lugar muy importante en el desarrollo económico de los pueblos, debido a lo cual esta se ha superado con el fin de aplicar la mejor técnica en las diferentes ramas que los forman.

Lo que ha permitido el desarrollo económico, político y social de la ciudad.

Existe dos métodos aplicados a la construcción de carreteras; teniéndose por un lado, el pavimento a base de asfalto conocido también como pavimento u hormigón flexible, debido a su gran desempeño ante las cargas aplicadas por los vehículos que lo transitan, este comportamiento se presenta de modo plástico.

Por otro lado existe el concreto hidráulico conocido también como pavimento rígido.

Siendo estos dos métodos de construcción vial de vital importancia para la realización de una carretera.

Por diversos motivos es frecuente ver como nuestras carreteras viales se deterioran en periodos de tiempos inferiores para las que fueron originalmente diseñados.

Los motivos de que se acorte la vida útil pueden ser muchas y de orígenes diferentes por lo tanto hay que tener presente las consecuencias de falla de este para poder juzgar si un pavimento esta acto para su normal funcionamiento o en mal estado.

Se hace un resumen acerca de las fallas más comunes, de los agregados que componen un pavimento flexible y de los ensayos que se realizan para comprobar la efectividad de los mismos.

También se menciona las formas, métodos para las reparaciones de los baches superficiales y profundos en los pavimentos flexibles, esto se lo realiza con la finalidad de poder tener una referencia ante los nuevos métodos de reparación.

# ÍNDICE

PORTADA.....	I
<i>Agradecimiento</i> .....	II
<i>Dedicatoria</i> .....	III
<i>Dedicatoria</i> .....	IV
CERTIFICACIÓN.....	V
RESUMEN.....	VII
ÍNDICE.....	IX
JUSTIFICACIÓN.....	XIX
OBJETIVO GENERAL .....	XX
INTRODUCCIÓN.....	XXI
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 BREVE HISTORIA DE LAS CARRETERAS (MANTA).....	1
1.2 UBICACIÓN .....	5
1.3 ESTADO DE LA VÍA.....	5
1.4 EL PROBLEMA .....	7
1.5 SOLUCION PROPUESTA.....	8
CAPÍTULO 2: DETERIORO DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS.....	10
2.1 INTRODUCCIÓN.....	10
2.2 ANTECEDENTES EN ECUADOR .....	14
2.3 EL BACHEO EN LA ACTUALIDAD.....	14
2.3.1 SELECCIÓN DE LA MEZCLA.....	16

2.4	TIPOS DE BACHES (IDENTIFICACIÓN).....	17
2.4.1	BACHES PROFUNDOS.....	18
2.5	DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES	
	20	
2.5.1	FISURAS .....	21
2.5.1.1	Fisuras Longitudinales y transversales (FL, FT).....	21
2.5.1.1.1	Causas: .....	22
2.5.1.1.2	Reparación: .....	23
2.5.1.1.3	Severidades:.....	23
2.5.1.1.4	Evolución Probable:.....	24
2.5.1.2	Fisuras en Juntas de Construcción (FCL, FCT) .....	24
2.5.1.2.1	Causas: .....	25
2.5.1.2.2	Severidades:.....	25
2.5.1.2.3	Evolución Probable: .....	26
2.5.1.3	Fisura por Reflexión de Juntas o Grietas en Placas de Concreto (FJL o FJT)	26
2.5.1.3.1	Causas: .....	27
2.5.1.3.2	Reparación: .....	27
2.5.1.3.3	Severidades:.....	28
2.5.1.3.4	Evolución Probable:.....	28
2.5.1.4	Fisura en Media Luna (FML).....	28
2.5.1.4.1	Causas: .....	29
2.5.1.4.2	Severidades:.....	29
2.5.1.4.3	Evolución Probable: .....	29
2.5.1.5	Fisuras de borde (FBD).....	30

2.5.1.5.1 Causas: .....	30
2.5.1.5.2 Reparación: .....	31
2.5.1.5.3 Severidades y unidad de medición:.....	32
2.5.1.5.4 Evolución probable: .....	32
2.5.1.6 Fisuras en bloque (FB) .....	32
2.5.1.6.1 Causas: .....	33
2.5.1.6.2 Reparación: .....	34
2.5.1.6.3 Severidades:.....	34
2.5.1.6.4 Evolución probable: .....	35
2.5.1.7 Piel de cocodrilo (PC) .....	35
2.5.1.7.1 Causas:.....	36
2.5.1.7.2 Reparación: .....	37
2.5.1.7.3 Severidades:.....	40
2.5.1.7.4 Evolución Probable: .....	40
2.5.1.8 Fisuración por Deslizamiento de Capas (FDC) .....	40
2.5.1.8.1 Causas:.....	41
2.5.1.8.2 Severidades:.....	42
2.5.1.8.3 Evolución Probable: .....	42
2.5.1.9 Fisuración incipiente (FIN) .....	42
2.5.1.9.1 Causas: .....	43
2.5.1.9.2 Unidad de medición: .....	43
2.5.1.9.1 Evolución probable: .....	44
2.5.2 DEFORMACIONES .....	44
2.5.2.1 Ondulación (OND) .....	44
2.5.2.1.2 Causas:.....	45

2.5.2.1.3 Severidades: .....	46
2.5.2.1.4 Unidad de medición: .....	46
2.5.2.1.5 Evolución probable: .....	46
2.5.2.2 Abultamiento (AB).....	46
2.5.2.2.1 Causas: .....	47
2.5.2.2.2 Severidades y unidad de medición:.....	47
2.5.2.2.3 Evolución probable: .....	47
2.5.2.3 Hundimiento (HUN).....	48
2.5.2.3.1 Causas: .....	48
2.5.2.3.2 Severidades: .....	49
2.5.2.3.3 Unidad de medición: .....	49
2.5.2.3.4 Evolución probable: .....	50
2.5.2.4 Ahuellamiento (AHU) .....	50
2.5.2.4.1 Causas: .....	50
2.5.2.4.2 Severidades: .....	51
2.5.2.4.3 Unidad de medición: .....	51
2.5.2.4.4 Evolución probable: .....	51
2.5.3 PÉRDIDA DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA.....	52
2.5.3.1 Descascaramiento (DC).....	52
2.5.3.1.1 Causas: .....	52
2.5.3.1.2 Severidades: .....	52
2.5.3.1.3 Unidad de medición: .....	53
2.5.3.1.4 Evolución probable: .....	53
2.5.3.2 Baches (BCH).....	53
2.5.3.2.1 Causas: .....	54

2.5.3.2.2 Severidades:.....	55
2.5.3.2.3 Evolución Probable:.....	55
2.5.3.3 Parche (PCH) .....	55
2.5.3.3.1 Causas: .....	56
2.5.3.3.2 Severidades:.....	57
2.5.3.3.3 Evolución Probable:.....	57
2.5.4 DAÑOS SUPERFICIALES.....	58
2.5.4.1 Desgaste Superficial (DSU) .....	58
2.5.4.1.1 Causas: .....	58
2.5.4.1.2 Severidades:.....	59
2.5.4.1.3 Evolución Probable:.....	59
2.5.4.2 Perdida del Agregado (PA) .....	59
2.5.4.2.1 Causas: .....	60
2.5.4.2.2 Severidades:.....	61
2.5.4.2.3 Evolución Probable:.....	61
2.5.4.3 Pulimento Del Agregado (PU).....	61
2.5.4.3.1 Causas: .....	62
2.5.4.4 Cabezas Duras (CD).....	62
2.5.4.4.1 Causas: .....	63
2.5.4.5 Exudación (EX).....	63
2.5.4.5.1 Causas: .....	64
2.5.4.5.2 Severidades:.....	64
2.5.4.6 Surcos (SU) .....	65
2.5.4.6.1 Causas: .....	66
2.5.4.6.2 Evolución Probable:.....	66

2.5.5 OTROS DAÑOS .....	67
2.5.5.1 Corrimiento Vertical de la Berma (CVB) .....	67
2.5.5.1.1 Causas: .....	68
2.5.5.1.2 Severidades: .....	68
2.5.5.2 Separación de la Berma (SB).....	69
2.5.5.2.1 Causas: .....	69
2.5.5.2.2 Severidades: .....	69
2.5.5.3 Afloramientos de Finos (AFI).....	70
2.5.5.3.1 Causas: .....	71
2.5.5.3.2 Severidades: .....	71
2.5.5.3.3 Evolución Probable: .....	71
2.5.5.4 Afloramiento de Agua (AFA) .....	71
2.5.5.4.1 Causas: .....	72
2.5.5.4.2 Severidades: .....	72
2.5.5.4.3 Evolución Probable: .....	72
 CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA MARSHALL PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.	
.....	73
3.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE .....	73
3.1.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA.....	73
3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS .....	74
3.1.3 EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN	
CALIENTE.....	78
3.1.4 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA.....	81
3.1.4.1 Densidad .....	81

3.1.4.2 Vacíos de Aire .....	82
3.1.4.3 Vacíos en el Agregado Mineral .....	83
3.1.4.4 Contenido de Asfalto.....	85
3.1.4.5 Vacíos Llenos de Asfalto (VFA) .....	88
3.2 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS .....	89
3.2.1 ESTABILIDAD .....	89
3.2.2 DURABILIDAD.....	91
3.2.3 IMPERMEABILIDAD.....	93
3.2.4 TRABAJABILIDAD .....	94
3.2.5 FLEXIBILIDAD.....	97
3.2.6 RESISTENCIA A LA FATIGA.....	97
3.2.7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO. ....	98
3.3 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL.....	100
3.3.1 INTRODUCCIÓN .....	100
3.3.2 PROPÓSITO DE LA METODOLOGÍA .....	100
3.3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL.....	101
3.3.4 ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA.....	101
3.3.5 GRANULOMETRÍA.....	102
3.3.6 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS .....	105
3.3.6.1 Selección de las muestras del material .....	106
3.3.6.2 Preparación del agregado.....	107
3.3.6.3 Secado del agregado.....	107
3.3.6.4 Análisis granulométrico por vía húmeda .....	108
3.3.6.5 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño .....	109

3.3.7	PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS (PROBETAS) DE ENSAYO.....	112
3.3.8	DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO.....	114
3.3.9	ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA...	115
3.3.9.1	Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación.....	115
3.3.9.2	Determinación de la gravedad específica bulk.....	116
3.3.9.3	Resistencia de mezclas bituminosas al flujo plástico utilizando el aparato Marshall.....	116
3.3.9.4	Análisis De Densidad Y Vacíos.....	117
3.3.9.5	Determinación de la proporción óptima de asfalto.....	121
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.....		123
4.1	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS.....	123
4.2	GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.....	132
4.3	DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS.....	140
4.3.1	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK, APARENTE Y % DE ABSORCIÓN DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.....	144
4.4	CÁLCULO PARA UNA BRIQUETA.....	145
4.4.1	CÁLCULO DE UNA MUESTRA PARA TEÓRICA MÁXIMA.....	146
4.4.2	CÁLCULOS PARA LAS DOSIFICACIONES PARA TEÓRICAS MÁXIMAS Y BRIQUETAS.....	147
4.5	TRABAJO DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA.....	148
4.5.1	COMPACTACIÓN DE ESPECÍMENES:.....	150
4.5.2	GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK (AASHTO T 166-05).....	153
4.5.3	GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA (AASHTO T209-05).....	156

4.5.4 RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLA BITUMINOSAS UTILIZANDO EL EQUIPO MARSHALL, AASTHO T245-97(2004). .....	158
4.5.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO.....	166
4.5.5.1 Análisis de la densidad. ....	167
4.5.5.2 Análisis de vacíos de aire. ....	168
4.5.5.3 Análisis de vacíos en el agregado mineral. ....	168
4.5.5.4 Análisis de vacíos llenos de asfalto (VFA).....	170
4.6 CUADRO DE RESUMEN GENERAL CON LOS DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO .....	172
4.7 GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS.....	173
4.7.1 OBSERVACIONES Y TENDENCIAS DE LAS GRÁFICAS DE DISEÑO. .	174
4.7.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO .....	175
4.8 OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONANDO ADITIVO ...	180
4.8.1 PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS EMPLEADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA.....	180
4.8.1.1 Kaoamin 14 (aditivo promotor de adherencia para mezclas asfálticas en caliente y frio) .....	180
4.8.1.1.1 Descripción .....	180
4.8.1.1.2 Características físicas: .....	180
4.8.1.1.3 Especificaciones: .....	180
4.8.1.1.4 Usos y aplicaciones .....	181
4.8.1.1.5 Ventajas.....	181
4.8.1.1.6 Condiciones semejantes compactando 10 °C menos.....	183
4.8.2 CEMENTO PORTLAND .....	184

4.9 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO.....	186
4.9.1 MEZCLA ASFÁLTICA CON CEMENTO .....	186
4.9.2 MEZCLA ASFÁLTICA CON KAOAMIN 14 .....	187
4.9.3 MEZCLA ASFÁLTICA CON LA COMBINACION DE AMBOS ADITIVOS.	189
<b>CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE BACHEO EN CAMPO</b>	<b>192</b>
5.1 PROCESO TRADICIONAL DE APLICACIÓN EN CAMPO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL.....	192
5.2 PROCESO DE APLICACIÓN EN CAMPO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO RENDIMIENTO .....	193
5.3 PROCESO PARA REPARAR BACHES .....	194
5.4 MEZCLA DE ALTO RENDIMIENTO VS. MEZCLA CONVENCIONAL.....	198
5.4.1 TABLA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE APLICACIÓN DE BACHEO.....	198
5.5 REVISIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA A UN MES DE SU APLICACIÓN.	
200	
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>202</b>
6.1 CONCLUSIONES .....	202
6.2 RECOMENDACIONES.....	203
BIBLIOGRAFÍA.....	204
GLOSARIO .....	206

## JUSTIFICACIÓN

El desarrollo de una ciudad proviene de las redes de comunicación sea esta de tipo marítima, aérea o terrestre; esta última siendo la más utilizada en nuestro país es por esto que escogemos este tema de tesis de carácter investigativo para tratar de solucionar el envejecimiento natural de los materiales que componen la carpeta asfáltica.

Estos factores hacen que la capa de rodadura sufra un proceso progresivo de deterioro obteniendo como resultados los baches. Lo que conlleva una disminución paulatina en los niveles de seguridad y confort del tráfico.

La conservación de la red vial es en la actualidad un aspecto de gran importancia debido a los recursos que moviliza. El presupuesto necesario para el mantenimiento, así como los problemas ambientales que de él se derivan, justifican la búsqueda de asfaltos más resistentes que permitan reducir costos y a la vez no afecte ni contribuya a la destrucción del medio ambiente.

## **OBJETIVO GENERAL**

- ❖ Este trabajo tiene como objetivo primordial diseñar una mezcla asfáltica flexible a las altas temperaturas y resistentes a la humedad para ser aplicada en la ciudad de Manta, zona donde se presentan temperaturas extremadamente cálidas y raras precipitaciones pluviales “Fenómeno del Niño”. Igualmente pretende exponer ventajas que ofrece esta nueva tecnología con el fin de mejorar la calidad de futuros programas de bacheo en la ciudad.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación nace del interés en el tema de los pavimentos flexibles y las fallas que el mismo puede presentar, realizando un estudio para el diseño de una mezcla de bacheo que puede aportar beneficios a los pavimentos en la ciudad de Manta.

Es un estudio pionero a nivel local especializado en el tema de las mezclas asfálticas de alto rendimiento para baches superficiales y profundos.

Este trabajo tiene como objetivo primordial diseñar una mezcla asfáltica de bacheo flexible a las altas temperaturas y resistente a la humedad para ser aplicada a la ciudad de Manta, zona donde se presentan precipitaciones pluviales y temperaturas extremadamente cálidas. Igualmente, pretende exponer las ventajas que ofrece esta nueva tecnología con el fin de mejorar la calidad de futuros programas de bacheos en la ciudad así como un ahorro sustancial para la misma.

En esta investigación se realizara un estudio comparativo de diferentes propuestas de asfaltos de reología modificada conforme a las características de los materiales pétreos de la zona, mediante pruebas de comportamiento en campo para prolongar la vida útil de las mezclas para bacheo.

Este proyecto englobara el diseño especializado de las mezclas para bacheo superficial y profundo mediante análisis de calidad de los materiales pétreos y un asfalto específico de reología o características modificadas así como su

desempeño en campo mediante pruebas de comportamiento normalizadas por diferentes organismos internacionales y nacionales.

El capítulo uno exhibe los antecedentes de las vías y una breve historia de las principales arterias de la ciudad de Manta.

El capítulo dos explica el tema de los huecos, hoyos, fosas, etc., que son algunos de los términos más comunes que la gente utiliza de manera incorrecta para denominar a lo que técnicamente se conoce como baches. Reconoce a la humedad como uno de los factores principales causante de esto, al igual que describe la metodología de corrección de los mismos y los diferentes tipos de mezclas que se utilizan para el mantenimiento de las vialidades.

De la misma manera es importante comentar que solo se mencionara a grandes rasgos las fallas ocurridas en este tramo sin adentrar en un análisis experimental y así evitar desviarnos de la idea principal.

El capítulo tres enseña las mejorías que proporcionan el uso de la mezcla asfáltica vanguardista, explica el proceso de diseño de la misma y muestra el procedimiento de las pruebas de laboratorio que se emplearon.

El capítulo cuatro muestra el compendio de los resultados obtenidos en los ensayos y hoja de cálculo. Dichas pruebas fueron realizadas dentro del laboratorio de Suelos y Hormigones Ing. Bolívar Ortiz de la ULEAM, bajo la

supervisión y el apoyo del Laboratorista Jorge Carrillo y la dirección del Ing. Javier Moreira Roca.

El capítulo cinco exhibe una comparación del método tradicional para cajear un bache y las variantes que este nuevo producto presenta. De la misma manera, expone las ventajas que nos ofrece esta mezcla al momento de ser aplicado en campo.

Asimismo, es necesario comentar que la evaluación de la mezcla de bacheo en campo se hará únicamente a corto plazo (1 mes), la cual será tipo visual sin incurrir en pruebas de laboratorios, dejando el tema abierto para ser retomado por otro tesista que tenga la misma afición por los pavimentos asfálticos.

## **CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES**

### **1.1 BREVE HISTORIA DE LAS CARRETERAS (MANTA)**

Una carretera o ruta es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de automóviles. Una de las grandes impulsadoras de la evolución vial fue la civilización romana, dejando hasta hoy (y aún en buenas condiciones) una vasta red de carreteras.

Para el proyecto de construcción de carreteras requiere la creación de una superficie continua, que atraviese obstáculos geográficos y tome una pendiente suficiente para permitir a los vehículos o a los peatones circular. El proceso comienza a veces con la retirada de vegetación (desbroce) y de tierra y roca por excavación o voladura, la construcción de terraplenes, puentes y túneles, seguido por el extendido del pavimento. Existe una variedad de equipo de movimiento de tierras que es específico de la construcción de vías.

Las vías de accesos que hicieron de San Pablo de Manta una ciudad magna y que impulsaron el desarrollo por el aumento de tamaño y densidad de las poblaciones y la necesidad de comunicación con otras regiones se tornó necesarias para hacer llegar suministros alimenticios o transportarlos a otros consumidores, es allí donde surge la necesidad de incrementar un eficiente sistema vial, y esto inicia en los años 1970 con los estudios de alcantarillado

y pavimentación las cuales se llevan a cabo conjuntamente entre la Autoridad Portuaria de Manta y la muy Ilustre Municipalidad de Manta.

La comunicación al Puerto de Manta se la mantiene a través de los sistemas de Carreteras, Vías Navegables y Aeropuertos.

Asimismo, a finales de los años 90 estalló el boom inmobiliario y urbanístico: centros comerciales, grandes supermercados, varias ciudadelas populares y muchos conjuntos habitacionales de alta plusvalía se erigieron en todos los puntos cardinales del perímetro urbano; a esto se suman decenas de torres de hoteles y apartamentos en la zona adjunta a las playas del Murciélago y Barbasquillo que han ido surgiendo y remozando la fisonomía de la ciudad, tornándola más altiva y moderna.

En estos mismos años, Autoridad Portuaria ha puesto su rúbrica en obras de infraestructura urbana como la Vía Circunvalación y la Vía Puerto-Aeropuerto, aliviando así la comunicación interna y reforzando sólidamente la imagen dinámica de esta pujante urbe.

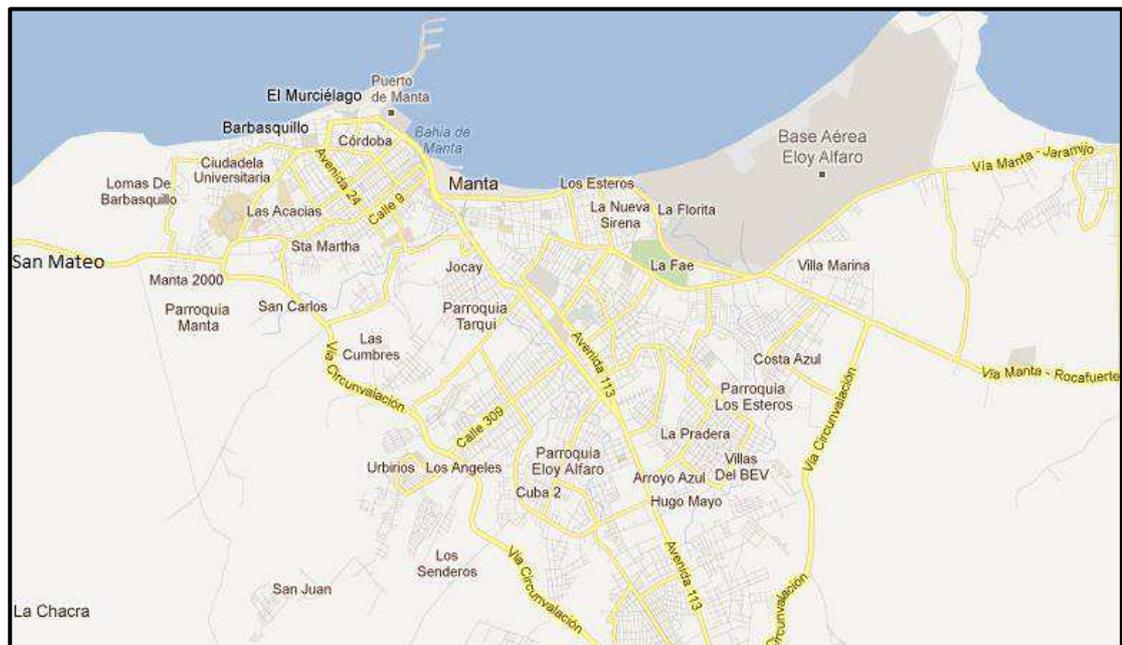
Entre las carreteras y vías que la muy Ilustre Municipalidad de San Pablo de Manta en conjunto de Autoridad Portuaria podemos destacar las siguientes calles y avenidas de más afluencia vehicular.

- ❖ La avenida 113 conocida como la vía vieja que une a Manta con Quevedo, una de las primeras vías que impulso el desarrollo y crecimiento de nuestra ciudad construida por la compañía SIMAR y CESA (compañía Ecuatoriana y Sociedad Anónima). El inicio de la pavimentación las llevo a cabo la Compañía SIMAR cuyo contratante era Autoridad Portuaria, esta vía debido al envejecimiento natural del asfalto se la repavimento a los 20 años lo que significa que la metodología del trabajo y control de la misma fue muy eficiente; en el cual cabe destacar la calidad de los agregados y de la mezcla asfáltica.
  
- ❖ La avenida Velasco Ibarra conocida actualmente como la avenida 4 de Noviembre que juega un papel muy importante en el sector comercial.
  
- ❖ La calle García Moreno actualmente calle 13 utilizaba el método de las cintas, que consistía en franjas de hormigón y al costado de la misma era rellena con piedra hoja acomodada a lo largo de la vía y los vehículos circulaban por la franja.
  
- ❖ La avenida circunvalación que conecta al Puerto de Manta con todos los Puertos, sectores de la producción, la Ruta del Sol, del Surf, Spondylus, y destinos turísticos del Ecuador.

- ❖ Vía Puerto Aeropuerto arranca en el año 2003, los estudios fueron realizados por Autoridad Portuaria de Manta, la compañía contratista que realizó la obra fue FOPECA S.A. y la fiscalización la realizó la ULEAM, tiene una longitud aproximada de 8,5 km desde el inicio del tramo I hasta la terminación del tramo III del paso lateral de Manta, dividido en dos tramos, uno de 6 carriles y 2 km de longitud, un ancho de 30 m. que recorre el casco comercial de la ciudad, en el cual se incluye una ciclovia y un balcón turístico con vista panorámica al mar y otro tramo de 4 carriles, que parte de la poza, recorre la parte turística e industrial de Tarqui y los Esteros, une al aeropuerto y enlaza el tramo III del paso lateral con una longitud de 6,5 Km, este tramo incluye la ciclovia y la zona turística en los primeros 2 Km hasta la parroquia los Esteros, por lo que tiene un ancho variable, en los 2 Km iniciales tendrá 26 m. de ancho y el resto 22m. de ancho, en todos los casos se incluye aceras.

## 1.2 UBICACIÓN

Manta está ubicada a 00 grados, 55 minutos y 35 segundos de latitud sur y a 80 grados, 43 minutos y 02 segundos de longitud oeste



**FIGURA 1.1- Ciudad Manta – Provincia Manabí.**

## 1.3 ESTADO DE LA VÍA

La ciudad de Manta presenta, debido a su histórica centralidad tanto física como funcional, una marcada concentración de tránsito en el área central de la misma.

Basado fundamentalmente en un diagrama de red vial convergente hacia el Área Central, ésta concentra la mayor cantidad de viajes urbanos. Asimismo, la Ciudad presenta una red vial de acceso cuyos niveles de servicio se han

deteriorado progresivamente en el transcurso de los últimos años, en donde el tránsito ha acompañado el crecimiento del parque automotor.

Las altas densidades, tanto edilicia como de actividades económicas, potencian al Área Central en relación con el tránsito vehicular, pese a que la misma enfrenta hoy un proceso de pérdida de vitalidad debido a las nuevas tendencias de policentrismo urbano, registrándose, por ende, un debilitamiento paulatino en su mixtura de usos y registrándose un avance de la actividad comercial por sobre otros usos, tales como el residencial, de muy importante raigambre en décadas pasadas.

La presencia de la avenida de Circunvalación permite una vinculación periférica anular para la Ciudad.

La Avenida Circunvalación permite interconectar no solo las principales vías de ingreso de la ciudad y de esta manera, impedir que circule el tránsito pesado que utiliza las rutas de la provincia para conectarse con otros puntos del país, sino que es utilizada como vía de interconexión dentro de la ciudad misma.

Finalmente, debe mencionarse, como un hecho novedoso dentro de la trama Urbana y su correlativo desarrollo del tránsito vehicular, la reciente aparición de nuevos modos de comercialización y consumo, tales como shopping centers, Hipermercados y grandes superficies especializadas, con importantes ventajas comparativas en la oferta de bienes, servicios y entretenimientos.

Este fenómeno ha motivado una fuerte atracción del tránsito de las áreas de

influencia de estos Centros como Manta Shopping, Comisariato Junior, Supermaxi, Todo Hogar ,Playa El Murciélago y avenida Flavio Reyes considerada como zona rosa de Manta han sufrido un considerable incremento de tránsito en años recientes, a esto se le suma los feriados ya que es aquí cuando aumenta de una forma caótica el tránsito vehicular ya que Manta se ha convertido en un punto estratégico de visita por turistas locales y extranjeros, lo que ha sido acompañado con recientes obras de Infraestructura Vial destinada a soportar los tránsitos resultantes.

#### **1.4 EL PROBLEMA**

Históricamente, las actividades de la Ciudad se han visto afectadas económicamente por el estado de los pavimentos urbanos. Su extensa red vial presenta algunos tramos satisfactorios, pero alternados con muchos tramos deficientes, los que aumentan los costos de operación de más de 40.000 vehículos (como es de fácil previsión, las partes más afectadas son los trenes de rodamiento, neumáticos, etc.), generan un importante incremento en la contaminación del aire y los ruidos por maniobras de frenado y aceleración y, en varios casos, son causa concurrente de accidentes de tránsito, los que superan los 5.000 casos por año en la Ciudad.

En general, en la temporada de lluvias el estado de transitabilidad de la Ciudad se vuelve crítico, con epicentro en los meses de Enero hasta Abril.

Descrito ya el problema podemos citar los siguientes inconvenientes que presentan las diferentes arterias se les atribuye los siguientes factores:

- ❖ Antigüedad de la mayoría de los pavimentos, agravada por cargas pesadas, aguas servidas, cortes para instalaciones subterráneas, deficientes reparaciones, etc.
- ❖ Inversiones insuficientes para rehabilitar los pavimentos, que se mantenían con bacheo y reparaciones superficiales.
- ❖ Herramientas institucionales insuficientes para la gestión de la transitabilidad de la red (pavimentos y de calzadas no pavimentadas).

A esto se le suma el poco control en la aplicación de los métodos de bacheo ya que en algunos casos se ha podido observar baches de gran importancia que han sido reparados y al poco tiempo de haber sido reparados presentan daños debido a la no correcta preparación del sitio para recibir el asfalto.

## **1.5 SOLUCION PROPUESTA**

La solución que proponemos con el desarrollo del proyecto titulado: **DISEÑO DE UNA MEZCLA DE HORMIGÓN ASFALTICO DE ALTO RENDIMIENTO PARA BACHES SUPERFICIALES Y PROFUNDOS DE LA CIUDAD DE MANTA**, como estudiantes de la escuela de ingeniería civil y a través de un proceso investigativo, analítico, crítico, reflexivo y pro-positivo, fundamentados en los conocimientos teóricos-prácticos adquiridos en

nuestra formación y con la experiencia socializada con los docentes, pretendemos plantear una pauta de solución técnica a la problemática vial de la ciudad de Manta, y que de ser puesto en ejecución beneficiará enormemente a esta ciudad.

Para llevar a cabo nuestro propósito debemos de respetar las normas y parámetros que este estudio representa además de seguir una buena metodología de colocación y vaciado del asfalto y un correcto control de preparación del terreno, para recibir esta mezcla asfáltica la cual sea capaz de soportar las exigencias de tránsito vehicular, a altas temperaturas y el entorno climático que se presentan en la naturaleza.

## **CAPÍTULO 2: DETERIORO DE LAS CARPETAS ASFÁLTICAS**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

El mantenimiento es la conservación y recuperación de una carretera en su condición original de construcción o en su condición mejorada, y debe hacerse con el mínimo gasto e interrupción del tráfico.

El mantenimiento no solo preserva la superficie del pavimento, sino que también previene el desgaste acelerado. No debe considerarse como un recurso temporario, sino como una inversión en la estructura del pavimento y una garantía contra una renovación costosa del mismo.

Las tensiones que producen defectos menores están constantemente trabajando en todos los pavimentos. Tales tensiones pueden ser causadas por un cambio de temperatura o contenido de humedad, por el tráfico, o por pequeños movimientos en el suelo subyacente o adyacente. Las fisuras, baches, depresiones y otros tipos de fallas son la evidencia visible del desgaste del pavimento.

Detectar a tiempo y reparar los defectos menores es, sin lugar a dudas, el trabajo más importante realizado por los equipos de mantenimiento. Las fisuras y otras fallas superficiales, las cuales en los primeros estados son casi imperceptibles, pueden convertirse en serios defectos si no son reparadas rápidamente.

Después de detectar las fallas se debe hacer una investigación detallada para determinar qué clase de reparación necesitan. Estas reparaciones deben realizarse tan pronto como sea posible.

Una inspección en cada tramo y la limpieza de los sistemas de drenaje son las formas de mantenimiento preventivo. Si los drenes se mantienen sin obstrucciones se eliminan algunas de las mayores causas de daño del pavimento.

La emulsión asfáltica simple o modificada es el ligante idóneo para este tipo de trabajo por su versatilidad de formulación, que permite adaptar la emulsión a características específicas o marginales de los áridos.

Los procedimientos de mantenimiento para corrección de fallas en pavimentos asfálticos incluyen bacheo, sellado de grietas, superficies y recubrimiento de la superficie.

Los baches son fallas localizadas en la superficie del pavimento, en forma de oquedades cóncavas, mayores 15 cm de ancho en su longitud mínima. Es una porción del pavimento que ha sido removida y colocada con o sin material adicional después de la construcción original del pavimento. Estas fallas ocurren comúnmente dentro de un área reparada previamente.

Estos pueden clasificarse de la siguiente manera:

- a) De baja severidad: < 1" de profundidad máxima.
- b) De severidad media: = 1" a 2" de profundidad máxima.

- c) De alta severidad: > 2" de profundidad máxima.

Cabe aclarar que la profundidad del bache es la profundidad máxima debajo de la superficie del pavimento, la cual se determina por medio de una inspección previa al tramo para estudiar la gravedad de la situación.

La manera de medirlos es registrando el número de baches en metros cuadrados del área afectada para cada nivel de severidad; cabe aclarar que cuando la profundidad del bache excede los 11.8" (>30 cm.) es de señal de que si existe un severo daño en la capas subyacente a la carpeta, lo que indica que la solución de bacheo del pavimento se convierte en una "recuperación total" del pavimento, es decir, el levantamiento total de la carpeta asfáltica para su reutilización.

Los principales factores que originan los baches (Fig.2.1) son:

- a) Daños por humedad.
- b) Daños por fatiga.
- c) Ciclos de hielo-deshielo.
- d) Capas de soporte de mala calidad.
- e) Tránsito vehicular.
- f) Mal drenaje.
- g) Composición inadecuada de la mezcla asfáltica.
- h) Desgranamiento superficial.



**FIGURA 2.1- Bache**

Los baches son causados por numerosos factores, pero generalmente se forman al introducirse agua al pavimento por una grieta. Esto se conoce como “tubificación” si el líquido entra por la carpeta asfáltica, e “infiltración” si penetra por los lados de la estructura del pavimento. Después aloja en las capas subyacentes y al transitar los vehículos sobre la capa saturada y/o congelada, la superficie de apoyo se derrumba resultando una oquedad o agujero. El bache se amplía a medida que el tráfico golpea y rompe los bordes del agujero.

Típicamente son más notorios al finalizar el invierno y principios de primavera, después de los ciclos de hielo y deshielo, no obstante, se vuelven críticos en las temporadas de lluvia.

## **2.2 ANTECEDENTES EN ECUADOR**

Desde hace 20 años, los programas de bacheo en el país han subsanado las estructuras viales con mezclas de bacheo que no se diseñaban y ni tenía especificaciones con Control/Aseguramiento de calidad. Dichas especificaciones se basaban en ensayos empíricos que se realizaban a una sola y determinada temperatura cuyo resultado era comparado con un rango determinado por otra especificación.

Los resultados de los ensayos se contrastaban con criterios taxativos, lo cual tenía como principal desventaja la necesidad de requerir experiencia previa de camino para poder relacionar el ensayo con el comportamiento en servicio. Ello no solo no era posible en muchos casos sino que además conducía a serios errores cuando se extrapolan resultados de una región a otra. Esto generaba altos tiempos de espera por los bajos volúmenes que se manejan, desempeño pobre (debido a la deficiente aplicación de la mezcla) y altos costos de mantenimiento.

## **2.3 EL BACHEO EN LA ACTUALIDAD**

Es el método de reparación más difundido en el mantenimiento de carreteras y calles. Todos los pavimentos requieren bacheo alguna vez. Si los baches no ocurren por causas naturales, los producen los cortes y zanjas que origina el tránsito. Los defectos varían desde áreas agrietadas y abrasiones superficiales hasta baches profundos.

El bacheo requiere una supervisión experimentada y firme. Una reparación oportuna de las pequeñas fracturas ayudará a mantener bajos los costos porque una vez que el área colapsa, penetra el agua a la subrasante y la única solución es la reconstrucción completa del pavimento a un costo elevado.

Dentro del mantenimiento correctivo de caminos, pocas áreas han cambiado tanto como la técnica de reparación de baches.

Existen dos tipos de periodos de bacheo:

- a) Bacheo Emergente.- Bajo condiciones difíciles sin programación (Implica Altos Costos).
- b) Bacheo Rutinario.- Mantenimiento programado para periodos con clima cálido y seco.

Los programas de bacheo son una acción meramente emergente que sin duda resultan ser solo una solución temporal debido a los que los baches siempre vuelven a salir, sin embargo, estos programas pasan a ser obsoletos cuando la cantidad de baches es crítica, pues en ese caso, la mejor solución sería la reconstrucción total de la estructura vial, aunque esta resulta ser una propuesta económicamente elevada.

De igual manera, se debe tomar en cuenta otros factores además del clima en la toma de decisión para reparar los baches tales como:

- a) Nivel de tráfico.
- b) Tiempo para que se programe la rehabilitación o sobre carpeta.
- c) Tolerancia del usuario del camino.

Asimismo, los dos principales elementos que influyen en la calidad del bacheo son:

- a) Selección de las Mezclas.
- b) Selección de las técnicas de reparación.

### **2.3.1 SELECCIÓN DE LA MEZCLA**

Los principales tipos de mezclas disponibles para el bacheo son:

1. Mezcla en caliente Local.
2. Mezcla en frio.
  - a) Mezclas locales usando los agregados y ligantes locales.
  - b) Mezclas propietarias (patentadas).
3. Mezcla tibia.

En la actualidad, las nuevas especificaciones para asfaltos convencionales y asfaltos modificados permiten establecer un sistema de clasificación y selección del ligante para la mezcla en función de las condiciones climáticas

del lugar. Dichas condiciones expresadas en rangos de temperaturas de diseño del pavimento permiten calcular las propiedades del flujo y deformación de los ligante para unas condiciones de carga y temperatura adecuadas al proyecto en cuestión.

Tales reaccionan a las propiedades físicas de los asfaltos con principios ingenieriles que condicionan características geológicas del ligante con el comportamiento del mismo en servicio, propiedad de suma trascendencia a fin de prever la durabilidad de la mezcla.

## **2.4 TIPOS DE BACHES (IDENTIFICACIÓN)**

Los baches no tienen lugar particular de aparición y se presentan en zonas con grietas, deformaciones o pérdida de agregados.

Las causas principales de su aparición son:

- ❖ Baja calidad de materiales en la construcción del pavimento.
- ❖ Infiltración de agua.
- ❖ Disgregación del material bajo la acción del tráfico.
- ❖ Estado siguiente al desarrollo de grietas en piel de cocodrilo o de un hundimiento.

Dependiendo de la profundidad del daño, estos se clasifican en: Baches Superficiales y Baches Profundos.

### **2.4.1 BACHES PROFUNDOS**

Es aquel en el cual el daño ya se ha presentado a nivel de base del pavimento o a una profundidad mayor.

Se usan para hacer reparaciones duraderas del pavimento. El material del área a ser reparada debe ser removido hasta la profundidad necesaria para alcanzar un soporte firme. Esto puede implicar la remoción de parte de la subrasante. La excavación debe además extenderse por lo menos 0.30m dentro del pavimento en buen estado que circunda el área a ser bacheada. El bache debe tener sus cantos a escuadra y en forma rectangular. Una sierra de pavimento realiza un corte rápido y limpio. Las caras verticales reciben luego un riego de liga.

Si el piso del bache es una base granular, que es parte de la estructura del pavimento, deberá ser imprimado antes de colocar la mezcla asfáltica con emulsión para bacheo. Si la profundidad del bache se extiende hasta o dentro de la subrasante y se contempla la posibilidad de efectuar un bacheo asfáltico full-depth (profundidad total), entonces no es necesario un riego de imprimación, solo se aplicará un leve riego de liga.

Para obtener mejores resultados, el bache debe ser rellenado primeramente con una mezcla asfáltica densa, distribuida cuidadosamente para prevenir segregación. Si no se dispone de mezcla asfáltica, se rellena el piso del bache con un buen material granular de base. La parte de la superficie y la

porción superior de la base que fue excavada pueden disgregarse en pedazos pequeños, mezclarse cuidadosamente y colocarse en el piso del bache.

Si la profundidad del bache es mayor que 0.15 m, el relleno debe ser colocado en capas y cada capa debe ser compactada cuidadosamente. Un compactador vibratorio es excelente para baches pequeños. Para grandes áreas puede ser más práctico utilizar un rodillo. Se completa la reparación colocando una carpeta asfáltica superficial y compactándola posteriormente, dejando un pequeño bombeo en la superficie.



**FIGURA 2.4.1- BACHES**

## **2.5 DEFINICIÓN DE LOS TIPOS DE DAÑOS EN PAVIMENTOS FLEXIBLES**

Los daños que presenta una estructura de pavimento flexible pueden ser clasificados en cuatro categorías:

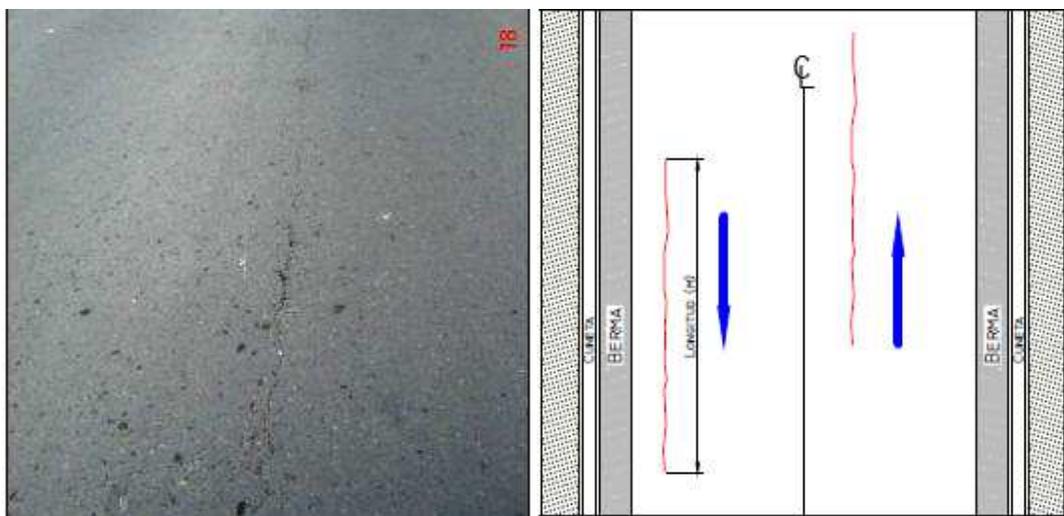
- ❖ Fisuras
- ❖ Deformaciones
- ❖ Perdidas de las capas estructurales
- ❖ Daños Superficiales
- ❖ Otros Daños

Dentro de cada categoría existen diferentes deterioros que se origina por diversos factores, algunos de los cuales se han establecidos mediante la revisión bibliográfica, y otros mediante evaluación de campo y ensayos de laboratorios. A continuación se presenta la definición de cada uno de estos deterioros, sus severidades (clasificadas en baja, media y alta), sus posibles causas, reparación y evolución probable, todo ello acompañado de un registro fotográfico.

## 2.5.1 FISURAS

### 2.5.1.1 Fisuras Longitudinales y transversales (FL, FT)

Corresponden a discontinuidades en la carpeta asfáltica, en la misma dirección del tránsito o transversales a él. Son indicio de la existencia de esfuerzos de tensión en alguna de las capas de la estructura, las cuales han superado la resistencia del material afectado. La localización de las fisuras dentro del carril puede ser un buen indicativo de la causa que las generó, ya que aquella que se encuentran en zonas sujetas a carga, pueden estar relacionadas con problemas de fatiga de toda la estructura o de alguna de sus partes.



**FIGURA 2.5.1.1- Fisuras FL, FT**

#### **2.5.1.1.1 Causas:**

Las causas más comunes a ambos tipos de fisuras son:

- ❖ Rigidización de la mezcla asfáltica por pérdida de flexibilidad debido a un exceso de filler, o al envejecimiento del asfalto, ocurre ante bajas temperaturas o gradientes térmicos altos (generalmente superiores a 30°).
- ❖ Reflexión de grietas de las capas inferiores, generadas en materiales estabilizados o por grietas o juntas existentes en placas de concreto hidráulico subyacentes.

Otras causas para la conformación de fisuras longitudinales son:

- ❖ Fatiga de la estructura, usualmente se presenta en las huellas del tránsito.

Otras causas para la conformación de fisuras transversales son:

- ❖ Pueden corresponder a zonas de contacto entre corte y terraplén por la diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante.
- ❖ Riego de liga insuficiente o ausencia total.
- ❖ Espesor insuficiente de la capa de rodadura.

#### **2.5.1.1.2 Reparación:**

Se deberá reparar lo más pronto posible. Las grietas de 3mm de ancho son demasiado pequeñas para ser selladas perfectamente; las grandes de más de 3mm de ancho se pueden rellenar con lechada de emulsión asfáltica o con asfalto líquido mezclado con arena fina, o materiales asfálticos de mayor viscosidad. Se recubre con arena seca la grieta rellena, para evitar que el tránsito levante el material de relleno.

#### **2.5.1.1.3 Severidades:**

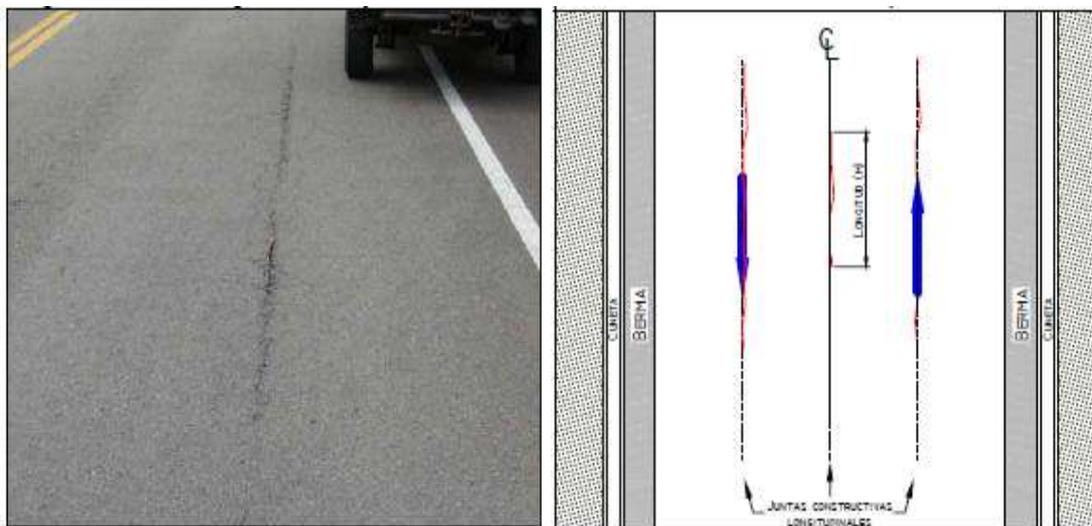
- ❖ Baja: abertura de fisura menor de 1 mm, cerrada o con sello en buen estado.
- ❖ Media: abertura de la fisura entre 1 y 3 mm, pueden existir algunas fisuras con patrones irregulares de severidad baja en los bordes o cerca de ellos y pueden presentar desportillamientos leves; existe una alta probabilidad de infiltración de agua a través de ellas.
- ❖ Alta: abertura de la fisura mayor que 3 mm, pueden presentar desportillamientos considerables y fisuras con patrones irregulares de severidad media o alta en los bordes o cerca de ellos, puede causar movimientos bruscos a los vehículos.

#### 2.5.1.1.4 Evolución Probable:

Piel de cocodrilo, desintegración, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales (por el ingreso de agua), fisuras en bloque.

#### 2.5.1.2 Fisuras en Juntas de Construcción (FCL, FCT)

Corresponden a fisuras longitudinales o transversales generadas por la mala ejecución de las juntas de construcción de la carpeta asfáltica o de las juntas en zonas de ampliación. Se localiza generalmente en el eje de la vía, coincidiendo con el ancho de los carriles, zonas de ensanche y en zona de unión entre dos etapas de colocación de pavimento asfáltico.



**FIGURA 2.5.1.2- Fisuras en Juntas de Construcción Longitudinal**



**FIGURA 2.5.1.2- Fisuras en Juntas de Construcción Transversal**

#### **2.5.1.2.1 Causas:**

- ❖ Carencia de ligante en las paredes de las juntas.
- ❖ Deficiencia en el corte vertical de las franjas construidas con anterioridad.
- ❖ Deficiencia de compactación en la zona de la junta.
- ❖ Unión entre materiales de diferente rigidez.

#### **2.5.1.2.2 Severidades:**

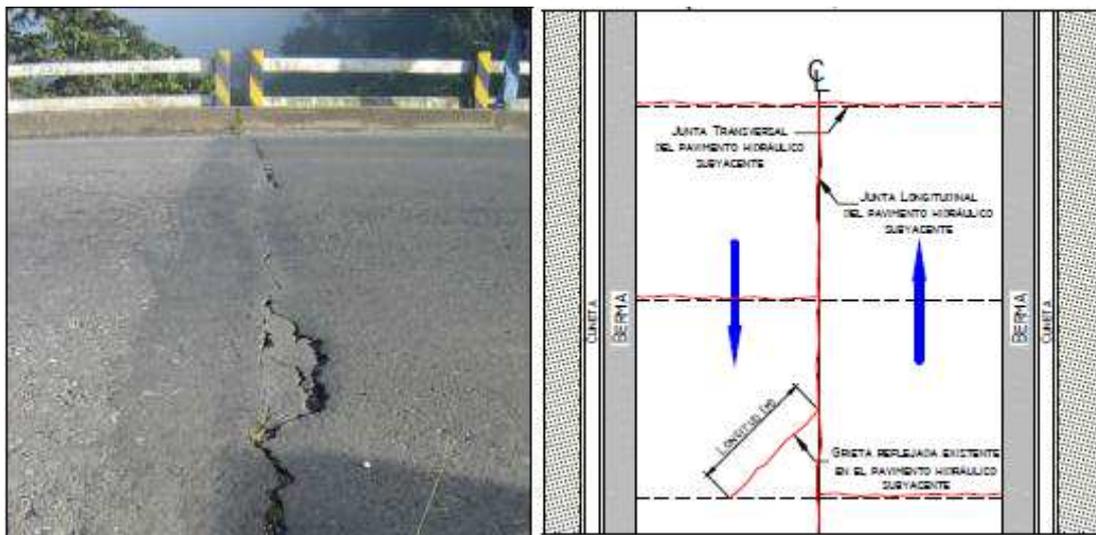
Aplican los mismos criterios mencionados para fisuras longitudinales y transversales.

**2.5.1.2.3 Evolución Probable:**

Pérdida de agregado, descascaramientos, asentamientos longitudinales o transversales, piel de cocodrilo, desportillamientos.

**2.5.1.3 Fisura por Reflexión de Juntas o Grietas en Placas de Concreto (FJL o FJT)**

Este tipo de daño se presenta cuando existe una capa de concreto asfáltico sobre placas de concreto rígido; tales fisuras aparecen por la proyección en superficie de las juntas de dichas placas, en cuyo caso presentan un patrón regular, o también cuando existen grietas en las placas de concreto rígido que se han reflejado hasta aparecer en la superficie presentando un patrón irregular.



**FIGURA 2.5.1.3- Fisuras por Reflexión de Juntas o Grietas**

#### **2.5.1.3.1 Causas:**

Son generadas por los movimientos de las juntas entre las placas de concreto rígidos o de los bloques formados por las grietas existentes en éste, debido a los cambios de temperatura y de humedad. Generalmente no se atribuyen a las cargas de tránsito, aunque estas pueden provocar fisuración en las zonas aledañas incrementando la severidad del daño.

#### **2.5.1.3.2 Reparación:**

Si las fisuras de reflexión son menores de 3 mm. de ancho, se deben rellenar con emulsión asfáltica de rotura lenta sin diluir, cubriéndolas luego con arena. Las grietas más anchas que 3 mm. se deben rellenar con una lechada de emulsión asfáltica.

Para realizar este tipo de trabajo se procede de la siguiente manera:

- ❖ Se limpian las grietas con un cepillo de cerdas duras o aire comprimido.
- ❖ **Grietas Grandes:** Utilizando una maestra de mano y un cepillo, se rellena (sin aplicar un exceso) con lechada de emulsión asfáltica con arena. Después de curado, se sella con asfalto líquido utilizando una regadera y una maestra de mano.

Se recubre con arena seca la superficie de la grieta rellenada para evitar que el tráfico la levante.

**2.5.1.3.3 Severidades:**

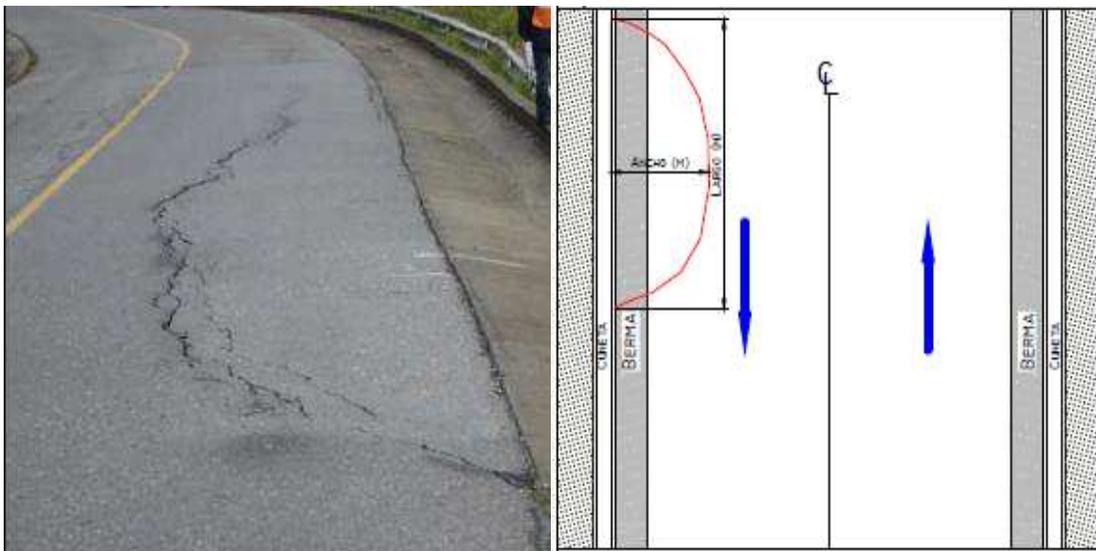
Aplican los mismos criterios mencionados para fisuras longitudinales y transversales.

**2.5.1.3.4 Evolución Probable:**

Fisuras en bloque, descascaramientos, baches.

**2.5.1.4 Fisura en Media Luna (FML)**

Son fisuras de forma parabólica asociadas al movimiento de la banca por lo que usualmente se presentan acompañadas de hundimientos.



**FIGURA 2.5.1.4- Fisura en media luna**

#### **2.5.1.4.1 Causas:**

En general, este tipo de fisuras se producen por inestabilidad de la banca o por efectos locales de desecación, aunque entre otras causas se pueden mencionar las siguientes:

- ❖ Falla lateral del talud en zonas de terraplén.
- ❖ Falla del talud en zonas de corte a media ladera.
- ❖ Ausencia o fallas de obras de contención de la banca.
- ❖ Desecación producida por la presencia de árboles muy cerca de la vía.

#### **2.5.1.4.2 Severidades:**

Aplica el criterio establecido para fisuras longitudinales y transversales.

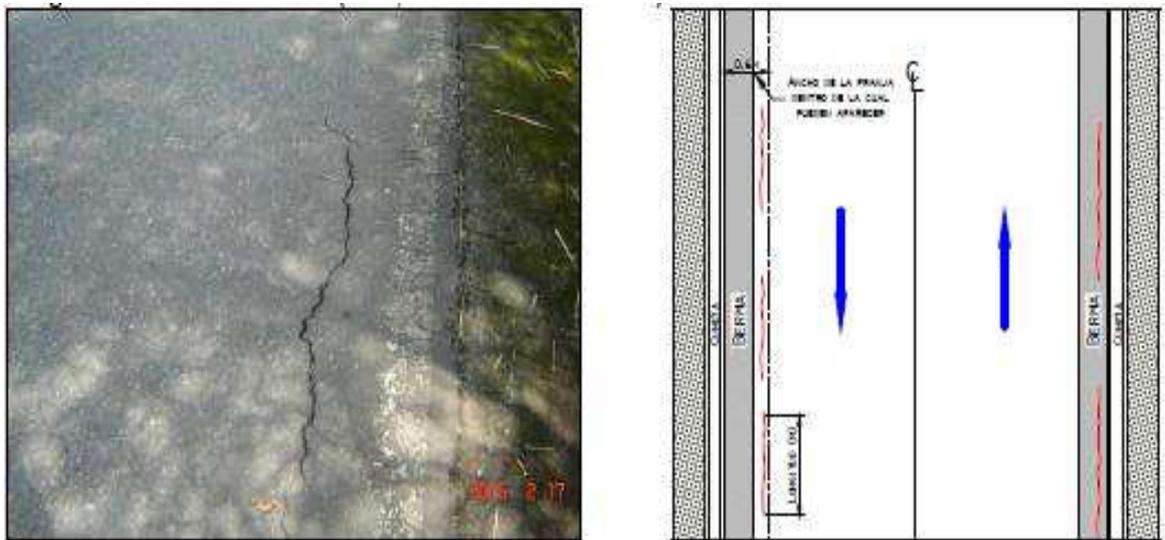
#### **2.5.1.4.3 Evolución Probable:**

Ampliación del proceso (aumento del área afectada), aumento del hundimiento, pérdida de la banca.

### 2.5.1.5 Fisuras de borde (FBD).

Corresponden a fisuras con tendencia longitudinal a semicircular localizadas cerca del borde de la calzada, se presentan principalmente por la ausencia de berma o por la diferencia de nivel entre la berma y la calzada.

Generalmente se localizan dentro de una franja paralela al borde, con ancho de hasta 0,6 m.



**FIGURA 2.5.1.5- Fisuras de borde**

#### 2.5.1.5.1 Causas:

La principal causa de este daño es la falta de confinamiento lateral de la estructura debido a la carencia de bordillos, anchos de berma insuficientes o sobre carpetas que llegan hasta el borde del carril y quedan en desnivel con la berma; en estos casos la fisura es generada cuando el tránsito circula muy

cerca del borde. Las fisuras que aparecen por esta causa generalmente se encuentran a distancias entre 0,3 m a 0,6 m del borde de la calzada.

#### **2.5.1.5.2 Reparación:**

Para efectuar reparaciones provisionales, se rellenan las grietas como en el caso de las grietas de reflexión. Para reparaciones de más duración, se rellenan las grietas con lechada de emulsión asfáltica o asfalto líquido mezclado con arena. Si el borde del pavimento se ha asentado se debe llevar a su nivel utilizando material de bacheo mezclado en planta en caliente.

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- ❖ Se mejoran los drenajes, instalando su drenaje cuando sean necesario.
- ❖ Se limpia el pavimento y las grietas con cepillo y aire comprimido.
- ❖ Se rellenan las grietas con lechada o emulsión asfáltica
- ❖ Se aplica una capa de pega.
- ❖ Se nivelan los bordes asentados, extendiendo material asfáltico mezclado en caliente. Se comprueba la nivelación con una regla o con un cable. Se compacta con un compactador vibrante plano (tipo bailarina o sapito) o con un rodillo. Los bordes del parche deben ser limpios y rectos.

- ❖ Se remueven los árboles, hierbas y cualquier otra vegetación, excepto la grama, que se encuentren próximo a los bordes del pavimento.

#### **2.5.1.5.3 Severidades y unidad de medición:**

Aplican los mismos criterios que para fisuras longitudinales y transversales.

#### **2.5.1.5.4 Evolución probable:**

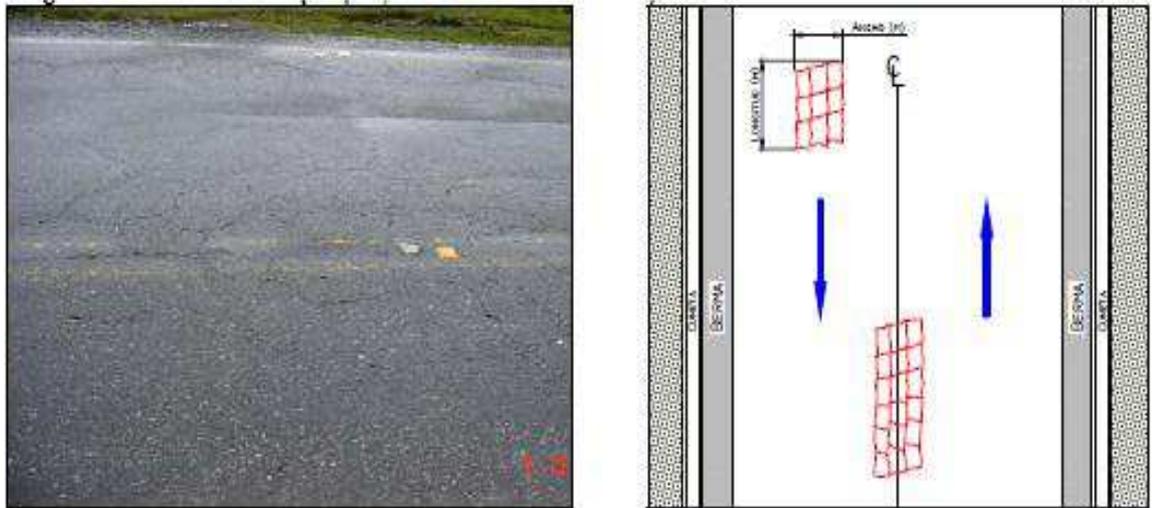
Desprendimiento del borde o descascaramiento.

#### **2.5.1.6 Fisuras en bloque (FB)**

Cuando se presenta este tipo de daño la superficie del asfalto es dividida en bloques de forma aproximadamente rectangular. Los bloques tienen lado promedio mayor que 0,30 m.

Este deterioro difiere de la piel de cocodrilo en que esta última aparece en áreas sometidas a carga, mientras que los bloques aparecen usualmente en áreas no cargadas. Sin embargo, es usual encontrar fisuras en bloque que han evolucionado en piel de cocodrilo por acción del tránsito.

Por otra parte, la piel de cocodrilo generalmente está formada por bloques con más lados y ángulos agudos.



**FIGURA 2.5.1.6- Fisuras en Bloque**

#### **2.5.1.6.1 Causas:**

- ❖ La fisuración en bloque es causada principalmente por la contracción del concreto asfáltico debido a la variación de la temperatura durante el día, lo cual se traduce en ciclos de esfuerzo-deformación sobre la mezcla. La presencia de este tipo de fisuras indica que el asfalto se ha endurecido significativamente, lo cual sucede debido al envejecimiento de la mezcla o al uso de un tipo de asfalto inadecuado para las condiciones climáticas de la zona.
- ❖ Reflejo de grietas de contracción provenientes de materiales estabilizados utilizados como base.
- ❖ Combinación del cambio volumétrico del agregado fino de la mezcla asfáltica con el uso de un asfalto de baja penetración.

#### **2.5.1.6.2 Reparación:**

- ❖ Severidad baja y media: Reparar mediante un sello o lechada asfáltica en toda la superficie.
- ❖ Bituminosos. (Para severidad media utilizar lechada asfáltica con árido más grueso).
- ❖ Severidad alta: Recarpetear o reciclar la mezcla en las zonas afectadas.

#### **2.5.1.6.3 Severidades:**

- ❖ Baja: los bloques se han comenzado a formar, pero no están claramente definidos y están conformados por fisuras de abertura menor que 1 mm, cerradas o con sello, no presentan desportillamiento en los bordes.
- ❖ Media: bloques definidos por fisuras de abertura entre 1 mm y 3 mm, o con sello fallado, que pueden o no presentar desportillamiento en los bordes.
- ❖ Alta: bloques bien definidos por fisuras de abertura mayor que 3 mm, que pueden presentar un alto desportillamiento en los bordes.

#### **2.5.1.6.4 Evolución probable:**

Piel de cocodrilo, descascamientos.

#### **2.5.1.7 Piel de cocodrilo (PC)**

Corresponde a una serie de fisuras interconectadas con patrones irregulares, generalmente localizadas en zonas sujetas a repeticiones de carga. La fisuración tiende a iniciarse en el fondo de las capas asfálticas, donde los esfuerzos de tracción son mayores bajo la acción de las cargas. Las fisuras se propagan a la superficie inicialmente como una o más fisuras longitudinales paralelas. Ante la repetición de cargas de tránsito, las fisuras se propagan formando piezas angulares que desarrollan un modelo parecido a la piel de un cocodrilo.

Tales piezas tienen por lo general un diámetro promedio menor que 30 cm.

La piel de cocodrilo ocurre generalmente en áreas que están sometidas a cargas de tránsito, sin embargo, es usual encontrar este daño en otras zonas donde se han generado deformaciones en el pavimento que no están relacionadas con la falla estructural (por tránsito o por deficiencia de espesor de las capas) sino con otros mecanismos como por ejemplo problemas de drenaje que afectan los materiales granulares, falta de compactación de las capas, reparaciones mal ejecutadas y subrasantes expansivas , entre otras. Este tipo de daño no es común en capas de material asfáltico colocadas sobre placas de concreto rígido.



**FIGURA 2.5.1.7- Fisura Piel de Cocodrilo**

#### **2.5.1.7.1 Causas:**

La causa más frecuente es la falla por fatiga de la estructura o de la carpeta asfáltica principalmente debido a:

- ❖ Espesor de estructura insuficiente.
- ❖ De formaciones de la subrasante.
- ❖ Rigidización de la mezcla asfáltica en zonas de carga (por oxidación de asfalto o envejecimiento).
- ❖ Problemas de drenaje que afectan los materiales granulares.
- ❖ Compactación deficiente de las capas granulares o asfálticas.
- ❖ Deficiencias en la elaboración de la mezcla asfáltica: exceso de mortero en la mezcla, uso de asfalto de alta penetración (hace deformable la mezcla), deficiencia de asfalto en la mezcla (reduce el módulo).

- ❖ Reparaciones mal ejecutadas, deficiencias de compactación, juntas mal elaboradas e implementación de reparaciones que no corrigen el daño.

Todos estos factores pueden reducir la capacidad estructural e inducir esfuerzos adicionales en cada una de las capas del pavimento, haciendo que ante el paso del tránsito se generen deformaciones que no son admisibles para el pavimento que se pueden manifestar mediante fisuración.

#### **2.5.1.7.2 Reparación:**

- ❖ Puesto que las grietas en forma de piel de cocodrilo son, usualmente, el resultado de la saturación de bases o subrasantes, la corrección debe incluir la remoción del material húmedo y la instalación de los drenajes necesarios. Para poner un parche resistente se debe emplear únicamente un material asfáltico mezclado en planta. (Esta puede ser la reparación menos costosa debido a que se utiliza una sola operación usando un solo material). Si no se dispone de material asfáltico mezclado en planta, se puede colocar un material granular de base nuevo, compactándolo en capas que no exceden 15 cm. La base granular debe ser luego imprimada y bacheada.

Cuando sea necesario, se pueden realizar reparaciones temporales, aplicando parches superficiales o capas de sello con agregado en las

áreas afectadas. En todos los casos, las reparaciones deben hacerse prontamente para evitar mayores daños al pavimento. En el caso de agrietamiento por sobrecarga, un recubrimiento debidamente diseñado corregirá la condición.

❖ **Bacheo Profundo (Reparación Permanente)**

Para realizar este trabajo se procede de la siguiente manera:

- ✓ Se remueve la superficie y la base hasta la profundidad que sea necesaria, para alcanzar un apoyo firme extendiéndose al menos 30 cm en el pavimento sano, fuera del área agrietada. Esto puede significar que parte del material de la subrasante sea removido. Hacer el corte cuadrado o rectangular con caras rectas y verticales. Un par de las caras debe formar ángulo recto con la dirección del tráfico. Una sierra de pavimento puede hacer un corte rápido y limpio.
- ✓ Si el agua es la causa de la falla se instalan drenajes.
- ✓ Se aplica una capa de pega en las caras verticales.
- ✓ Para obtener los mejores resultados. Se rellena el hueco con una mezcla asfáltica, densamente gradada, mezclada en caliente en planta, para evitar la segregación de la mezcla extiéndase cuidadosamente. Si no se dispone de mezcla asfáltica se puede hacer relleno con buen material granular de base. Parte de material de la superficie y de la parte superior

removida del hueco, desmenuzado en pequeños pedazos y mezclados completamente, pueden colocarse en el fondo del hueco.

- ✓ Si el hueco tiene más de 15 cm de profundidad se debe compactar en capas. Compáctese cada capa perfectamente, la compactación debe realizarse con el equipo más apropiado al tamaño del trabajo. Para parches pequeños un compactador vibrante plano es excelente. Para áreas grandes es más práctico un rodillo.
- ✓ Cuando la mezcla asfáltica se coloca directamente sobre la subrasante, no se requiere imprimación.
- ✓ Si se emplea una base granular entonces debe ser imprimada. La reparación se completa luego colocando mezcla asfáltica mezclada en caliente en planta compactándola hasta dejarla a ras con la superficie adyacente. Si no se dispone de mezcla asfáltica en caliente, se puede utilizar material mezclado en planta usando asfalto líquido.
- ✓ Utiliza una regla o un alambre para verificar las cualidades de rodamiento y alineamiento del bache.

#### 2.5.1.7.3 Severidades:

- ❖ **Baja:** Serie de fisuras longitudinales paralelas (pueden llegar a tener aberturas de 3 mm), principalmente en la huella, que no presentan desportillamiento, con pocas o ninguna conexión entre ellas y no existe evidencia de bombeo.
- ❖ **Media:** Las fisuras han formado un patrón de polígonos pequeños y angulosos, que pueden tener un ligero desgaste en los bordes y aberturas entre 1 mm y 3 mm, sin evidencia de bombeo.
- ❖ **Alta:** Las fisuras han evolucionado (abertura mayor de 3 mm), se presenta desgaste o desportillamiento en los bordes y los bloques se encuentran sueltos o se mueven ante el tránsito, incluso llegando a presentar descascaramientos y bombeo.

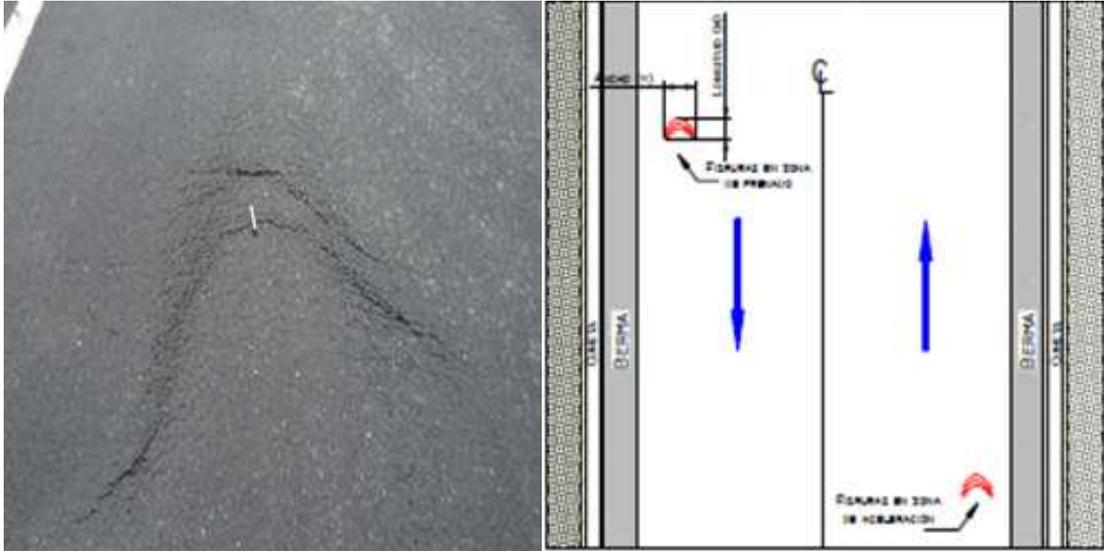
#### 2.5.1.7.4 Evolución Probable:

Deformaciones, descascaramientos, baches.

#### 2.5.1.8 Fisuración por Deslizamiento de Capas (FDC)

Corresponden a fisuras en forma de semicírculo o medialuna, con curvaturas definidas de acuerdo con la fuerza de tracción que produce la llanta sobre el pavimento (al acelerar o frenar). Este tipo de fisuras se genera por acción del arranque o frenado de los vehículos lo que conlleva a que la superficie del

pavimento se deslice y se deforme. Usualmente aparecen en zonas montañosas, en curvas o intersecciones.



**FIGURA 2.5.1.8- Fisura por deslizamiento de capas**

#### **2.5.1.8.1 Causas:**

Estas fisuras se presentan usualmente cuando existe una mezcla en la superficie de baja resistencia o por la escasa adherencia entre las capas superficiales de la estructura del pavimento.

Se pueden generar ante el paso del tránsito muy pesado y muy lento, en zonas de frenado y aceleración de los vehículos.

Otras causas pueden ser:

- ❖ Espesores de carpeta muy bajos.
- ❖ Alto contenido de arena en la mezcla asfáltica.

- ❖ Exceso de ligante o presencia de polvo durante la ejecución del riego de liga.
- ❖ Carencia de penetración de la imprimación en bases granulares.

#### **2.5.1.8.2 Severidades:**

El nivel de severidad asignado será similar al de las fisuras longitudinales y transversales, teniendo en cuenta además lo siguiente:

- ❖ **Baja:** Abertura máxima de las fisuras menor que 1 mm.
- ❖ **Media:** Abertura máxima de las fisuras entre 1 mm y 3 mm, pueden existir agrietamientos alrededor de las fisuras, con abertura menor a 1 mm.
- ❖ **Alta:** Abertura máxima de las fisuras mayor a 3 mm, pueden existir agrietamientos entre las fisuras y en la zona aledaña, con aberturas mayores a 1 mm.

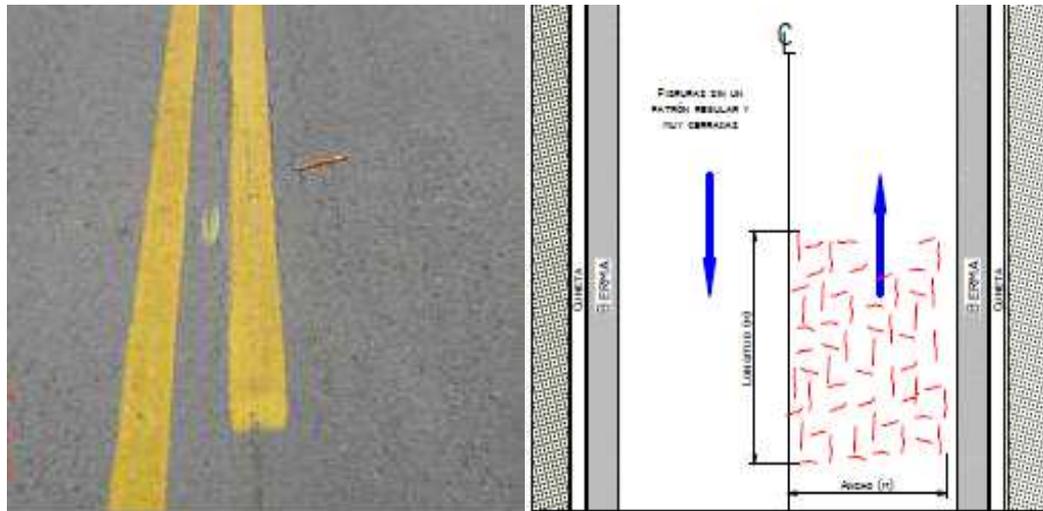
#### **2.5.1.8.3 Evolución Probable:**

Descascaramientos, baches, hundimientos, abultamientos.

#### **2.5.1.9 Fisuración incipiente (FIN)**

La fisuración incipiente corresponde a una serie de fisuras contiguas y cerradas, que generalmente no se interceptan. Suelen afectar el concreto

asfáltico de manera superficial. Por ser daños muy leves no poseen niveles de severidad asociados.



**FIGURA 2.5.1.9- Fisura Incipiente**

#### **2.5.1.9.1 Causas:**

- ❖ Diferencia de temperatura entre la mezcla y el medio ambiente en el momento de la colocación (temperatura ambiente baja).
- ❖ Lluvia durante la colocación del concreto asfáltico.

#### **2.5.1.9.2 Unidad de medición:**

Se registra el área afectada en metros cuadrados ( $m^2$ ), no tiene grados de severidad asociados.

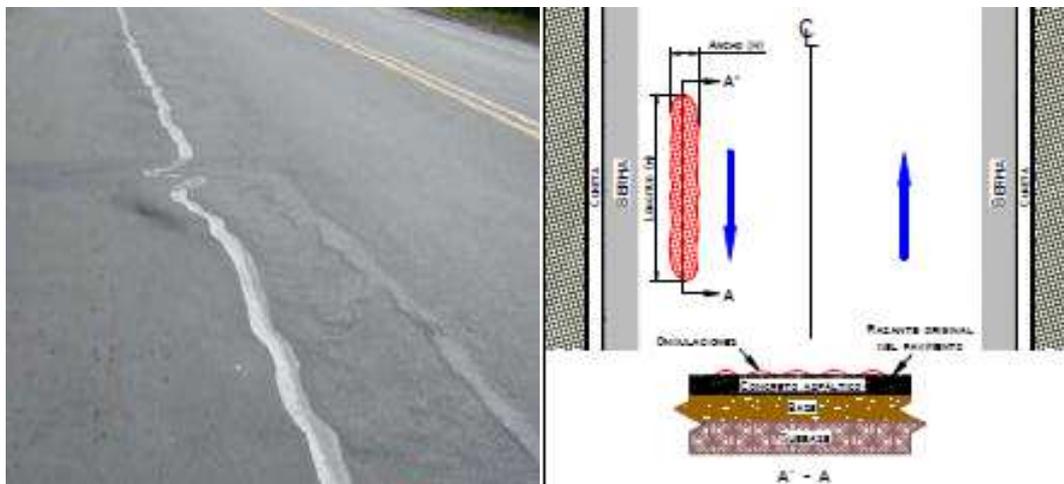
**2.5.1.9.1 Evolución probable:**

Piel de cocodrilo de pequeños bloques, pérdida de agregados, fisuras en bloque.

**2.5.2 DEFORMACIONES**

**2.5.2.1 Ondulación (OND)**

También conocida como corrugación o rizado, es un daño caracterizado por la presencia de ondas en la superficie del pavimento, generalmente perpendicular a la dirección del tránsito, con longitudes entre crestas usualmente menores que 1.0 m.



**FIGURA 2.5.2.1- Ondulación**

#### **2.5.2.1.2 Causas:**

La ondulación es una deformación plástica de la capa asfáltica, debido generalmente a una pérdida de estabilidad de la mezcla en climas cálidos por mala dosificación del asfalto, uso de ligantes blandos o agregados redondeados. Muchos de los casos suelen presentarse en las zonas de frenado o aceleración de los vehículos.

Otra causa puede estar asociada a un exceso de humedad en la subrasante, en cuyo caso el daño afecta toda la estructura del pavimento. Además también puede ocurrir debido a la contaminación de la mezcla asfáltica con finos o materia orgánica.

Bajo este contexto, las causas más probables son:

- ❖ Pérdida de estabilidad de la mezcla asfáltica.
- ❖ Exceso de compactación de la carpeta asfáltica.
- ❖ Exceso o mala calidad del asfalto.
- ❖ Insuficiencia de triturados (caras fracturadas).
- ❖ Falta de curado de las mezclas en la vía.
- ❖ Acción del tránsito en zonas de frenado y estacionamiento.
- ❖ Deslizamiento de la capa de rodadura sobre la capa inferior por exceso de riego de liga.

#### **2.5.2.1.3 Severidades:**

- ❖ Baja: Profundidad máxima menor que 10 mm, causa poca vibración al vehículo, la cual no genera incomodidad al conductor.
- ❖ Media: Profundidad máxima entre 10 mm y 20 mm, causa una mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.
- ❖ Alta: Profundidad máxima mayor que 20 mm, causa una vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

#### **2.5.2.1.4 Unidad de medición:**

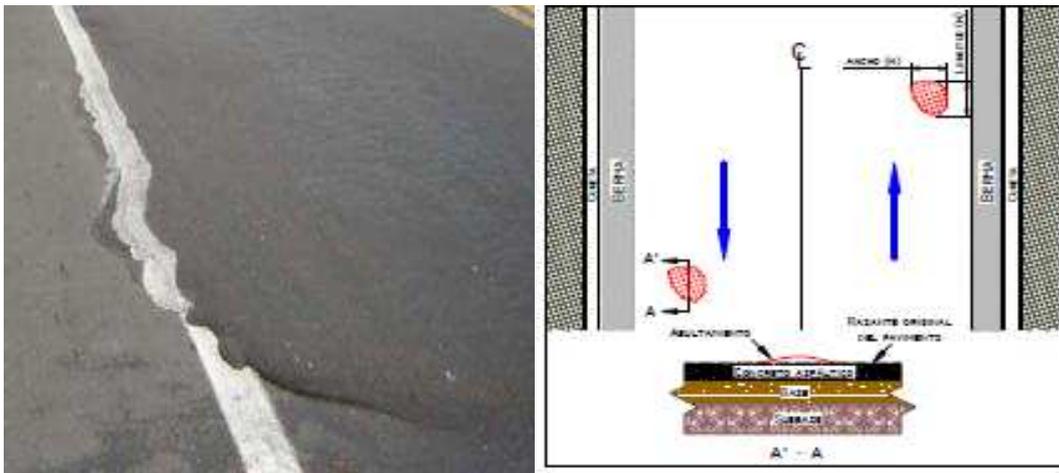
La ondulación se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada.

#### **2.5.2.1.5 Evolución probable:**

Exudación, Ahuellamiento.

#### **2.5.2.2 Abultamiento (AB)**

Este deterioro se asigna a los “abombamientos” o prominencias que se presentan en la superficie del pavimento. Pueden presentarse bruscamente ocupando pequeñas áreas o gradualmente en áreas grandes, acompañados en algunos casos por fisuras.



**FIGURA 2.5.2.2- Abultamiento**

**2.5.2.2.1 Causas:**

Se generan principalmente por la expansión de la subrasante o en capas de concreto asfáltico colocado sobre placas de concreto rígido, el cual se deforma al existir presiones bajo la capa asfáltica (como las generadas por procesos de bombeo).

**2.5.2.2.2 Severidades y unidad de medición:**

Aplican los mismos criterios establecidos para la ondulación.

**2.5.2.2.3 Evolución probable:**

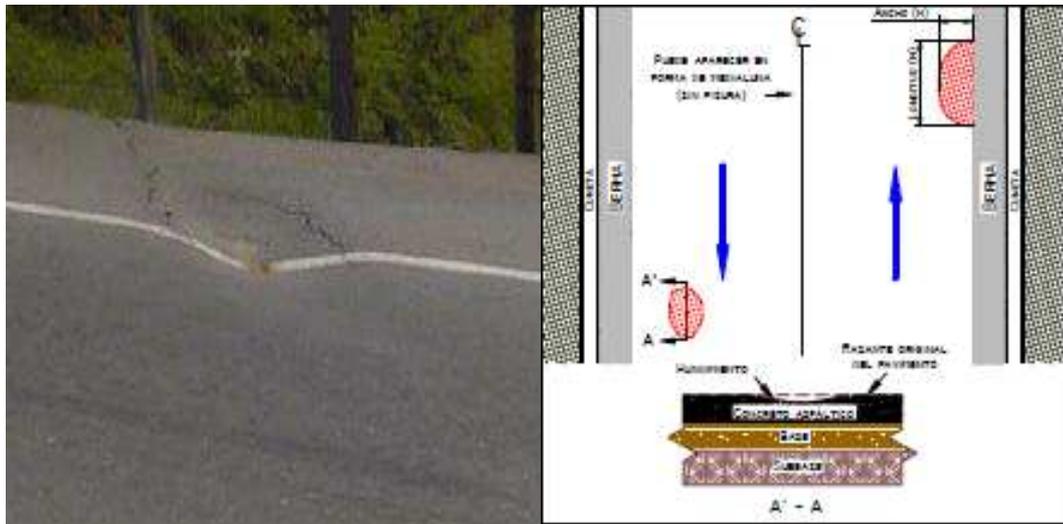
Fisuración, desprendimientos, exudación, ahuellamiento.

### 2.5.2.3 Hundimiento (HUN)

Los hundimientos corresponden a depresiones localizadas en el pavimento con respecto al nivel de la rasante.

Este tipo de daño puede generar problemas de seguridad a los vehículos, especialmente cuando contienen agua pues se puede producir hidroplaneo.

Los hundimientos pueden estar orientados de forma longitudinal o transversal al eje de la vía, o pueden tener forma de medialuna.



**FIGURA 2.5.2.3- Hundimiento**

#### 2.5.2.3.1 Causas:

Existen diversas causas que producen hundimientos las cuales están asociadas con problemas que en general afectan toda la estructura del pavimento:

- ❖ Asentamientos de la subrasante.

- ❖ Deficiencia de compactación de las capas inferiores del pavimento, del terraplén o en las zonas de acceso a obras de arte o puentes.
- ❖ Deficiencias de drenaje que afecta a los materiales granulares.
- ❖ Diferencia de rigidez de los materiales de la subrasante en los sectores de transición entre corte y terraplén.
- ❖ Deficiencias de compactación de rellenos en zanjas que atraviesan la calzada.
- ❖ Inestabilidad de la banca.
- ❖ Circulación de tránsito muy pesado.

#### **2.5.2.3.2 Severidades:**

- ❖ Baja: profundidad menor que 20 mm, causa poca vibración al vehículo, sin generar incomodidad al conductor.
- ❖ Media: Profundidad entre 20 mm y 40 mm, causa mayor vibración al vehículo generando incomodidad al conductor.
- ❖ Alta: Profundidad mayor que 40 mm, causa vibración excesiva que puede generar un alto grado de incomodidad, haciendo necesario reducir la velocidad por seguridad.

#### **2.5.2.3.3 Unidad de medición:**

Se cuantifica el área afectada en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

#### 2.5.2.3.4 Evolución probable:

Fisuración, desprendimientos, movimientos en masa.

#### 2.5.2.4 Ahuellamiento (AHU)

El ahuellamiento es una depresión de la zona localizada sobre la trayectoria de las llantas de los vehículos. Con frecuencia se encuentra acompañado de una elevación de las áreas adyacentes a la zona deprimida y de fisuración.

Un ahuellamiento significativo puede llevar a la falla estructural del pavimento y posibilitar el hidroplaneo por almacenamiento de agua.



**FIGURA 2.5.2.4- Ahuellamiento**

#### 2.5.2.4.1 Causas:

El ahuellamiento ocurre principalmente debido a una deformación permanente de alguna de las capas del pavimento o de la subrasante, generada por deformación plástica del concreto asfáltico o por deformación

de la subrasante debido a la fatiga de la estructura ante la repetición de cargas.

La deformación plástica de la mezcla asfáltica tiende a aumentar en climas cálidos, y también puede darse por una compactación inadecuada de las capas durante la construcción, por el uso de asfaltos blandos o de agregados redondeados.

Además, la falla estructural del pavimento puede manifestarse con daños de este tipo debido a una deficiencia de diseño, la cual se manifiesta cuando la vía está sometida a cargas de tránsito muy altas.

#### **2.5.2.4.2 Severidades:**

- ❖ Baja: Profundidad menor que 10 mm.
- ❖ Media: Profundidad entre 10 mm y 25 mm.
- ❖ Alta: Profundidad mayor que 25 mm.

#### **2.5.2.4.3 Unidad de medición:**

Se mide en metros cuadrados (m<sup>2</sup>) de área afectada, asignando la severidad de acuerdo con la zona de mayor profundidad.

#### **2.5.2.4.4 Evolución probable:**

Piel de cocodrilo, desprendimientos.

## 2.5.3 PÉRDIDA DE LAS CAPAS DE LA ESTRUCTURA

### 2.5.3.1 Descascaramiento (DC)

Este deterioro corresponde al desprendimiento de parte de la capa asfáltica superficial, sin llegar a afectar las capas asfálticas subyacentes.

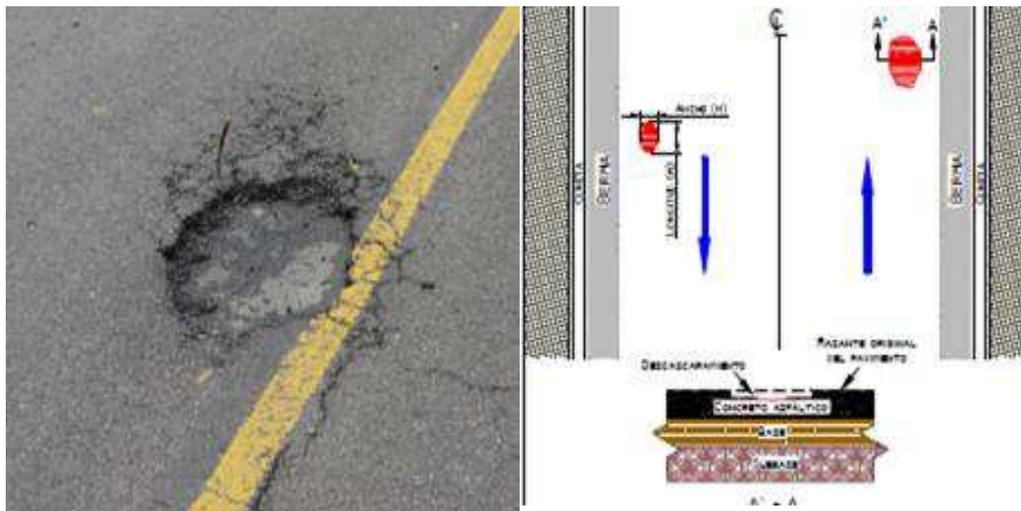


FIGURA 2.5.3.1- Descascaramiento

#### 2.5.3.1.1 Causas:

- ❖ Limpieza insuficiente previa a tratamientos superficiales.
- ❖ Espesor insuficiente de la capa de rodadura asfáltica.
- ❖ Riego de liga deficiente.
- ❖ Mezcla asfáltica muy permeable.

#### 2.5.3.1.2 Severidades:

- ❖ Baja: Profundidad menor que 10 mm.

- ❖ Media: Profundidad entre 10 mm y 25 mm.
- ❖ Alta: Profundidad mayor que 25 mm.

**2.5.3.1.3 Unidad de medición:**

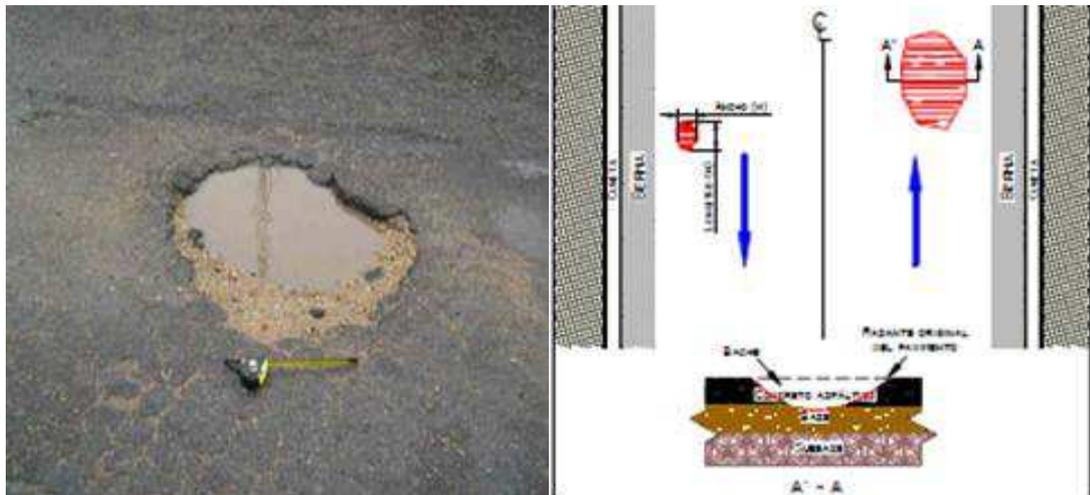
Se registra el área afectada para cada severidad en metros cuadrados (m<sup>2</sup>).

**2.5.3.1.4 Evolución probable:**

Piel de cocodrilo, bache.

**2.5.3.2 Baches (BCH)**

Desintegración total de la carpeta asfáltica que deja expuestos los materiales granulares lo cual lleva al aumento del área afectada y al aumento de la profundidad debido a la acción del tránsito. Dentro de este tipo de deterioro se encuentran los ojos de pescado que corresponden a baches de forma redondeada y profundidad variable, con bordes bien definidos que resultan de una deficiencia localizada en las capas estructurales.



**FIGURA 2.5.3.2- Bache**

**2.5.3.2.1 Causas:**

Este tipo de deterioro puede presentarse por la retención de aguas en zonas fisuradas que ante la acción del tránsito produce reducción de esfuerzos efectivos generando deformaciones y la falla del pavimento. Este deterioro ocurre siempre como la evolución de otros daños, especialmente piel de cocodrilo.

También es consecuencia de algunos efectos destructivos (por ejemplo, carencia de penetración de la imprimación de bases granulares) o de una deficiencia de espesores de capas estructurales. Puede producirse también en zonas donde el pavimento o la subrasante son débiles.

#### 2.5.3.2.2 Severidades:

Se pueden clasificar por profundidad, así:

- ❖ **Baja:** Profundidad de afectación menor o igual que 25 mm, corresponden al desprendimiento de tratamientos superficiales o capas delgadas.
- ❖ **Media:** Profundidad de afectación entre 25 mm y 50 mm, deja expuesta la base.
- ❖ **Alta:** Profundidad de afectación mayor que 50 mm, que llega a afectar la base granular.

#### 2.5.3.2.3 Evolución Probable:

Destrucción de la estructura.

#### 2.5.3.3 Parche (PCH)

Los parches corresponden a áreas donde el pavimento original fue removido y reemplazado por un material similar o diferente, ya sea para reparar la estructura (a nivel de concreto asfáltico o hasta los granulares) o para permitir la instalación o reparación de alguna red de servicios (acueducto, gas, etc.).

A pesar que dicha área puede no presentar daños en el momento de la inspección, es necesario reportar su extensión por que indica la existencia de

un deterioro anterior. Para este tipo de reparaciones se debe tener en cuenta lo siguiente:

- ❖ Cuando la intervención realizada comprendió el remplazo del espesor parcial o total de concreto asfáltico, ésta se conoce como parcheo.
- ❖ Cuando la intervención realizada comprendió el reemplazo parcial o total de granulares, esta se conoce como bacheo.



**FIGURA 2.5.3.3- Parche**

#### **2.5.3.3.1 Causas:**

- ❖ Proceso constructivos deficientes.
- ❖ Progresión del daño inicial por el cual debió realizarse el parcheo (cuando la intervención fue inadecuada para solucionar el problema).
- ❖ Deficiencia en las juntas.

- ❖ Propagación de daños existentes en las áreas aledañas al parche.

#### **2.5.3.3.2 Severidades:**

- ❖ **Baja:** el parche está en buena condición y se desempeña satisfactoriamente.
- ❖ **Media:** el parche presenta daños de severidad baja o media y deficiencias en los bordes.
- ❖ **Alta:** El parche está gravemente deteriorado, presentan daños de severidad alta y requiere ser reparado pronto.

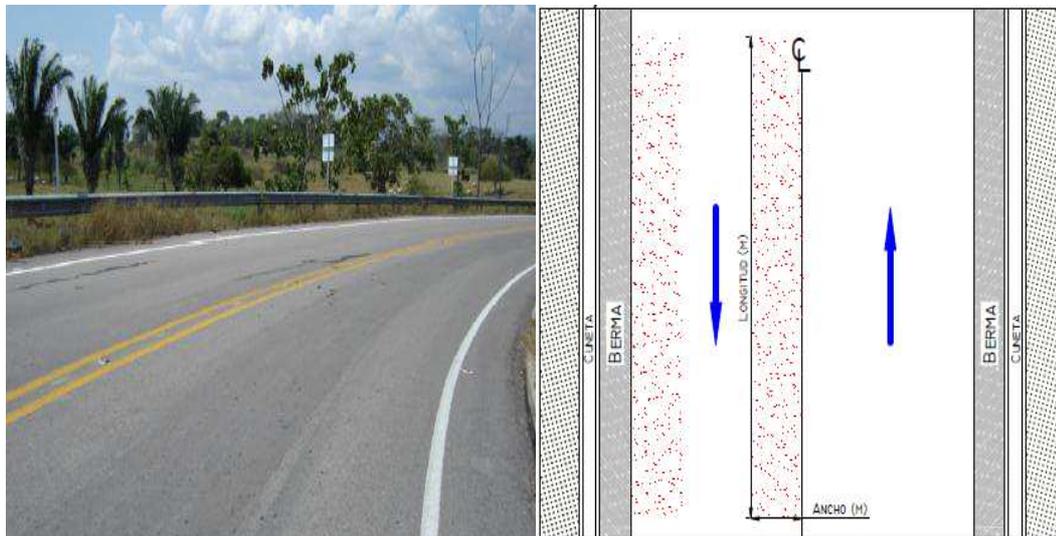
#### **2.5.3.3.3 Evolución Probable:**

De acuerdo con la naturaleza del daño sin embargo, puede existir una aceleración del deterioro general del pavimento.

## 2.5.4 DAÑOS SUPERFICIALES

### 2.5.4.1 Desgaste Superficial (DSU)

Corresponde al deterioro del pavimento ocasionado principalmente por acción del tránsito, agentes abrasivos o erosivos. Se presenta como pérdida de ligante y mortero. Suele encontrarse en las zonas por donde transitan los vehículos. Este daño provoca aceleración del deterioro del pavimento por acción del medio ambiente y del tránsito.



**FIGURA 2.5.3.5- Desgaste Superficial**

#### 2.5.4.1.1 Causas:

- ❖ Falta de adherencia del asfalto con agregados.
- ❖ Deficiente dosificación de asfalto en la mezcla.
- ❖ Acción intensa del agua u otros agentes abrasivos además del tránsito.

#### **2.5.4.1.2 Severidades:**

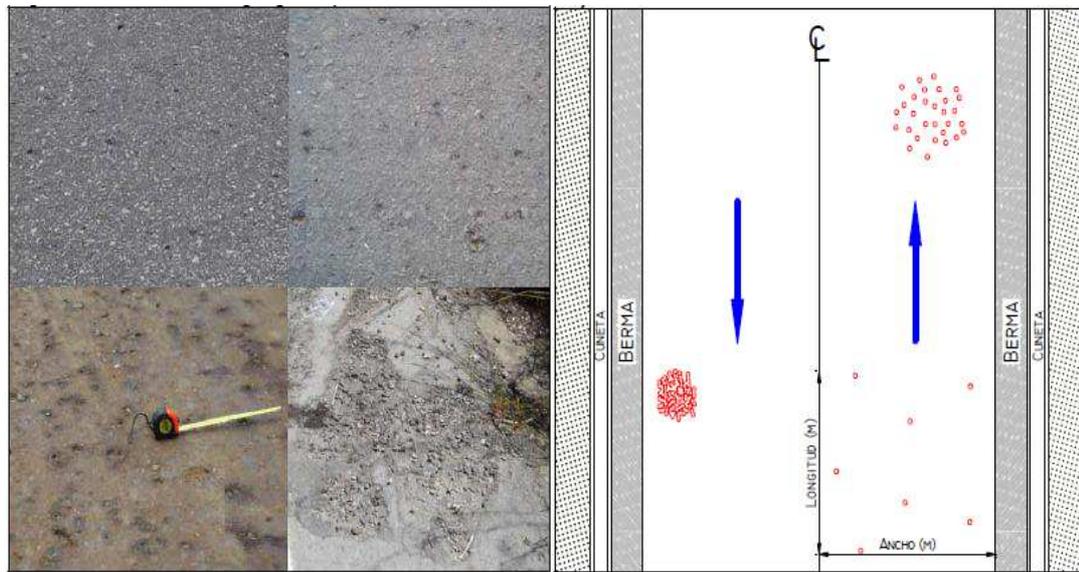
- ❖ Baja: Cuando la superficie ha perdido su textura uniforme y se muestra ligeramente áspera o rugosa, con irregularidades hasta de 3mm aproximadamente.
- ❖ Media: Cuando la profundidad de las irregularidades es mayor 3mm y llega a 10 mm. Se observan las partículas de agregado grueso, y se siente la vibración y una diferencia de sonido de las llantas al transitar sobre el pavimento.
- ❖ Alta: Si en la superficie ha comenzado a producirse la desintegración superficial de la capa de rodadura y se presentan desprendimientos evidentes y partículas sueltas sobre la calzada.

#### **2.5.4.1.3 Evolución Probable:**

Pérdida del agregado.

#### **2.5.4.2 Perdida del Agregado (PA)**

Conocida también como desintegración, corresponde a la disgregación superficial de la capa de rodadura debido a una pérdida gradual de agregados, haciendo la superficie rugosa y exponiendo de manera progresiva los materiales a la acción del tránsito y los agentes climáticos. Este tipo de daño es común en tratamientos superficiales, caso en el que pueden aparecer estrías en la dirección del riego y debe ser reportado como surcos.



**FIGURA 2.5.4.2- Perdida del Agregado**

**2.5.4.2.1 Causas:**

- ❖ Aplicación irregular del ligante en tratamientos superficiales.
- ❖ Problemas de adherencia entre agregado y asfalto.
- ❖ Uso de agregados contaminados con finos o agregados muy absorbentes.
- ❖ Lluvia durante la aplicación o el fraguado del ligante asfáltico.
- ❖ Endurecimiento significativo del asfalto.
- ❖ Deficiencia de compactación de la carpeta asfáltica.
- ❖ Contaminación de la capa de rodadura con aceite, gasolina y otros.

#### **2.5.4.2.2 Severidades:**

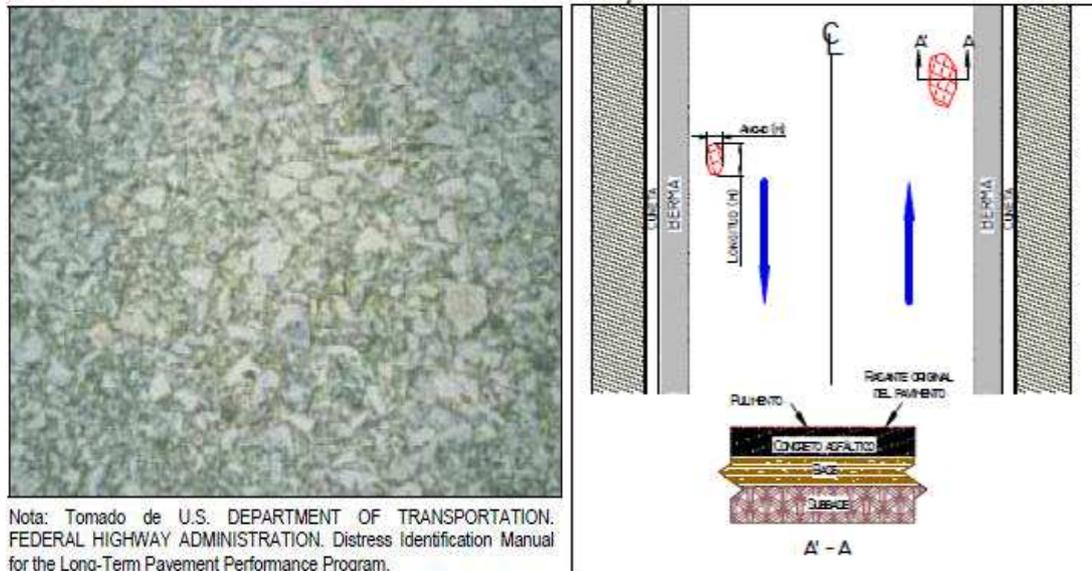
- ❖ Baja: Los agregados gruesos han comenzado a desprenderse y se observan pequeños huecos cuya separación es mayor a 0.15 m.
- ❖ Media: Existe un mayor desprendimiento de agregados, con separaciones entre 0.05 m y 0.15 m.
- ❖ Alta: Existe desprendimiento extensivo de agregados finos y gruesos con separaciones menores a 0.05 m, haciendo la superficie muy rugosa y se observan agregados sueltos.

#### **2.5.4.2.3 Evolución Probable:**

Descascaramientos, aumento de la permeabilidad de la estructura, exudación.

#### **2.5.4.3 Pulimento Del Agregado (PU)**

Este daño se evidencia por la presencia de agregados con caras planas en la superficie o por la ausencia de agregados angulares, en ambos casos se puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.



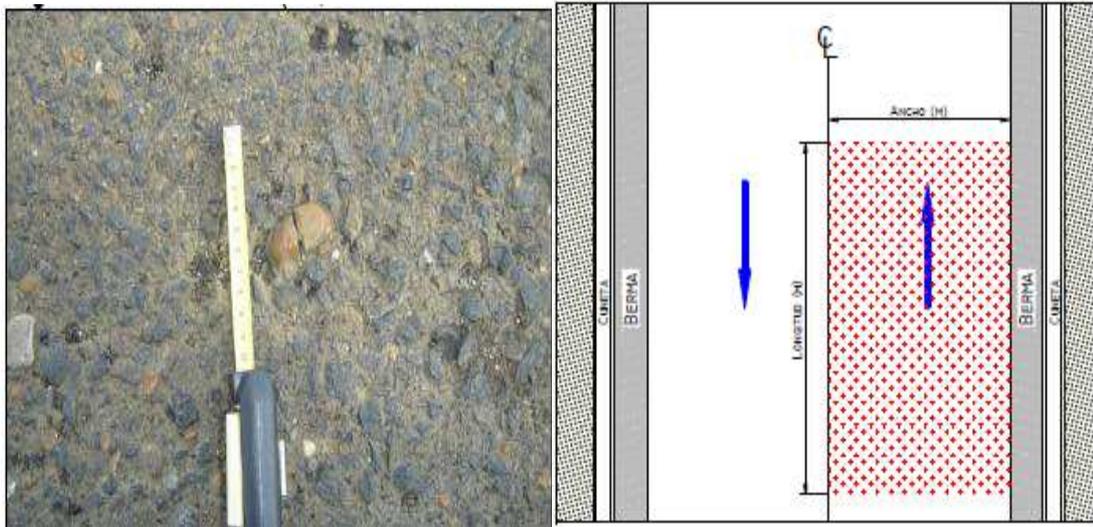
**FIGURA 2.5.4.3- Pulimento del Agregado**

#### **2.5.4.3.1 Causas:**

La causa de este tipo de daño radica en una baja resistencia o susceptibilidad de algunos agregados al pulimento (ejemplo de esto son las calizas).

#### **2.5.4.4 Cabezas Duras (CD)**

Corresponde a la presencia de agregados expuestos fuera del mortero arena-asfalto, que puede llegar a aumentar la rugosidad del pavimento, provocando ruido excesivo al conductor.



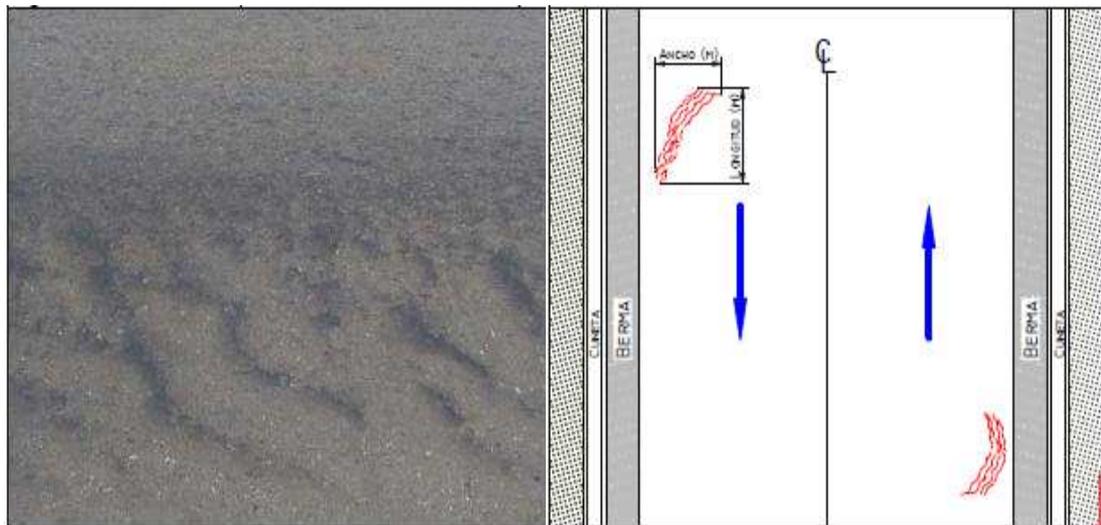
**FIGURA 2.5.4.4- Cabezas Duras**

#### **2.5.4.4.1 Causas:**

- ❖ Uso de agregados gruesos con tamaño inadecuado.
- ❖ Distribución granulométrica deficiente en el rango de las arenas.
- ❖ Segregación de los agregados durante su manejo en obra.
- ❖ Heterogeneidad en la dureza de los agregados.

#### **2.5.4.5 Exudación (EX)**

Este tipo de daño se presenta con una película o afloramiento del ligante asfáltico sobre la superficie del pavimento generalmente brillante, resbaladiza y usualmente pegajosa. Es un proceso que puede llegar a afectar la resistencia al deslizamiento.



**FIGURA 2.5.4.5- Exudación**

**2.5.4.5.1 Causas:**

La exudación se genera cuando la mezcla tiene cantidades excesivas de asfalto haciendo que el contenido de vacíos con aire de la mezcla sea bajo; sucede especialmente durante épocas o en zonas calurosas. También puede darse por el uso de asfaltos muy blandos o por derrame de ciertos solventes.

**2.5.4.5.2 Severidades:**

Puede clasificarse de acuerdo con el espesor de la película de asfalto exudado (teniendo en cuenta que tanto se han cubierto los agregados superficiales):

- ❖ Baja: La exudación se hace visible en la superficie, aunque en franjas aisladas y de espesor dejado que no cubre los agregados gruesos.
- ❖ Media: Apariencia característica, con exceso de asfalto libre que conforma una película que cubre parcialmente los agregados, con frecuencia localizada en las huellas del tránsito; se torna pegajoso en los climas cálidos.
- ❖ Alta: Presencia de una cantidad significativa de asfalto en la superficie cubriendo casi la totalidad de los agregados, lo que le dan un aspecto húmedo de intensa coloración negra y se trona pegajoso en los climas cálidos.

#### 2.5.4.6 Surcos (SU)

Corresponde a franjas o canales longitudinales donde se han perdido los agregados de la mezcla asfáltica.

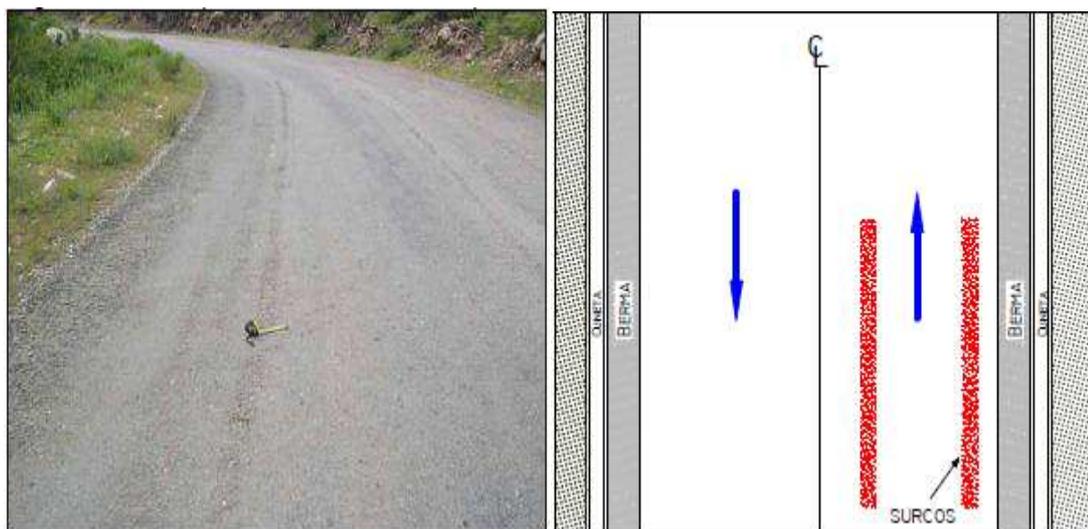


FIGURA 2.5.4.6- Surcos

**2.5.4.6.1 Causas:**

En tratamientos superficiales se da por distribución transversal defectuosa del ligante bituminoso o del agregado, lo cual genera el desprendimiento de los agregados; en concreto asfáltico está relacionado con la erosión producida por agua en zonas de alta pendiente.

**2.5.4.6.2 Evolución Probable:**

Perdida de agregado, descascaramiento, bache.

### **2.5.5 OTROS DAÑOS**

Además de los daños definidos hasta el momento existen otros que pueden aparecer como consecuencia de los primeros, conocidos como afloramientos, los cuales ocurren principalmente debido a la presencia o infiltración de agua en la estructura.

De otra parte, se debe tener en cuenta que la berma puede presentar cualquiera de los daños mencionados hasta aquí, también pueden existir daños asociados con problemas en la junta entre el pavimento y la berma.

Tanto los afloramientos como los daños en la junta pavimento-berma se definen a continuación.

#### **2.5.5.1 Corrimiento Vertical de la Berma (CVB)**

Corresponde a una diferencia de elevación entre la calzada y la berma, debido a un desplazamiento de la berma. Permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento, provocando su deterioro.



**FIGURA 2.5.5.1- Corrimiento Vertical de la Berma**

#### **2.5.5.1.1 Causas:**

Generalmente sucede cuando existen diferencias entre los materiales de la berma y el pavimento o por el bombeo del material de base en la berma. También puede estar asociado con problemas de inestabilidad de taludes adenaños.

#### **2.5.5.1.2 Severidades:**

- ❖ Bajo: desplazamiento menor que 6 mm.
- ❖ Medio: Desplazamiento entre 6 mm y 25 mm.
- ❖ Alto: Desplazamiento mayor que 25 mm.

### 2.5.5.2 Separación de la Berma (SB)

Este daño indica el incremento en la separación de la junta existente entre la calzada y la berma. Este daño permite la infiltración de agua hacia el interior de la estructura del pavimento provocando su deterioro.



**FIGURA 2.5.5.2- Separación de la Berma**

#### 2.5.5.2.1 Causas:

Generalmente está relacionada con el movimiento de la berma debido a problemas de inestabilidad de los taludes adyacentes o con la ausencia de liga entre calzada y berma cuando se construyen por separado.

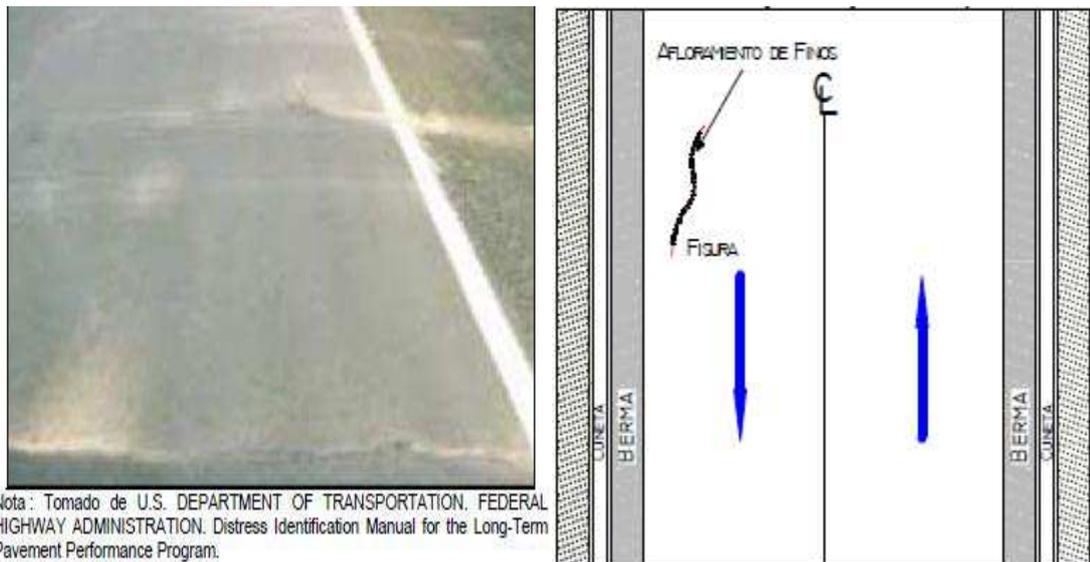
#### 2.5.5.2.2 Severidades:

- ❖ Baja: Abertura menor que 3 mm.
- ❖ Media: Abertura entre 3 mm y 10 mm.

- ❖ Alta: Abertura mayor que 10 mm.

### 2.5.5.3 Afloramientos de Finos (AFI)

Este afloramiento corresponde a la salida de agua infiltrada, junto con materiales finos de la capa de base por las grietas, cuando circulan sobre ellas las cargas de tránsito. La presencia de manchas o de material acumulado en la superficie cercana al borde de las grietas indica la existencia del fenómeno. Se encuentra principalmente en pavimentos semirígidos (con base estabilizada).



**FIGURA 2.5.5.3- Afloramiento de Finos**

**2.5.5.3.1 Causas:**

Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, exceso de finos en la estructura.

**2.5.5.3.2 Severidades:**

No tiene grado de severidad definido.

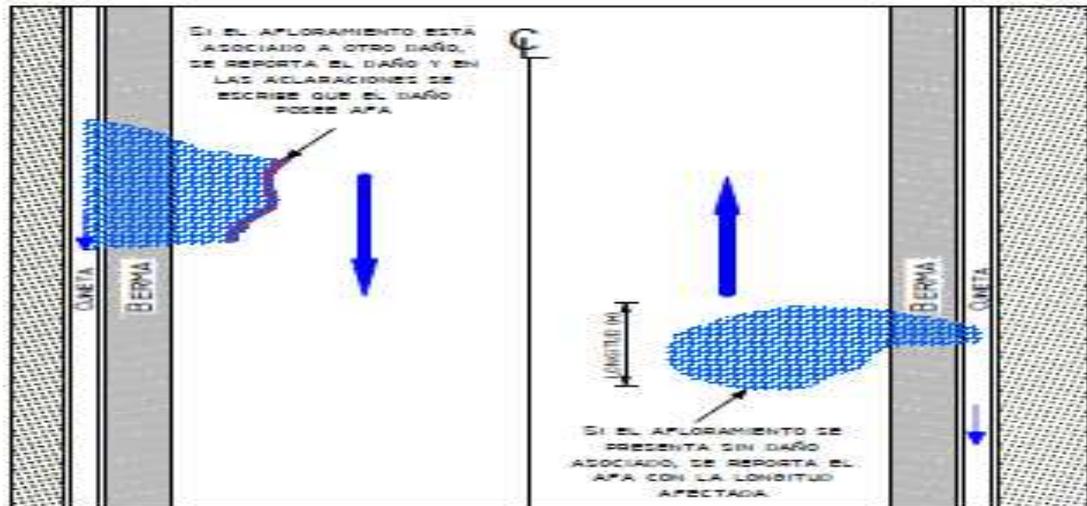
**2.5.5.3.3 Evolución Probable:**

Piel de cocodrilo, descascaramientos, baches.

**2.5.5.4 Afloramiento de Agua (AFA)**

Presencia del líquido en la superficie del pavimento en instantes en los cuales no hay lluvia.





**FIGURA 2.5.5.4- Afloramiento de Agua**

**2.5.5.4.1 Causas:**

Ausencia o inadecuado sistema de subdrenaje, filtración de aguas.

**2.5.5.4.2 Severidades:**

No tiene grado de severidad definido.

**2.5.5.4.3 Evolución Probable:**

Piel de cocodrilo, descascaramientos, baches.

## **CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA MARSHALL PARA MEZCLAS ASFÁLTICAS.**

### **3.1 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

#### **3.1.1 DEFINICIÓN DE MEZCLA ASFÁLTICA**

Las mezclas asfálticas, es un material que está formado por una combinación de agregados pétreos, ligante asfáltico, y aditivo en algunos casos; de manera que ellos quedan cubiertos por una película continua de este.

Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros.

Las mezclas asfálticas están constituidas aproximadamente por un 90% de agregados pétreos grueso y fino, un 5% de polvo mineral (filler) y otro 5% de ligante asfáltico. Los componentes mencionados anteriormente son de gran importancia para el correcto funcionamiento de la carpeta de rodadura y la falta de calidad en alguno de ellos afecta al conjunto. El ligante asfáltico y el polvo mineral son los dos elementos que más influyen tanto en la calidad de la mezcla asfáltica como en su costo total.

Existen tres métodos de diseño utilizados para determinar las proporciones adecuadas de asfalto y agregados. Ellos son el Método Marshall y el Método Hveem, actualmente el método que se utiliza en EEUU es el método

SUPERPAVE ya que se considera que la metodología de diseño está basada en pruebas más reales y científicas y no empíricas como las del método Marshall.

### 3.1.2 CLASIFICACIÓN DE LAS MEZCLAS ASFÁLTICAS

Existen varios parámetros de clasificación para establecer las diferencias entre las distintas mezclas y las clasificaciones pueden ser diversas:

a) **Por fracciones de agregado pétreo empleado:**

- ❖ Masilla asfáltica: Polvo mineral más cemento asfáltico.
- ❖ Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- ❖ Concreto asfáltico: Agregado grueso, agregado fino, polvo mineral y cemento asfáltico.
- ❖ Macadam asfáltico: Capa de rodadura formada por una sucesión de capas de mezcla asfáltica con materiales pétreos de diferentes granulometrías, colocando las de mayor granulometría abajo, y arriba la de menor granulometría. Luego se procede a la compactación con rodillos o camiones.

b) **Por la temperatura de puesta en obra:**

- ❖ Mezclas asfálticas en Caliente: El concreto asfáltico mezclado en planta y compactado en caliente, se compone de una mezcla de agregados graduados y asfalto, fabricado a una

temperatura aproximada de 150 °C colocada y compactada en caliente a una temperatura de 140 °C. Las plantas para la producción de mezcla en caliente se construyen de tal manera que, después de secar y calentar los agregados, los separa en diferentes grupos de tamaños, los recombina en las proporciones adecuadas, los mezcla con la cantidad debida de asfalto caliente y finalmente los entrega a los vehículos transportadores, que a su vez la colocan en la máquina pavimentadora para que esta la deposite sobre la vía con un espesor uniforme, después se compacta mediante rodillos mientras la temperatura se conserva dentro de los rangos de especificación.

- ❖ Mezclas asfálticas en Frío: El ligante suele ser una emulsión asfáltica (debido a que se sigue utilizando en algunos lugares los asfaltos fluidificados), y la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente.
- ❖ Mezclas asfálticas Tibias: Las mezclas tibias se describen como aquellas que se producen a temperaturas menores que las mezclas en caliente, es decir entre 100 °C y 135 °C, su producción involucra nuevas tecnologías a partir de las cuales es posible producir y colocar los concretos asfálticos a temperaturas sensiblemente inferiores a las técnicas convencionales. El concreto de mezcla tibia surgió en Europa,

tras la necesidad de una mezcla bituminosa que ofreciera economía de energía y tuviera el mismo desempeño de las mezclas asfálticas en caliente

**c) Por la proporción de Vacíos en la mezcla asfáltica:**

Este parámetro suele ser imprescindible para que no se produzcan deformaciones plásticas como consecuencia del paso de las cargas y de las variaciones térmicas.

- ❖ Mezclas Cerradas o Densas: Contienen cantidades de agregados en proporciones adecuadas de todos los tamaños, de grueso a fino, incluyendo filler, proporcionados de tal forma de obtener una mezcla densa con pocos vacíos. La proporción de vacíos no supera el 5%. Las mezclas densamente graduadas tienen un gran número de puntos de contacto entre las partículas, que pueden dar una alta resistencia friccional y reducir la posibilidad de trituración de las partículas en los puntos de contacto. Como el contenido de vacíos es bajo son poco permeables. En las mezclas asfálticas en caliente, deben preferirse agregados con granulometría densa, o muy cercana a la densa.
- ❖ Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: La proporción de vacíos esta entre el 5% y el 10%.

- ❖ Mezclas Abiertas: La proporción de vacíos supera el 12%.
- ❖ Mezclas Porosas o Drenantes: Mezclas asfálticas utilizadas como carpeta de rodadura, que se caracteriza por tener un elevado porcentaje de huecos interconectados entre si. Permitiendo el paso del agua a través de la mezcla y su rápida evacuación hacia las zonas laterales fuera de las calzadas. La proporción de vacíos es superior al 20%.

**d) Por el Tamaño máximo del agregado pétreo:**

- ❖ Mezclas gruesas: Donde el tamaño máximo del agregado pétreo excede los 10 mm.
- ❖ Mezclas finas: También llamadas micro aglomerado, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un agregado fino incluyendo el polvo mineral y un ligante asfáltico. El tamaño máximo del agregado pétreo determina el espesor mínimo con el que ha de extenderse una mezcla que vendría a ser del doble al triple del tamaño máximo.

**e) Por la Estructura del agregado pétreo:**

- ❖ Mezclas con Esqueleto mineral: Poseen un esqueleto mineral resistente, su componente de resistencia debida al rozamiento interno de los agregados es notable. Ejemplo, las mezclas abiertas y los que genéricamente se denominan concretos asfálticos, aunque también una parte de la resistencia de estos últimos, se debe a la masilla.
- ❖ Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

**f) Por la Granulometría:**

- ❖ Mezclas continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico (Zona comprendida entre dos curvas granulométricas).
- ❖ Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el huso granulométrico.

### **3.1.3 EVOLUCIÓN DE LOS DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE**

A continuación se muestra la evolución de los métodos de diseños de mezclas asfálticas en caliente:

- ❖ The Hubbard-Field (1920's). Método de diseño de mezclas asfálticas, fue uno de los primeros métodos en evaluar contenidos de vacíos en la mezcla y en el agregado mineral. Usaba una estabilidad como prueba para medir la deformación. Funcionó adecuadamente para evaluar mezclas con agregado pequeño o granulometrías finas, pero no también para mezclas con granulometrías que contenían agregados grandes.
- ❖ Método Marshall (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado durante la 2da. Guerra Mundial y después fue adaptado para su uso de carreteras. Utiliza una estabilidad y porcentaje de vacíos como pruebas fundamentalmente. Excepto cambios en las especificaciones, el método no ha sufrido modificación desde los años 40's.
- ❖ Método Hveem (1930's). Método de diseño de mezclas asfálticas, desarrollado casi en el mismo tiempo que el Método Marshall. Evalúa una estabilidad pseudotriaxial.
- ❖ Método de la Western Association of State Highway and Transportation Officials WASHTO (1984). Este método de diseño de mezclas recomendó cambios en los requerimientos del material y especificaciones de diseño de mezclas para mejorar la resistencia al ahuellamiento (efectos de deformación acumulada).
- ❖ Método de Asphalt Aggregate Mixture Analysis System. AAMAS (1987). La necesidad de cambios en el diseño de mezclas fue

reconocida, tardaron 2 años para desarrollar un nuevo proyecto para el diseño de mezclas, que incluía un nuevo método de compactación en laboratorio y la evaluación de las propiedades volumétricas, desarrollo de pruebas para identificar las deformaciones permanentes, grietas de fatiga y resistencia de grietas a baja temperatura.

- ❖ Método SUPERPAVE (1993). El método AAMAS, sirvió como punto de inicio del método SUPERPAVE, que contiene un nuevo diseño volumétrico completo de mezcla, con funcionamiento basado en predicción a través de modelos y métodos de ensayo en laboratorio, grietas por fatiga y grietas por baja temperatura. Los modelos de predicción de funcionamiento fueron completados satisfactoriamente hasta el año 2000. El diseño volumétrico de mezclas en el SUPERPAVE es actualmente implementado en varios estados de los EUA, debido a que ha sido reconocida una conexión entre las propiedades volumétricas de la mezcla asfáltica caliente y su correcto funcionamiento. Ahora la aceptación en el control de calidad ha sido cambiada a propiedades volumétricas. SUPERPAVE promete un funcionamiento basado en métodos o ensayos de laboratorio que pueden ser usados para identificar la resistencia a las deformaciones plásticas de los pavimentos.

### **3.1.4 CARACTERÍSTICAS Y COMPORTAMIENTO DE LA MEZCLA**

Una muestra de mezcla de pavimentación preparada en el laboratorio puede ser analizada para determinar su posible desempeño en la estructura del pavimento. El análisis está enfocado hacia cuatro características de la mezcla, y la influencia que estas puedan tener en el comportamiento de la mezcla. Las cuatro características son:

- Densidad de la mezcla
- Vacíos de aire, o simplemente vacíos
- Vacíos en el agregado mineral
- Contenido de asfalto

#### **3.1.4.1 Densidad**

La densidad de la mezcla está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de la mezcla). La densidad es una característica muy importante debido a que es esencial tener una densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero. Si la densidad es baja la cantidad de vacíos son mayores, por lo tanto, la mezcla compactada será vulnerable al agua. Si la densidad es alta la cantidad de vacíos es menor, el agua no entrara en su interior obteniéndose de esta manera una carpeta de rodadura más durable. En las pruebas y el análisis del diseño de mezclas, la densidad de la mezcla compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico. La densidad es calculada al multiplicar la gravedad

específica total de la mezcla por la densidad del agua (1000Kg/m<sup>3</sup>). La densidad obtenida en el laboratorio se convierte en densidad patrón, y es usada como referencia para determinar si la densidad del pavimento terminado es, o no, adecuada. Las especificaciones usualmente requieren que la densidad del pavimento sea un porcentaje de la densidad del laboratorio. Esto se debe a que rara vez la compactación in situ se logra las densidades que se obtienen usando los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

$$\text{Densidad} = G_{mb} \times 1000 \text{ Kg/m}^3$$

#### **3.1.4.2 Vacíos de Aire**

Los vacíos de aire son espacios pequeños de aire, o bolsas de aire, que están presentes entre los agregados revestidos en la mezcla final compactada. Es necesario que todas las mezclas densamente graduadas contengan cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico, y proporcionar espacios adonde pueda fluir el asfalto durante su compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales esta entre 3 y 5 por ciento, dependiendo del diseño específico.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es función del contenido de vacíos. La razón de esto es que entre menor sea la cantidad de vacíos, menos va a

ser la permeabilidad de la mezcla. Un contenido demasiado alto de vacíos proporciona pasajes, a través de la mezcla, por los cuales puede entrar el agua y el aire, y causar deterioro. Por otro lado, un contenido demasiado bajo de vacíos puede producir exudación del asfalto; una condición en donde el exceso de asfalto es exprimido fuera de la mezcla hacia la superficie. 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. Las especificaciones de la obra requieren, usualmente, una densidad que permita acomodar el menor número posible (en la realidad) de vacíos: Preferiblemente menos del 8 por ciento.

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

Dónde:

$P_a$  = Vacíos de aire en mezcla compactada, porcentajes del volumen total

$G_{mm}$  = Gravedad específica máxima teórica de mezclas de pavimentación

$G_{mb}$  = Gravedad específica bulk de mezclas compactadas

#### **3.1.4.3 Vacíos en el Agregado Mineral**

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) 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.

El VMA representa el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto (todo el asfalto menos la porción que se pierde en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. El volumen efectivo de asfalto es todo el asfalto menos la porción que se pierde. Cuando mayor sea el VMA más espacio habrá disponible para las películas de asfalto. Existen valores mínimos para VMA los cuales están recomendados y especificados como función del tamaño del agregado. Estos valores se basan en el hecho de cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, mas durables será la mezcla. Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se debe tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación del agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezcla de baja durabilidad y apariencia seca.

Por lo tanto, es contraproducente y perjudicial, para la calidad del pavimento, disminuir el VMA para economizar el contenido de asfalto.

$$VMA = 100\% - \left( \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right)$$

Dónde:

VMA= Vacíos en agregado mineral (porcentaje de volumen total de la mezcla)

Gsb= Gravedad específica bulk de la combinación de agregados

Gmb= Gravedad específica bulk de la mezcla compactada

PS= Porcentaje de agregado, por peso total en la mezcla

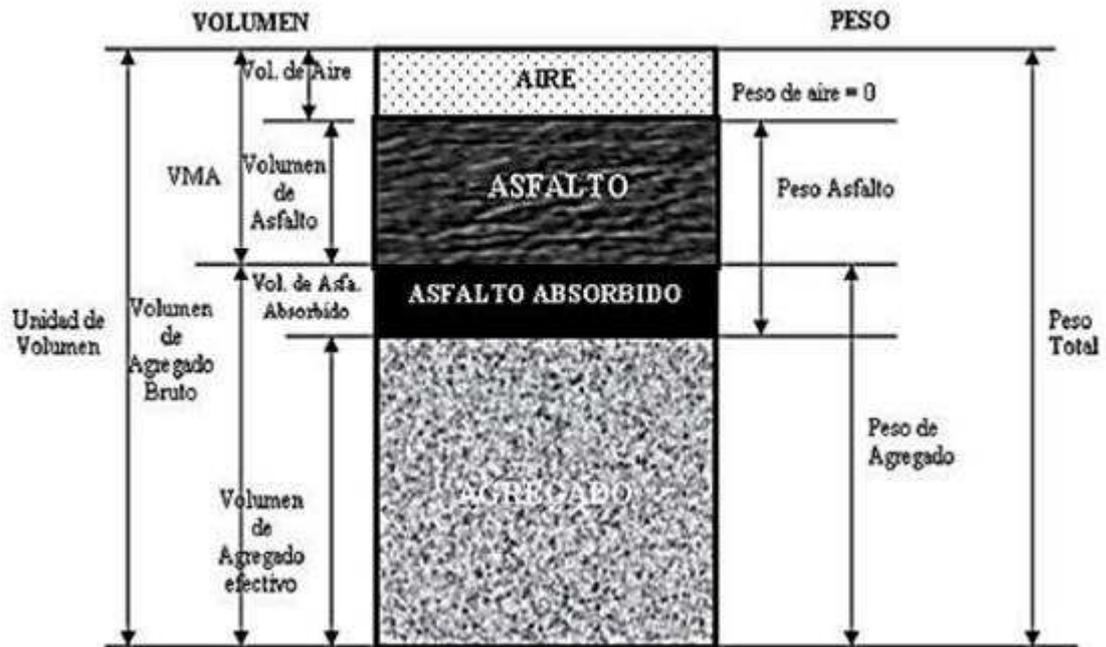
#### **3.1.4.4 Contenido de Asfalto**

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece usando los criterios (discutidos más adelante).

El contenido óptimo de asfalto de una mezcla 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 del asfalto. Entre más finos contenga la graduación de la mezcla, mayor será el área superficial total, y, mayor será la cantidad de asfalto requerida para cubrir, uniformemente, todas la partículas. Por otro lado las mezclas más gruesas (agregados más grandes) exigen menos asfalto debido a que poseen menos área superficial total.

La relación entre el área superficial del agregado y el contenido óptimo de asfalto es más pronunciada cuando hay relleno mineral (fracciones muy finas de agregado que pasan a través del tamiz de 0.075 mm (Nº 200). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber,

literalmente, gran parte el contenido de asfalto, resultando en una mezcla inestable y seca. Las pequeñas disminuciones tienen el efecto contrario: Poco relleno mineral resulta en una mezcla muy rica (húmeda).



**FIGURA 3.1- Representación de la composición típica de una mezcla asfáltica**

Cualquier variación en el contenido o relleno mineral causa cambios en las propiedades de la mezcla, haciéndola variar de seca a húmeda. Si una mezcla contiene poco o demasiado, relleno mineral, cualquier ajuste arbitrario, para corregir la situación, probablemente lo empeorara.

En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiadas para determinar las causas de las variaciones y, si es necesario, establecer otro diseño de mezcla.

La capacidad de absorción (habilidad para absorber asfalto) del agregado usado en la mezcla es importante para determinar el contenido óptimo de asfalto. Esto se debe a que se tiene que agregar suficiente asfalto a la mezcla para permitir absorción, y para que además se puedan cubrir las partículas con una película adecuada de asfalto. Los técnicos hablan de dos tipos de asfalto cuando se refieren al asfalto absorbido y al no absorbido: Contenido total de asfalto y contenido efectivo de asfalto.

El contenido total de asfalto es la cantidad de asfalto que debe ser adicionada a la mezcla para producir las cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado; es la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre la superficie de los agregados. El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

La capacidad de absorción de un agregado es, obviamente, una característica importante en la definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregados, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

$$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} \times P_s}{100}$$

Donde:

$P_{be}$  = contenido de asfalto efectivo

$P_b$  = contenido de asfalto

$P_{ba}$  = asfalto absorbido

$P_s$  = contenido de agregado

#### **3.1.4.5 Vacíos Llenos de Asfalto (VFA)**

Son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas del agregado (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, y por lo tanto, el VFA se calcula al restar los vacíos de aire del VMA, y luego dividiendo por el VMA, y expresando su valor como un porcentaje.

$$VFA = \frac{VMA - P_a}{VMA} \times 100$$

Dónde:

VFA = vacíos llenos con asfalto

VMA = vacíos en agregado mineral

$P_a$  = vacíos de aire en mezcla compactada, porcentajes del volumen total

## **3.2 PROPIEDADES CONSIDERADAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS**

Las buenas mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas, producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas. Hay varias propiedades que contribuyen a la buena calidad de pavimentos de mezclas en caliente. Estas incluyen la estabilidad, la durabilidad, la impermeabilidad, la trabajabilidad, la flexibilidad, la resistencia a la fatiga y la resistencia al deslizamiento.

El objetivo primordial del procedimiento de diseño de mezclas es el de garantizar que la mezcla de pavimentación posea cada una de estas propiedades. Por lo tanto, hay que saber que significa cada una de estas propiedades, como es evaluada, y que representa en términos de rendimiento del pavimento.

### **3.2.1 ESTABILIDAD**

La estabilidad de un asfalto es su capacidad de resistir desplazamientos y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento estable es capaz de mantener su forma y lisura bajo cargas repetidas, un pavimento inestable desarrolla ahuellamientos (canales), ondulaciones (corrugación) y otras señas que indican cambios en la mezcla.

Los requisitos de estabilidad solo pueden establecerse después de un análisis completo del tránsito, debido a que las especificaciones de estabilidad para un pavimento dependen del tránsito esperado. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para acomodar adecuadamente el tránsito esperado, pero no más altas de lo que exijan las condiciones de tránsito. Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y, por lo tanto, menos durable que lo deseado.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna. La fricción interna en las partículas de agregado (fricción entre partículas) está relacionada con características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto. Un grado propio de fricción y cohesión interna, en la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen unas respecto a otras debido a las fuerzas ejercidas por el tráfico.

En términos generales, entre más angular sea la forma de las partículas de agregado y más áspera sea su textura superficial, más alta será la estabilidad de la mezcla.

Cuando no hay más agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, utilizando agregados con valores menores de fricción interna.

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con aumentos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto aumenta, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con aumentos en el contenido de asfalto. Cuando se sobrepasa este nivel, los aumentos en el contenido de asfalto producen una película demasiado gruesa sobre las partículas de agregado, lo cual resulta en pérdida de fricción entre partículas.

Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento.

### CAUSAS Y EFECTOS DE INESTABILIDAD EN EL PAVIMENTO

CAUSAS	EFECTOS
Exceso de asfalto en la mezcla	Oxidación, ahuellamientos y afloramiento o exudación
Exceso de arena de tamaño medio en la mezcla	Baja resistencia durante la compactación y posteriormente, durante un tiempo; dificultad para la compactación
Agregado redondeado sin, o con pocas, superficies trituradas	Ahuellamiento y canalización

### 3.2.2 DURABILIDAD

Es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos perjudiciales causados por el agua, aire, temperatura y las cargas debidas al tráfico. Estos efectos perjudiciales provocan la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), envejecimiento, segregación, etc.

Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada en tres formas. Estas son: Usando un contenido óptimo de asfalto, usando una graduación densa de agregado resistente a la separación, y diseñando y compactando la mezcla para obtener la máxima impermeabilidad.

La mayor cantidad posible de asfalto aumenta la durabilidad porque las películas gruesas de asfalto no se envejecen o endurecen tan rápido como lo hacen las películas delgadas. En consecuencia, el asfalto retiene, por más tiempo, sus características originales. Además el máximo contenido posible de asfalto sella eficazmente un gran porcentaje de vacíos interconectados en el pavimento, haciendo difícil la penetración del aire y del agua. Por supuesto, se debe dejar un cierto porcentaje de vacíos en el pavimento para permitir la expansión del asfalto en los tiempos cálidos.

Una graduación densa de agregado firme, duro y resistente a la separación, contribuye, de tres maneras, a la durabilidad del pavimento. Una graduación densa proporciona un contacto más cercano entre las partículas del agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla. Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del tránsito. Un agregado resistente a la separación resiste la acción del agua y el tránsito, las cuales tienden a separar la película de asfalto de las partículas de agregado, conduciendo a la desintegración del pavimento. La resistencia de una mezcla a la separación puede ser mejorada, bajo ciertas condiciones, mediante el uso de compuestos adhesivos, o rellenos como la cal hidratada.

La intrusión del aire y agua en el pavimento puede minimizarse si se diseña y compacta la mezcla para darle al pavimento la máxima impermeabilidad posible. Existen muchas causas y efectos con una poca durabilidad del pavimento.

**TABLA CAUSAS Y EFECTOS DE POCA DURABILIDAD.**

<b>CAUSAS</b>	<b>EFECTOS</b>
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por pérdida de agregado.
Alto contenido de vacíos debido al diseño o a la falta de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración.
Compactación inadecuada.	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado o desintegrado.

### **3.2.3 IMPERMEABILIDAD**

La impermeabilidad de un pavimento es la resistencia al paso del 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 diseños de mezcla se relaciona con impermeabilidad. Aunque el contenido de vacíos es una indicación del paso potencial de aire y agua a través de un pavimento, la naturaleza de estos vacíos es muy importante que su cantidad.

El grado de impermeabilidad está determinado por el tamaño de los vacíos, sin importar si están o no conectados, y por el acceso que tienen a la superficie del pavimento.

Aunque la impermeabilidad es importante para la durabilidad de las mezclas compactadas, virtualmente todas las mezclas asfálticas usadas en la construcción de carreteras tienen cierto grado de permeabilidad. Esto es aceptable, siempre y cuando la permeabilidad esté dentro de los límites especificados.

**TABLA CAUSAS Y EFECTOS DE LA PERMEABILIDAD**

<b>CAUSAS</b>	<b>EFECTOS</b>
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causarán tempranamente, un envejecimiento y una desintegración de la mezcla
Alto contenido de vacíos en la mezcla de diseño	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla.
Compactación inadecuada.	Resultará en vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a la infiltración de agua y baja estabilidad.

### **3.2.4 TRABAJABILIDAD**

La trabajabilidad está descrita por la facilidad con que una mezcla de pavimentación puede ser colocada y compactada. Las mezclas que poseen buena trabajabilidad son fáciles de colocar y compactar; aquellas con mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede

ser mejorada modificando los parámetros de la mezcla, el tipo de agregado, y/o la granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen un alto porcentaje de agregado grueso) tienen una tendencia a segregarse durante su manejo, y también pueden ser difíciles de compactar. A través de mezclas de prueba en el laboratorio puede ser posible adicionar agregado fino, y tal vez asfalto, a una mezcla gruesa, para volverla más trabajable. En tal caso se deberá tener cierto cuidado para garantizar que la mezcla modificada cumpla con los otros criterios de diseño, tales como contenido de vacíos y estabilidad.

Un contenido demasiado alto de relleno también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva muy viscosa, haciendo difícil su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezclas, como por ejemplo alrededor de tapas de alcantarillado, curvas pronunciadas y otros obstáculos similares. Es muy importante usar mezclas trabajables en dichos sitios.

Las mezclas que son fácilmente trabajables o deformables se conocen como mezcla tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas apropiadamente. Usualmente son el producto de

una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondeadas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de trabajabilidad, si tienen algún efecto sobre esta propiedad. Debido a que la temperatura de la mezcla afecta la viscosidad del asfalto, una temperatura demasiado baja hará que la mezcla sea poco trabajable, mientras que una temperatura demasiado alta podrá hacer que la mezcla se vuelva tierna. El grado y el porcentaje de asfalto también pueden afectar la trabajabilidad de la mezcla.

**TABLA CAUSAS Y EFECTOS DE PROBLEMAS EN LA TRABAJABILIDAD.**

<b>CAUSAS</b>	<b>EFECTOS</b>
Tamaño máximo de partícula: Grande	Superficie áspera, difícil de colocar.
Demasiado agregado grueso	Puede ser difícil de compactar.
Temperatura muy baja de mezcla	Agregado sin revestir, mezcla poco durable superficie áspera, difícil de compactar.
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna y blanda.
Bajo contenido de relleno mineral.	Mezcla tierna, altamente permeable.
Alto contenido de relleno mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar; poco durable.

### **3.2.5 FLEXIBILIDAD**

Flexibilidad es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos graduales de la subrasante. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfáltico debido a que virtualmente todas las subrasantes se asientan (bajo cargas) o se expanden (por expansión del suelo).

Una mezcla de granulometría abierta con alto contenido de asfalto es, generalmente, más flexible que una mezcla densamente graduada en bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflictos con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

### **3.2.6 RESISTENCIA A LA FATIGA**

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas del tránsito. Se ha demostrado, por medio de la investigación, que los vacíos (relacionados con el contenido de asfalto) y la viscosidad del asfalto tienen un efecto considerable sobre la resistencia a la fatiga. A medida que el porcentaje de vacíos en un pavimento aumenta, ya sea por diseño o por falta de compactación, la resistencia a la fatiga del pavimento. (El período de tiempo durante el cual un pavimento en servicio es adecuadamente resistente a la fatiga) disminuye. Así mismo, un pavimento

que contiene asfalto que se ha envejecido y endurecido considerablemente tiene menor resistencia a la fatiga.

Las características de resistencia y espesor de un pavimento, y la capacidad de soporte de la subrasante, tienen mucho que ver con la vida del pavimento y con la prevención del agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasante resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasante débiles.

**TABLAS CAUSAS Y EFECTOS DE UNA MALA RESISTENCIA A LA FATIGA.**

<b>CAUSAS</b>	<b>EFECTOS</b>
Bajo contenido de asfalto	Agrietamiento por fatiga.
Vacios altos de diseño.	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Falta de compactación	Envejecimiento temprano del asfalto, seguido por agrietamiento por fatiga.
Espesor inadecuado de pavimento.	Demasiada flexión seguida por agrietamiento por fatiga.

**3.2.7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO.**

Resistencia al deslizamiento es la habilidad de una superficie de pavimento de minimizar el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos, particularmente cuando la superficie este mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de

mantener contacto con las partículas de agregado en vez de rodar sobre una película de agua en la superficie del pavimento (hidroplaneo). La resistencia al deslizamiento se mide en terreno con una rueda normalizada bajo condiciones controladas de humedad en la superficie del pavimento, y a una velocidad de 65 km/h (40 mi/h).

Una superficie áspera y rugosa de pavimento tendrá mayor resistencia al deslizamiento que una superficie lisa. La mejor resistencia al deslizamiento se obtiene con un agregado de textura áspera, en una mezcla de graduación abierta y con tamaño máximo de 9.5 mm (3/8 pulgadas) a 12.5 mm (1/2 pulgadas). Además de tener una superficie áspera, los agregados debe resistir el pulimento (alisamiento) bajo el tránsito. Los agregados calcáreos son más susceptibles al pulimento que los agregados silíceos. Las mezclas inestables que tienden a deformarse o a exudar (flujo de asfalto a la superficie) presentan problemas graves de resistencia al deslizamiento.

**TABLA CAUSAS Y EFECTOS DE POCA RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO**

<b>CAUSAS</b>	<b>EFECTOS</b>
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento.
Agregado mal graduado o con mala textura	Pavimento liso, posibilidad de hidroplaneo.
Agregado pulido en la mezcla	Poca resistencia al deslizamiento.

### **3.3 MÉTODO DE DISEÑO MARSHALL**

#### **3.3.1 INTRODUCCIÓN**

El concepto del método Marshall para diseños de mezclas asfálticas fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del Estado de Mississippi. A continuación se presenta una descripción general de los procedimientos seguidos del Diseño Marshall. El procedimiento completo detallado que se debe ser seguido se encuentra en la norma AASHTO T245 (o ASTM D159).

#### **3.3.2 PROPÓSITO DE LA METODOLOGÍA**

El propósito del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica de agregados. El método también provee información sobre propiedades de la mezcla asfáltica en caliente, y establece densidades y contenidos óptimos de vacíos que deben ser cumplidos durante la elaboración de la mezcla. El método original de Marshall, solo es aplicable a mezclas asfálticas en calientes que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1pulg) o menor. El método puede ser usado para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas en caliente.

### **3.3.3 DESCRIPCIÓN GENERAL**

El Método Marshall usa muestras de ensayos (probetas) de 64 mm (2.5 pulg) de espesor por 102 mm (4 pulg) de diámetro. Una serie de muestras de ensayos, cada una con la combinación de agregados pero con diferentes contenidos de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar la mezcla asfáltica.

Los dos aspectos principales del método de diseño son: análisis de densidad-vacíos y el ensayo de estabilidad y flujo de los especímenes compactados. La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función a dos parámetros: el tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligado para la curva granulométrica. La tabla 3.1 presenta tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D 3515.

### **3.3.4 ESPECIFICACIONES DE LA METODOLOGÍA**

La selección del contenido óptimo de asfalto depende de muchos criterios que se discutirán en este capítulo. Un punto inicial para el diseño es escoger el porcentaje de asfalto para el promedio de los límites de vacíos de aire, el cual es 4%. El rango de vacíos de aire es de 3% al 5%. Todas las propiedades medidas y calculadas bajo este contenido deberán ser evaluadas comparándolas con los criterios para el diseño de mezclas (tabla

3.2). Si todos los criterios se cumplen, entonces se tendrá el diseño preliminar de la mezcla asfáltica, en caso de que un criterio no se cumpla, se necesitara hacer ajustes o rediseñar la mezcla.

### **3.3.5 GRANULOMETRÍA**

La metodología Marshall utiliza una gráfica semilogarítmica para definir la granulometría permitida, en la cual ordenada se encuentra en porcentaje de material que pasa a cierta malla, y en la abscisa las aberturas de las mallas en mm, graficadas en forma logarítmica.

La selección de una curva granulométrica para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa, está en función de dos parámetros: El tamaño máximo nominal del agregado y el de las líneas de control (superior e inferior), las líneas de control son puntos de paso obligados para la curva granulométrica. La tabla 3.1 presenta tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

Mezclas Cerradas										
Tamaño Máximo Nominal del Agregado										
Aberturas de los tamices	2 pulg (50.0mm)	1 ½ pulg (37.5mm)	1 pulg (25.0mm)	¾ pulg (19.0mm)	½ pulg (12.5mm)	3/8 pulg (9.5mm)	No. 4 (4.75mm)	No. 8 (2.36mm)	No. 16 (1.18mm)	
Gradaciones para Mezclas de Agregados (Grueso, Fino y Filler)										
2 ½" (63 mm)	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2" (50 mm)	90-100	100	---	---	---	---	---	---	---	---
1 ½" (37.5 mm)	---	90-100	100	---	---	---	---	---	---	---
1" (25.0 mm)	60-80	---	90-100	100	---	---	---	---	---	---
¾" (19.0 mm)	---	56-80	---	90-100	100	---	---	---	---	---
½" (12.5 mm)	35-65	---	56-80	---	90-100	100	---	---	---	---
3/8" (9.5 mm)	---	---	---	---	---	90-100	100	---	---	---
No. 4 (4.75 mm)	14-47	23-53	29-59	35-65	44-74	55-85	80-100	---	---	---
No. 8 (2.36 mm)	10-36	15-41	19-45	23-49	28-58	32-67	65-100	---	---	100
No. 16 (1.18 mm)	---	---	---	---	---	---	40-80	---	---	95-100
No. 30 (600µm)	---	---	---	---	---	---	35-65	---	---	70-95
No. 50 (300 µm)	3-15	4-16	5-17	5-19	5-21	7-23	7-40	---	---	45-75
No. 100 (150 µm)	---	---	---	---	---	---	3-20	---	---	20-40
No. 200 (75 µm)	0-5	0-6	1-7	2-8	2-10	2-10	2-10	---	---	9-20
Asfalto, Porcentaje con respecto al peso total de la mezcla.										
2-7	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12	6-12	7-12	8-12		

**TABLA 3.1- Gradaciones Propuestas para Mezclas Cerradas**  
**Fuente: ASTM D3515 Standard Specification for Hot Mixed, Hot-Laid Bituminous Mixtures**

CRITERIOS PARA MEZCLA DEL MÉTODO MARSHALL	TRANSITO LIVIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO MEDIANO CARPETA Y BASE		TRANSITO PESADO CARPETA Y BASE	
	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO	MINIMO	MAXIMO
Compactación, numero de golpes en cada cara de la probeta	35	35	50	50	75	75
Estabilidad N(lb)	336 (750)	-	5358 (1200)	-	8006 (1800)	-
Flujo, 0.25mm (0.01pulg)	8	18	8	16	8	14
% de vacíos	3	5	3	5	3	5
% VMA	Ver Tabla					
% VFA	70	80	65	78	65	75

**NOTAS**

<sup>1</sup> Todos los criterios y no solo estabilidad, deben ser considerados al diseñar una mezcla asfáltica de pavimentación. Las mezclas asfálticas en caliente de base que no cumplan estos criterios, cuando se ensayen a 60 °C, se consideraran satisfactorias si cumplen los criterios cuando se ensayen a 38 °C, y si se colocan a 100 mm o más por debajo de la superficie. Esta recomendación se aplica solamente a las regiones que tengan una variedad de condiciones climáticas similar a la que prevalece en casi todas las regiones de Estados Unidos. En las regiones que tengan condiciones climáticas mas extremas puede ser necesario usar temperaturas mas bajas de ensayo.

<sup>2</sup> Clasificaciones del Tránsito

Liviano Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño < 104

Mediano Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño entre 104 y 105

Pesado Condiciones de tránsito que resultan en un ESAL de diseño > 105

<sup>3</sup> Los esfuerzos de compactación en el laboratorio deberán aproximarse a la densidad máxima obtenida en el pavimento bajo el tránsito.

<sup>4</sup> Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir.

<sup>5</sup> Cuando se esté calculando el porcentaje de vacíos, deberá permitirse cierta tolerancia en la porción de cemento asfáltico perdida por absorción en las partículas de agregado.

<sup>6</sup> El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado.

**TABLA 3.2- Criterios del instituto del Asfalto para Diseño Marshall**

**Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas Asfálticas en caliente, MS 22, Asphalt Institute**

TAMAÑO MÁXIMO EN MM		VMA MÍNIMO, POR CIENTO		
PORCENTAJE		Vacíos de Diseño, por ciento <sup>3</sup>		
mm	pulg	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	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	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
50.0	2.0	9.5	10.5	11.5
63.0	2.5	9.0	10.0	11.0

<sup>1</sup> Especificación Normal para Tamaño de Tamices usados en Pruebas AASHTO M 92 (ASTM E 11).

<sup>2</sup> El tamaño máximo nominal de la partícula es un tamaño mas grande que el primer tamiz que retiene mas del 10% del material.

<sup>3</sup> Interpole el VMA mínimo para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están listados.

**TABLA 3.3- Porcentaje Mínimo de VMA**

**Fuente: Principios de Construcción de Pavimentos de Mezclas  
Asfálticas en caliente, MS 22, Asphalt Institute**

### 3.3.6 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS

El procedimiento para dosificación de agregado que se utilizara en el método de diseño que se explica en este documento es el que recomienda la norma AASHTO T 245, que es la que rige el procedimiento de elaboración de las briquetas por el Método Marshall para luego ser ensayadas para la

Resistencia a la Estabilidad y Flujo, el ensayo recomienda, que los agregados se separen por tamizado seco en ciertas fracciones y recomienda, los rangos.

Según el tamaño máximo de los agregados de (1/2) que se utilizan en el diseño se toman las siguientes fracciones de tamaño:

- 19.0 mm a 12.5 mm (3/4 a 1/2 pulg.)
- 9.5 mm a 4.75 (3/8 a No.4)
- 4.75 mm a 2.36 mm (No. 4 a No.8)
- Pasa 2.36 mm (No.8)

#### **3.3.6.1 Selección de las muestras del material**

La primera preparación de los ensayos consta reunir muestras de asfaltos y del agregado que van a ser usados para la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfaltos tengan características idénticas a las del asfalto que va a ser usado en la mezcla final. Lo mismo debe ocurrir con las muestras de agregado. La razón es simple: los datos extraídos de los procedimientos es determinar la formula o “receta” para la mezcla de pavimentación. La receta será exacta solamente si los ingredientes ensayados en el laboratorio tienen características idénticas a los ingredientes usados en el producto final.

Una amplia variedad de problemas graves, que van desde una mala trabajabilidad de la mezcla hasta una falla prematura del pavimento, son el resultado histórico de variaciones ocurridas entre los materiales ensayados en el laboratorio y los materiales usados en la realidad.

### **3.3.6.2 Preparación del agregado**

La relación viscosidad temperatura del cemento asfáltico que va ser usado debe ser ya conocida para establecer las temperaturas de mezclado y compactación en el laboratorio. En consecuencia, los procedimientos preliminares se enfocan hacia el agregado, con el propósito de identificar exactamente sus características. Estos procedimientos incluyen secar el agregado, determinar su peso específico y efectuar un análisis granulométrico por lavado.

### **3.3.6.3 Secado del agregado**

El método Marshall requiere que los agregados ensayados estén libres de humedad, tan práctico como sea posible. Esto evita que la humedad afecte los resultados de los ensayos.

Una muestra de cada agregado a ser ensayado se coloca en una bandeja, por separado, y se calienta en un horno a una temperatura de 110<sup>0</sup>C (230<sup>0</sup>F); después de cierto tiempo, la muestra caliente se pesa y se registra su valor.

La muestra se calienta completamente una segunda vez, y se vuelve a pasar y a registrar su valor. Este procedimiento se repite hasta que el peso de la muestra permanezca constante después de dos calentamientos consecutivos, lo cual indica que la mayor cantidad posible de humedad se ha evaporado de la muestra.

#### **3.3.6.4 Análisis granulométrico por vía húmeda**

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras del agregado. Esta información es importante porque las especificaciones de la mezcla deben estipular las proporciones necesarias de partículas de agregado de tamaño diferente, para producir una mezcla en caliente final con las características deseadas.

El análisis granulométrico por vía húmeda consta de los siguientes pasos:

1. Cada muestra de agregado es secada y pesada.
2. Luego de que cada muestra es lavada a través de tamiz 0,075 mm (N-.200), para remover cualquier polvo mineral que este cubriendo al agregado.
3. Las muestras lavadas son secadas seguidamente el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.

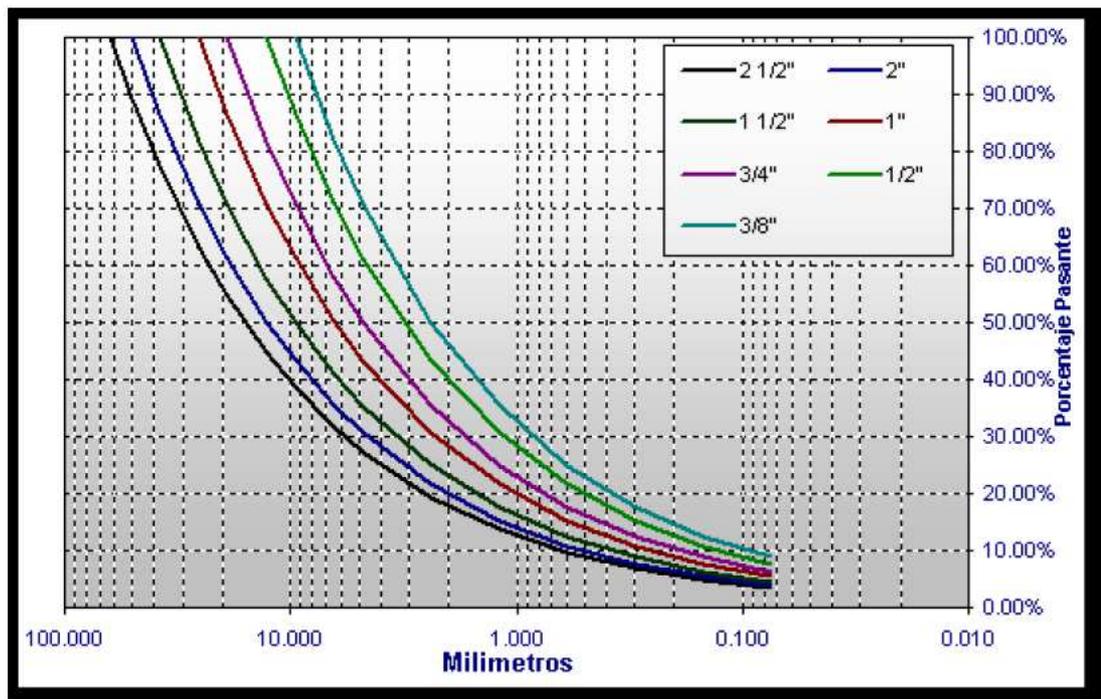
4. El peso seco de cada muestra es registrado. la cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se comparan los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
5. Para obtener pasos detallados del procedimientos referirse a la norma AASHTO T 11.

#### **3.3.6.5 Evaluación y ajustes de una mezcla de diseño**

Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas preliminares o exploratorias, es aconsejable comenzar con una graduación de agregado que se acerque a la media de los límites establecidos. Las mezclas de pruebas iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación del agregado este dentro de los límites especificados puede ser reproducida en una planta mezcladora.

Cuando las mezclas de pruebas iniciales fallan con los criterios de diseño en cualquier contenido de asfalto seleccionado, será necesario modificar o, en algunos casos, rediseñar la mezcla. Para corregir una diferencia, la manera más fácil de rediseñar una mezcla es cambiar la graduación de los agregados ajustando los porcentajes utilizados. Frecuentemente este ajuste es suficiente para cumplir con las especificaciones.

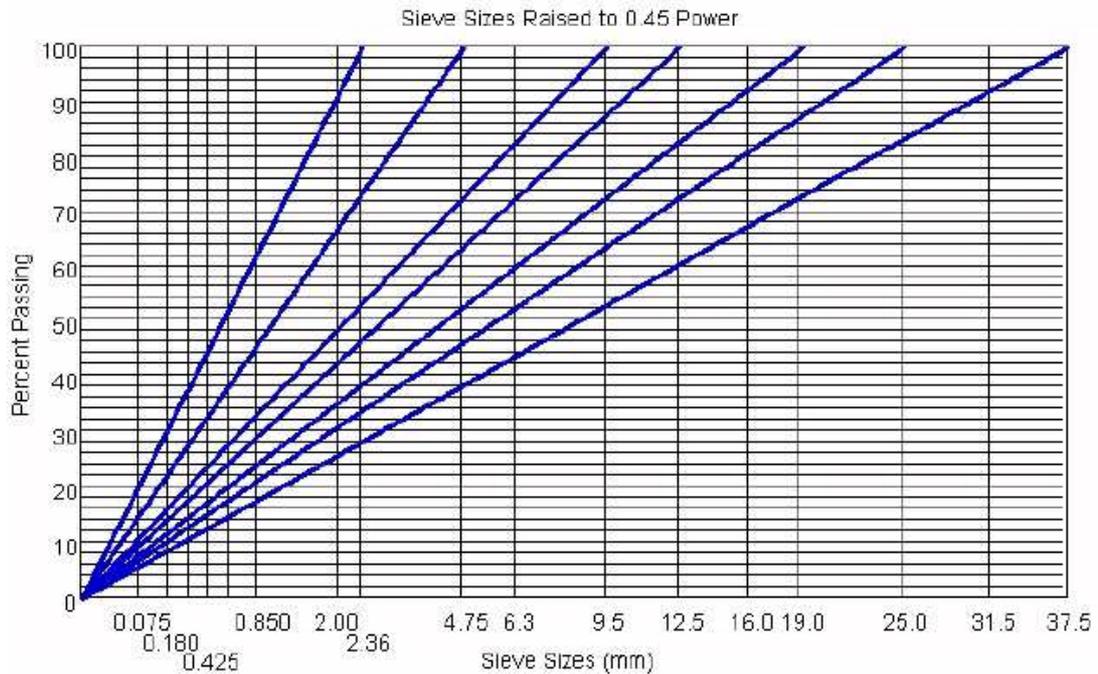
Las curvas granulométricas son de gran ayuda al hacer los ajustes necesarios en los diseños de mezcla. Por ejemplo, las curvas obtenidas en la ecuación de Densidad Máxima de Fuller (figura 3.2) representan condiciones de densidad máxima y valores mínimos de vacíos en agregados minerales (VMA). Las mezclas asfálticas que poseen dichas curvas presentan contenidos de vacío que pueden ser demasiado bajos. Generalmente, cualquier desviación de estas curvas resulta en densidades menores y valores más altos de VMA. La magnitud del cambio en la densidad y en el VMA depende de la cantidad de ajustes hechos en el contenido de agregado grueso o fino de la mezcla.



**FIGURA 3.2- Curvas Fuller de Máxima Densidad Basadas en un Grafico Normalizado Semi-log de Granulometría**

Fuente: Tomada de principios de construcción de pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente, Ms 22, Asphalt Institute.

La figura 3.3 muestra curvas de densidad máxima dibujadas sobre un gráfico de granulometría de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) (USA) (basada en una escala donde las aberturas de los tamices se elevan a una potencia de 0,45). Muchos diseñadores encuentran conveniente la gráfica del FHWA para hacer granulometrías del agregado. Las curvas en la gráfica del FHWA pueden hallarse usando la ecuación de densidad máxima de Fuller, o dibujando una línea recta desde el origen, en la parte inferior izquierda de la gráfica, hasta el tamaño máximo nominal de partícula deseado, en la parte superior. Las granulometrías que se acercan a las líneas rectas tienen, generalmente, valores bajos de VMA, y deben ser ajustadas alejándolas de estas líneas. Dichos ajustes aumentan los valores de VMA, permitiendo así el uso de suficiente asfalto para poder obtener máxima durabilidad sin causar exudación en la mezcla.



**FIGURA 3.3- Curvas de Densidad Máxima Basadas en un Grafico FHWA (Potencia de 0.45) de Granulometría**

### 3.3.7 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS (PROBETAS) DE ENSAYO.

Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenidos de asfalto usado en las briquetas de ensayo está determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este margen le da al laboratorio un punto de partida para determinar el contenido exacto de asfalto en la mezcla final, la proporción de agregado en las mezclas está formulada por los resultados del análisis granulométrico.

Las muestras son preparadas de la siguiente manera:

1. El asfalto y el agregado se calientan completamente hasta que todas las partículas del agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en planta.
2. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes precalentados Marshall como preparación para la compactación, en donde se usa un martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfrié la superficie de la mezcla al golpearla.
3. Las briquetas son compactadas mediante golpes de martillo (35, 50,75) depende de la cantidad de tránsito para la cual está siendo diseñada. Ambas caras de cada biqueta reciben el mismo número de golpes. Así una probeta Marshall de 35 golpes recibe, realmente un total de 70 golpes. Una probeta de 50 golpes recibe 100 impactos. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

El diseño utilizara cuatro tamaños de agregado que son: Agregado grueso  $\frac{1}{2}$ " , agregado medio  $\frac{3}{8}$ " , agregado fino arena y cisco; pero ahora, para hacer una biqueta de 1200 gr se tienen cuatro fracciones de agregados, lo cual implica que se deben pesar cuatro cantidades, una cada fracción para complementar una dosificación de agregado para una bacheada (elaboración de una biqueta).

Para estas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por que se procede a calcularlo de la granulometría que se obtuvo al combinar los cuatro agregados que inicialmente se tienen.

### **3.3.8 DETERMINACIÓN DEL PESO ESPECÍFICO**

El peso específico de una sustancia es la proporción peso-volumen de una unidad de esa sustancia comparada con la proporción peso-volumen de una unidad igual de agua.

El peso específico de una muestra de agregado es determinado al comparar el peso de un volumen dado de agregado con el peso de un volumen igual de agua, a la misma temperatura. El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de 1). Por ejemplo la muestra de un agregado que pese dos y media veces más que un volumen igual de agua tiene un peso específico de 2.5.

El cálculo del peso específico de la muestra seca del agregado establece un punto de referencia para medir los pesos específicos necesarios en la determinación de las proporciones de agregado, asfalto y vacíos que van a usarse en los métodos de diseño.

### **3.3.9 ENSAYOS REALIZADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA COMPACTADA.**

En el método Marshall se llevan a cabo tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas.

#### **3.3.9.1 Gravedad específica teórica máxima y densidad de mezclas bituminosas de pavimentación**

Se determina la gravedad específica teórica máxima  $G_{mm}$  de acuerdo a la norma AASHTO T 209-05, de la mezcla asfáltica en su estado suelto, para al menos dos contenidos de asfalto; de preferencia en un rango en donde se estime que podrá encontrarse el contenido óptimo. Una vez hecho lo anterior, se pueden determinar los valores de  $G_{mm}$  para los distintos contenidos de asfalto que se utilizan en el diseño, empleando fórmulas de aproximación tal como lo describe el Instituto del Asfalto de Norteamérica en su manual de métodos de diseño de mezclas asfálticas en caliente.

$$G_{mm} = \frac{W_{muestra}}{W_{muestra} + W_{frasco} + W_{agua} - W_{despues\ ensayo}}$$

### 3.3.9.2 Determinación de la gravedad específica bulk

El ensayo de gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas utilizando especímenes saturados superficialmente secos puede desarrollarse tan pronto como el espécimen se haya enfriado. Este ensayo se desarrolla de acuerdo con la norma AASHTO T 166-05, para la gravedad específica Bulk de mezclas asfálticas compactadas usando especímenes cubiertos con parafina la norma AASHTO T 275 es aplicada. Para determinar cuál norma se debe utilizar, se realizaran pruebas de absorción a la mezcla asfáltica compactada; si la absorción es mayor al 2%, se utiliza la norma AASHTO T 166-05, en caso contrario, se recurre a la norma AASHTO T 275.

$$G_{mb} = \frac{W \text{ muestra}}{W_{sss} - W \text{ sumergido}}$$

### 3.3.9.3 Resistencia de mezclas bituminosas al flujo plástico utilizando el aparato Marshall

Basado en norma AASHTO T 245-97 (2004). El ensayo de estabilidad esta dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla.

Sumergir el espécimen en un baño María a  $60 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $140 \text{ }^{\circ}\text{F} \pm 1.8 \text{ }^{\circ}\text{F}$ ) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Remueva el espécimen de ensayo del baño María y cuidadosamente se secará la superficie. Colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procederá a colocar la mordaza

superior y se centrara completamente en el aparato de carga. Posteriormente se aplica la carga de prueba al espécimen a una velocidad constante de 50.8 mm/min (2 pulg/min), hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida. El número total de Newtons (lb) requeridos para que se produzca la falla del espécimen deberá registrarse como el valor de estabilidad Marshall.

Mientras que el ensayo de estabilidad está en proceso, si no se utiliza un equipo de registro automático se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir habrá que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25 mm (1/100") será el valor del flujo Marshall.

#### **3.3.9.4 Análisis De Densidad Y Vacíos**

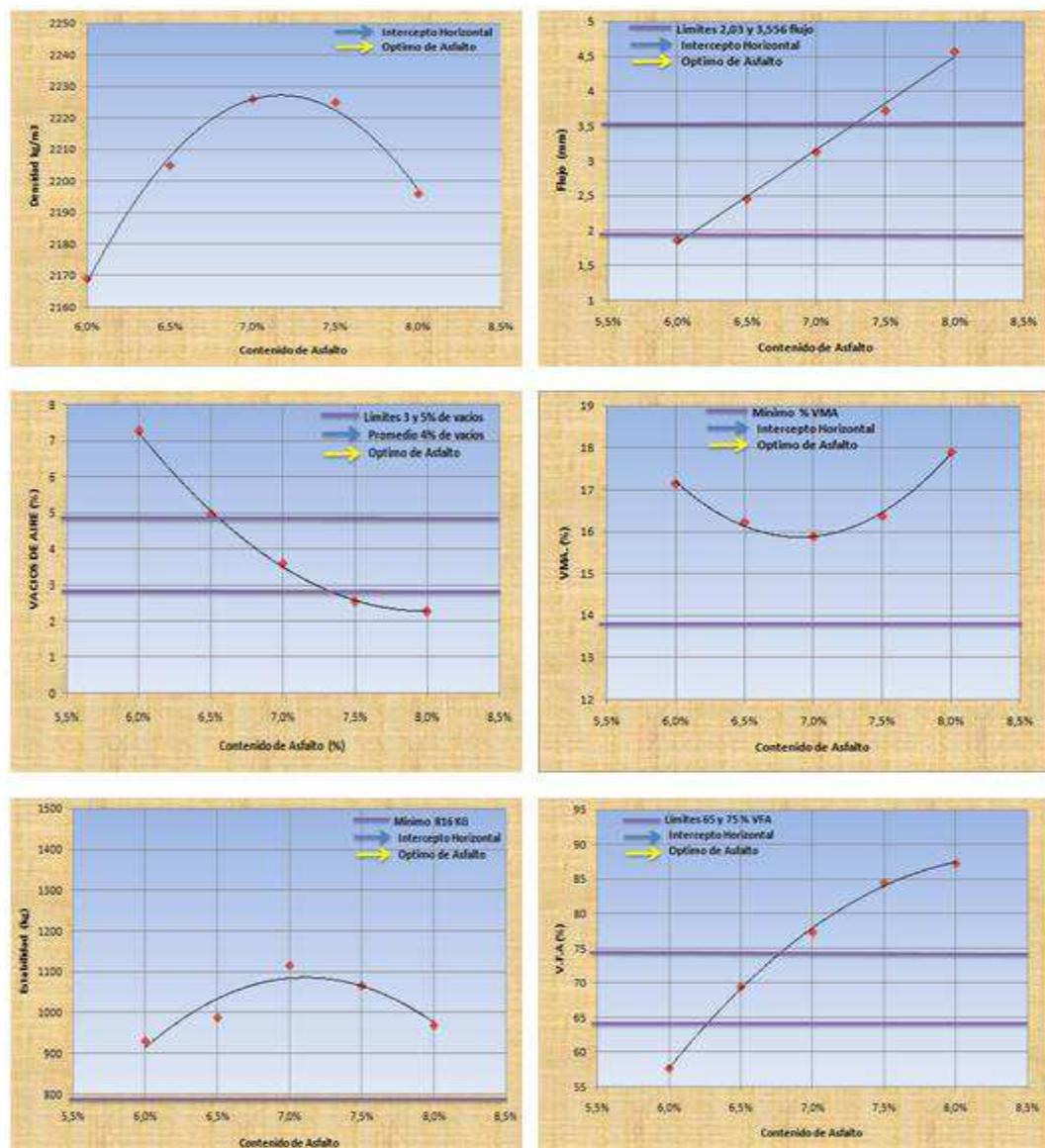
Después de completar las pruebas de estabilidad y flujo, se realiza el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes de prueba. Resulta conveniente determinar la gravedad específica teórica máxima (AASHTO T 209) para al menos dos contenidos de asfalto. Un valor promedio de la gravedad específica efectiva del total del agregado se calculará de estos valores.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total del agregado; el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas; la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de asfalto absorbido en peso del agregado seco, porcentaje de vacíos ( $V_a$ ); porcentaje de vacíos llenados con asfalto (VFA) y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA). Ahora los valores obtenidos se registraran en la tabla 3.4 control de propiedades para mezclas asfálticas.

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC %	P.E BULK AGREGADO	P.E EFECTIVO AGREGADO	% C.A. ABS. POR AGREGADO	PESO MUESTRA			VOLUMEN C.C	DENSIDAD				V.A.M %	R.B.V. %	% C.A EFECT EN LA MEZCLA	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD		FLUJO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S		PROBETA	RICE	VACIOS TOTAL	C.A					DIAL	CORREG.	
1	Ag. ½																			
2	Ag. 3/8																			
3	Cisco																			
4	Arena																			
	% C.A																			
	P.E Rice																			

**TABLA 3.4- Método Marshall control de propiedades de las mezclas asfálticas**

Una vez que se obtienen todos los valores de la tabla de control de propiedades de las mezclas asfálticas se procede a realizar las curvas de las propiedades determinadas con los diferentes porcentajes de asfalto, para el proyecto de mezclas en caliente por el Método Marshall. (Figura 3.4)



**FIGURA 3.4- Cuadro para representación de curvas de las propiedades determinadas para el proyecto de mezclas en caliente por el Método Marshall**

### **3.3.9.5 Determinación de la proporción óptima de asfalto**

La estimación del porcentaje óptimo de asfalto es de gran ayuda, y se realiza utilizando la relación propuesta por el instituto del asfalto, ya que proporciona un valor de asfalto óptimo teórico y a partir de este se establecen los demás porcentajes de asfalto para el diseño.

Los porcentajes de cemento asfáltico para cada dosificación se obtienen haciendo incrementos de 0.5% al porcentaje óptimo de cemento asfáltico, dos incrementos arriba y dos de 0.5%, por lo tanto los porcentajes de cemento asfáltico a utilizar para elaborar las diferentes dosificaciones (bacheadas) son:

6.0%, 6.5%, 7.0 % ,7.5% y 8.0%

Para cada porcentaje de cemento asfáltico se elaboran tres briquetas como mínimo, cada briqueta tendrá un peso de aproximadamente 1,200 g, además, también se dosificará una o dos porciones de mezcla asfáltica de aproximadamente 2,000 g cada una, para gravedad específica teórica máxima, la cual se deberá dejar en condición suelta. La elección de hacer una o dos muestras para teórica máxima depende de los criterios del diseñador, ya que algunos hablan de inclusive hacer tres para tener un mejor valor promedio, ya que con dos muestras ensayadas no se tiene una certeza de que valores puede ser tomando como los más exactos.

La proporción óptima de asfalto de una mezcla para pavimentación se determina de los datos obtenidos. Se toman en cuenta las tres curvas correspondientes ilustradas en la figura 3.4 al hacer esta determinación. De estas curvas formadas por los datos, se determinan las proporciones de asfalto que produzcan los siguientes resultados:

1. Estabilidad máxima
2. Peso volumétrico (Densidad).
3. Promedio de los límites dados en la tabla 3.2 para porcentaje de vacíos llenos de aire. La proporción óptima de asfalto en la mezcla es entonces el promedio numérico de los valores de la proporción de asfalto determinadas como se acaba de mencionar.

## **CAPÍTULO 4: DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS**

### **4.1 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS**

Ensayos varios para conocer las propiedades de los agregados:

- Determinar el contenido de humedad en una muestra de agregados.
- Determinar la densidad de los agregados por distintos métodos y comparar los resultados.
- Determinar el tamaño de los granos de los agregados.
- Determinar las propiedades de los agregados para saber si estos son aptos para su uso en la construcción.

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO PIEDRA 1/2					
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Picoaza					
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ		3/4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ		Nº 4
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO				4813 gr.
<b>B</b>	PESO EN EL AIRE DE MUESTRA SATURADA				4975 gr.
<b>C</b>	PESO EN EL AGUA DE MUESTRA SATURADA				3065 gr.
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA	A	4813		4813	= 2,520
	B-C	4975	3065	1910	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.	B	4975		4975	= 2,605
	B-C	4975	3065	1910	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	A	4813		4813	= 2,753
	A-C	4813	-3065	1748	
% DE ABSORCION	$\frac{B-A}{A} \times 100$		$\frac{4975 - 4813}{4813}$	X 100	= 3,37 %

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO PIEDRA 1/2								
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Picoaza								
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ	3/4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ	Nº 4					
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		4815	gr.				
<b>B</b>	PESO EN EL AIRE DE MUESTRA SATURADA		4976	gr.				
<b>C</b>	PESO EN EL AGUA DE MUESTRA SATURADA		3063	gr.				
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA</b>	<b>A</b>		4815		4815	=	2,517	
	<b>B-C</b>		4976	3063	1913			
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.</b>	<b>B</b>		4976		4976	=	2,601	
	<b>B-C</b>		4976	3063	1913			
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	<b>A</b>		4815		4815	=	2,748	
	<b>A-C</b>		4815	-3063	1752			
<b>% DE ABSORCION</b>	$\frac{B-A}{A} \times 100$		4976	4815	X	100	=	3,34 %
			4815					

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO PIEDRA 3/8								
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Picoaza								
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ	3/4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ	Nº 4					
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		926	gr.				
<b>B</b>	PESO EN EL AIRE DE MUESTRA SATURADA		968	gr.				
<b>C</b>	PESO EN EL AGUA DE MUESTRA SATURADA		597	gr.				
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA	A		926		926	=	2,496	
	B-C		968	597	371			
GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.	B		968		968	=	2,609	
	B-C		968	597	371			
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	A		926		926	=	2,815	
	A-C		926	-597	329			
% DE ABSORCION	$\frac{B-A}{A} \times 100$		968	926	X	100	=	4,54 %
			926					

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO GRUESO PIEDRA 3/8								
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Picoaza								
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ	3/4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ	Nº 4					
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		932	gr.				
<b>B</b>	PESO EN EL AIRE DE MUESTRA SATURADA		978	gr.				
<b>C</b>	PESO EN EL AGUA DE MUESTRA SATURADA		592	gr.				
GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA	<b>A</b>		932		=	2,415		
	<b>B-C</b>		978	592			386	
GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.	<b>B</b>		978		=	2,534		
	<b>B-C</b>		978	592			386	
GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE	<b>A</b>		932		=	2,741		
	<b>A-C</b>		932	-592			340	
% DE ABSORCION	$\frac{B-A}{A} \times 100$		978	932	X	100	=	4,94 %
			932					

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO ARENA						
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Picoaza						
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ	Nº 4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ	Nº 200			
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		490,8	gr.		
<b>V</b>	VOLUMEN DE LA PROVETA		500	gr.		
<b>W</b>	PESO EN gr. O VOLUMEN EN ml. DEL AGUA AÑADIDA		308,45	gr.		
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA</b>	$\frac{A}{V-W}$	$\frac{490,8}{500 - 308,45}$	$\frac{490,8}{191,55}$	=	2,562	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.</b>	$\frac{500}{V-W}$	$\frac{500}{500 - 308,45}$	$\frac{500}{191,55}$	=	2,610	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	$\frac{A}{(V-W)-(500-A)}$	$\frac{490,8}{191,55 - 9,2}$	$\frac{490,8}{182,35}$	=	2,692	
<b>% DE ABSORCION</b>	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	$\frac{500 - 490,8}{490,8} \times 100$		=	1,87	%

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO ARENA					
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Picoaza					
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ	Nº 4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ	Nº 200		
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		490,85	gr.	
<b>V</b>	VOLUMEN DE LA PROVETA		500	gr.	
<b>W</b>	PESO EN gr. O VOLUMEN EN ml. DEL AGUA AÑADIDA		308,62	gr.	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA</b>	$\frac{A}{V-W}$	$\frac{490,85}{500 - 308,62}$	$\frac{490,85}{191,38}$	=	2,565
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.</b>	$\frac{500}{V-W}$	$\frac{500}{500 - 308,62}$	$\frac{500}{191,38}$	=	2,613
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	$\frac{A}{(V-W)-(500-A)}$	$\frac{490,85}{191,38 - 9,15}$	$\frac{490,85}{182,23}$	=	2,694
<b>% DE ABSORCION</b>	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	$\frac{500 - 490,85}{490,85} \times 100$		=	1,86 %

**GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO CISCO**

Origen de la Muestra: Cantera Uruzca

MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ **Nº 4** Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ **Nº 200**

**A** PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO **466 gr.**  
**V** VOLUMEN DE LA PROVETA **500 gr.**  
**W** PESO EN gr. O VOLUMEN EN ml. DEL AGUA AÑADIDA **308,95 gr.**

<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA</b>	$\frac{A}{V-W}$	$\frac{466}{500 - 308,95}$	$\frac{466}{191,05}$	=	<b>2,439</b>
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.</b>	$\frac{500}{V-W}$	$\frac{500}{500 - 308,95}$	$\frac{500}{191,05}$	=	<b>2,617</b>
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	$\frac{A}{(V-W)-(500-A)}$	$\frac{466}{191,05 - 34}$	$\frac{466}{157,05}$	=	<b>2,967</b>
<b>% DE ABSORCION</b>	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	$\frac{500 - 466}{466} \times 100$		=	<b>7,30 %</b>

GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO CISCO					
<b>Origen de la Muestra:</b> Cantera Uruzca					
MATERIAL QUE PASA EL TAMIZ	Nº 4	Y ES RETENIDO EN EL TAMIZ	Nº 200		
<b>A</b>	PESO EN EL AIRE DE LA MUESTRA SECADA AL HORNO		466,77	gr.	
<b>V</b>	VOLUMEN DE LA PROVETA		500	gr.	
<b>W</b>	PESO EN gr. O VOLUMEN EN ml. DEL AGUA AÑADIDA		308,26	gr.	
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE MASA</b>	$\frac{A}{V-W}$	$\frac{466,77}{500 - 308,26}$	$\frac{466,77}{191,74}$	=	2,434
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA DE S.S.S.</b>	$\frac{500}{V-W}$	$\frac{500}{500 - 308,26}$	$\frac{500}{191,74}$	=	2,608
<b>GRAVEDAD ESPECIFICA APARENTE</b>	$\frac{A}{(V-W)-(500-A)}$	$\frac{466,77}{191,74 - 33,23}$	$\frac{466,77}{158,51}$	=	2,945
<b>% DE ABSORCION</b>	$\frac{500 - A}{A} \times 100$	$\frac{500 - 466,77}{466,77} \times 100$		=	7,12 %

**4.2 GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS.**

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS							
PROCEDENCIA: STOCK PLANTA							
DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE 1/2							
TAMIZ Nro.	MASA RETENIDO		PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	
	PARCIAL Gr	ACUMULADO Gr	RETENIDO	PASANTE	PASANTE CORREGIDO		
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		70	10,28	89,72		
9.5 mm	3/8"		308	45,29	54,71		
4.75 mm	Nro. 4		634	93,36	6,64		
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8		654	96,32	3,68		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		665	97,94	2,06		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		674	99,29	0,71		
FONDO			4,80	0,71			
Masa inicial parte fina T=		gr.		Masa Seca parte fina:		gr.	
OBSERVACIONES : TOTAL		678,8		Gramos			

<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS</b>							
<b>PROCEDENCIA: STOCK PLANTA</b>							
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO GRUESO DE 1/2</b>							
TAMIZ Nro.	MASA RETENIDO			PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES
	PARCIAL Gr	ACUMULADO Gr	RETENIDO	PASANTE	PASANTE CORREGIDO		
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		75	10,28	89,05		
9.5 mm	3/8"		320	45,29	55,15		
4.75 mm	Nro. 4		706	93,36	1,22		
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8		708	99,13	0,87		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		710	99,41	0,59		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		712	99,69	0,31		
FONDO			2,20	0,31			
Masa inicial parte fina T=			gr.	Masa Seca parte fina:			gr.

OBSERVACIONES : TOTAL      714,2      Gramos

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS							
PROCEDENCIA: STOCK PLANTA							
DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO GRUESO RIPIO DE 3/8"							
TAMIZ Nro.	MASA RETENIDO		PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	
	PARCIAL Gr	ACUMULADO Gr	RETENIDO	PASANTE	PASANTE CORREGIDO		
SERIE GRUESA							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		0	0,00	100,00		
9.5 mm	3/8"		2	0,34	99,66		
4.75 mm	Nro. 4		425	71,74	28,26		
PASA Nro. 4							
SERIE FINA							
2.36 mm	Nro. 8		556,1	93,98	6,02		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		591	99,9	0,10		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		592	99,97	0,03		
FONDO			0,20	0,03			
Masa inicial parte fina T=		gr.		Masa Seca parte fina:		gr.	

OBSERVACIONES : TOTAL 592,2 Gramos

<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS</b>							
<b>PROCEDENCIA: STOCK PLANTA</b>							
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO GRUESO RIPIO DE 3/8"</b>							
TAMIZ Nro.	MASA RETENIDO			PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES  O  ESPECIFICACIONES
	PARCIAL  Gr	ACUMULAD O  Gr	RETENID O	PASANT E	PASANTE CORREGID O		
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"	0	0	100			
12.5 mm	1/2"	0	0,00	100,00			
9.5 mm	3/8"	3	0,47	99,53			
4.75 mm	Nro. 4	455	69,38	30,62			
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8	611	93,17	6,83			
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50	643	98,03	1,97			
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200	656	99,97	0,03			
FONDO		0,20	0,03				
Masa inicial parte fina T=		gr.	Masa Seca parte fina:			gr.	
OBSERVACIONES : TOTAL		656,2	Gramos				

<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS</b>							
<b>PROCEDENCIA: STOCK PLANTA</b>							
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO FINO "CISCO"</b>							
TAMIZ Nro.	MASA RETENIDO		PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES  O ESPECIFICACIONES	
	PARCIAL  Gr	ACUMULAD O  Gr	RETENID O	PASANT E	PASANTE CORREGID O		
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		0	0,00	100,00		
9.5 mm	3/8"		3	0	100		
4.75 mm	Nro. 4		89,2	8,61	91,39		
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8		479,1	46,22	53,78		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		841	81,14	18,86		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		944,5	91,12	8,88		
FONDO			92,00	8,88			
Masa inicial parte fina T=			gr.	Masa Seca parte fina:			gr.
OBSERVACIONES : TOTAL			1036,5	Gramos			

<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS</b>							
<b>PROCEDENCIA: STOCK PLANTA</b>							
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO FINO " CISCO"</b>							
TAMIZ Nro.		MASA RETENIDO		PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES
		PARCIAL Gr	ACUMULADO Gr	RETENIDO	PASANTE	PASANTE CORREGIDO	
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		0	0,00	100,00		
9.5 mm	3/8"		0	0	100		
4.75 mm	Nro. 4		90	8,66	91,34		
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8		476,5	45,82	54,18		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		842	80,96	19,04		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		947,7	91,13	8,88		
FONDO			92,3	8,87			
Masa inicial parte fina T=		gr.		Masa Seca parte fina:		gr.	
OBSERVACIONES : TOTAL		1040		Gramos			

<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS</b>							
<b>PROCEDENCIA: STOCK PLANTA</b>							
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO FINO (ARENA)</b>							
TAMIZ Nro.		MASA RETENIDO		PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES
		PARCIAL Gr	ACUMULADO Gr	RETENIDO	PASANTE	PASANTE CORREGIDO	
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		0	0,00	100,00		
9.5 mm	3/8"		0	0	100,00		
4.75 mm	Nro. 4		0	0	100,00		
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8		0	0	100		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		9,1	2,49	97,51		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		362,1	98,86	1,04		
FONDO			3,8	1,04			
Masa inicial parte fina T=		gr.		Masa Seca parte fina:		gr.	

OBSERVACIONES : TOTAL      365,9      Gramos

<b>LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS HORMIGONES Y ASFALTOS</b>							
<b>PROCEDENCIA: STOCK PLANTA</b>							
<b>DESCRIPCION DE LA MUESTRA : AGREGADO FINO (ARENA)</b>							
TAMIZ Nro.	MASA RETENIDO		PORCENTAJES AUMULADOS			OBSERVACIONES O ESPECIFICACIONES	
	PARCIAL Gr	ACUMULADO Gr	RETENIDO	PASANTE	PASANTE CORREGIDO		
<b>SERIE GRUESA</b>							
50 mm	2"						
38.1 mm	1 1/2"						
25 mm	1"						
19 mm	3/4"		0	0	100		
12.5 mm	1/2"		0	0,00	100,00		
9.5 mm	3/8"		0	0	100,00		
4.75 mm	Nro. 4		0	0	100,00		
PASA Nro. 4							
<b>SERIE FINA</b>							
2.36 mm	Nro. 8		0	0	100		
2 mm	Nro. 10						
1.18 mm	Nro. 16						
0.85 mm	Nro. 20						
0.6 mm	Nro. 30						
0.425 mm	Nro. 50		9,3	2,63	97,37		
0.3 mm	Nro. 60						
0.15 mm	Nro. 100						
0.075	Nro. 200		350,5	98,98	1,02		
FONDO			3,6	1,02			
Masa inicial parte fina T=		gr.		Masa Seca parte fina:		gr.	

OBSERVACIONES : TOTAL            354,1    Gramos

### 4.3 DOSIFICACIÓN DE AGREGADOS.

Para estas fracciones no tenemos todavía un porcentaje establecido por que se procede a calcularlo de la granulometría que se obtuvo al combinar los cuatro agregados que inicialmente se tienen, para dichos cálculos se utilizan los valores de la tabla 4.2.

3/4 pulg a 1/2 pulg significa que se retiene una fracción de agregado que pasa la malla 3/4 pulg y se retiene en la malla de 1/2 pulg, el porcentaje para las diferentes fracciones de agregados se puede calcular de dos formas:

La primera sumando los valores retenidos desde malla de 3/4" hasta la 1/2" los cuales son:

$$3/4" = 0 \quad 1/2" = 16 \quad 3/8" = 16 \quad \text{ahora suma } 0+16+16= 32\%$$

La segunda forma es restando los porcentajes acumulados que pasan entre las mallas en las que encuentras dichas fracción, por ejemplo:

Pasa malla 3/4" - pasa malla 1/2" = 100-84=16% y así sucesivamente. En la tabla 4.1 se presentan los valores de los porcentajes de las cuatros fracciones de agregado que se utilizaran para obtener la dosificación de cada fracción de agregado.

---

Pasa el tamiz	Se retiene el tamiz	Operación	%de la fracción
¾"	1/2"	100 - 84	16
1/2"	3/8	84 - 68	16
No.4	No.200	68 - 55	7
No.4	No.200	61	61
TOTAL			100

**TABLA 4.1- Porcentajes calculados para cada fracción de Agregado**

Con los porcentajes de las cuatro fracciones de agregado se procede a calcular el posible porcentaje óptimo de asfalto con la relación propuesta por el instituto del asfalto.

DISEÑO DE CARPETA ASFALTICA ( FAJA 1/2" )  
**ANALISIS GRANULOMETRICO**

TAMIZ Nº	PESO RETENIDO				% QUE PASA				% DISEÑO				% QUE PASA			
	TOLVA				TOLVA				TOLVA				MEZCLA ARIDOS	GRADUCACION ESPECIFICADA	VALOR MEDIO	TOLERANCIA
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4				
					RIPIO 1/2	RIPIO 3/8	CISCO	ARENA	RIPIO 1/2	RIPIO 3/8	CISCO	ARENA				
<b>1"</b>									<b>16</b>	<b>16</b>	<b>61</b>	<b>7</b>				
<b>3/4"</b>					100.00	100.00	100.0	100.0	16.0	16.0	61.0	7.0	<b>100.0</b>	<b>100.0</b>	<b>100</b>	<b>± 8 %</b>
<b>1/2"</b>					89.61	100.00	100.0	100.0	14.3	16.0	61.0	7.0	<b>98.3</b>	<b>90 - 100</b>	<b>95</b>	<b>± 8 %</b>
<b>3/8"</b>																
<b>Nº 4</b>					3.93	29.44	91.37	100.0	0.6	4.7	55.7	7.0	<b>68.1</b>	<b>44 - 74</b>	<b>59</b>	<b>± 7 %</b>
<b>Nº 8</b>					2.27	6.42	53.98	100.0	0.4	1.0	32.9	7.0	41.3	<b>28 - 58</b>	<b>43</b>	<b>± 6 %</b>
<b>Nº 30</b>																
<b>Nº 50</b>					1.32	1.03	18.95	97.44	0.2	0.2	11.6	6.8	<b>18.8</b>	<b>5 - 21</b>	<b>13</b>	<b>± 5 %</b>
<b>Nº 100</b>																
<b>Nº 200</b>					0.51	0.03	8.88	1.03	0.1	0.0	5.4	0.1	<b>5.6</b>	<b>2 - 10</b>	<b>6</b>	<b>± 3 %</b>
<b>TOTAL</b>											Filler/Betun		0.8-1.2	<b>ASFALTO</b>	<b>6.84</b>	<b>± 0.3 %</b>

**TABLA 4.2- Comprobación Granulométrica de Combinación de Agregados**

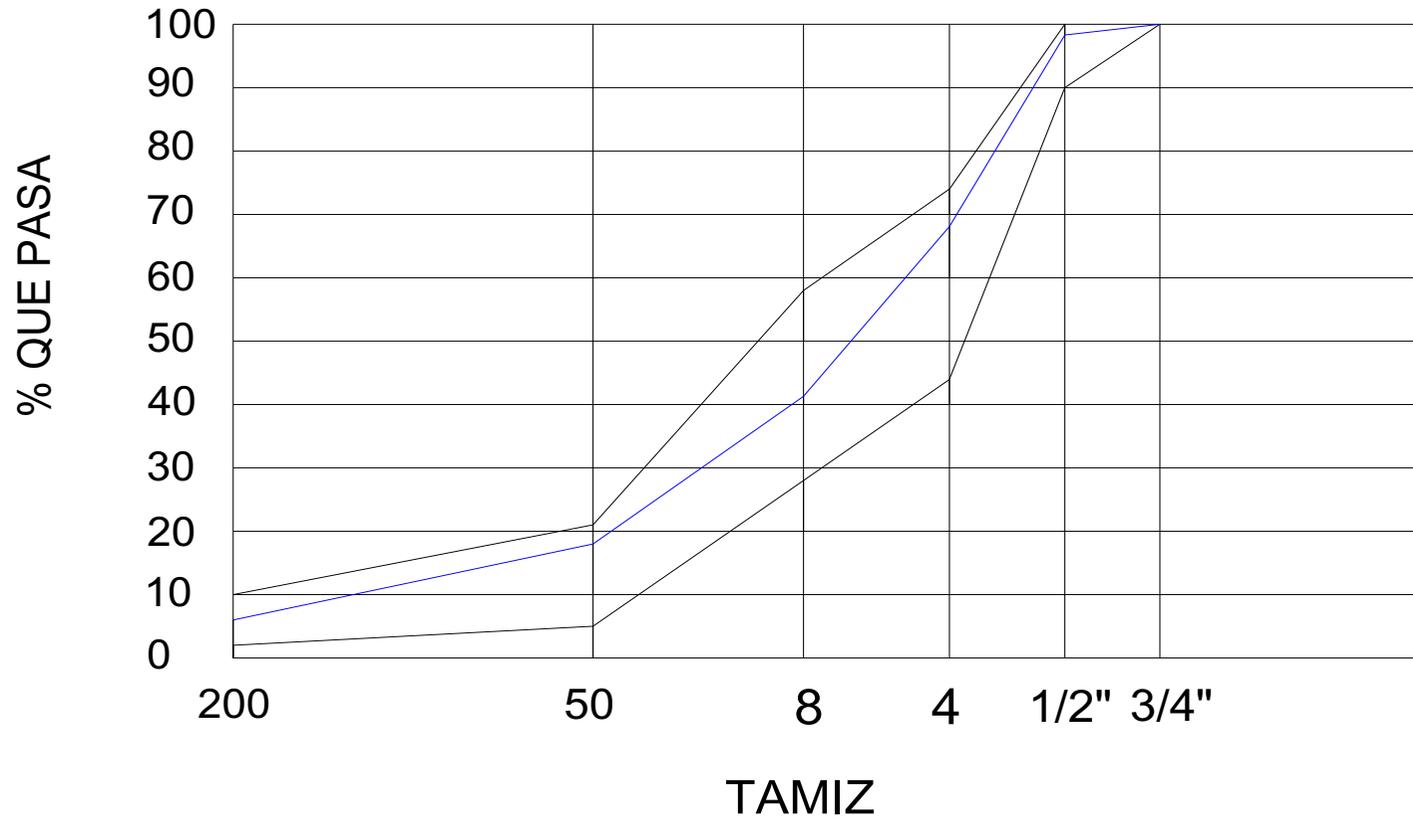


TABLA 4.3- Diagrama Granulométrico (1/2)

#### 4.3.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK, APARENTE Y % DE ABSORCIÓN DE LA COMBINACIÓN DE AGREGADOS.

Cuando el agregado total consiste en fracciones separadas de agregados gruesos, finos y filler, todos tienen diferentes gravedades específicas, la gravedad específica neta para el agregado total se calcula usando:

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

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

$$\% \text{ absorcion} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_n}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_n}{G_n}}$$

Dónde:

$G_{sb}$  = Gravedad Específica Bulk de la Combinación de Agregados.

$P_1, P_2, \dots, P_n$  = Porcentaje por Peso de los Agregados.

$G_1, G_2, \dots, G_n$  = Gravedad Específica bulk de Cada Agregado.

Las gravedades específicas de los materiales las cuales se han obtenido por medio de cada uno de los ensayos respectivos son las siguientes:

AGREGADOS	FRACCIONES		GRAVEDAD ESPECIFICA			ABSORCION
	PASA	RETIENE	BULK	S.S.S.	APARENTE	
RIPIO 1/2	3/4"	Nº 4	2.519	2.603	2.751	3.355
RIPIO 3/8	3/8"	Nº 4	2.456	2.572	2.778	4.74
CISCO	Nº 4	Nº 200	2.437	2.613	2.956	7.21
ARENA	Nº 4	Nº 200	2.564	2.612	2.693	1.87

### GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK DE MEZCLA AGREGADOS ( Gsb )

$$Gsb = \frac{100}{\frac{16}{2.519} + \frac{16}{2.456} + \frac{61}{2.437} + \frac{7}{2.564}} = 2.461$$

### GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DE MEZCLA AGREGADOS (Gsa)

$$Gsa = \frac{100}{\frac{16}{2.751} + \frac{16}{2.778} + \frac{61}{2.956} + \frac{7}{2.693}} = 2.873$$

### PORCENTAJE DE ABSORCION

$$\% \text{ Absorción} = \frac{100}{\frac{16}{3.355} + \frac{16}{4.74} + \frac{61}{7.21} + \frac{7}{1.87}} = 4.91$$

## 4.4 CÁLCULO PARA UNA BRIQUETA.

Para ejemplificar el cálculo se utilizará el porcentaje de 6% de C.A. (Cemento Asfáltico).

$W_{\text{briqueta}} \approx 1,200.0 \text{ g}$

$1,200.0 \text{ g} \longrightarrow 1,200.0 \times 6\% = 72 \text{ g de C.A}$

$1,200.0 \times 94\% = 1128 \text{ g de Agregado}$

100.0% 1200 g por peso total en la mezcla.

La dosificación completa para una briqueta de 1200 gramos con 6% C.A.

W muestra = 1200 g			94% de muestra =1128 g	
Fracción de agregado		% Fracción	Operación	Peso de agregado g
Pasa	Se retiene			
3/4"	3/8"	16	1128.4x0.16	180.48
3/8"	No.4	16	1128.4x0.16	180.48
No.4	Pasa No.8	7	1128.4x0.07	78.960
Pasa No.8		61	1128.4x0.61	688.08
<b>Σ</b>				<b>1128</b>
Asfalto		6.0	1200x0.06	72 g de C.A
<b>Peso de la Briqueta</b>				<b>Σ 1.200</b>

**TABLA 4.4- Dosificación para una Briqueta de 6.0 % de Asfalto**

#### 4.4.1 CÁLCULO DE UNA MUESTRA PARA TEÓRICA MÁXIMA

W muestra  $\approx$  2,000.0 g

$$2,000.0 \text{ g} \rightarrow 2,000.0 \times 6.0\% = 120 \text{ g de C.A.}$$

$$2,000.0 \times 94\% = 1880 \text{ g de Agregado}$$

$$100.0\% \quad 2,000.0 \text{ g por peso total en la mezcla.}$$

La dosificación completa para una muestra de Teórica Máxima con un contenido de 6.0 % C.A. se muestra en la Tabla 4.5.

W muestra = 2000 g			94% de muestra =1880 g	
Fracción de agregado		% Fracción	Operación	Peso de agregado g
Pasa	Se retiene			
3/4"	3/8"	16	1880x 0.16	300.80
3/8"	No.4	16	1880x 0.16	300.80
No.4	Pasa No.8	7	1880x 0.07	131.60
Pasa No.8		61	1880x 0.61	1146.80
<b>Σ</b>				<b>1880</b>
Asfalto		6.0	2000x0.06	120 g de C.A
<b>Peso de la Briqueta</b>				<b>Σ 2.000.0</b>

**TABLA 4.5- Dosificación para una muestra Teórica Máxima con 6.0% de Cemento Asfalto.**

#### 4.4.2 CÁLCULOS PARA LAS DOSIFICACIONES PARA TEÓRICAS MÁXIMAS Y BRIQUETAS

Los cálculos para las diferentes dosificaciones tanto de teóricas máximas como para las briquetas de acuerdo a su porcentaje respectivo de cemento asfáltico se realizan de la misma forma que los ejemplos en las secciones anteriores, a continuación se presenta en las Tablas 4.6 y 4.7 los datos cálculos de todos los porcentajes de cemento asfáltico.

% C.A	% agregado	Asfalto (g)	Agregado (g)	Fracciones de Agregado			
				<sup>3</sup> / <sub>4</sub> -3/8 16 %	3/8- No.4 16 %	No.4- No.8 7%	Pasa No.8 61%
6.0	94.0	120	1880	300.8	308	131.6	1146.8
6.5	93.5	130	1870	299.2	299.2	130.9	1140.7
7.0	93.0	140	1860	297.6	297.6	130.2	1134.6
7.5	92.5	150	1850	296	296	129.5	1128.5
8.0	92.0	160	1840	294.4	294.4	128.8	1122.4

**TABLA 4.6- Dosificaciones para Teórica Máxima con un Peso Aproximado de 2000.0 g**

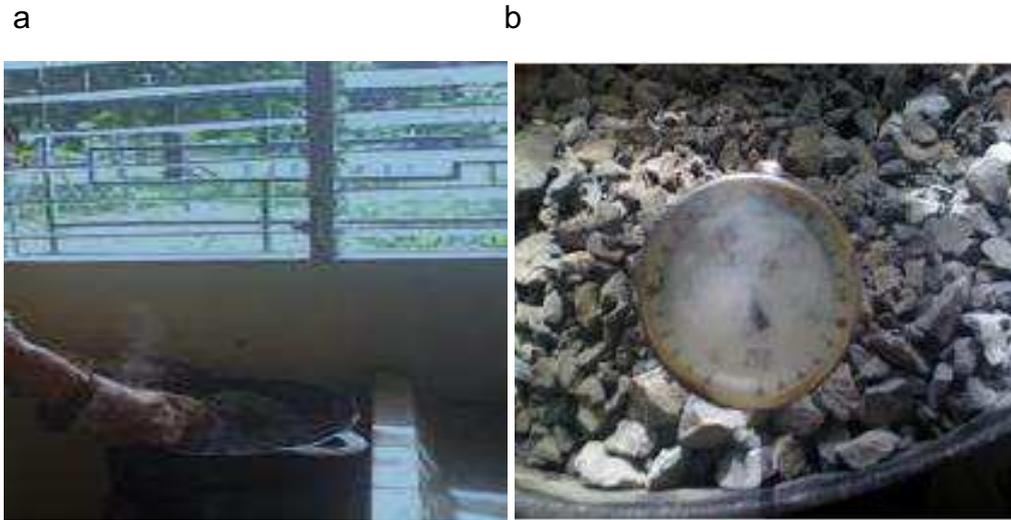
% C.A	% agregado	Asfalto (g)	Agregado (g)	Fracciones de Agregado			
				<sup>3</sup> / <sub>4</sub> -3/8 16%	3/8- No.4 16 %	No.4- No.8 7%	Pasa No.8 61%
6.0	94.0	72	1128	180.48	180.48	78.96	688.08
6.5	93.5	78	1122	179.52	179.52	78.54	684.42
7.0	93.0	84	1116	178.56	178.56	78.12	680.76
7.5	92.5	90	1110	177.6	177.6	77.7	677.1
8.0	92.0	96	1104	176.64	176.64	77.28	673.44

**TABLA 4.7- Dosificaciones para Briquetas con un Peso Aproximado de 1200.0 g**

Teniendo las cuatro fracciones de agregado según lo sugiere la norma AASHTO T 245 Y sus pesos de acuerdo a sus porcentajes respectivos, procedemos a pesar cada fracción de agregado de acuerdo al porcentaje de cemento asfáltico que se utilizará en cada una de las bacheadas (agregado - asfalto), tanto para briquetas como las muestras que serán utilizadas para la realización del ensayo de gravedad específica teórica máxima y extracción de asfalto, según el número que se harán de cada una de ellas.

#### **4.5 TRABAJO DE LABORATORIO PARA EL DISEÑO DE LA MEZCLA.**

En la dosificación que se realizó las proporciones de agregado son: Agregado grueso 1/2" 16%, agregado intermedio 3/8" 16%, arena y filler 68%, con los porcentajes de las cuatro fracciones de la Tabla 4.1 y utilizando de acuerdo al tamaño máximo nominal de la combinación de agregados que es de 1/2 pulgada, la especificación granulométrica para ese tamaño máximo nominal. Primeramente se elaboran las briquetas, de acuerdo al procedimiento contemplado en la guía de ensayo basado en AASHTO T 245-97(2004), la cual establece que la temperatura de mezclado para el cemento asfáltico (ver Figura 4.1).



**FIGURA 4.1- Calentamiento Previo de agregados - verificación de temperatura.**



**FIGURA 4.2- Elaboracion de la mezcla asfaltica: Control de temperatura de asfalto 150°C para mezclarlo**



**FIGURA 4.3- Cuarteo de la Mezcla asfaltica: Procedimiento de cuarteo , fracciones resultantes.**



**FIGURA 4.4- Calentado de equipo de compactación: Calentamiento en cocina de martillo y espátulas, molde de compactación previo a calentamiento en horno.**

#### **4.5.1 COMPACTACIÓN DE ESPECÍMENES:**

Se limpió totalmente el molde ensamblado para cada briqueta y la superficie del martillo de compactación y se calentaron en un horno y una cocina respectivamente. Luego se coloque una pieza de papel filtro en el fondo del molde antes de introducir la mezcla. Introducimos la cantidad dosificada

completa en el molde, compactando vigorosamente con una espátula caliente 15 veces alrededor del perímetro y 10 veces en el interior. Removimos el collar y alisamos la superficie de la mezcla con una espátula para dar una forma ligeramente redondeada.

Al alcanzar la temperatura de compactación se colocó nuevamente el collar, luego colocamos una pieza de papel filtro sobre la mezcla y ya con el molde ensamblado en el sujetador de molde en el pedestal de compactación se ejerció 75 golpes con el martillo de compactación con caída libre 18 pulg (ver Figura 4.5.). Después se colocó el molde en una posición inversa para dar el mismo número de golpes de compactación a la cara del espécimen que se invirtió.



**FIGURA 4.5- Colocacion de la mezcla en el molde de compactacion.**



**FIGURA 4.6- Verificación de temperatura de compactación: Chequeo de temperatura antes de compactar espécimen**



**FIGURA 4.7- Compactación de la mezcla asfáltica.**



**FIGURA 4.8- Curado de las briquetas.**

Luego de elaborar las briquetas se realiza el trabajo de laboratorio comprendido en el procedimiento Marshall que comprende los siguientes ensayos, que se resumen como:

- Estabilidad y Flujo, AASHTO T 245-97 (2004)
- Gravedad Específica Teórica Máxima, AASHTO T 209 -05
- Gravedad Específica Bulk, AASHTO T 166-05

La densidad Bulk debe obtenerse antes de la estabilidad, ya que éste porcentaje de vacíos de cada bacheada.

#### **4.5.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK (AASHTO T 166-05).**

Después de la compactación de las briquetas y su posterior extracción de los moldes para su respectivo curado a temperatura ambiente, se procede a realizar el ensayo de la gravedad bulk, según AASHTO T 166-05.

El procedimiento seguido fue secar los especímenes hasta masa constante (curado a temperatura ambiente). Luego se registró el peso seco de cada briqueta (ver Figura 4.9). Luego se sumergieron en un recipiente con agua a 25 °C, dejándolos saturar por lo menos 10 minutos. Al final del período de 10 minutos se removieron los especímenes y se colocaron en la canastilla sumergida previamente agitada para la eliminación de burbujas de aire, y se registró el peso sumergido de cada briqueta (ver Figura 4.10),

inmediatamente al retirar la briqueta de la canastilla se secó la humedad del espécimen con una húmeda tan rápido como fue posible. Pesamos al espécimen y registramos como peso saturado superficialmente seco.



**FIGURA 4.9- Peso Seco de Briqueta.**



**FIGURA 4.10- Peso sumergido de Briqueta**

La norma AASHTO T 166-05 establece que la diferencia máxima permitida entre dos valores de gravedad específica bulk es de 0.02, para que puedan ser promediados, aquella gravedad bulk que sobrepasa dicho valor es descartada.

La Tabla 4.8 contiene los datos obtenidos de ensayo necesarios para calcular la gravedad específica bulk de cada bacheada.

Porcentaje de Asfalto	6.0%			6.5%			7.0%			7.5%			8.0%		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
<b>Peso seco en aire g</b>	1149	1163	1275	1220	1190	1240	1231	1221	1204	1237	1200	1190	1224	1256	1280
<b>Peso saturado superficialmente seco, g</b>	1151	1165	1276	1222	1192	1243	1233	1225	1206	1239	1202	1192	1226	1258	1283
<b>Peso sumergido, g</b>	621	628	689	670	653	679	680	678	664	683	663	657	666	689	777
<b>Gravedad Especifica Bulk (Gmb)</b>	2.168	2.166	2.172	2.21	2.208	2.198	2.226	2.232	2.221	2.225	2.226	2.224	2.186	2.207	2.195
<b>Promedio</b>	2.169			2.205			2.226			2.225			2.196		

**TABLA 4.8- Resumen del cálculo de la gravedad Específica Bulk**

Ejemplo de cálculo gravedad específica Bulk para el 6% de asfalto.

$$G_{mb} = \frac{W_{\text{muestra}}}{W_{\text{sss}} - W_{\text{sumergido}}}$$

<b>Briqueta</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
<b>W</b> muestra, g	1149	1163	1275
<b>W</b> sss, g	1151	1165	1276
<b>W</b> sumergido	621	628	670

$$G_{mb1} = \frac{1149}{1151 - 621} = 2.168$$

$$G_{mb2} = \frac{1163}{1165 - 628} = 2.166$$

$$G_{mb3} = \frac{1275}{1276 - 670} = 2.172$$

Valor Promedio:

$$G_{mb} = \frac{2.168 + 2.166 + 2.172}{3} = 2.169$$

#### 4.5.3 GRAVEDAD ESPECIFICA TEORICA MAXIMA (AASHTO T209-05).

La gravedad específica teórica máxima ( $G_{mm}$ ), como su nombre lo dice es la máxima densidad que puede presentar una mezcla asfáltica, ya que no considera vacíos en la muestra por estar en condición suelta, simplemente es la densidad de solo las partículas de agregado recubiertas por el asfalto; es complementaria de la gravedad específica bulk, ya que con los valores de dichas gravedades se obtiene el porcentaje de vacíos (%Pa), la tabla 4.9 es un resumen de los valores para calcular la teórica máxima.

El procedimiento realizado fue una muestra de masa mínima de 2000 gramos secada en horno en condición suelta, es colocada en un contenedor de vacío (picnómetro, ver figura 5,12) tarado. Se agrega suficiente agua a una temperatura de  $25\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  ( $77\pm 0.9^{\circ}\text{F}$ ) hasta sumergir la muestra. Luego se le es aplicado vacío por  $15\pm 2$  min para reducir gradualmente la presión residual en el picnómetro a  $3.7\pm 0.3$  kPa ( $27.5\pm 2.5$  mm Hg), a la vez se está aplicando agitación mediante un equipo de vibrado mecánico. Al final del periodo de vacío, el vacío es gradualmente liberado. El volumen de la muestra asfáltica se obtiene llenando el picnómetro completamente de agua y pesándolo en el aire. En el tiempo de pesado, la temperatura es media así como también la masa. De las mediciones de masa y volumen, la gravedad específica o densidad a  $25^{\circ}\text{C}$  ( $77^{\circ}\text{F}$ ) es calculada.

<b>Contenido de asfalto</b>	<b>6.0 %</b>	<b>6.5%</b>	<b>7.0%</b>	<b>7.5%</b>	<b>8.0%</b>
<b>Peso de la muestra en el aire, g</b>	2000	2000	2000	2000	2000
<b>Peso de frasco + H<sub>2</sub>O g</b>	4310	4310	4310	4310	4310
<b>Peso después del ensayo, g</b>	5455	5448	5444	5434	5420
<b>Grav. Esp. Máxima Teórica(Gmm)</b>	2.339	2.320	2.309	2.283	2.247

**TABLA 4.9- Resumen del cálculo de la gravedad Teórica Máxima.**

Ejemplo de cálculo para el punto de contenido de asfalto de 6.0%

$$G_{mm} = \frac{W_{\text{muestra}}}{W_{\text{muestra}} + W_{\text{frasco}} + \text{agua} - W_{\text{despues ensayo}}}$$

W muestra= 2000 g

Peso de frasco + H<sub>2</sub>O =4310 g

W después de ensayo =5455 g

$$G_{mm} = \frac{2000}{2000 + 4310 - 5455} = 2.339$$

#### **4.5.4 RESISTENCIA AL FLUJO PLASTICO DE MEZCLA BITUMINOSAS UTILIZANDO EL EQUIPO MARSHALL, AASTHO T245-97(2004).**

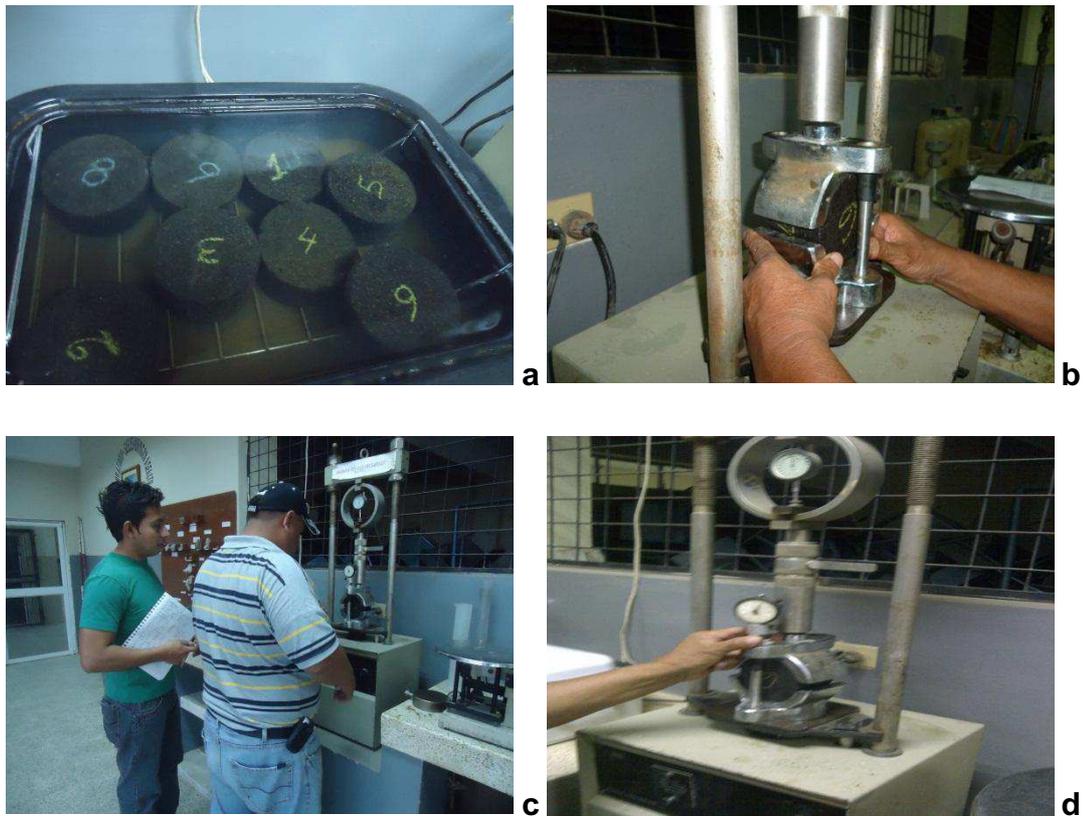
El valor de la estabilidad Marshall es una medida de carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente (inmediatamente deja de registrar carga). Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, las quijadas (cabezales) superior e inferior del aparato se acercan, y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador dial. Luego se suspende la carga obteniendo el valor de la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor es el valor de la estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla asfáltica a la deformación; sin embargo en las mezclas asfálticas no siempre se aplica que si un valor de estabilidad es bueno, entonces un valor más alto

será mejor. El valor de la fluencia Marshall, medida en centésimas de pulgada representa la deformación de la briqueta. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro de la briqueta.

El método de ensayo según la norma AASTHO T 245-97 (2004) para determinar la estabilidad y flujo se procede de la manera siguiente: los especímenes preparados con cemento asfáltico son colocados en baño maría de 30 a 40 minutos, manteniendo la temperatura del baño de maría  $60\pm 1^{\circ}\text{C}$  ( $140\pm 1.8^{\circ}\text{F}$ ) (ver figura 4.11 a). Pasado este tiempo se colocan los cabezales de ensayo en el baño maría unos segundos antes de iniciar el ensayo. Se remueve la briqueta del baño de maría y se coloca de la parte interna del cabezal de ensayo inferior. Colocamos el segmento superior del cabezal de ensayo sobre la briqueta, y se le pone el ensamble completo en posición en la máquina de ensayo. (Ver figura 4.11b). Seguidamente se coloca el medidor de flujo a cero (ver figura 4.11c) mientras se sostiene la manga firmemente en contra del segmento superior del cabezal de ensayo. (ver figura 4.11d).

Se aplica la carga (ver figura 4.11 d) a una razón de movimiento constante de 50.8mm/min (2pulg/min) hasta que la carga máxima es alcanzada y la carga decrece como es indicada por el dial. Las lecturas tanto del dial de estabilidad y de flujo son registradas.



**FIGURAS 4.11- a, b, c, Ensayo de Estabilidad y Flujo**

Los resultados del ensayo de estabilidad y flujo se presentan en la tabla 4.10 y posteriormente se explica un ejemplo de cómo se calcula y se corrige la estabilidad.

Los valores de la columna corrección se determina en base al volumen de cada briqueta, y dichos valores se obtienen de la **tabla 4.11**.

$$F_i = 0.50632 + 4.32464 (L_c) + (-0.00006)(L_c)^2$$

Briqueta	Volumen Cm <sup>3</sup>	Corrección	Lectura Estabilidad	Estabilidad (kg)	Estabilidad corregida (Kg)	Flujo (mm)
<b>6.0%</b>						
I	530	0.96	230	992.800	953.088	2.032
II	537	0.93	235	1.014.301	943.299	2.032
II	587	0.81	265	1.143.244	926.027	1.524
<b>Promedio</b>					940.805	1.863
<b>6.5%</b>						
I	552	0.89	255	1.100.275	979.244	2.286
II	539	0.93	250	1.078.786	1.003.270	2.54
II	564	0.86	265	1.143.244	983.189	2.54
<b>Promedio</b>					988.568	2.455
<b>7.0%</b>						
I	553	0.89	290	1.250.614	1.113.046	3.048
II	547	0.89	290	1.250.614	1.113.046	3.048
II	542	0.93	280	1.207.675	1.123.137	3.302
<b>Promedio</b>					1.116.410	3.133
<b>7.5%</b>						
I	556	0.89	280	1.207.675	1.074.830	3.81
II	537	0.93	265	1.143.244	1.063.216	3.556
II	535	0.93	265	1.143.244	1.063.216	3.81
<b>Promedio</b>					1.067.087	3.725
<b>8.0%</b>						
I	560	0.89	250	1078,786	960,119	4.318
II	569	0.86	265	1.143.244	983.189	4.572
II	506	1.04	215	928.279	965.410	4.826
<b>Promedio</b>					969.573	4.572

TABLA 4.10- Resumen del cálculo Estabilidad y Flujo

Volumen de Espécimen, cm <sup>3</sup>	Espesor Aproximado de Espécimen, pulg.	mm	Razón de correlación
200 a 213	1	25.4	5.56
214 a 225	1 1/16	27.0	5.00
226 a 237	1 1/8	28.6	4.55
238 a 250	1 3/16	30.2	4.17
251 a 264	1 ¼	31.8	3.85
265 a 276	1 5/16	33.3	3.57
277 a 289	1 3/8	34.9	3.33
290 a 301	1 7/16	36.5	3.03
302 a 316	1 ½	38.1	2.78
317 a 328	1 9/16	39.7	2.50
329 a 340	1 5/8	41.3	2.27
341 a 353	1 11/16	42.9	2.08
354 a 367	1 ¾	44.4	1.92
368 a 379	1 13/16	46.0	1.79
380 a 392	1 7/8	47.6	1.67
393 a 405	1 15/16	49.2	1.56
406 a 420	2	50.8	1.47
421 a 431	2 1/16	52.4	1.39
432 a 443	2 1/8	54.0	1.32
444 a 456	2 3/16	55.6	1.25
457 a 470	2 ¼	57.2	1.19
471 a 482	2 5/16	58.7	1.14
483 a 495	2 3/8	60.3	1.09
496 a 508	2 7/16	61.9	1.04
509 a 522	2 ½	63.5	1.00
523 a 535	2 9/16	65.1	0.96
536 a 546	2 5/8	66.7	0.93
547 a 559	2 11/16	68.3	0.89
560 a 573	2 ¾	69.9	0.86
574 a 585	2 13/16	71.4	0.83
586 a 598	2 7/8	73.0	0.81
599 a 610	2 15/16	74.6	0.78
611 a 625	3	76.2	0.76

TABLA 4.11- Razón de Correlación Estabilidad

La estabilidad para el punto 6.0% se calcula con la ecuación siguiente:

Ecuación de la Estabilidad:

$$F_i = A + B(L_c) + C(L_c)^2$$

$F_i$ : es la fuerza de la ecuación de mejor ajuste que se aplica bajo prueba.

(Kg)

Coefficientes A, B y C:  $A=0.50632$ ,  $B=4.32464$  y  $C=-0.00006$

$L_c = L_i (1 + 0.00027(t - t_c))$ , donde:

$L_i$ : Es la lectura observada en el indicador bajo una fuerza aplicada, a la temperatura  $t(^{\circ}\text{C})$  del equipo de prueba.

$T_c$ : es la temperatura de la calibración del equipo a prueba.

Corrección por temperatura de calibración del equipo:

**Lectura de estabilidad Briqueta I: 230**

L corregida  $\Delta T = 230 \times (1 + 0.00027 \times 3) = 230.186$

Estabilidad  $= 0.50632 + (4.32464 \times 230.186) + (-0.00006 \times 230.186^2) = 992.800\text{kg}$

- **Calculo de estabilidad corregida Briqueta I**

El volumen de cada briqueta se obtiene de la resta del peso saturado superficialmente seco y el peso sumergido de cada briqueta en la tabla 4.10.

En este caso para la briqueta I:

$$1151 - 621 = 530$$

Luego se determina el factor de corrección en la tabla 4.11, el valor de volumen de 530 está entre 523 a 535 de la primera columna de dicha tabla, por lo tanto el factor de corrección en la columna 4 es de 0.96

$$\text{Estabilidad}_{\text{corregida}} = 0.96 \times 992.80 = 953.088 \text{ kg.}$$

### **Lectura Estabilidad Briqueta II: 235**

$$L_{\text{corregida}} \Delta T = 235 \times (1 + 0.00027 \times 3) = 235.19$$

$$\text{Estabilidad} = 0.50632 + (4.32464 \times 235.19) + (-0.00006 \times 235.19^2) = \mathbf{1014.301 \text{ kg}}$$

#### **▪ Cálculo de estabilidad corregida Briqueta II**

Volumen para la briqueta II:

$$1165 - 628 = 537$$

El valor de volumen de 537 este entre 536 a 546 por lo tanto el factor de corrección es de 0.93

$$\text{Estabilidad}_{\text{corregida}} = 0.93 \times 1014.301 = 943.299 \text{ Kg}$$

**Lectura Estabilidad Briqueta III: 265**

$$L \text{ corregida } \Delta T = 265 \times (1+0.00027*3) = 265.21$$

$$\text{Estabilidad} = 0.50632 + (4.32464 \times 310.25) + (-0.00006 \times 310.25^2) = \mathbf{1143.244Kg}$$

**▪ Cálculo de estabilidad corregida Briqueta III**

Volumen para la briqueta III:

$$1276 - 670 = 587$$

El valor de volumen de 587 está entre 586 a 598 por lo tanto el factor de corrección es de 0.81

$$\text{Estabilidad}_{\text{corregida}} = 0.81 \times 1143.244 = 926.027 \text{ Kg}$$

Estabilidad promedio, la cual se utilizara como valor de estabilidad para el punto de diseño con un contenido de 6.0 % Asfalto.

$$\text{Estabilidad} = \frac{953.088 + 943.299 + 926.027}{3} = 940.805kg$$

**Flujo**

El cálculo del flujo para cada punto con determinado porcentaje de asfalto se obtiene simplemente multiplicado la lectura de cada briqueta por el factor de 0.254 para convertirlo a milímetro, y luego se promedian los valores de las 3 briquetas.

Para el punto de 6.0% de Cemento asfáltico:

### **Briqueta I**

Lectura = 8

Flujo<sub>mm</sub> = 8 x 0.254 = 2.032 mm

### **Briqueta II**

Lectura = 8

Flujo<sub>mm</sub> = 8 x 0.254 = 2.032 mm

### **Briqueta III**

Lectura = 6

Flujo<sub>mm</sub> = 6 x 0.254 = 1.524 mm

$$\text{Flujo} = \frac{2.032 + 2.032 + 1.524}{3} = 1.863 \text{ mm}$$

#### **4.5.5 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LABORATORIO.**

Después que se han realizado los ensayos Marshall en laboratorio es necesario realizar el tercer procedimiento contemplado en el método Marshall: análisis de la densidad y el contenido de vacíos en las briquetas; esto se hace mediante al análisis de los datos obtenidos de los ensayos de

laboratorio, para ello se deben hacer diversos cálculos para obtener ciertos valores y posteriormente elaborar los seis gráficos con los que se podrá obtener el contenido óptimo de asfalto para el diseño. Este análisis comprende:

- Densidad
- Vacíos de aire
- Vacíos en el agregado mineral
- Vacíos llenos de asfaltos

#### **4.5.5.1 Análisis de la densidad.**

La densidad de cada serie de briquetas de prueba es calcular multiplicando la Gravedad Especifica Bulk por la densidad del agua a la temperatura de ensayo (25 °C), que por lo general se ocupa 1000 Kg/ m<sup>3</sup> y su fórmula es:

$$\text{Densidad} = G_{mb} \times 1000 \text{ Kg/ m}^3$$

Dónde:

$G_{mb}$  = Gravedad Especifica Bulk

Los valores de densidad para cada dosificación de asfalto han sido calculados a partir de los promedios de la gravedad específica bulk, los resultados obtenidos se muestran en la Tabla 4.12

Contenido de Asfalto	6.0%	6.5%	7.0%	7.5%	8.0%
Grav. Esp. Teórica Máxima	2.339	2.32	2.309	2.283	2.247
Grav. Esp. Bulk	2.169	2.205	2.226	2.225	2.196
Densidad(kg/m <sup>3</sup> )	2169	2205	2226	2225	2196
% Vacíos (P <sub>a</sub> )	7.268	4.957	3.595	2.541	2.270

**TABLA 4.12- Resumen Gravedad Especifica Bulk, Gravedad Especifica Teórica Máxima y Porcentaje de Vacíos.**

Ejemplo para 6.0% de cemento asfáltico

$$\text{Densidad} = 2.169 \times 1000 \text{ Kg/m}^3 = 2169 \text{ Kg/m}^3$$

#### 4.5.5.2 Análisis de vacíos de aire.

Se toman datos para un contenido de asfalto de 6.0 %, ver en Tabla 4.12

$$G_{mm} = 2.339$$

$$G_{mb} = 2.169$$

$$P_a = 100\% \times \frac{2.339 - 2.169}{2.339} = 7.268 \%$$

#### 4.5.5.3 Análisis de vacíos en el agregado mineral.

Los vacíos en el agregado mineral VMA están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentran entre las partículas de agregado de la mezcla para pavimentación compactada, incluye los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto, y se expresa como un porcentaje del volumen

total de la mezcla. Para los vacíos en agregado mineral se obtuvieron los valores mostrados en la Tabla 4.13

Contenido de Asfalto	6.0%	6.5%	7.0%	7.5%	8.0%
% de agregado	94	93.5	93	92.5	92
Grav. Esp. Bulk de briqueta	2.169	2.205	2.226	2.225	2.196
Grav. Esp. Combinación de agregados	2.461	2.461	2.461	2.461	2.461
% VMA	17.153	16.226	15.881	16.370	17.907

**TABLA 4.13- Resumen para el cálculo de Vacíos en el Agregado Mineral (VMA).**

A continuación se da un ejemplo de cálculo para el 6.0 % de cemento asfáltico, con su respectiva formula:

$$VMA = 100\% - \left( \frac{Gmb \times Ps}{Gsb} \right)$$

$$Gmb = 2.169$$

$$Gsb = 2.461$$

$$VMA = 100\% - \left( \frac{2.169 \times 94\%}{2.461} \right) = 17.153 \%$$

**4.5.5.4 Análisis de vacíos llenos de asfalto (VFA).**

Los vacíos llenos de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de agregados (VMA) que se encuentran llenos de asfalto. El VMA abarca asfalto y aire, mientras que el VFA sólo el asfalto que une a los agregados (asfalto efectivo), el valor de VFA se expresa como un porcentaje. Finalmente se calculan los vacíos llenos de asfalto dándonos los resultados de la Tabla 4.14.

Contenido de Asfalto	6.0%	6.5%	7.0%	7.5%	8.0%
Vacíos Agregado Mineral (VMA)	17.153	16.226	15.881	16.370	17.907
Porcentaje de Vacíos (Pa), %	7.268	4.957	3.595	2.541	2.270
Vacíos llenos de Asfaltos (VFA), %	57.628	69.450	77.363	84.478	87.323

**TABLA 4.14 - Resumen para el cálculo del Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto (VFA).**

A continuación se da un ejemplo del cálculo de los vacíos llenos de asfalto para un contenido de 6.0 % de cemento asfáltico, a continuación su respectiva formula:

$$VFA = \frac{VMA - Pa}{VMA} \times 100$$

VMA = 17.153 % y Pa = 7.268 %

$$\text{VFA} = \frac{17.153 - 7.268}{17.153} \times 100 = 57.628 \%$$

4.6 CUADRO DE RESUMEN GENERAL CON LOS DIFERENTES PORCENTAJES DE ASFALTO

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC %	P.E. BULK AGREGADO Gsb	P.E. EFECTIVO AGREGADO Gse	% C.A. ABS POR AGREGADO	PESO MUESTRA			VOLUMEN C.C.	DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A %	% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREG	ESTABILIDAD		FLUJO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S.	AGUA S.S.S.		PROBET	RICE	AGREG.	VACIOS TOTAL	C.A.					DIAL	CORREG.	
1	Ag. Gru. 1/2	16																			
2	Ag. Gru. 3/8	16				1149	1151	621	530	2,168							0,93	230	923,304	2,032	
3	Cisco	61				1163	1165	628	537	2,166							0,93	235	943,299	2,032	
4	Arena	7				1275	1276	689	587	2,172							0,81	265	926,027	1,524	
	% C.A.	6																			
	P.E. RICE	2.339	2,461	2,554	1,494					<b>2,169</b>	2,339	82,847	7,268	9,885	17,153	57,628	<b>4,596</b>			<b>930,877</b>	<b>1,863</b>
1	Ag. Gru. 1/2	29,92																			
2	Ag. Gru. 3/8					1220	1222	670	552	2,21							0,89	255	979,244	2,286	
3	Cisco	57,035				1190	1192	653	539	2,208							0,93	250	1003,270	2,54	
4	Arena	6,545				1240	1243	679	564	2,198							0,86	265	983,189	2,54	
	% C.A.	6,5																			
	P.E. RICE	2.32	2,461	2,55	1,432					<b>2,205</b>	2,320	83,774	4,957	11,269	16,226	69,450	<b>5,161</b>			<b>988,568</b>	<b>2,455</b>
1	Ag. Gru. 1/2	29,76																			
2	Ag. Gru. 3/8					1231	1233	680	553	2,226							0,89	290	1113,046	3,048	
3	Cisco	56,73				1221	1225	678	547	2,232							0,89	290	1113,046	3,048	
4	Arena	6,51				1204	1206	664	542	2,221							0,93	280	1123,137	3,302	
	% C.A.	7																			
	P.E. RICE	2.309	2,461	2,557	1,541					<b>2,226</b>	2,309	84,119	3,595	12,286	15,881	77,363	<b>5,567</b>			<b>1116,410</b>	<b>3,133</b>
1	Ag. Gru. 1/2	29,6																			
2	Ag. Gru. 3/8					1237	1239	683	556	2,225							0,89	280	1074,830	3,81	
3	Cisco	56,425				1200	1202	663	539	2,226							0,93	265	1063,216	3,556	
4	Arena	6,475				1190	1192	657	535	2,224							0,93	265	1063,216	3,81	
	% C.A.	7,5																			
	P.E. RICE	2.283	2,461	2,543	1,323					<b>2,225</b>	2,283	83,630	2,541	13,829	16,370	84,478	<b>6,276</b>			<b>1067,087</b>	<b>3,725</b>
1	Ag. Gru. 1/2	29,44																			
2	Ag. Gru. 3/8					1224	1226	666	560	2,186							0,98	250	960,119	4,318	
3	Cisco	56,12				1256	1258	689	569	2,207							0,86	265	983,189	4,572	
4	Arena	6,44				1280	1283	777	506	2,195							1,04	215	965,410	4,826	
	% C.A.	8																			
	P.E. RICE	2.247	2,461	2,515	0,881					<b>2,196</b>	2,247	82,093	2,270	15,637	17,907	87,323	<b>7,189</b>			<b>969,573</b>	<b>4,572</b>

TABLA 4.15- Cuadro general con los diferentes porcentajes de asfalto

#### 4.7 GRÁFICOS DE RESULTADOS OBTENIDOS

Finalmente con todos los datos necesarios se procede a la elaboración de los gráficos contemplados por el método Marshall. A continuación se presenta una tabla 4.15 con el resumen de los datos necesarios para la generación de los gráficos.

Contenido de Asfalto	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	% Vacíos	% VMA	% VFA	Estabilidad (Kg)	Flujo (mm)
6.0%	2169	7.268	17.153	57.628	930.876	1.863
6.5%	2205	4.957	16.226	69.450	988.567	2.455
7.0%	2226	3.595	15.881	77.363	1.116.409	3.133
7.5%	2225	2.541	16.370	84.478	1.067.087	3.725
8.0%	2196	2.270	17.907	87.323	969.572	4.572

**TABLA 4.16- Resumen para el trazado de los gráficos del Método Marshall**

Después de la realización de los ensayos y obtener sus resultados, estos son trazados en los gráficos de las figuras 4.11 a la 4.16, para poder entender las características particulares de cada briqueta usada en la serie.

Los valores graficados en el eje de las ordenadas (Y) son: porcentaje de vacíos, porcentaje de VMA, porcentaje de VFA, Densidad, Estabilidad y Fluencia, todos contra el valor en las abscisas (X) que son los diferentes porcentajes de asfalto.

#### **4.7.1 OBSERVACIONES Y TENDENCIAS DE LAS GRÁFICAS DE DISEÑO.**

Cuando los resultados de los ensayos se trazan en gráficas, usualmente revelan ciertas tendencias en las relaciones entre el contenido de asfalto y las propiedades de la mezcla. A continuación se enuncian ciertas tendencias que pueden observarse al estudiar las gráficas:

- El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (%VMA) generalmente disminuye hasta un valor mínimo, y luego aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (%VFA) aumenta con aumentos en el contenido de asfalto.
- La curva para la densidad de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que la densidad máxima se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad.
- Hasta cierto punto, los valores de estabilidad aumentan a medida que el contenido de asfalto aumenta. Más allá de este punto, la estabilidad disminuye con cualquier aumento en el contenido de asfalto.
- Los valores de fluencia aumentan con aumentos en el contenido de asfalto.

4.7.2 DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO ÓPTIMO DE ASFALTO

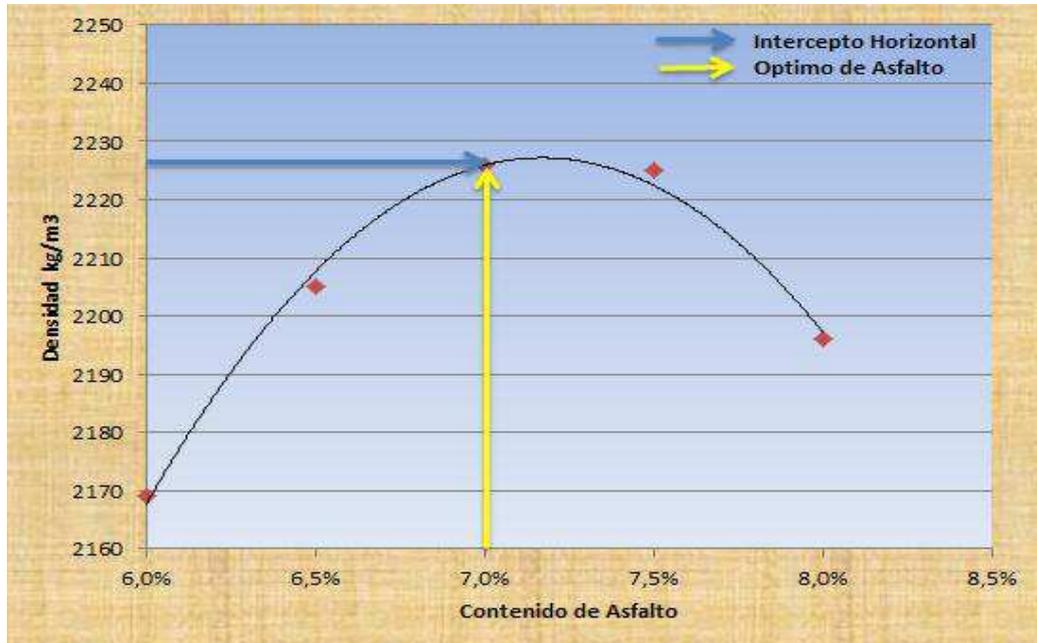


FIGURA 4.11- Gráfico Densidad – Contenido de Asfalto

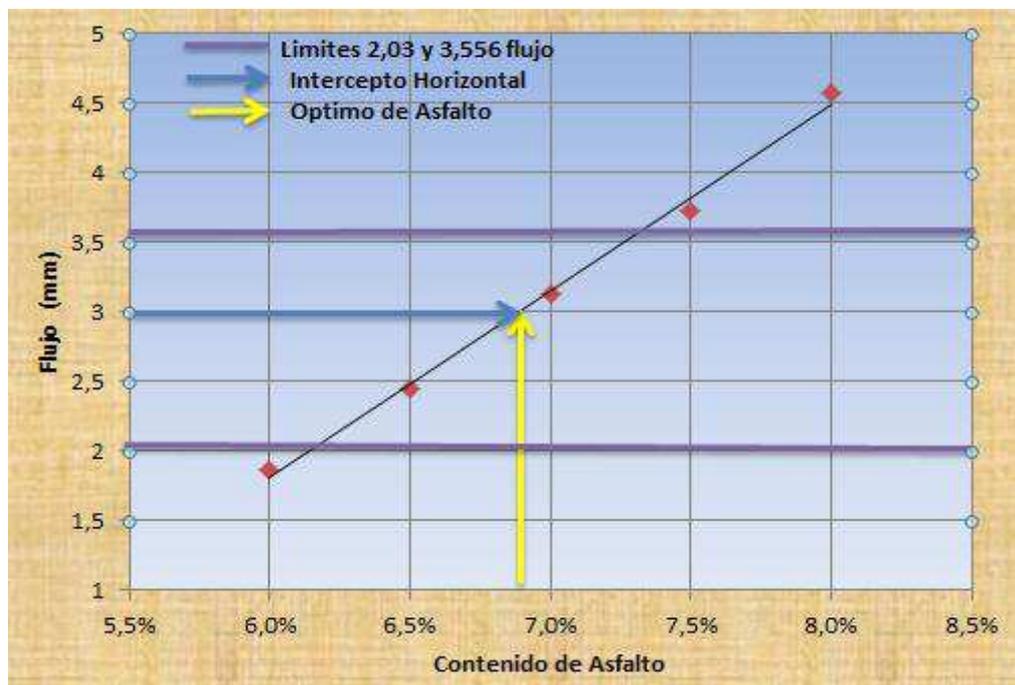


FIGURA 4.12- Gráfico Flujo – Contenido de Asfalto

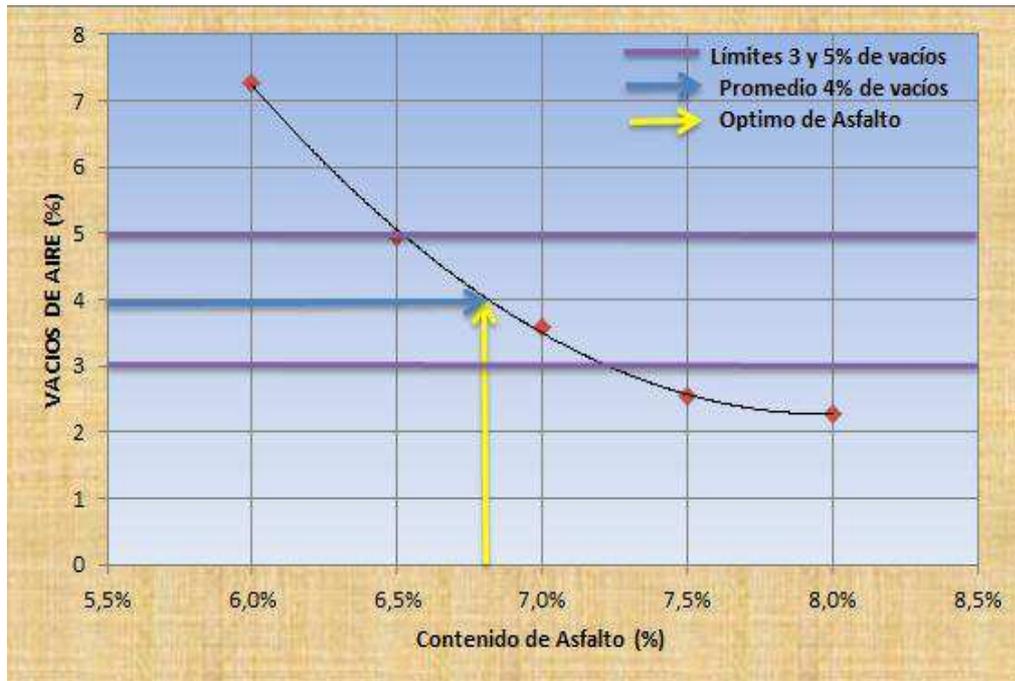


FIGURA 4.13- Gráfico Porcentaje de vacíos – Contenido de asfalto

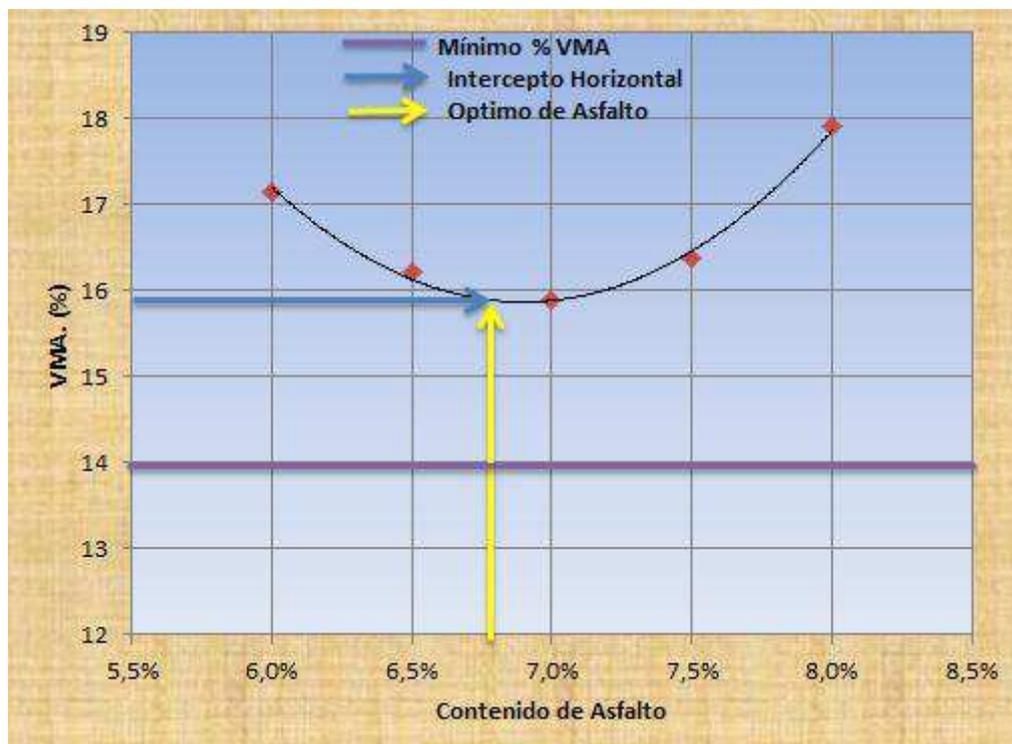


FIGURA 4.14- Gráfico % VMA – Contenido de asfalto

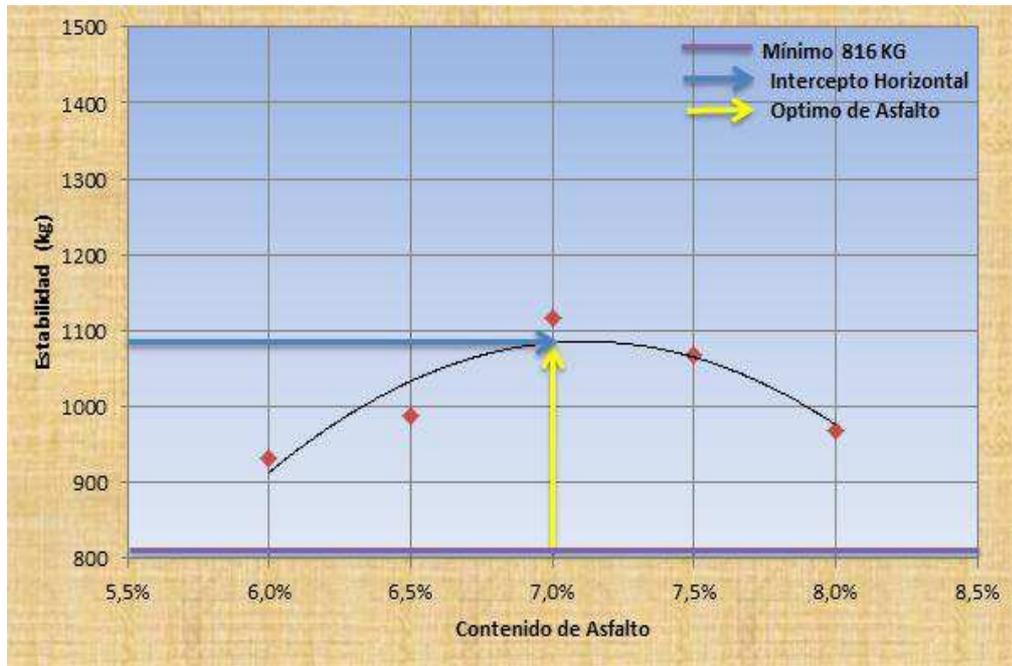


FIGURA 4.15- Gráfico Estabilidad – Contenido de Asfalto

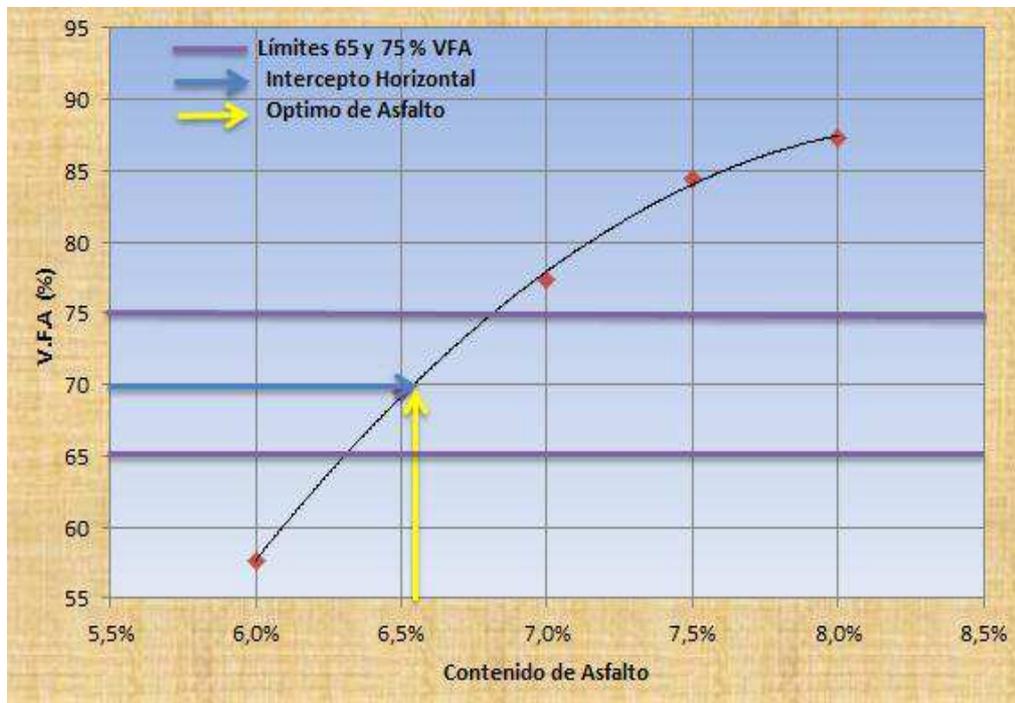


FIGURA 4.16- Gráfico %VFA – Contenido de Asfalto

Los valores obtenidos de las gráficas los anotaremos en la tabla 4.18 de resumen para luego determinar el porcentaje de asfalto óptimo para nuestra mezcla, el cual se determina realizando un promedio entre la estabilidad, vacíos y densidad.

Porcentaje Óptimo	6.93%
Estabilidad	7
Fluencia	6,9
Vacíos	6,8
Densidad	7
V.A.M:	6,8
V.F.A.	6,55

**TABLA 4.18- Resultados de las figuras para encontrar el % óptimo de asfalto**

MUESTRA	MATERIAL	DOSIFIC %	P.E. BULK AGREGADO Gsb	P.E. EFECTIVO AGREGADO Gse	% C.A. ABS POR AGREGADO	PESO MUESTRA				DENSIDAD		% EN VOLUMEN			V.A.M. %	V.F.A %	% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREC.	ESTABILIDAD		FLUJO
						AIRE SECO	AIRE S.S.S.	AGUA S.S.S.	VOLUMEN C.C.	PROBET	RICE	AGREG.	VACIOS TOTAL	C.A.					DIAL	CORREG.	
1	Ag. Gru. 1/2	16																			
2	Ag. Gru. 3/8	16				1214	1216	668	548	2,215							0,89	280	1083,217	3,048	
3	Ag. Fino	61				1222	1224	674	550	2,222							0,89	290	1113,046	3,048	
4	Arena	7				1217	1220	674	546	2,229							0,93	265	1063,216	3,302	
	% C.A.	6,93																			
	P.E. RICE	2,312	2,461	2,557	1,548					<b>2,222</b>	2,312	84,032	3,893	12,076	15,968	75,62	<b>5,49</b>		<b>1086,493</b>	<b>3,133</b>	

**TABLA 4.19- Mezcla asfáltica con porcentaje óptimo de asfalto**

## **4.8 OPTIMIZACIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA ADICIONANDO ADITIVO**

### **4.8.1 PROPIEDADES DE LOS ADITIVOS EMPLEADOS A LA MEZCLA ASFÁLTICA**

#### **4.8.1.1 Kaoamin 14 (aditivo promotor de adherencia para mezclas asfálticas en caliente y frío)**

##### **4.8.1.1.1 Descripción**

El kaoamin 14 es un producto que se utiliza como aditivo mejorador de adherencia para mezclas en frío, así como también para mezclas en caliente en donde se requiere mejorar la adhesividad de los agregados con el asfalto. Este se puede agregar en forma directa o formulando, durante la descarga del asfalto, ya que es de fácil incorporación.

##### **4.8.1.1.2 Características físicas:**

Aspecto 25° C	Líquido pastoso
Olor	Característico

##### **4.8.1.1.3 Especificaciones:**

Índice de amina total	Min. 285
-----------------------	----------

% de agua

Máx. 2.0

#### **4.8.1.1.4 Usos y aplicaciones**

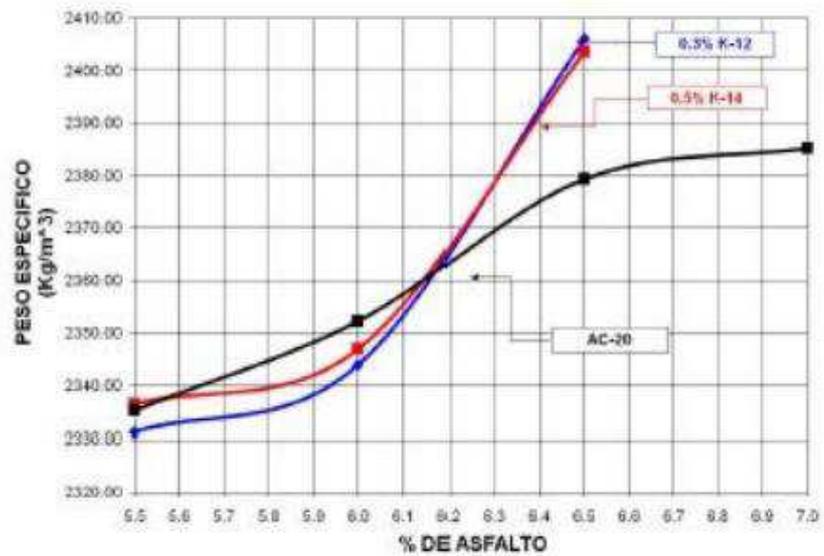
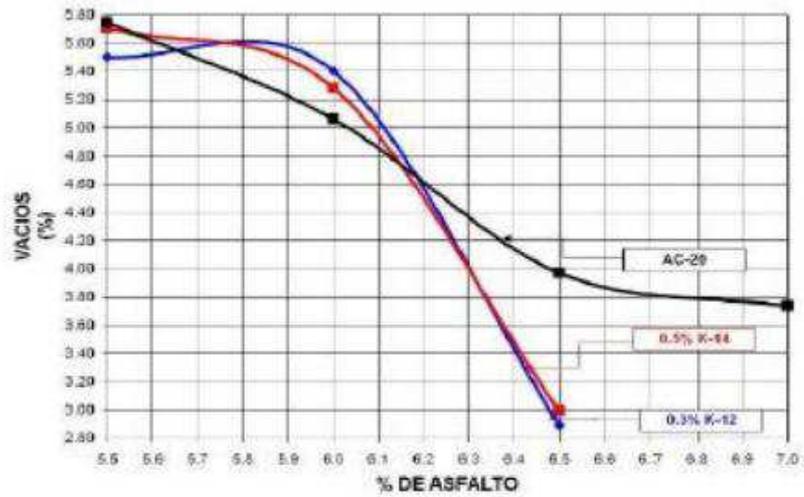
Con este tipo de aditivos se resuelve el problema de afinidad entre los materiales pétreos y el asfalto, debido a la atracción mediante cargas eléctricas entre ambos.

Se recomienda una dosificación de aditivo entre 0.5 – 1.0 % con respecto al asfalto, dicha dosis se determina en base a los resultados de laboratorio para cada material pétreo específico. Las características del material pétreo serán determinantes para fijar la dosis óptima. La prueba que se recomienda para la determinación del tipo de aditivo y su dosis es la ASTM D- 3625, que es un método para evaluar el efecto del agua sobre agregados con recubrimiento asfáltico.

#### **4.8.1.1.5 Ventajas**

- ❖ Mejor densificación y menor porcentaje de vacíos en las condiciones óptimas en las mezclas.
- ❖ Al utilizar los aditivos mejorados de adherencia tiene una mejora en la densificación de las mezclas la cual refleja un mejor comportamiento en las pruebas de desempeño.
- ❖ Al compactar a las temperaturas recomendadas (120- 130° C) los vacíos disminuyen al utilizar aditivos mejoradores de adherencia por la

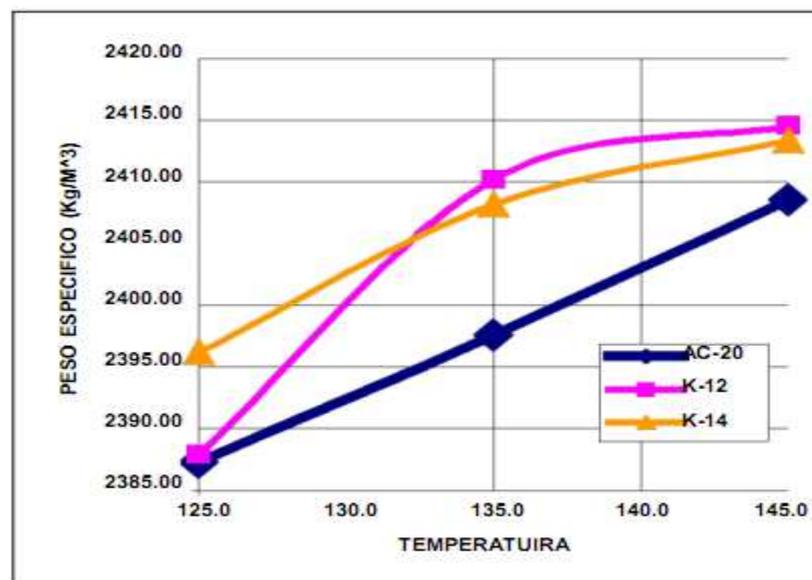
acción de estos, que al reducir la tensión interfacial entre el asfalto y el agregado facilitan el acomodo de estos en la mezcla asfáltica.

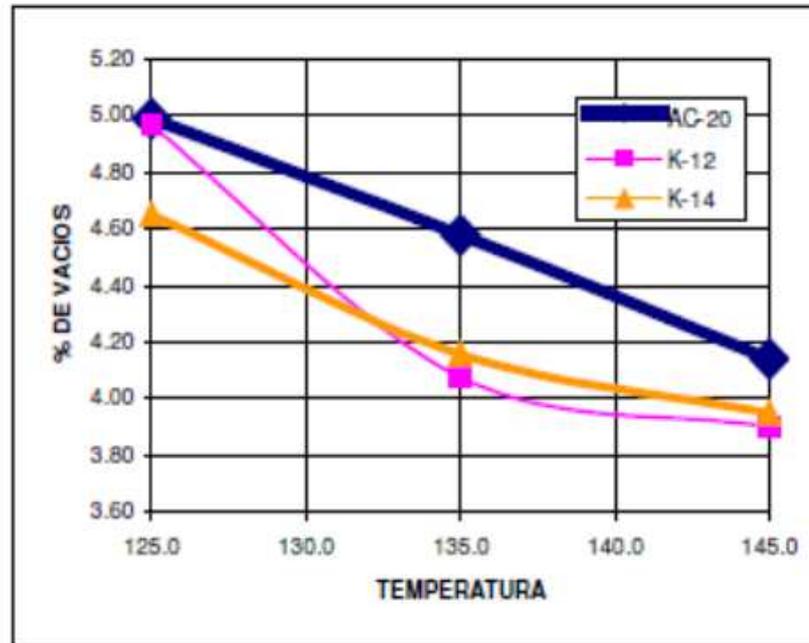


#### 4.8.1.1.6 Condiciones semejantes compactando 10 °C menos.

Al compactar 10° C menos que las condiciones óptimas se logra un comportamiento semejante al AC- 20 convencional tanto en estabilidad como en propiedades volumétricas, lo cual nos dice que el uso de los aditivos mejoradores de adherencia nos ayuda el comportamiento de la mezcla en comparación del asfalto convencional.

Esta ventaja reflejarla en campo en los casos en los que por imprevistos la mezcla se retrase en su colocación y/o compactación. Utilizando aditivo se obtiene una mezcla que pueda extenderse y compactarse a más baja temperatura, otra ventaja sería hacer acarreo de la mezcla asfáltica a lugares más lejanos, garantizando el correcto comportamiento de la carpeta.





#### 4.8.2 CEMENTO PORTLAND

El cemento más utilizado como aglomerante para la preparación del hormigón es el cemento portland, producto que se obtiene por la pulverización del clinker portland con la adición de una o más formas de yeso (sulfato de calcio). Se admite la adición de otros productos siempre que su inclusión no afecte las propiedades del cemento resultante. Todos los productos adicionales deben ser pulverizados conjuntamente con el clinker. Cuando el cemento portland es mezclado con el agua, se obtiene un producto de características plásticas con propiedades adherentes que solidifica en algunas horas y endurece progresivamente durante un período

de varias semanas hasta adquirir su *resistencia característica*. El proceso de solidificación se debe a un proceso químico llamado hidratación mineral.

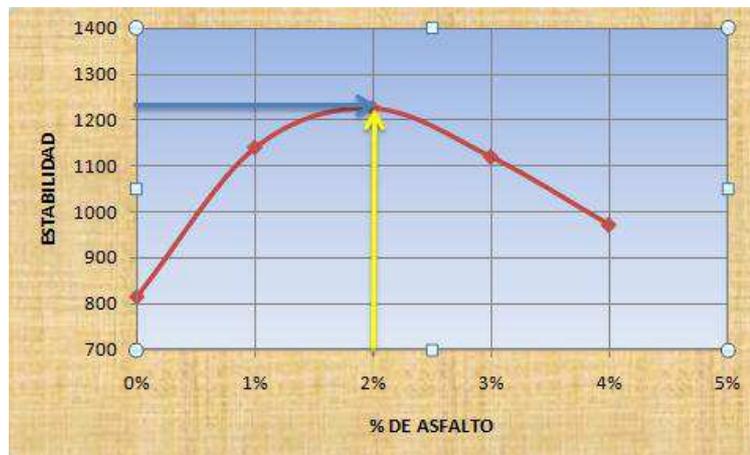
## 4.9 DISEÑO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA CON ADITIVO

### 4.9.1 MEZCLA ASFÁLTICA CON CEMENTO

Para el siguiente diseño se utilizó el porcentaje óptimo de asfalto que fue definido anteriormente cuyo valor es del 6,93%, y se lo mezclo con diferentes porcentajes de CEMENTO en el rango del 1% al 4% con incrementos de 1% hasta llegar al 4% cuyo resumen de muestras es el siguiente.

MUESTRA	DIAMETRO	ALTURA CM	PESO MUESTRA GR			VOL PROB	DIAL	ESTABILIDAD KG	FLUJO MM
			AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S				
<b>CEMENTO 1%</b>									
<b>1</b>	10,2	6,2	1253	1268	730	<b>538</b>	290	1160,633	3,048
<b>2</b>	10,2	7	1421	1431	885	<b>546</b>	270	1080,923	3,302
<b>3</b>	10,2	6	1192	1194	670	<b>524</b>	285	1177,507	3,556
								<b>1139,688</b>	<b>3,302</b>
<b>CEMENTO 2%</b>									
<b>1</b>	10,2	6,2	1280	1282	770	<b>512</b>	290	1247,993	3,048
<b>2</b>	10,2	6,5	1328	1332	810	<b>522</b>	300	1290,830	3,302
<b>3</b>	10,2	6,3	1238	1248	720	<b>528</b>	275	1136,366	3,302
								<b>1225,063</b>	<b>3,217</b>
<b>CEMENTO 3%</b>									
<b>1</b>	10,2	6.1	1221	1226	710	<b>516</b>	260	1119,410	3,048
<b>2</b>	10,2	6	1218	1222	707	<b>515</b>	250	1076,525	3,556
<b>3</b>	10,2	5,9	1200	1202	690	<b>512</b>	270	1162,283	3,556
								<b>1119,406</b>	<b>3,387</b>
<b>CEMENTO 4%</b>									
<b>1</b>	10,2	6,3	1297	1300	787	<b>513</b>	240	1033,628	3,048
<b>2</b>	10,2	5,8	1148	1159	610	<b>549</b>	230	881,740	3,048
<b>3</b>	10,2	6,8	1319	1331	792	<b>539</b>	250	1001,169	3,302
								<b>972,179</b>	<b>3,133</b>

CEMENTO	
PORCENTAJE	ESTABILIDAD
0%	816
1%	1140
2%	1225
3%	1119
4%	972



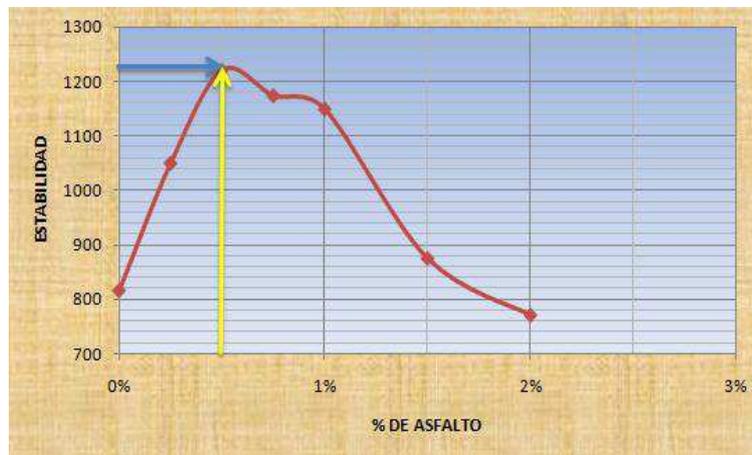
**El porcentaje óptimo del cemento utilizado como aditivo para la mezcla asfáltica es del 2%**

#### 4.9.2 MEZCLA ASFÁLTICA CON KAOAMIN 14

Para el siguiente diseño se utilizó el porcentaje óptimo de asfalto que fue definido anteriormente cuyo valor es del 6,93%, y se lo mezcló con diferentes porcentajes de KAOAMIN en el rango del 1% al 2% con incrementos de 0,25% hasta llegar al 1%, luego con incrementos de 0,50% hasta llegar al 2% cuyo resumen de muestras es el siguiente.

MUESTRA	DIAMETRO	ALTURA CM	PESO MUESTRA GR			VOL PROB	DIAL	ESTABILIDAD KG	FLUJO MM
			AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S				
<b>KAOAMIN 0.25</b>									
1	10,2	7	1427	1433	868	565	270	999,563	3,302
2	10,2	6,2	1292	1295	778	517	250	1076,525	3,048
3	10,2	6	1235	1237	740	497	240	1074,973	2,794
								<b>1050,354</b>	<b>3,048</b>
<b>KAOAMIN 0.50</b>									
1	10,2	6,5	1203	1205	671	534	300	1239,196	3,048
2	10,2	6,3	1203	1209	671	538	290	1160,633	3,048
3	10,2	6,1	1215	1223	669	554	330	1263,149	2,794
								<b>1220,993</b>	<b>2,963</b>
<b>KAOAMIN 0,75%</b>									
1	10,2	6,5	1331	1333	815	518	275	1183,715	3,556
2	10,2	6,4	1305	1308	797	511	270	1162,283	3,048
3	10,2	6,2	1200	1202	727	475	240	1178,336	2,794
								<b>1174,778</b>	<b>3,133</b>
<b>KAOAMIN 1%</b>									
1	10,2	6,6	1325	1336	780	556	290	1110,714	2,794
2	10,2	6,1	1241	1249	710	539	280	1120,784	3,048
3	10,2	6,1	1218	1225	700	525	295	1218,636	3,302
								<b>1150,045</b>	<b>3,048</b>
<b>KAOAMIN 1,5%</b>									
1	10,2	6,5	1374	1381	835	546	220	843,541	3,302
2	10,2	6,6	1354	1365	823	542	230	921,369	3,048
3	10,2	5,4	1082	1085	565	520	200	861,921	3,556
								<b>875,610</b>	<b>3,302</b>
<b>KAOAMIN 2%</b>									
1	10,2	6,8	1380	1388	845	543	190	761,637	3,81
2	10,2	6	1165	1172	660	512	180	775,995	4,064
3	10,2	6,4	1290	1299	780	519	180	775,995	4,318
								<b>771,209</b>	<b>4,064</b>

KAOAMIN	
PORCENTAJE	ESTABILIDAD
0%	816
0,25%	1051
0,50%	1221
0,75%	1175
1,00%	1150
1,50%	875
2,00%	771



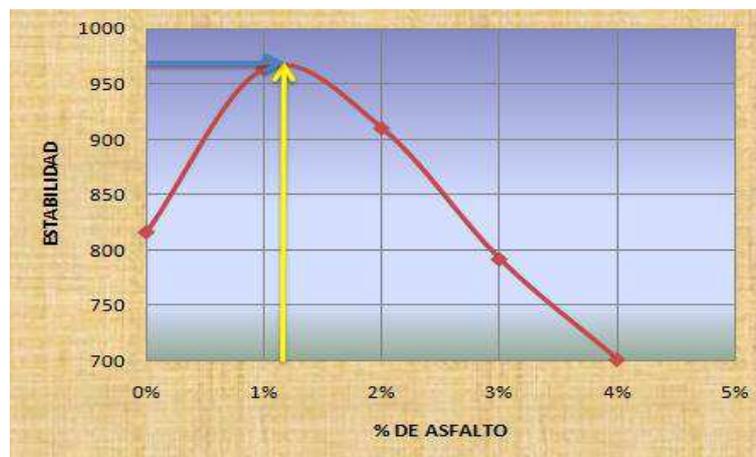
**El porcentaje óptimo de Kaoamin 14 utilizado como aditivo para la mezcla asfáltica es del 0.5 %.**

#### **4.9.3 MEZCLA ASFÁLTICA CON LA COMBINACION DE AMBOS ADITIVOS**

Para el siguiente diseño se utilizó el porcentaje óptimo de asfalto que fue definido anteriormente cuyo valor es del 6,93%, y en esta ocasión se mezclaron los aditivos (Kaoamin y Cemento) cuyo resumen de muestras es el siguiente.

MUESTRA	DIAMETRO	ALTURA CM	PESO MUESTRA GR			VOL PROB	DIAL	ESTABILIDAD KG	FLUJO MM
			AIRE SECO	AIRE S.S.S	AGUA S.S.S				
<b>CEMENTO 1% + KAOAMIN 0.5</b>									
<b>1</b>	10,2	6,9	1397	1400	853	<b>547</b>	250	958,107	3,302
<b>2</b>	10,2	6,5	1335	1337	815	<b>522</b>	240	1033,628	3,048
<b>3</b>	10,2	6	1200	1204	669	<b>535</b>	225	901,412	3,556
								<b>964,383</b>	<b>3,302</b>
<b>CEMENTO 2% + KAOAMIN 0,5%</b>									
<b>1</b>	10,2	6,8	1386	1390	848	<b>542</b>	225	901,412	3,048
<b>2</b>	10,2	6,9	1407	1411	860	<b>551</b>	230	881,740	3,302
<b>3</b>	10,2	6	1139	1142	622	<b>520</b>	220	947,799	3,302
								<b>910,317</b>	<b>3,217</b>
<b>CEMENTO 3% + KAOAMIN 0,5%</b>									
<b>1</b>	10,2	6,1	1268	1270	760	<b>510</b>	180	775,995	3,048
<b>2</b>	10,2	6,4	1322	1325	809	<b>516</b>	190	818,964	3,302
<b>3</b>	10,2	6,8	1352	1356	818	<b>538</b>	195	781,613	3,556
								<b>792,191</b>	<b>3,302</b>
<b>CEMENTO 4% + KAOAMIN 0,5%</b>									
<b>1</b>	10,2	6,7	1383	1385	850	<b>535</b>	170	703,694	3,048
<b>2</b>	10,2	6,6	1343	1346	821	<b>525</b>	165	683,059	3,302
<b>3</b>	10,2	6,4	1285	1288	780	<b>508</b>	160	717,623	3,048
								<b>701,458</b>	<b>3,133</b>

CEMENTO + KAOAMIN	
PORCENTAJE	ESTABILIDAD
0%	816
1%	964
2%	910
3%	792
4%	701



**El porcentaje óptimo de Kaoamin 14 + Cemento utilizados como aditivos para la mezcla asfáltica es del 1.2 %.**

## **CAPÍTULO 5: APLICACIÓN DE LA MEZCLA DE BACHEO EN CAMPO**

### **5.1 PROCESO TRADICIONAL DE APLICACIÓN EN CAMPO DE UNA MEZCLA ASFÁLTICA CONVENCIONAL**

Con base a lo indicado por la FHWA, y lo descrito en el Manual del Instituto del Asfalto para mantenimiento de carreteras de pavimentos flexibles, resumido en estos pasos:

1. Cerrar paso vehicular.
2. Delinear el área a subsanar.
3. Cortar el pavimento en forma rectangular o cuadrada, dependiendo del tamaño del bache; proceso también conocido como “Cajear el Bache.”
4. Limpiar el bache con una barrida. (Solo si es necesario).
5. Aplicar el riego de liga.
6. Vaciar la mezcla asfáltica en el centro del bache.
7. Esparcir la mezcla con un rastrillo buscando cubrir toda el área dañada.
8. Compactar la mezcla.
9. Limpiar el área reparada.

Asimismo, el manual del Instituto del asfalto presentan las siguientes recomendaciones:

1. El bache debe de estar totalmente libre de humedad.
2. Se debe extender el área a subsanar uno 30 cm. más allá del área afectada.
3. Es mejor cajear el bache con un martillo neumático.
4. La superficie del área reparada debe de tener un desnivel máximo de 6 mm. en comparación con el pavimento existente.
5. Hay que esperar 2 horas antes de abrir el paso vehicular.

## **5.2 PROCESO DE APLICACIÓN EN CAMPO PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO RENDIMIENTO**

En base a las mejoras que brinda la mezcla de bacheo de alto rendimiento y de acuerdo al procedimiento para mantenimiento de carreteras de pavimentos flexibles presenta algunas variantes enlistadas a continuación, mas es importante mencionar que para nuestro caso de estudio, se propiciaron las condiciones críticas necesarios a fin de examinar a corto plazo el comportamiento de mezcla en campo:

1. Cerrar el paso vehicular.
2. Delinear el área a subsanar.
3. Cajear el bache.
4. Limpiar el bache con una barrida.(solo si es necesario)
5. Vaciar la mezcla asfáltica en el centro del bache.

6. Esparcir la mezcla con un rastrillo buscando cubrir toda el área dañada.
7. Compactar la mezcla.
8. Limpiar el área reparada.
9. Abrir el paso vehicular.

Asimismo, presentan las siguientes recomendaciones:

1. No existe un límite para extender el área a subsanar.
2. Es primordial cuidar que el nivel de la mezcla al ser esparcida quede por encima del nivel de la carpeta asfáltica con el fin de que al abrir el paso vehicular los mismos automóviles terminen de compactar la mezcla.
3. Se puede cajear utilizando una barreta.

### **5.3 PROCESO PARA REPARAR BACHES**

Básicamente el proceso se desarrolla en cuatro pasos, independientemente del tipo de bache a tratar, superficial o profundo.

- 1. Marcar la zona a reparar.-** la superficie dl área a tratar se marca con tiza, extendiéndose al menos 0.3 metros fuera del área dañada, el área a delimitar debe ser rectangular, con dos de sus lados perpendiculares al eje del camino. Posteriormente, deberá cortarse

sobre la demarcación realizada, utilizando un equipo de corte ilustrado en la figura.



- 2. Excavar** hasta la profundidad definida por el espesor diseñado de concreto recortando las paredes de forma vertical tal como se muestra en la figura a. Si a esa profundidad no se encuentra material adecuado y seco se deberá sobre excavar y restituir para conformar el fondo de modo que quede plano y horizontal, para finalizar se deberá compactar el fondo hasta alcanzar el 95% de PVS máximo de acuerdo con AASHTO T-180.



- 4 **Rellenar** los baches con material de calidad semejante a las capas dañadas, compactando el relleno con pisón de mano en espesores que no excedan los 10 cm.
- 5 **El nivel superior** del relleno debe quedar bien afinado y cubierto con mezcla asfáltica en caliente y en planta.
- 6 **Se aplica un riego de liga**, principalmente en las paredes verticales para sellar la intrusión de agua.



- 7 **Se deposita la mezcla de bacheo**, que debe estar a temperatura de aplicación para una mejor adhesión y cohesión de las partículas del material.



- 8 **Apisonar** la mezcla con compactador tipo rodillo o placa vibratoria a la necesidad necesaria.



**5.4 MEZCLA DE ALTO RENDIMIENTO VS. MEZCLA CONVENCIONAL**

**5.4.1 TABLA DE VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS DE APLICACIÓN DE BACHEO**

Mezclas	Ventajas	Desventajas
<p><b>Mezcla Convencional</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es más conocida.</li> <li>• La gente tiene más experiencia sobre su aplicación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si las capas subyacentes están quebradas o agrietadas y además hay presencia de agua, comenzarían a quebrarse las partes aledañas de la carpeta al igual que la mezcla.</li> <li>• El bache debe estar libre de humedad.</li> <li>• Más costosa debido al uso de riego de liga y el doble de trabajadores que la mezcla de alto rendimiento para su aplicación.</li> <li>• Se necesita como tiempo de espera 2 horas antes de abrir el paso vehicular.</li> <li>• Con el agua se oxida y se</li> </ul>

		<p>degrada la mezcla más rápido por lo que esta se termina quebrando.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Su tiempo de duración es menor debido a la mala calidad y a la granulometría tan densa que ocupa.</li> </ul>
<p><b>MEZCLA DE ALTO RENDIMIENTO</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No ocupa riego de liga</li> <li>• Menor costo.</li> <li>• Solo se necesitan 2 trabajadores para su aplicación.</li> <li>• Puede haber humedad en el bache</li> <li>• Se puede aplicar cuando está lloviendo.</li> <li>• Apertura al paso vehicular de manera inmediata.</li> <li>• Mezcla funcional hasta por 2 años.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si las capas subyacentes están quebradas o agrietadas y además hay presencia de agua, comenzarían a quebrarse las partes aledañas de la carpeta, sin embargo, a la mezcla de bacheo de alto rendimiento no le pasaría nada.</li> </ul>

### 5.5 REVISIÓN DE LA MEZCLA ASFÁLTICA A UN MES DE SU APLICACIÓN.

En los siguientes gráficos tenemos la revisión de la mezcla asfáltica de alto rendimiento representadas en cuatro etapas después de su aplicación.

Etapa uno: Corresponde a la primera semana de aplicación de la mezcla.



Etapa dos: Corresponde a la segunda semana de aplicación de la mezcla.



Etapa tres: Corresponde a la tercera semana de aplicación de la mezcla.



Etapa cuatro: Corresponde a la cuarta semana de aplicación de la mezcla.



## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 CONCLUSIONES

1. Se confirmó que la manera de mejorar las mezclas convencionales es utilizando aditivos que optimicen las características de las mezclas ya que sirven para mejorar la cohesión, trabajabilidad, impermeabilidad y la resistencia al desgranamiento.
2. La evaluación de esta mezcla de bacheo nos sirve para organizar los programas de bacheo de manera que aumenten los rendimientos, o reduzcan los costos con el mínimo esfuerzo.
3. Altos porcentajes de asfalto en la mezcla, producen una reducción en la fricción interna del pavimento.
4. Mezclas cerradas con altos valores de estabilidad Marshall y baja susceptibilidad a la humedad, puede ser indicativo de que la mezcla es susceptible al agrietamiento por fatiga.
5. Con las pruebas realizadas en las mezclas asfálticas con aditivos Kaoamin 14 y Cemento Portland se concluye que los dos mejoran la estabilidad del asfalto, pero el Kaoamin 14 aporta mayor beneficio para la mezcla asfáltica.

## 6.2 RECOMENDACIONES

1. Aumentar el número de repeticiones para cada prueba de laboratorio con la finalidad de encontrar resultados más exactos
2. Efectuar pruebas de campo para futuras evaluaciones con el fin de corroborar el comportamiento de la mezcla asfáltica.
3. Se requiere un mejor control de calidad a la hora de la colocación de la mezcla asfáltica en el campo.
4. Se recomienda el Kaoamin 14 ya q es un aditivo que mejora la adherencia y cohesión de los materiales pétreos y disminuye el porcentaje de vacíos en la mezcla.

**BIBLIOGRAFÍA**

- El asfalto en el mantenimiento de los pavimentos. Instituto del asfalto. Manual No.16- serie de Manuales (MS-16)
- Instituto del Asfalto. Principios de Construcción de pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente (MS-22).
- Guía Básica de Diseño, Control de Producción y Colocación de Mezclas Asfálticas en Caliente.
- Horacio Delgado Alamilla et al. Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica
- <http://www.pavementinteractive.com>
- Manual Centroamericano de Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales, Secretaria de Integración Económica Centroamericana.
- Manual de Laboratorio para IDP-115
- Strategic Highway Research Program SHRP A-369, 1994.
- [http://www.acaceres.addr.com/student\\_Access/asphalt.pdf](http://www.acaceres.addr.com/student_Access/asphalt.pdf)
- <http://www.arqhys.com/arquitectura/asfalto-funciones.html>
- [http://www.e-asfalto.com/orig\\_asforigenasf.htm](http://www.e-asfalto.com/orig_asforigenasf.htm)
- <http://www.e-asfalto.com/propiedades/propiedades.htm>
- <http://www.emulsiones asfalticas.com>
- <http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieriacivil/asfalto/>
- <http://www.KingAsphalt.com>

- [www.vialidad.cl/areasdevialidad/](http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/)
- [www.buenastareas.com](http://www.buenastareas.com)

## GLOSARIO

**ADHESIÓN.** Estado en el cual dos superficies se mantienen unidas por fuerzas interfaciales.

**ASFALTENOS.** Fracción resinosa y adherente del asfalto que compone a este en su cuarta o quinta parte y que se le puede separar de la parte aceitosa (máltenos).

**AAMAS.** (Asphalt Aggregate Mixture Analysis System.) Sistema y Análisis de asfalto y mezcla de agregados.

**AMINA.** Son compuestos químicos orgánicos que se consideran como derivado del amoniaco.

**ASTM.** International American Society For Testing Material.

**BETÚN.** Sustancia Compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular. En el ecuador se le conoce como asfalto.

**COHESIÓN.** Tipo de atracción entre dos sustancias o materiales.

**CONCENTRADOS.** Tipos de polímeros

**DENSIDAD.** El grado de solidez que puede alcanzarse en una mezcla dada y que solo está limitado por la eliminación total de los vacíos que se encuentran.

**DRENE.** Considerando como el exceso de asfalto que presenta la mezcla, el cual al estar expuesto a altas temperaturas se fluidifica y se desprende del pétreo.

**DURABILIDAD.** La propiedad de una mezcla asfáltica que describe su habilidad para resistir su desintegración por efectos ambientales o de tráfico.

**FHWA.** Federal Highway Administration.

**FLEXIBILIDAD.** La habilidad de un pavimento asfáltico para ajustarse a asentamientos. Generalmente un alto de contenido de asfalto mejora la flexibilidad de una mezcla.

**HIDROCARBURO.** Compuesto orgánico consistente exclusivamente en elementos de carbono e hidrogeno.

**IMPERMEABILIDAD.** La capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o través del mismo.

**PLASTICIDAD.** Propiedad mecánica de un material de deformarse permanentemente e irreversiblemente cuando se encuentran sometido a tensiones por encima de su rango elástico.

**POISES.** Medida de viscosidad numéricamente igual a la fuerza requerida para mover una fuerza plana de un centímetro cuadrado por segundo, en que las superficies son separadas por una capa de líquido de 1 cm. De espesor (dina seg/cm<sup>2</sup>).

**PRUEBA ROLLING THIN FILM OVEN.(AASTHO T240)** Método de prueba que tiene dos propósitos: a) Proporcionar una carpeta de asfalto envejecida

que se pueda utilizar para la prueba adicional de características físicas y b) Determinar la cantidad de masa volátil perdida por el asfalto durante el proceso, donde la masa volátil es un indicador del envejecimiento que puede ocurrirle al asfalto durante el mezclado u operaciones de la construcción.

**REOLIGIA.** Propiedades físico-mecánicas y visco-elásticas que caracterizan al asfalto a responder mediante sollicitaciones como: Repetición de cargas, cargas fijas, cargas variables y temperatura.

**REOLOGIA MODIFICADA.** Con el uso de aditivos y/o polímeros mejoras las propiedades físico-mecánicas del asfalto.

**RODERAS.** Surcos que pueden desarrollarse sobre un pavimento en los carriles de las ruedas. Suelen ser resultados de una consolidación o movimiento generados por un desplazamiento de la superficie misma del pavimento.

**SCT.** Secretaria de Comunicación y transporte.

**SHRP.** Strategic Highway Research Program.

**SLURRY.** Mezcla asfáltica utilizada como tratamiento superficial debido a que resulta ser de granulometría muy cerrada. Está compuesta por agregado fino o agregado grueso (de granulometría muy pequeña), y emulsión asfáltica.

**VALOR DEL FLUJO.** Indicador de la flexibilidad y pérdida de la resistencia a la deformación que puede presentar una mezcla.

**WASHTO.** (Western Association of State Highway and Transportation Officials).