

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA



Universidad de El Salvador

Hacia la libertad por la cultura

TRABAJO DE GRADUACION:

**“METODOLOGIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA
CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN
CALIENTE”**

PRESENTA:

XENIA CAROLINA LIZAMA ARGUETA

RENE EDUARDO LOVO

PARA OPTAR AL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

FEBRERO DE 2010

SAN MIGUEL EL SALVADOR CENTROAMERICA.

AUTORIDADES UNIVERSITARIAS
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

Msc. Rufino Antonio Quezada Sánchez

VICERECTOR ACADEMICO:

Msc. Miguel Ángel Pérez Ramos

SECRETARIO GENERAL:

Lic. Douglas Alfaro Chávez

FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL

DECANA INTERINA:

Dra. Ana Judith Guatemala de Castro

SECRETARIO:

Ing. Jorge Alberto Rugamas Ramírez

JEFE DE DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA:

Ing. Uvin Edgardo Zuniga Cruz.

TRABAJO DE GRADUACIÓN APROBADO POR:

COORDINADOR DE PROCESOS DE GRADUACIÓN:

ING. MILAGRO DE MARIA ROMERO DE GARCIA

DOCENTE DIRECTOR:

ING. JOSE LUIS CASTRO CORDERO

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD MULTIDISCIPLINARIA ORIENTAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:
INGENIERO CIVIL

Titulo:

**METODOLOGIA PARA EL CONTROL DE CALIDAD EN LA
CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFÁLTICO EN
CALIENTE.**

Presentado por:

**XENIA CAROLINA LIZAMA ARGUETA
RENE EDUARDO LOVO**

Trabajo de graduación aprobado por:

Coordinador :

Ing. Milagro de Maria Romero Bardales

Docente Director:

Ing. José Luis Castro Cordero

San Miguel, FEBRERO 2010

AGRADECIMIENTO.

***A DIOS:** Por darme el conocimiento y la fortaleza necesaria para seguir adelante y no decaer en los momentos difíciles en el transcurso del desarrollo y culminación de mi formación universitaria.*

***A MI PADRE:** Luis Humberto Lizama Arias por brindarme su cariño, amor, esfuerzo y apoyo fundamental durante el crecimiento de mi formación profesional.*

***A MI MADRE:** Maria Luisa Argueta (Q.D.D.G.) de grata recordación.*

***A MI HERMANO WALTER HUMBERTO LIZAMA:** Por su cariño, afecto, ayuda y por transmitirme sus conocimientos que me ayudaron al desarrollo y terminación de este Trabajo.*

***A MI HERMANO RUBEN LIZAMA:** Por su cariño, consejos y apoyo en todo momento desde el inicio hasta el final de mis estudios universitarios.*

***A MIS TIOS:** Blanca Lidia (Q.D.D.G.), Maria Nelly, Maria Marina, Atilio, Miguel, de apellido Argueta respectivamente, por su cariño y ayuda incondicional.*

***A MIS AMIGOS:** Maria Ramos, Wendy Palacios, Rhina Herrera, Ana Aparicio, Carlos Umaña, Gilberto Rivera, Emilio Amaya, Ricardo Girón, Marvín Gómez, Jenny Díaz por su afecto y cariño.*

XENIA CAROLINA LIZAMA

DEDICO ESTE TRIUNFO A:

***DIOS TODOPODEROSO:** Por guiarme e iluminarme a lo largo de mi formación académica y el haberme permitido alcanzar la meta que me propuse.*

***A MI MADRE:** Ana María Lovo, por ser ejemplo en mi vida y pilar fundamental para mi formación profesional; brindándome siempre apoyo incondicional en los momentos mas difíciles.*

***A MI FAMILIA:** por darme ánimo y apoyarme constantemente en todo lo que necesité.*

***A MIS AMIGOS Y NOVIA:** quienes estuvieron a mi lado y me apoyaron de manera incondicional.*

RENE EDUARDO LOVO.

INDICE

CAPITULO I: ANTEPROYECTO	15
1.1 INTRODUCCION	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACION	20
1.4 OBJETIVOS	22
1.5 ALCANCES	23
1.6 LIMITACIONES	23
1.7 MÉTODO DE INVESTIGACION	25
CAPITULO II: MARCO TEORICO	28
2.1 GENERALIDADES	29
2.1.1 <i>Historia del Pavimento Asfáltico.</i>	29
2.1.2 <i>El Asfalto en la Construcción</i>	29
2.1.3 <i>Modificación del Asfalto</i>	30
2.2 AGREGADOS PÉTREOS.	31
2.2.1 <i>Definición de agregados pétreos.</i>	31
2.2.1.1 <i>Naturaleza petrológica de los agregados pétreos.</i>	32
2.2.1.1.1 <i>Agregados Ígneos y Metamórficos.</i>	33
2.2.1.1.2. <i>Sedimentario</i>	33
2.2.1.2 <i>Tipos de agregados pétreos según su Origen.</i>	34
2.2.1.3 <i>Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.</i>	35
2.2.1.3.1 <i>Agregado grueso.</i>	35
2.2.1.3.2 <i>Agregado Fino.</i>	39
2.2.1.3.3 <i>Polvo mineral (Fíller).</i>	41
2.2.1.4 <i>Adhesividad al Ligante.</i>	43
2.2.2 <i>Propiedades granulométricas de los agregados pétreos.</i>	44
2.2.2.1 <i>Propiedades individuales.</i>	44
2.2.2.2 <i>Propiedades de conjunto.</i>	44
2.2.3 <i>Calidad de agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente</i>	44
2.2.3.1 <i>Mineralogía</i>	44
2.2.3.2 <i>Evaluación del Agregado.</i>	45
2.2.4 <i>Consideraciones acerca del empleo de los agregados pétreos.</i>	49
2.2.5 <i>Descripción de las características principales de los agregados pétreos para pavimentos.</i>	50
2.2.5.1 <i>Forma y angulosidad.</i>	50
2.2.5.2. <i>Resistencia al desgaste</i>	51
2.2.5.3 <i>Plasticidad y limpieza.</i>	52
2.2.5.4 <i>Alterabilidad.</i>	53
2.2.5.5 <i>Resistencia al desprendimiento.</i>	53
2.2.5.6 <i>Aptitud para contribuir a la resistencia y rigidez de la mezcla en conjunto.</i>	54
2.3 LIGANTES ASFÁLTICOS.	54
2.3.1 <i>Definición de Asfalto</i>	54
2.3.2 <i>Obtención del Asfalto</i>	55

2.3.3 Refinación de Asfalto	56
2.3.4 Propiedades Físicas y Químicas del Asfalto	56
2.3.4.1 Propiedades Químicas de Asfalto	56
2.3.4.2 Propiedades Físicas del Asfalto	57
2.3.5 Cualidades de los ligantes asfálticos.	59
2.3.6 Caracterización de ligantes Asfálticos	61
2.3.6.1 Propiedades Másicas	63
2.3.6.2 Propiedades Mecánicas	63
2.3.6.3 Adhesividad	65
2.3.6.4 Durabilidad	66
2.4 LIGANTES ESPECIALES	69
2.4.1. Caracterización de Ligantes Modificados	69
2.4.1.1 Compatibilidad	69
2.4.1.2 Estabilidad al Almacenamiento	71
2.5 USO Y CLASIFICACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS.	76
2.5.1 Definición de Mezcla Asfáltica.	76
2.5.2 Empleo de las Mezclas Asfálticas en la Construcción de Pavimento.	77
2.5.3 Funcionalidad de las Mezclas Asfálticas en los Pavimentos.	78
2.5.4 Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Capas de Rodadura.	80
2.5.5 Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Capas Inferiores.	80
2.5.6 Características de Mezclas Asfálticas.	82
2.5.7 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.	83
2.5.8 Consideraciones para la Selección y Proyecto de una Mezcla Asfáltica.	91
2.6 METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.	94
2.6.1 Tipos de Métodos de Diseño de Mezclas Asfálticas.	94
2.6.2 Parámetros Volumétricos.	96
2.6.2.1 Gravedad Específica Neta del Agregado.	99
2.6.2.2 Gravedad Específica Efectiva del Agregado.	99
2.6.2.3 Gravedad Específica Máxima de la Mezcla Asfáltica.	100
2.6.2.4 Absorción del Asfalto.	102
2.6.2.6 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral.	102
2.6.2.7 Porcentaje de Vacíos de Aire.	103
2.6.2.8 Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto.	104
2.6.3 Características y Comportamiento de la Mezcla	104
2.6.3.1 Densidad.	104
2.6.3.2 Vacíos de Aire (o simplemente vacíos).	105
2.6.3.3 Vacíos en el Agregado Mineral.	106
2.6.3.4 Contenido de Asfalto.	107
2.6.4 Propiedades Consideradas en el Diseño de Mezclas	108
2.6.4.1 Estabilidad.	108
2.6.4.2 Durabilidad.	110
2.6.4.3 Impermeabilidad.	111
2.6.4.4 Trabajabilidad.	112
2.6.4.5 Flexibilidad.	113
2.6.4.6 Resistencia a la Fatiga.	114
2.6.4.7 Resistencia al Deslizamiento	115
CAPITULO III: ENSAYOS PARA LOS AGREGADOS:	116

3.1 Descripción de Ensayos para Agregado a Utilizar en la Producción de Mezclas Asfálticas en Caliente. _____	117
3.1.1 Sanidad/Disgregabilidad (ASTM C 88) _____	117
3.1.2 Material que pasa la malla No 200. (ASTM C 117) _____	120
3.1.3 Partículas ligeras. (ASTM C 123) _____	121
3.1.4 Gravedad específica y absorción. (ASTM C 127 y C128) _____	123
3.1.5 Abrasión (Maquina de los Ángeles) (ASTM C 131) _____	131
3.1.6 Granulometría (ASTM C 136) _____	133
3.1.7 Partículas Desmenuzables. (ASTM C 142) _____	135
3.1.8 Equivalente de arena. (ASTM D 2419) _____	136
3.1.9 Índice de Durabilidad. (ASTM D 3744) _____	138
3.1.10 Partículas alargadas y planas (ASTM D 4791) _____	140
3.1.11 Caras Fracturadas. (ASTM D 5821) _____	143
 CAPITULO IV: GUIA DE CONTROL DE CALIDAD _____	145
4.1 INTRODUCCIÓN _____	146
4.2 PROCESO DE EXTRACCION Y PRODUCCIÓN DE LOS AGREGADOS ____	146
4.2.1 Producción, Acopio de Reservas, Manejo y Muestreo de Agregados _____	150
4.3 PRUEBAS Y SELECCIÓN DE MATERIALES _____	155
4.3.1 Especificaciones SIECA para el Control de Calidad de los Agregados. _____	157
4.4.1 Clasificación de los asfaltos de pavimentación. _____	160
4.4.2 Certificado de Calidad del Cemento Asfáltico _____	161
4.4.3 Carta de Viscosidad _____	166
4.5 GENERALIDADES SOBRE PLANTAS ASFALTICAS EN EL SALVADOR ____	167
4.5.1 Plantas de Dosificación. _____	167
4.5.2 Plantas de Producción Continua. _____	169
4.6 ESPECIFICACIÓN ASTM D 3515 PARA MEZCLAS DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS EN CALIENTE Y SU COLOCACIÓN _____	174
4.6.1. Alcance _____	174
4.6.2. Ordenes de Compra. _____	174
4.6.3. Agregados. _____	175
4.6.4. Relleno Mineral. _____	175
4.6.5. Asfalto. _____	175
4.6.6. Composición de las Mezclas para Pavimentos Bituminosos. _____	176
4.6.8. Planta de Mezclado. _____	178
4.6.9. Operación de Planta de Mezclado _____	179
4.6.10 Métodos de Muestra y Ensayo _____	184
4.7 ESPECIFICACIONES SIECA PARA MAC. _____	185
4.8 DISEÑO DE MEZCLAS ASFALTICAS EN CALIENTE. _____	187
4.8.1 Método Marshall de Diseño de Mezclas Asfálticas. _____	188
4.8.2 Equipo para uso del Metodo Marshall. _____	191
4.8.3 Selección de la muestra de material. _____	193
4.8.4 Preparación del Agregado _____	193
4.8.4.1 Secado del Agregado. _____	194

4.8.4.2	Análisis Granulométrico por Vía Húmeda	194
4.8.4.3	Determinación del Peso Específico.	195
4.8.5	Preparación de las Probetas de Ensayo.	196
4.8.6	Procedimiento para Realizar la Prueba.	197
4.8.6.1	Determinación del Peso Específico Total	198
4.8.6.2	Contenido de Betumen	198
4.8.6.3	Gradación de la Muestra	199
4.8.6.5	Valor de Estabilidad Marshall	202
4.8.6.6	Valor de Fluencia Marshall.	202
4.8.6.7	Análisis de Densidad y Vacíos	203
4.8.7	Análisis de Resultados.	206
4.8.7.1	Graficar Resultados.	206
4.8.7.2	Relaciones y observaciones de los resultados de los ensayos.	207
4.8.7.3	Determinación del Contenido de Asfalto.	209
4.8.7.4	Evaluación y Ajuste de una Mezcla de Diseño	209
4.8.7.4.1	Vacíos bajos y estabilidad baja	210
4.8.7.4.2	Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria	211
4.8.7.4.3	Vacíos satisfactorios y estabilidad baja	211
4.8.7.4.4	Vacíos altos y estabilidad satisfactoria	211
4.8.7.4.5	Vacíos altos y estabilidad baja	212
4.8.8	Verificando los criterios de diseño.	212
4.8.9	Seleccionando un diseño de mezcla.	214
4.9	MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS	215
4.10	TEMPERATURAS.	218
4.11	FÓRMULA DE TRABAJO	218
4.12	EJEMPLO DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.	219
4.13	SEGUIMIENTO AL CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.	239
4.14	CRITERIOS GENERALES PARA EL MUESTREO.	243
4.14.1	Especificaciones SIECA para Muestreo y Ensayos	243
4.15	GUÍA TÉCNICA DE SEGUIMIENTO DEL CONTROL DE CALIDAD.	247
<i>CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>		249
5.1	CONCLUSIONES	250
5.2	RECOMENDACIONES	253
5.3	BIBLIOGRAFIA.	256
5.4	GLOSARIO	258
<i>ANEXOS: ESPECIFICACIONES ASTM APLICABLES A LOS COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE</i>		266
	Designación: C 88-99	266

Designación: C 117-03 _____	274
Designación: C 123-03 _____	278
Designación: C 127-01 _____	281
Designación: C 128-01 _____	288
Designación: C 131-03 _____	296
Designación: C 136-01 _____	301
Designación: C 142-97 _____	308
Designación: D 448-03a _____	311
Designación: D 692-00 _____	313
Designación: D 1073-01 _____	316
Designación: D 2419-02. _____	319
Designación: D 3744-03 _____	329
Designación: D 4318-00 _____	340
Designación: D 4791-99 _____	356
Designación: D 5821-01 _____	360

INDICE DE TABLAS

T.2.1 - Clasificación de Agregados.-----	32
T.2.2 - Propiedades deseables de Rocas -----	45
T.2.3 - Propiedades y Ensayos de caracterización de ligantes asfálticos -----	62
T.2.4 - Propiedades Funcionales de las Mezclas Asfálticas.-----	81
T.2.5 - Propiedades Técnicas de las Mezclas Asfálticas-----	82
T.2.6 - Clasificaciones de las mezclas asfálticas. -----	84
T.2.7 - Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento-----	110
T.2.8 - Causas y Efecto de Poca Durabilidad. -----	111
T.2.9 - Causas y Efectos de la Permeabilidad-----	112
T.2.10 - Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad-----	113
T.2.11 - Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga-----	114
T.4.1 - Información General de Plantas Asfálticas que Operan en El Salvador. -----	173
T.4.2- Composición de las Mezclas Bituminosas de Pavimentación. -----	177
T.4.3- Composición para mezclas de fricción para grado abierto.-----	179

T.4.4- Tolerancias para la mezcla de trabajo-----	180
T.4.5 - Gradación de Agregados, para Pavimento de Concreto Asfáltico -----	200
T.4.6 - Criterios del Instituto de Asfalto (USA), para el Diseño-----	213
T.4.7 - Porcentajes Mínimos de Vacíos en el Agregado Mineral VMA. -----	214
T.4.8 - Correcciones de Estabilidad Marshall.-----	230

INDICE DE FIGURAS.

F.2.1 - Tipos de Agregado y su Clasificación. -----	32
F.2.2 - Sistematización de Agregados Grueso. -----	36
F.2.3 - Sistematización de Agregados Fino.-----	39
F.2.4 - Análisis de Tamices -----	47
F.2.5 - Forma de las Partículas de Agregado Pétreo. -----	51
F.2.6 - Desprendimiento o Carencia de Adhesión.-----	54
F.2.7 - Diagrama de Obtención de Asfalto -----	55
F.2.8 - Proceso de destilación de una refinería. -----	56
F.2.9 - Composición del Asfalto. -----	57
F.2.10 - Compatibilidad de Polímeros.-----	71
F.2.11 - Masilla Asfáltica -----	85
F.2.12 - Colocación de Mortero Asfáltico-----	85
F.2.13 - Muestra de Concreto Asfáltico. -----	85
F.2.14 - Muestra de Macadam Asfaltico. -----	86
F.2.15 - Por Temperatura Puesta en Obra de Concreto Asfáltico-----	87
F.2.16 - Mezcla asfáltica en Frió.-----	88
F.2.17 - Muestras de Mezclas Asfálticas Cerradas-----	88
F.2.18 - Muestra de Mezclas Abiertas -----	89
F.2.19 - Muestra de Mezclas Drenantes-----	90
F.2.20 - Ilustración de los Parámetros de Diseño Volumétrico.-----	97
F.2.21 - Componente del diagrama de compactación de una MAC. -----	98
F.2.22 - Ilustración de Gravedad Específica Teórica Máxima.-----	101
F.2.23 - Ilustración del VMA en una mezcla Compactada.-----	106
F.3.1 - Preparación de las muestras para ensayo de sanidad. -----	118

F.3.2 - Determinación de la gravedad específica en agregados gruesos -----	126
F.3.3 - Procedimiento para Gravedad Específica de agregados finos-----	131
F.3.4 - Maquina de los Angeles. -----	132
F.3.5 - Prueba equivalente de arena.-----	137
F.3.6 - Dispositivos para estimar las partículas alargadas y lajeadas. -----	141
F.3.7 - Ejemplos de caras fracturadas -----	144
F.4.1 - Proceso de Extracción y Clasificación de Agregados. -----	147
F.4.2 - Planta Trituradora -----	149
F.4.3 - Segregación en un Acopio. -----	152
F.4.4 - Apilamiento del Material en Capas-----	153
F.4.5 - Acopio de Agregados. -----	153
F.4.6 - Muestra de Acopio de Material-----	154
F.4.7 - Esqueleto de Agregados-----	156
F.4.8 - Esqueleto de Agregados con Ligante. -----	157
F.4.9 - Viscosímetro del Vacío del Asphalt Institute. -----	162
F.4.10 - Ensayo de Penetración -----	163
F.4.11 - Copa Abierta de Cleveland.-----	163
F.4.12 - Ensayo de Ductilidad-----	164
F.4.13 - Ensayo TFOT -----	165
F.4.14 - Picnómetro -----	165
F.4.15 - Viscosímetro Rotacional.-----	166
F.4.16 - Carta de Viscosidad-----	167
F.4.17 - Componentes principales de las Plantas de Dosificación. -----	168
F.4.18 - Componentes principales de las Plantas de Producción Continua.-----	170
F.4.19 - Tipos de Planta de Tambor Mezclador -----	171
F.4.20 - Mapa de Ubicación de Plantas Asfálticas. -----	171
F.4.21 - Planta Asfáltica Producción Continua. -----	172
F.4.22 - Ensayo Marshall para Dosificación.-----	189
F.4.23 - Secado de la muestra de agregado -----	194
F.4.24 - Determinando el peso específico de una muestra de agregado.-----	196
F.4.25 - Preparación de Briquetas de Ensayo-----	197

F.4.26 - Probeta en el Aparato Marshall -----	201
F.4.27 - Ejecución de la prueba estabilidad y fluencia Marshall -----	203
F.4.28 - Gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall.-----	207
F.4.29 - Un ejemplo del estrecho rango de contenidos de asfalto aceptable-----	209
F.4.30 - Relación entre las Referencias de Densidad Medidas y los Vacíos de Aire. ---	217
F.4.31 - Control de Calidad del Diseño -----	219
F.4.32 - Tipos de compactadores empleadas en capas asfálticas. -----	239
F.4.33 - Extracción Cuantitativa del Asfalto. ASTM D 2172-----	240
F.4.34 - Análisis Granulométrico de la Mezcla ASTM D 5444. -----	240
F.4.35 - Control de la Temperatura. -----	241
F.4.36 - Verificación de la Densidad -----	242
F.4.37 - Ensayo Densímetro Nuclear. -----	242
F.4.38 - Colocación de la Mezcla Asfáltica. -----	246
F.4.39 - Muestreo de la Mezcla Asfáltica después de Colocación.-----	246

CAPITULO I:

ANTEPROYECTO.



1.1 INTRODUCCION

En las últimas décadas las carreteras han sido el principal eje, y la vía principal para la distribución de mercancías. Al conectar los pueblos y comunidades con las grandes ciudades y al fortalecer la integración de los países.

El acceso a servicios como la educación, la salud, el intercambio variado de bienes y servicios, la recreación entre otros, tiene una gran importancia en el bienestar de las personas. Es en este entorno donde radica la importancia de contar con una red de caminos adecuada, tanto en cantidad como en calidad, creándose la necesidad que la entidad encargada de administrar el sistema cuente con los mejores medios disponibles para realizar su labor.

En la actualidad la construcción de pavimentos de concreto asfálticos en El Salvador han sufrido deformaciones permanentes a pocos años de su colocación, por lo anterior es importante representar en el laboratorio lo que ocurrirá en el campo.

Es por eso que se presenta un trabajo de investigación distribuido en los capítulos siguientes:

Capitulo I: Anteproyecto

Descripción acerca de la problemática del deterioro prematuro de pavimentos de concreto asfáltico que se construyen en El Salvador.

Capitulo II: Marco teórico

- Agregados Pétreos, Es importante definir conceptos y mencionar todas las propiedades fundamentales y características propias deseables que debe tener un agregado pétreo al momento de ser utilizado para la fabricación de las mezclas asfálticas para pavimentos.
- Ligantes Asfálticos, Se presenta las Cualidades y propiedades de los ligantes, composición química y física que se presentan. Se mencionan también los ensayos básicos para la caracterización de los ligantes.



- Método de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente, Parámetros volumétricos, Características y Comportamiento de Mezclas Asfálticas.
- Usos y clasificación de las mezclas asfálticas, Empleo de las mezclas asfálticas en la construcción de pavimentos, su funcionalidad, propiedades (tanto como para capa de rodadura como para capa intermedia), clasificación, tipologías, se enmarcan las consideraciones principales a tener en cuenta para el proyecto.
- Ligantes Especiales, Caracterización de Ligantes Modificados y como influye el polímero en cuanto a la compactabilidad y estabilidad con el asfalto.

Capitulo III: Especificaciones ASTM

Guía ASTM de ensayos y/o especificaciones aplicadas a los componentes de la mezcla asfáltica para comprobar su calidad y verificación de cumplimientos de las especificaciones para agregados a ser utilizados en la producción de mezclas asfálticas en caliente.

Capitulo IV: Metodología para el Control de Calidad en la Construcción de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente.

Se presentara una guía que cuente con parámetros aceptables para los requerimientos de control de calidad en la producción en cuanto a los agregados, cemento asfáltico, mezcla asfáltica, compactación y colocación de concreto asfáltico que cumplan con especificaciones y/o normas ASTM.

Capitulo V: Conclusiones y Recomendaciones

En este capitulo se harán comentarios y conclusiones en base al análisis de la investigación de metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos y proponer soluciones para un mejoramiento en el entendimiento del control de calidad en la producción de mezcla asfáltica en caliente.



1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En El Salvador los pavimentos construidos de concreto asfáltico en caliente han sufrido deterioros prematuros a poco tiempo de su colocación, observándose en los pavimentos asfálticos agrietamientos y ahuellamientos, ocasionando así impedimentos para los desplazamientos rápidos y despejados, y en la generación de crecientes trastornos que afectan muy directamente el nivel de vida y la productividad de los agentes económicos (personas que realizan actividad económica como: familias, empresas, sector privado, consumo, producción, distribución entre otras).

Cuando las vías se encuentran con un nivel de deterioro elevado, hay, al menos, tres factores que se ven afectados:

- La comodidad y la seguridad del viaje se ven severamente deterioradas.
- Los costos de operación y los tiempos de viaje de los vehículos que utilizan la carretera aumentan sensiblemente.
- La inversión en las vías aumenta, pues los procesos de reposición que se requieren cuando los pavimentos han alcanzado un nivel de deterioro extremo, son mucho mayores que cuando el mantenimiento se realiza oportunamente.

Algunos aspectos que se ven involucrados en los deterioros de pavimentos de concreto asfáltico son: ambiental (lluvia, gradientes de temperatura), tráfico (cargas por eje, presión de inflado de los neumáticos, intensidad), materiales inadecuados, procesos de elaboración de las mezclas inapropiados, técnicas de construcción deficientes (transporte, extensión y compactación), fórmula de trabajo deficiente.

Cabe mencionar que en los proyectos de pavimentos de concreto asfáltico, los encargados de supervisar y verificar todo el proceso de calidad durante la producción y colocación de mezclas asfálticas tienen dificultades en como obtener una metodología de manera que cumpla con las Especificaciones Técnicas o Marcos Regulatorios.



En base a lo anterior, la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente debe ser muy exigente en cuanto al control de calidad que se debe aplicar desde el diseño, fabricación y construcción de ellos, para asegurar un buen funcionamiento del pavimento a lo largo de su vida útil; y no darle mantenimiento de ningún tipo en los primeros años iniciales.

Debido a lo antes expuesto se necesita contar con un documento que proporcione información sobre los parámetros y criterios precisos para el control en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en lo referente a la selección de los agregados, cemento asfáltico, método de diseño de la mezcla, colocación, compactación, temperatura, especificaciones y/o normativas, ensayos y equipos.

Por lo tanto consideramos necesario desarrollar una metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente.



1.3 JUSTIFICACION

Actualmente en El Salvador la mayoría de las carreteras que conforman la red vial pavimentada a nivel nacional (aproximadamente el 90%)¹, han sido construidas utilizando capas de rodadura a base de mezclas asfálticas en caliente; sin embargo en los últimos años se ha observado que dichas vías presentan un deterioro prematuro. En algunos casos los problemas se originan por la baja calidad de los materiales utilizados en las capas subyacentes y en otros, debido a la gran dificultad para definir satisfactoriamente las propiedades de las mezclas asfálticas, debido al empleo de un cementante que varia de un estado fluido viscoso, hasta otro de características sólidas y frágiles dependiendo de la temperatura a la que se encuentre.

La importancia del control de calidad durante la construcción de un pavimento es indiscutible. La durabilidad de la obra y, consecuentemente, la validez de los análisis económicos, se respaldan, en buena medida, en el hecho de que los materiales y los procesos constructivos cumplan ciertos requisitos técnicos debidamente valorados por la experiencia.

Un adecuado control implica, por supuesto, que los índices de calidad por alcanzar se encuentren claramente definidos en las especificaciones de construcción y que exista un sistema de inspección, muestreo y ensayo que permita evaluar objetivamente la realidad de la construcción y las tendencias y oscilaciones de los trabajos realizados.

La construcción de pavimentos asfálticos no es muy diferente de la construcción de cualquier obra civil, para las cuales siempre existen parámetros claros que se necesitan; como son las normas y reglamentos establecidos para asegurar un buen desempeño del mismo. En lo que a pavimentos respecta existen muchas instituciones que coordinan el diseño y construcción del pavimento como lo son: MOP, FOVIAL. Las cuales trabajan conforme a conocimientos teóricos dados por Estados Unidos.

¹ Viceministerio de Obras Publicas
Unidad de Investigación y Desarrollo Vial.



Con la investigación se presentara una metodología que mejore los procesos ya sean de construcción o de control de calidad, con características como: normas, leyes, reglamentos, ensayos y controles necesarios para garantizar el buen funcionamiento del pavimento a lo largo de toda su vida útil.

Es por ello que para la construcción de pavimentos de concreto asfálticos es necesario conocer las propiedades y métodos que existen para realizar su diseño, ciertos parámetros de este diseño depende de las condiciones naturales presentes en cada zona geográfica. Por lo tanto el desarrollo de una metodología práctica para la construcción de pavimentos de concreto asfáltico contribuirá considerablemente en el mejoramiento de las técnicas constructivas actualmente implementadas.

En vista de lo anterior, se necesita una metodología de control de calidad que realice un aporte técnico sobre la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente con el fin de analizar y controlar los procedimientos que están involucrados, así como de sus componentes.



1.4 OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

- ★ Establecer una metodología para el control de calidad en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente; basada en especificaciones y normas aplicadas en El Salvador.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ★ Determinar las características de los agregados pétreos y tipos de asfaltos que se distribuyen en nuestro país, así como la conveniencia de su uso.
- ★ Investigar sobre los ensayos de calidad de los agregados a ser utilizados en el proceso de producción de Mezclas Asfálticas en Caliente.
- ★ Describir el método de diseño de mezcla asfáltica en caliente usado en nuestro país y conocer sus diferentes características como base para un buen seguimiento durante la construcción del pavimento.
- ★ Proponer una estructura básica sobre el Control de Producción de Mezclas Asfálticas en Caliente, que pueda ser aplicado en la construcción de pavimentos flexibles, y que a su vez se encuentre bajo las Normativas de Calidad utilizadas en El Salvador.



1.5 ALCANCES

- ✦ Se especificara el proceso de selección de los agregados en cuanto a su clasificación, propiedades, calidad, empleo y producción.
- ✦ Presentar las Normas ASTM que regulan los métodos de ensayo, equipos, medidas, procedimiento y requerimientos mínimos para los agregados que serán usados en la elaboración de mezclas asfálticas en caliente.
- ✦ Se indicara el desarrollo de un diseño de mezcla asfáltica en caliente el cual cuente con los parámetros y criterios establecidos según la metodología empleada para el control de calidad en la construcción de pavimentos de concreto asfáltico en El Salvador
- ✦ Se brindara una guía para el seguimiento a un buen control de calidad durante la construcción de un pavimento con mezcla asfáltica en caliente.

1.6 LIMITACIONES

- No se harán ensayos experimentales de ningún tipo debido a los costos que estos generan son muy elevados, solo se estudiara la metodología de diseño de mezclas asfálticas.
- No se presentara las Normas ASTM sobre los ensayos de contenido de asfalto, Gravedad Teórica Máxima, Densidad Bulk y Estabilidad y Flujo
- Esta investigación se limitara al control a los agregados y al método de diseño de mezclas asfálticas en caliente que se requiere para garantizar la calidad en pavimentos de concreto asfáltico en El Salvador.



- No se incluirán procesos constructivos de pavimentos de concreto asfáltico de ninguna índole debido a la complejidad que se presenta en los proyectos al momento de obtener información.

- No se hará ningún Diagnósticos de deterioros en pavimento ya que depende de muchos factores y conocer la causa que lo ocasiona requiere de costos y criterios para determinar la condición del pavimento.

- Las normativas y/o especificaciones que rigen el diseño, fabricación y colocación del concreto asfáltico que se utilizan en El Salvador son:
 - Especificaciones y Normas de Asociación de carreteras Estatales y Oficiales para el transporte por sus siglas en ingles "AASHTO" (Ameritan Asociación Of. Statu Highway and Transport Official).
 - Especificaciones y Normas de Asociación Americana para ensayos y materiales por sus siglas en ingles "ASTM" (American Society for Testing and Materials).
 - Especificaciones Normalizadas para la construcción de Caminos y Puentes en Proyectos Federales de carretera por sus siglas en ingles "FP" (Standard Specifications for Construction of Roads and Bridges on Federal Highway Projects).
 - Manual Centroamericano de Especificaciones Para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales. Secretaria de Investigación Económica Centro América (SIECA).

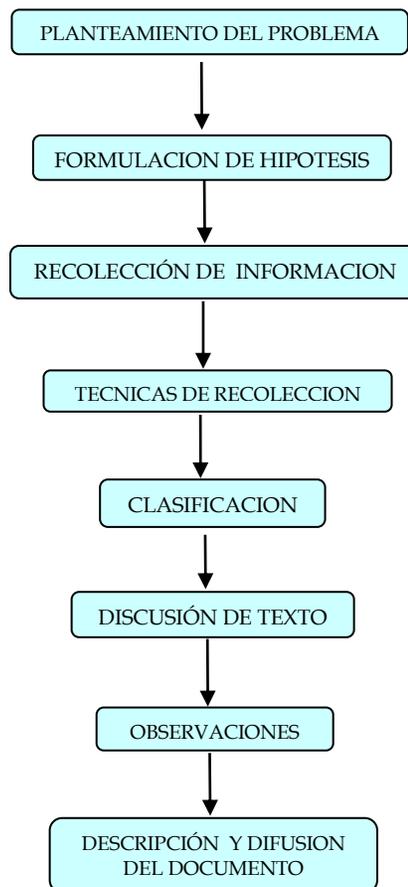


1.7 MÉTODO DE INVESTIGACION

Tipo de Investigación

El tipo de investigación que se utilizara para desarrollar el tema de estudio será la *Investigación Descriptiva*, ya que se describirá una metodología para el control de calidad en construcción de pavimentos de concreto asfáltico en caliente en El Salvador.

Esquema del Método Descriptivo.





Método Descriptivo Aplicado a la "Metodología Para el Control de Calidad en la Construcción de Pavimentos de Concreto Asfáltico en Caliente".

Ⓢ *Planteamiento Del Problema:*

El problema que se analizara será: Que Características Intervienen en el Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente.

Ⓢ *Formulación de Hipótesis:*

La hipótesis que se maneja en la investigación será: "Cuales son los factores influyen en el deterioro prematuro de pavimentos de concreto asfálticos en caliente construidos en El Salvador".

Ⓢ *Recolección De Información:*

En esta etapa, la investigación se basara en todo lo relacionado a mezclas asfálticas en caliente el cual proporcione información significativa aplicable a El Salvador para elaborar una metodología de de control de calidad de mezclas asfálticas en caliente.

En la recolección de Información comprenderá visitas a instituciones como el Ministerio de Obras Publicas, Transporte, Vivienda y Desarrollo Urbano (MOP), Fondo de Conservación Vial (FOVIAL), Universidades y Empresas Privadas para obtener información sobre el manejo del diseño de mezclas asfálticas para control de calidad en las construcciones de pavimentos asfálticos.

Ⓢ *Técnicas de Recolección de Información:*

Fuentes primarias:

- ☞ Libros, Tesis, Conferencias, Páginas Web, Revistas, Normas, Fotografías, Documentos, Trabajos Investigativos.

Fuentes Secundarias:

- ☞ Visitas de campo y laboratorios para el control de calidad de agregados y mezclas asfálticas.



- ☞ Entrevistas dirigidas a Ingenieros Civiles laborando en el área de construcción de pavimentos de concreto asfáltico.

Ⓢ *Clasificación De Información:*

En esta etapa se clasificara la información por categorías en forma precisa, perfectamente definidas y diferenciadas del resto, de manera que se adecuen al propósito del estudio y permitan poner de manifiesto relaciones significativas.

Ⓢ *Análisis y Discusión De Información:*

Con toda la información recopilada se hará un análisis exhaustivo en el marco del paradigma cualitativo que de un aporte al desarrollo del tema de investigación, de modo que se hará un estudio sistemático, objetivo, cuestionable y valido en lo que se refiere al control de calidad en construcciones de pavimentos asfálticos.

Ⓢ *Realización De Observaciones:*

Con las experiencias de ingenieros, técnicos, y encargados del control de calidad en proyectos de construcción de pavimentos asfálticos se hará una propuesta de una metodología con los conocimientos aprendidos en las visitas de campo el cual refleje un mejor entendimiento sobre el control de calidad de los pavimentos asfálticos en caliente que se construyen en nuestro país.

Ⓢ *Descripción y Difusión De La Información Obtenida:*

Terminada la investigación se procede a dar a conocer la metodología propuesta y sus respectivas conclusiones y recomendaciones que se han aprendido a lo largo de la investigación.

CAPITULO II:

MARCO TEORICO.



2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Historia del Pavimento Asfáltico.

La construcción del primer pavimento, tipo Sheet Asphalt, ocurre en 1876 en Washington D.C., con asfalto natural importado. En 1900 aparece la primera mezcla asfáltica en caliente, utilizada en la rue du Louvre y en la Avenue Victoria en París, la cual fue confeccionada con asfalto natural de la Isla de Trinidad.

A partir del año 1902, se inicia el empleo de asfaltos destilados de petróleo en los Estados Unidos, que por sus características de pureza y economía en relación a los asfaltos naturales, constituye en la actualidad la principal fuente de abastecimiento.

La aparición y desarrollo de la circulación automovilística en las carreteras de aquel entonces - de macadam a base de agua - provocaban grandes nubarrones de polvo, ello dio origen a los tratamientos superficiales a base de emulsiones en el año 1903, con objeto de enfrentar dicho inconveniente. En 1909 en Versalles, sobre el pavimento de una carretera con un tráfico diario de 5000 vehículos, se construyó una capa de aglomerado bituminoso de 5 cm. de espesor. Así pues, en los albores del siglo XX, ya existían los principales componentes de la técnica de revestimientos bituminosos. Su desarrollo y perfeccionamiento, es tarea que incumbe a los profesionales del asfalto del siglo XXI.

2.1.2 El Asfalto en la Construcción

Aunque en una mezcla asfáltica, el asfalto sea minoritario en proporción, sus propiedades pueden influir de manera significativa en su comportamiento. El tipo de mezcla será el que, en gran medida, determine la contribución hecha por el ligante sobre todo el conjunto. Generalmente, las propiedades de las mezclas con granulometría continua dependen del asentamiento o unión de los agregados, mientras que las preparadas con altos contenidos de mortero asfáltico dependen más de la rigidez de la proporción de ligante, polvo mineral y arena.



A altas temperaturas de servicio, puede que el ligante llegue a reblandecerse, facilitando la deformación de la mezcla (ahuellamiento). El riesgo de aparición de estas deformaciones es aún mayor en pavimentos sometidos a la circulación de vehículos pesados. De manera generalizada y sin tener en cuenta otros factores que pueden influir, se puede disminuir la probabilidad de aparición de estas deformaciones aumentando la rigidez del ligante mediante el empleo de un asfalto más duro.

Por otro lado a temperaturas de servicios bajas, el ligante se vuelve relativamente rígido y va perdiendo poder de resistencia a las tensiones, volviéndose frágil y siendo susceptible de fisuraciones. El grado de susceptibilidad a la fisuración está relacionado con la dureza del asfalto y su capacidad para absorber las sollicitaciones inducidas por el tráfico.

2.1.3 *Modificación del Asfalto*

La modificación de asfalto es una nueva técnica utilizada para el aprovechamiento efectivo de asfaltos en la pavimentación de vías. Esta técnica consiste en la adición de polímeros a los asfaltos convencionales con el fin de mejorar sus características mecánicas, es decir, su resistencia a las deformaciones por factores climatológicos y del tránsito (peso vehicular).

Los objetivos que se persiguen con la modificación de los asfaltos con polímeros, es contar con ligantes más viscosos a temperaturas elevadas para reducir las deformaciones permanentes (ahuellamiento), de las mezclas que componen las capas de rodamiento, aumentando la rigidez. Por otro lado disminuir el fisuramiento por efecto térmico a bajas temperaturas y por fatiga, aumentando su elasticidad. Finalmente contar con un ligante de mejores características adhesivas.



2.2 AGREGADOS PÉTREOS.

Los pavimentos asfálticos están compuestos de dos materiales: asfalto y agregado (piedra). Hay muchos tipos de asfalto y de agregado. En consecuencia, es posible construir diferentes tipos de pavimentos asfálticos.

El agregado es también conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentos, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de arena. El agregado constituye el 95 por ciento, en peso, y el 85 por ciento, en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento. El comportamiento de un pavimento se ve altamente influenciado por la selección apropiada del agregado, debido a que el agregado mismo proporciona la mayoría de las características de capacidad portante.

El agregado es el componente estructural de una Mezcla Asfáltica en Caliente (MAC), por lo tanto deben ser:

- Limpio, libre de grumos, arcilla, material orgánico y deletérea.
- Con alta dureza y abrasividad
- Únicamente material triturado
- Con múltiples caras fracturadas en todos los diferentes tamaños, incluyendo los finos.
- Un peso específico constante.
- Una granulometría controlada.
- Cúbico.

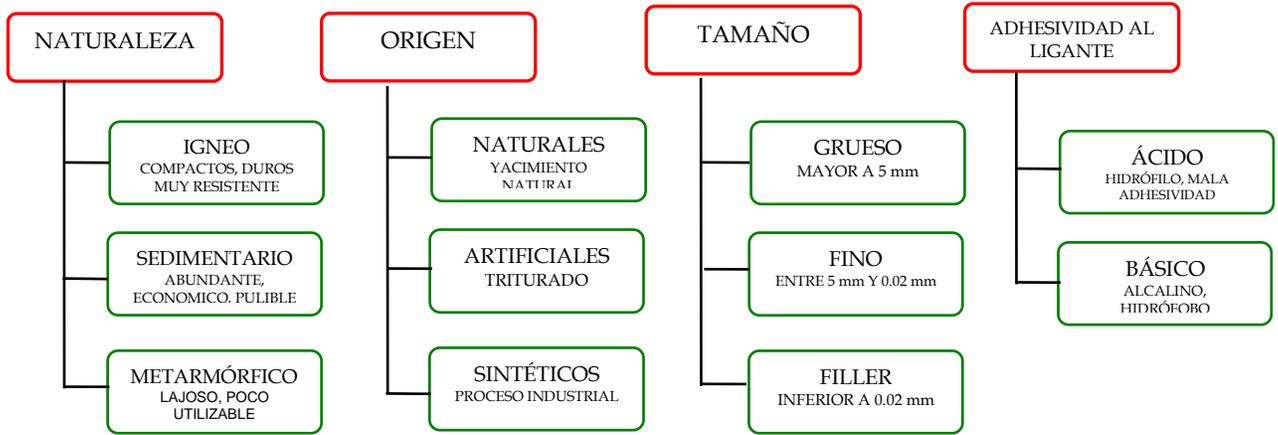
2.2.1 Definición de agregados pétreos.

² Son materiales granulares sólidos inertes que se emplean en los pavimentos de las carreteras con o sin adición de elementos activos y con granulometrías adecuadas; se utilizan para la fabricación de productos artificiales resistentes, mediante su mezcla con materiales aglomerantes de activación hidráulica (cementos, cales, etc.) o con ligantes asfálticos.

² Smith M. R. and L. Collins, 1994



F.2.1 - Tipos de Agregado y su Clasificación.



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

2.2.1.1 Naturaleza petrológica de los agregados pétreos.

Desde un punto de vista práctico, los agregados se pueden clasificar en tres grandes grupos: agregados sedimentarios (calizos y silíceos) y agregados ígneos y metamórficos.

T.2.1 - Clasificación de Agregados.

CLASE	GRUPO	PROPIEDADES	EJEMPLOS	
IGNEAS	BASICAS	BASALTO	* ROCAS MÁFICO (OSCURAS) * ALTA RESISTENCIA MECANICA * BAJO DESGASTE AL PULIDO * BUENA ADHESIVIDAD	BASALTO, ANDESITA, DIABASA, OFITA, LAMPROFIDO Y TRANQUITA
		GABROS	* BUEN COMPORTAMIENTO MECANICO EN CARRETERAS * DURABLES Y RESISTENTES	GABRO, DIORITA, GNEIS, BASICO, PERIDOTITA Y SIENITA
	ACIDAS	GRANITOS	* ROCA ABRASIVA, POCO PULIBLE * EXCASA ADHESIVIDAD A LOS LIGAMENTOS * PRESENTAN CIERTA ADHESIVIDAD	GRANITO, CUARZODIORITA, GNEIS, APLITA, GRANODIORITA, PEGMATITA
		PORFIDOS	* BAJO DESGASTE AL PULIMIENTO * PROBLEMAS DE ADHESIVIDAD	PORFIDOS, DACITAY RIOLITA
SEDIMENTARIAS	BASICA	CALIZAS	* SUSCEPTIBLES AL PULIDO * BUENA ADHESIVIDAD	CALIZA, DOLOMITA Y MARMOLES



			* FACIL EXTRACCION Y TRATAMIENTO	
		ARENISCAS	* MUY RESISTENTE AL PULIMIENTO * PRESENTA ELEVADO DESGASTE * BUENA ADHERENCIA AL LIGANTE	ARENISCA, ARCOSA, MOLASA, GRAUVACA, TOBAS Y CONGLOMERADOS
	ACIDAS	PEDERNAL	* DURAS Y QUEBRADIZAS * BUENA RESISTENCIA AL DESGASTE * LAJOSA Y CORTANTE * SUCEPTIBLE AL PULIMIENTO	PEDERNAL, SILEX, CORNUBLANITA, E ITANITA
		CUARCITAS	* MUY DURAS Y RESISTENTES * DIFICIL EXTRACCION Y TRITURACION * EXCASA ADHESIVIDAD	CUARZITA, CUARZOARENITA Y CUARZO
METAM		ESQUISTOS	* LAJOSAS Y ALTERADAS * ELEVADO PESO ESPECIFICO * VALIDO SI NO CONTIENE MICA	ESQUISTOS, FILITAS Y PIZARRAS.
INDUST		MATERIALES ARTIFICIALES	* TRATADOS INDUSTRIALMENTE * CONTIENEN CARACTERISTICAS ESPECIFICAS * COMPLEMENTARIAS AL ARIDO NATURAL * POTENCIAN CIERTAS PROPIEDADES	ESCORIAS DE ALTO HORNO, CONCRETO RECICLADO Y CENIZAS VOLANTES.

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

2.2.1.1.1 Agregados Ígneos y Metamórficos.

Son materiales que por sus características resultan muy adecuados para utilizarlos como agregado grueso en las capas de rodadura. Pueden incluirse en este grupo los basaltos, gabros, pórfidos, granitos, cuarcitas, etc. Sus cualidades para resistir al pulimento los hacen idóneos para garantizar la textura superficial necesaria en un período de tiempo, incluso con tráficos muy intensos. En este grupo tan amplio, los agregados de naturaleza más ácida pueden presentar una deficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, pero en la mayoría de los casos el problema se puede resolver con activantes que son sustancias que tienen la misión específica de mejorar la adhesividad con los ligantes, o también el problema se resuelve empleando emulsiones adecuadas y en el caso de mezclas asfálticas, con el empleo de finos de naturaleza básica y un polvo mineral adecuado.

2.2.1.1.2. Sedimentario



Las rocas sedimentarias se forman por la acumulación de sedimentos (partículas finas) en el agua, o a medida que el agua se deposita. El sedimento puede consistir de partículas minerales o fragmentos (como es el caso de las areniscas y la arcilla esquistosa), de residuos de productos animales (algunas calizas), de plantas (carbón), de los productos finales de una acción química o una evaporación (sal yeso), o de la combinación de cualquiera de estos tipos de materiales.

Dos términos que usualmente se aplican a rocas sedimentarias son silíceos y calcáreos, que son llamadas también calizas por su alto porcentaje de carbonato de calcio.

Agregados Calizos.	Agregados Silíceos.
<p>La roca caliza es muy común, abundante y económica en los procesos de trituración, se emplea generalmente en todas las capas de los pavimentos, exceptuándose en algunas ocasiones como agregado grueso en las capas de rodadura, debido a la facilidad que tiene de pulimentarse en condiciones de servicio, su carácter es básico, presenta por lo regular menores problemas de adhesividad, es decir, de afinidad con los ligantes asfálticos. En mezclas asfálticas se utiliza para mejorar esta característica cuando se emplean además otro tipo de agregados, más duros pero también más ácidos (silíceos, pórfidos, entre otros).</p>	<p>Los agregados silíceos procedentes de trituración de gravas naturales es otro material de amplia utilización en todas las capas de los pavimentos. Se extraen de yacimientos granulares, en los que las partículas de mayor tamaño se separan por cribado y a partir de ellas por machaqueos sucesivos, se obtienen fracciones de menor tamaño, con una angulosidad tanto mayor cuantas más caras de fractura presenten. Pueden no aportar una suficiente adhesividad con los ligantes asfálticos, sin embargo, si el material obtenido tiene un elevado contenido de sílice y de caras de fractura, sus características mecánicas y su rozamiento interno proporcionan un esqueleto mineral bueno para utilizarlo incluso en mezclas asfálticas sometidas a la acción directa del tráfico.</p>

2.2.1.2 Tipos de agregados pétreos según su Origen.

El tipo de agregado pétreo se puede determinar, de acuerdo a la procedencia y a la técnica empleada para su aprovechamiento, se pueden clasificar en los siguientes tipos:



a) Agregados Naturales.

Son aquellos que se utilizan solamente después de una modificación de su distribución de tamaño para adaptarse a las exigencias según su disposición final.

b) Agregados Artificiales.

Son aquellos que se obtienen de la trituración de diferentes rocas de cantera ó de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales. Se incluyen todos los materiales canterables cuyas propiedades físicas sean adecuadas.

c) Agregados Sintéticos.

Son los subproductos de procesos industriales, como ciertas escorias o materiales procedentes de demoliciones, utilizables y reciclables.

2.2.1.3 Clasificación del agregado pétreo de acuerdo a su tamaño.

2.2.1.3.1 Agregado grueso.

- Definición de agregado grueso.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS³, se define como agregado grueso, a la parte del agregado pétreo total que queda retenido en el tamiz # 4.

Características y propiedades deseables de los agregados gruesos para su utilización en las mezclas asfálticas.

- Granulometría.

La granulometría es la característica física principal y fundamental de todo conjunto de partículas porque influye de forma muy importante en la resistencia mecánica del conjunto (esqueleto mineral). Normalmente se utilizan granulometrías sensiblemente continuas, a fin de conseguir la máxima compacidad del conjunto, aunque también se emplean granulometrías discontinuas en el caso de algunas mezclas asfálticas.

³ Es basada en las propiedades de plasticidad y en la distribución del tamaño de grano, según esta última, el sistema divide en Suelos de Grano Grueso, Fino y Filler. Arthur Casagrande en 1942,



F.2.2 - Sistematización de Agregados Grueso.



GRAVA # 3
PRODUCTO DE LA TRITURACION
DIMENSIONES:
PASANTE: 76.8 mm
RETENIDO: 51.2 mm

GRAVA # 2
PRODUCTO DE LA TRITURACION
DIMENSIONES:
PASANTE: 51.2 mm
RETENIDO: 25.6 mm

GRAVA # 1
PRODUCTO DE LA TRITURACION
DIMENSIONES:
PASANTE: 25.6 mm
RETENIDO: 19.2 mm

GRAVA # $\frac{3}{4}$
PRODUCTO DE LA TRITURACION
DIMENSIONES:
PASANTE: 19.2 mm
RETENIDO: 12.80 mm

GRAVA # $\frac{1}{2}$
PRODUCTO DE LA TRITURACION
DIMENSIONES:
PASANTE: 12.80 mm
RETENIDO: 9.60 mm

GRAVA # $\frac{3}{8}$
PRODUCTO DE LA TRITURACION
DIMENSIONES:
PASANTE: 9.60 mm
RETENIDO: 4.75 mm

Esqueleto Mineral.

GRAVAS DESDE:
PASANTE 4" (100mm)
HASTA:
RETENIDO EN LA MALLA # 4 (4.75 mm)

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.



Para encajar una granulometría dentro de algún uso normalizado se parte de fracciones uniformes que se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado; el procedimiento es análogo al que se emplea para suelos.

El tamaño máximo de los agregados viene normalmente limitado por consideraciones relativas al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte la influencia de las partículas finas obliga normalmente a limitar su porcentaje y su plasticidad.

En las mezclas asfálticas tiene una especial importancia la fracción de tamaño inferior a $63\mu\text{m}$, llamada, polvo mineral o filler, pues algunas características relevantes de la mezcla dependen del mástico formado por la unión del polvo mineral y del ligante asfáltico.

- Rozamiento interno.

La resistencia a la deformación o capacidad de soporte de una capa de pavimento depende esencialmente del rozamiento interno del esqueleto mineral y, en su caso, de la cohesión que proporciona el eventual ligante o conglomerante. El rozamiento interno aumenta con partículas angulosas y de textura superficial áspera como por ejemplo los agregados triturados. También influye de forma importante la granulometría del agregado y el porcentaje de huecos del material compactado. A mayores densidades corresponden generalmente mayores resistencias mecánicas, por lo que la compactación es un factor de primer orden.

- Angulosidad del agregado grueso.

La angulosidad del agregado grueso beneficia al esqueleto mineral debido al rozamiento interno que se genera entre las partículas, esto contribuye a que las partículas gruesas permanezcan en su lugar cuando el pavimento entre en funcionamiento y no se produzcan desplazamientos. El empleo de agregados triturados trae consigo el aumento de la angulosidad de las partículas. La mayoría de las normativas establecen un mínimo de angulosidad del agregado grueso, dependiendo de las condiciones de tráfico al que va a estar expuesto el pavimento.



- Forma del agregado grueso.

Las exigencias de forma para el agregado grueso varían ligeramente, con un mismo tráfico, para las mezclas asfálticas. Lo ideal es que las partículas presenten formas cuboides, evitando o restringiendo las formas planas, alargadas y en forma de lascas, ya que debido a este tipo de forma es muy susceptible a quebrarse bajo condiciones de carga de tráfico, lo que modifica las granulometrías y las propiedades iniciales de las mezclas.

- Resistencia a la fragmentación de los agregados gruesos.

Los agregados pétreos deben de cumplir con un cierto mínimo de resistencia a la fragmentación o al desgaste, lo que da una orientación del comportamiento que tendrá dicho agregado dentro de la mezcla asfáltica al entrar en servicio el pavimento.

- Limpieza del agregado grueso.

El agregado grueso deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga u otras materias extrañas que puedan afectar a la durabilidad de la capa. Aunque se podrá exigir su limpieza por lavado, aspiración u otros, y realizando una nueva comprobación.

- Adhesividad del agregado grueso.

El agregado grueso tiene un comportamiento específico respecto a la adhesividad y a la resistencia al desplazamiento. Se pondera la comprobación de la adhesividad agregado – ligante mediante una evaluación global de resistencia conservada en los ensayos de inmersión – compresión. Estos criterios se refieren obviamente a las propiedades de las mezclas terminadas más que a la caracterización inicial de los materiales simples: agregados y ligantes.

En cualquier circunstancia se comprobará la adhesividad agregado–ligante mediante la caracterización de la acción del agua. Se enmarcan unos parámetros mínimos en los valores de inmersión – compresión según el tipo de mezcla asfáltica a utilizar.



2.2.1.3.2 Agregado Fino.

- Definición de agregado fino.

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como agregado fino, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz # 4 y queda retenido en el tamiz # 200.

F.2.3 - Sistematización de Agregados Fino.

	<p>GRAVA # 0 PRODUCTO DE LA TRITURACION DIMENSIONES: PASANTE: ¼" (6.35mm) A FONDO</p>
	<p>ARENA TRITURADA PRODUCTO DE LA TRITURACION DIMENSIONES: PASANTE: ¼" (6.35mm) A FONDO</p>
	<p>CHISPA LAVADA PRODUCTO DE LA TRITURACION DIMENSIONES: PASANTE: ¼" 6.35mm RETENIDO: ⅛" 3.18mm</p>
	<p>ARENA LAVADA PRODUCTO DE LA TRITURACION DIMENSIONES: PASANTE: ¼" RETENIDO: # 100</p>

NOTA: Estos rellenan todos los vacíos entre las gravas haciendo la Mezcla Densa y Compacta

Esqueleto Mineral.

ARENAS DESDE:
PASANTE # 4 (4.75mm)
HASTA: FONDO

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.



Características y propiedades deseables de los Agregados Finos para su utilización en las mezclas asfálticas.

- Procedencia del agregado fino.

El agregado fino deberá proceder de la trituración de piedra de cantera o grava natural en su totalidad, o en parte de yacimientos naturales. Existen limitaciones en la proporción de agregado fino no triturado a emplear en las mezclas.

Regularmente se emplea arena natural en la elaboración de mezclas asfálticas que van a ser empleadas en pavimentos con una baja intensidad de tráfico y a bajos niveles de cargas, se deberá señalar la proporción máxima de arena natural no triturada, a emplear en la mezcla, la cual regularmente no será superior al 10% de la masa total del agregado combinado y sin que supere el porcentaje de agregado fino triturado empleado en la mezcla, la limitación de la cantidad de arena rodada o no triturada que puede incorporarse a la mezcla, se hace por temor a una disminución de la rigidez final de ésta.

- Limpieza del agregado fino.

El agregado fino deberá estar exento de terrones de arcilla, materia vegetal, marga y otras materias extrañas, para evitar que se presenten comportamientos extraños del material dentro de la mezcla, tales como reacciones químicas, pérdida de estabilidad de la mezcla, abundamientos, entre otros.

- Resistencia a la fragmentación del agregado fino.

El material que se triture para obtener agregado fino deberá cumplir las condiciones exigidas al agregado grueso sobre el coeficiente de desgaste de Los Ángeles.

- Adhesividad del agregado fino.

Respecto a los fenómenos de adhesividad agregado fino – ligante, hay que tener en cuenta que las acciones químicas o químico – físicas en las partículas de menor tamaño son más complejas. Su mayor superficie específica, facilidad para acumular humedad y



gran heterogeneidad de su naturaleza determinan una mayor sensibilidad a toda clase de transformaciones químicas, fenómenos polares y de adhesividad, absorción, etc.

2.2.1.3.3 Polvo mineral (Fíller).

- Definición de polvo mineral (filler).

Según el Sistema de Clasificación de Suelos SUCS, se define como polvo mineral, a la parte del agregado pétreo total que pasa el tamiz #200.

El fíller o polvo mineral de aportación es un producto comercial de naturaleza pulverulenta (cemento normalmente o cenizas volantes de central térmica) o un polvo en general calizo, especialmente preparado para utilizarlo en mástico para mezclas asfálticas. Cuando se trata de un producto comercial, se garantiza perfectamente su control y se conocen sus propiedades tanto físicas como químicas y su futuro comportamiento en la mezcla.

Características deseables o de mayor interés acerca del polvo mineral (fíller).

Las características que más suelen interesar de un polvo mineral son:

- Finura.

Al ocupar parcialmente los espacios libres dejados por la estructura granular compactada y conformada por las partículas mayores, reduce el volumen de vacíos de la mezcla evitando un aumento pronunciado de la cantidad de ligante asfáltico.

El polvo mineral consigue cumplir con su función rellenadora, dependiendo del volumen de vacíos existente una vez que se haya compactado la estructura granular y en función de la granulometría y de las partículas de mayor tamaño.

- Modificación del comportamiento reológico.

El empleo del polvo mineral, incrementa la magnitud de la resistencia a la deformación de la mezcla, sin modificar la naturaleza viscosa del ligante, originando como consecuencia un aumento de la resistencia al corte de las mezclas asfálticas.



- Acción estabilizante frente al agua.

Se incrementa la durabilidad de las mezclas asfálticas frente a la acción del agua debido a que se reduce parcialmente la porosidad de la estructura granular evitando el acceso del agua al interior, y por otro lado debido a que algunos polvos minerales presentan una mayor afinidad con el ligante asfáltico, mejoran la resistencia a la acción de desplazamiento que ejerce el agua sobre el ligante asfáltico.

Las características de finura y comportamiento reológico se hayan vinculadas el tamaño y forma de las partículas. La acción estabilizante frente al agua depende además del tamaño y forma de las partículas, de la composición química de los rellenos minerales. Las funciones del polvo mineral no pueden apartarse del contenido y consistencia del ligante asfáltico en la mezcla.

- Procedencia del polvo mineral

El polvo mineral podrá proceder de los agregados, separándose de ellos por medio de los ciclones de la central de fabricación, o aportarse a la mezcla por separado de aquéllos como un producto comercial o especialmente preparado.

Las proporciones del polvo mineral de aportación a emplear en la mezcla deben cumplir lo que fijen las normas, debido a que es un material que se debe de utilizar en proporciones adecuadas en cada tipo de mezcla y condiciones, para obtener un resultado óptimo.

Propiedades del polvo mineral como componente de las mezclas asfálticas.

En la interfase filler-asfalto y en el comportamiento de la mezcla asfáltica, tienen que ver las propiedades físicas y químicas tanto como las características geométricas, propiedades de superficie, adsorción, adhesión, etc.

La irregularidad geométrica (forma, angulosidad y textura de superficie), es uno de los aspectos más importantes en el papel del filler dentro de la mezcla. La irregularidad geométrica afecta directamente el contenido óptimo de asfalto en la mezcla, a las características de interfase del mástico y a su comportamiento reológico. Todos estos



aspectos influyen directamente en el comportamiento estructural y mecánico de las mezclas.

Existen fílleres activos como cal hidratada y dolomíticos que suelen mantener su resistencia en periodos de tiempo largos de tiempo en condiciones de contenido óptimo de asfalto, mientras que los fílleres no activos como basaltos y areniscas suelen deteriorarse rápidamente, también bajo condiciones de contenido óptimo de asfalto.

El contenido de asfalto tiene sus repercusiones en la durabilidad de una mezcla, puesto que un incremento en el contenido de asfalto tiene un efecto favorable significativo en la durabilidad de los pavimentos, este efecto se debe principalmente, a que las capas de asfalto que recubren los agregados son más gruesas y a la reducción en el volumen de huecos, que hace disminuir la penetración del agua a las capas. La mejora en la durabilidad con el incremento de contenido de asfalto no es uniforme debido a que depende del tipo de fíller involucrado en la mezcla.

Las propiedades de los fílleres tienen un efecto muy importante en la durabilidad potencial de las mezclas asfálticas, el efecto del fíller suele manifestarse, si es activo suele mantener resistencia por más tiempo que si no es activo.

La durabilidad potencial de la mezcla asfáltica suele mejorar con un incremento en el contenido de asfalto por encima del óptimo básico, es decir las condiciones óptimas de durabilidad se obtienen para contenidos de asfalto superiores al óptimo convencional, en este caso las muestras con fílleres no activos resultan ser más sensibles al contenido de asfalto que en aquellas que contienen fílleres activos.

2.2.1.4 *Adhesividad al Ligante.*

La adhesividad de los agregados pétreos con los ligantes asfálticos es de gran importancia, debido a que se pueden presentar fenómenos fisicoquímicos en la superficie de los agregados empleados en las capas de pavimento. En estos fenómenos complejos intervienen tanto factores físicos como la textura del agregado, la porosidad del mismo, viscosidad y tensión superficial del ligante, espesor de la película de ligante, etc. Y a su vez factores químicos relativos al ligante y al agregado. Si los agregados están absolutamente secos, se dejan mojar fácilmente por los ligantes asfálticos; sin



embargo la situación es muy diferente con algo de humedad que siempre puede existir, ya que la superficie del agregado se polariza con un signo u otro dependiendo de su naturaleza. Atendiendo a ese criterio los agregados se clasifican en ácidos y básicos.

- Agregados Ácidos: Alto contenido en sílice y determina una gran afinidad del agregado por el agua (hidrofilia) y una polaridad negativa.
- Agregados Básicos: Son menos hidrofílicos que los silíceos y se cargan positivamente en presencia de agua.

2.2.2 Propiedades granulométricas de los agregados pétreos.

Las propiedades de los agregados se pueden conceputar bajo dos puntos de vista: uno como elementos aislados, o individuales, y otro como conjunto.

2.2.2.1 Propiedades individuales.

Los agregados como elementos aislados tienen propiedades físicas macroscópicas: dimensión, forma, redondez, densidad, propiedades de superficie, porosidad, permeabilidad, dureza superficial, módulo elástico, conductividad térmica, dilatación, etc. Asimismo presentan unas propiedades químicas macroscópicas: solubilidad, alterabilidad, hinchamiento, etc.

2.2.2.2 Propiedades de conjunto.

Las propiedades de conjunto de los agregados pétreos son sus características como un todo. La distribución de la redondez o desgaste de los agregados es una propiedad de gran interés, por cuanto va influir sobre el rozamiento entre los elementos del agregado.

2.2.3 Calidad de agregados para Mezclas Asfálticas en Caliente

2.2.3.1 Mineralogía

Los agregados usados en construcción de carreteras se obtienen de rocas naturales locales. Las rocas naturales como se menciona anteriormente se clasifican geológicamente en tres grupos: ígneas, sedimentarias y metamórficas. Otro tipo de



agregados, algunas veces usados en mezclas asfálticas en caliente, son los agregados livianos, producto de arcillas calentadas a temperaturas muy altas y escorias de altos hornos. Estos dos agregados proporcionan buena resistencia al patinaje cuando se utilizan en mezclas asfálticas en caliente.

En la siguiente tabla se resumen propiedades deseables de rocas para agregados utilizados en Mezclas Asfálticas en Caliente.

T.2.2 - Propiedades deseables de Rocas

Tipo de Roca	Dureza/ Tenacidad	Resistencia al Desprendimiento*	Textura Superficial	Forma Fracturada
Ígnea:				
Granito	Regular	Regular	Regular	Regular
Sienita	Bueno	Regular	Regular	Regular
Diorita	Bueno	Regular	Regular	Bueno
Basalto	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Diabasa	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Gabro	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
Sedimentaria:				
Caliza, dolomia	Pobre	Bueno	Bueno	Regular
Arenisca	Regular	Bueno	Bueno	Bueno
Chert	Bueno	Regular	Pobre	Bueno
Lutita	Pobre	Pobre	Regular	Regular
Metamórfica:				
Gneis	Regular	Regular	Bueno	Bueno
Esquistos	Regular	Regular	Bueno	Regular
Pizarra	Bueno	Regular	Regular	Regular
Cuarcita	Bueno	Regular	Bueno	Bueno
Mármol	Pobre	Bueno	Regular	Regular
Serpentina**	Bueno	Regular	Regular	Regular

*Agregados hidrofílicos tienden a separar más fácilmente las películas de asfalto.

**Es un mineral que se forma por alteración de las rocas ultra-básicas.

Fuente: Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction. National Center for Asphalt Technology 1996

2.2.3.2 Evaluación del Agregado.

En un pavimento densamente graduado de mezcla asfáltica en caliente, el agregado conforma el 95 por ciento, en peso, de la mezcla de pavimentación. Esto hace que la calidad del agregado usado sea un factor crítico en el comportamiento del pavimento. Sin embargo, además de la calidad, se aplican otros criterios que forman parte de la selección de un agregado en una obra de pavimentación. Estos criterios incluyen el



costo y la disponibilidad del agregado. Aún más, un agregado que cumple con los requisitos de costo y disponibilidad deberá poseer también ciertas propiedades para ser considerado apropiado para pavimento asfáltico de buena calidad.

La idoneidad de agregados para uso en construcción de asfalto es determinada al evaluar el material con base en las siguientes propiedades:

1. Graduación y Tamaño Máximo de Partícula

Todas las especificaciones de pavimento asfáltico de mezcla en caliente requieren que las partículas de agregado estén dentro de un cierto margen de tamaños y que cada tamaño de partículas esté presente en ciertas proporciones. Esta distribución de varios tamaños de partículas dentro del agregado es comúnmente llamada graduación del agregado o graduación de la mezcla. Es necesario entender como se mide el tamaño de partículas y la graduación para determinar si la graduación del agregado cumple o no con las especificaciones.

El tamaño máximo y gradación del agregado son controlados por especificaciones que prescriben la distribución del tamaño de las partículas a usarse para una mezcla particular. El tamaño máximo de un agregado designa el más pequeño tamiz a través del cual 100% del material pasará. La gradación es determinada por un análisis de tamiz y puede ser trazada para indicar gráficamente el tamaño y porcentaje usado en la mezcla.

• *Tamaño Máximo de Partícula*

El tamaño de las partículas más grandes en la muestra debe ser determinado, debido a que las especificaciones hablan de un tamaño máximo de partículas para cada agregado usado. Existen dos formas de designar tamaños máximos de partículas:

1. Tamaño máximo nominal de partícula, designado como un tamiz más grande que el primer tamiz que retiene más del 10% de las partículas de agregado, en una serie normal de tamices.
2. Tamaño máximo de partícula, designado con un tamiz más grande que el tamaño máximo nominal de partícula. Típicamente, este es el tamiz más pequeño por el cual pasa el 100% de las partículas de agregado.

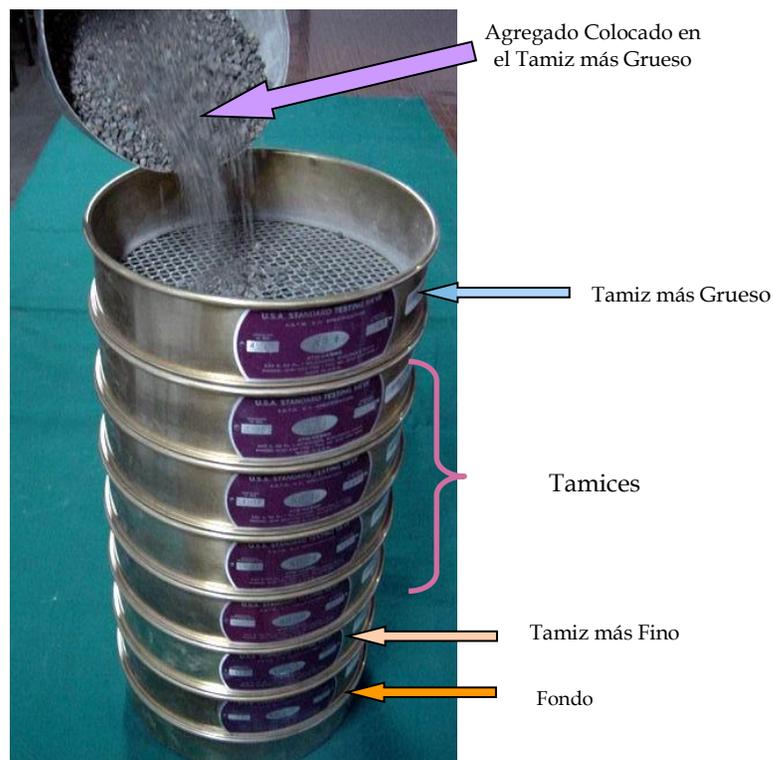


- *Granulometría del Agregado*

La granulometría de las partículas es determinada por un análisis de tamices (o granulometría) efectuado sobre las muestras de agregado. El análisis de tamices consiste en pasar la muestra por una serie de tamices, cada uno de los cuales tienen aberturas de un tamaño específico (Figura 2.4). Los tamices están denominados de acuerdo al tamaño de sus aberturas. Las partículas gruesas quedan atrapadas en los tamices superiores; las partículas de tamaño medio pasan a través de los tamices medianos; y las partículas más finas pasan por medio de los tamices inferiores.

La granulometría del agregado, o graduación de la mezcla, tiene en cuenta el porcentaje (en peso) total de muestra que pasa por cada uno de los tamices. La granulometría es determinada al calcular el peso del contenido de cada tamiz, después de haber efectuado el análisis de los tamices. Luego se resta el peso del contenido de cada tamiz del peso total de la muestra.

F.2.4 - Análisis de Tamices



Fuente: Características Físicas y Propiedades Mecánicas de los Suelos.



El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y también son producidos, como subproducto, en la trituración de muchos tipos de roca. Ellos son esenciales para la producción de una mezcla densa, cohesiva, durable y resistente a la penetración del agua. Sin embargo, un pequeño porcentaje de más, o menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla aparezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación aparecerá como si tuviera muy poco asfalto o demasiado asfalto). Dichos cambios en la mezcla pueden ocurrir con pequeños cambios en la cantidad o en el tipo de relleno o polvo mineral utilizado. Por consiguiente, el tipo y la cantidad de relleno y polvo mineral usados en cualquier mezcla asfáltica de pavimentación deberán ser cuidadosamente controlados.

Los dos métodos usados para determinar la graduación de agregados son: tamizado en seco y tamizado por lavado. El tamizado en seco se usa generalmente con material agregado de graduación gruesa. Sin embargo, cuando las partículas de agregado están cubiertas de polvo o material limo-arcilloso, se debe efectuar un tamizado por lavado.

2. Limpieza

Algunos agregados contienen o son revestidos con materiales extraños o material que lo hacen indeseable para mezclas de asfalto de pavimentación. Antes de tamizar, el agregado es lavado para asegurar limpieza.

3. Fragilidad

Los agregados son sujetos a una trituración adicional y desgaste abrasivo durante la fabricación, colocación y compactación del asfalto de pavimentación.

Están sujetos a la abrasión bajo tráfico. Los agregados situados en o cerca de la superficie de pavimentación requieren mayor durabilidad que el agregado en las capas inferiores donde la carga ha disminuido o no es tan concentrada.

4. Textura y Forma de la Superficie.

Una superficie áspera, opuesta a una superficie suave tiende a incrementar la resistencia de la mezcla de pavimentación. Las superficies de agregado suave son más fáciles de cubrir con una película de asfalto, pero la película se adherirá a superficies ásperas más rápido. De la misma manera, partículas irregulares o con forma angular,



tales como piedras trituradas y ripio, tienden a mezclarse cuando se compactan y resisten desplazamiento. Una mezcla de asfalto caliente puede hacerse más estable y resistente al surcado requiriendo que una porción significativa (50%) del agregado grueso sea del tipo triturado o quebrado.

5. Absorción.

Se refiere a los agregados porosos que absorberán asfalto y harán la mezcla seca más o menos cohesiva. Un material altamente poroso es generalmente usado como agregado de asfalto de pavimentación.

6. Afinidad para Asfalto.

Ciertos materiales de agregados se unen mejor con el asfalto que otros cuando se les echa agua. Además, no permitirán desgaste o separación del asfalto cuando tocan agua o humedad.

7. Peso Específico

El peso específico de un agregado (también conocido como gravedad específica) es la proporción entre el peso de un volumen dado de agregado y el peso de un volumen igual de agua. El peso específico es una forma de expresar las características de peso y volumen de los materiales. Estas características son especialmente importantes en la producción de mezclas de pavimentación debido a que el agregado y el asfalto son proporcionados, en la mezcla, de acuerdo al peso.

2.2.4 Consideraciones acerca del empleo de los agregados pétreos.

Cuando se pretende hacer uso de los agregados pétreos para la construcción de pavimentos se deben considerar algunos aspectos fundamentales para su buen desempeño a la hora de formar parte en alguna de las capas del pavimento y principalmente en la elaboración de las mezclas asfálticas.

1. Naturaleza e identificación.

Evaluación de la naturaleza petrográfica de los agregados, grado de alteración de los componentes minerales, porosidad y propiedades químicas.



2. Propiedades Geométricas.

Principal y básicamente la forma y angulosidad de las partículas; con relación al conjunto del esqueleto mineral se estudia la distribución granulométrica.

3. Propiedades Mecánicas.

Engloban los parámetros básicos de resistencia al desgaste y al pulimento

4. Ausencia de Impurezas.

Es fundamental que los agregados a emplear en la construcción de pavimentos estén libres de impurezas capaces de afectar el buen comportamiento de las capas. El empleo de agregados sucios en la construcción de un pavimento, puede ser una causa suficiente para provocar su degradación.

5. Inalterabilidad

Es imprescindible la evaluación de las posibles degradaciones que puedan sufrir los agregados pétreos que se van a utilizar en una obra; así, los materiales evolutivos han de ser empleados con especiales precauciones para evitar comportamientos anómalos que puedan afectar la vida útil de las capas.

6. Adhesividad

Los agregados pétreos han de ser afines con los ligantes asfálticos que vayan a ser empleados en la construcción del pavimento, y en caso de problemas de afinidad, será necesario el uso de activantes, para garantizar el buen comportamiento de las mezclas asfálticas.

2.2.5 Descripción de las características principales de los agregados pétreos para pavimentos.

Las principales características que se deben tener en cuenta en los agregados para la construcción de pavimentos asfálticos son las siguientes:

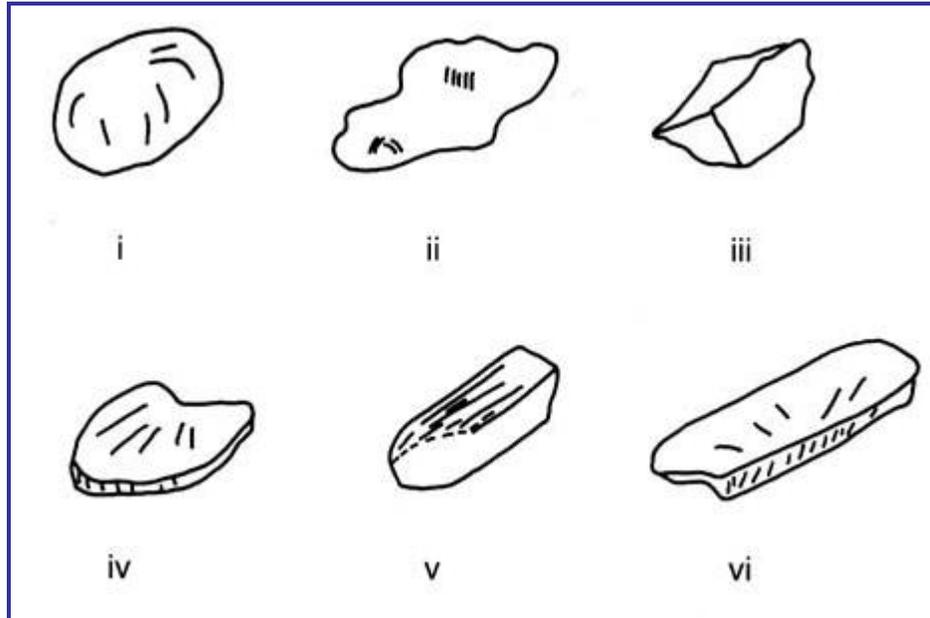
2.2.5.1 Forma y angulosidad.

La forma de las partículas del agregado grueso afecta fundamentalmente, al esqueleto mineral. Según su forma, las partículas pueden clasificarse en redondeadas, irregulares, angulares, lajosas, alargadas y alargadas - lajosas.



F.2.5 - Forma de las Partículas de Agregado Pétreo.

i. Redondeada, ii. Irregular, iii. Angular, iv. Lajosa, v. Alargada, vi. Alargada - Lajosa.



Fuente: "Manual de Áridos". Prospección, Explotación y Aplicaciones. Madrid. Ed. LOEMCO.

Las lajosas y alargadas-lajosos (agujas), pueden romperse con facilidad durante la compactación o después bajo la acción del tráfico, modificando con ello la granulometría del agregado inicial. Se deben imponer limitaciones en el contenido de partículas de mala forma. Aparte de la forma de las partículas del agregado grueso, se debe tener en cuenta su angulosidad, que influye junto a la textura superficial de las partículas, en la resistencia del esqueleto mineral, por su contribución al rozamiento interno.

Los agregados pétreos generalmente más deseados para la elaboración de mezclas asfálticas son aquellos con una alta proporción de partículas aproximadamente equidimensionales (cuboides). Los factores específicos, como la composición de la roca afectan a la forma de los agregados durante los procesos de trituración.

2.2.5.2. Resistencia al desgaste

La resistencia mecánica del esqueleto mineral es un factor predominante en la evolución del comportamiento de una capa de pavimento después de su puesta en



servicio. La evaluación de dicha resistencia se realiza mediante diversos ensayos de laboratorio; sin embargo, ninguno de ellos caracteriza el estado tensional del agregado en el conjunto del pavimento. Se realizan una serie de ensayos que tienden a reproducir en laboratorio de manera más sencilla el comportamiento que luego tendrán los agregados en servicio, para ello se preparan las muestras con granulometrías próximas a las que van a ser puestas en obra, sometiéndolas a un desgaste que, de forma indirecta, proporciona información de la resistencia mecánica del material. La prueba de Los Ángeles es un ejemplo de este tipo de ensayos que determina el porcentaje de desgaste de agregado grueso.

2.2.5.3 Plasticidad y limpieza.

Para que un agregado pétreo se comporte adecuadamente dentro de cualquier capa de pavimento, debe estar completamente limpio, libre de partículas de naturaleza orgánica, polvo o arcillas.

Se establece en las normativas, que todos los finos deben tener reducida su plasticidad e incluso que no sean plásticos en la mayoría de los casos. Las fracciones gruesas deben estar exentas de polvo, fijando los límites admisibles a través del denominado coeficiente de limpieza.

Se debe garantizar que en presencia de agua, la capa en cuestión conserve sus características resistentes y que, en su caso, no haya problemas de adhesividad con los ligantes asfálticos.

En ocasiones aunque el agregado fino no sea plástico, puede estar contaminado por partículas no arcillosas, que no se hayan podido detectar mediante los límites de Atterberg, pero igualmente nocivas. Un ensayo muy utilizado para caracterizar desde este punto de vista el agregado fino (realmente todo el material inferior a 5 mm., es decir, se incluye parte del agregado grueso y el polvo mineral) es el denominado Equivalente de Arena.



2.2.5.4 Alterabilidad.

Los fallos detectados en un pavimento al poco tiempo después de su puesta en servicio, comúnmente suelen ser ocasionados por procesos de alteración de los agregados en alguna de sus capas, los cuales pueden desencadenarse debido a alguna reacción química con alguno de los componentes de los ligantes asfálticos o conglomerantes, por la acción de la helada o, simplemente, por la siempre inevitable presencia de agua.

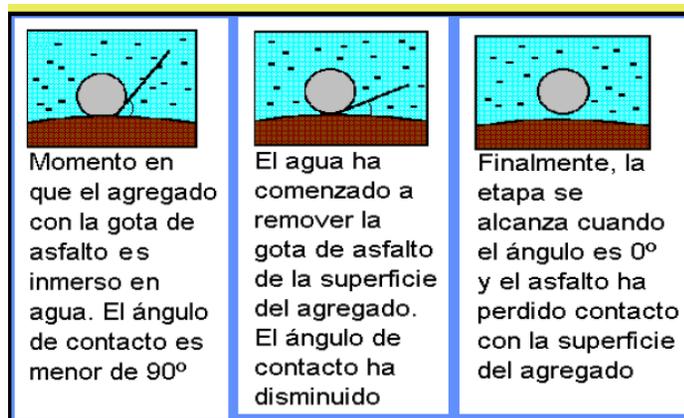
Existe la necesidad de evaluación de la alterabilidad de un agregado pétreo por el procedimiento que sea, y se pueden señalar a título indicativo, los siguientes caminos: análisis petrográficos, acción de soluciones salinas o de agua oxigenada, ciclos hielo deshielo, inmersión en agua y ciclos de humedad - sequedad.

2.2.5.5 Resistencia al desprendimiento.

Los defectos de adhesión significan la quiebra de las fuerzas de unión entre el agregado y su cubierta de conglomerante asfáltico, lo que conduce a una separación física, una posible consecuencia de los defectos de adhesión, es el fallo mecánico por desgaste y desflechado de la superficie, pero el fallo mecánico no se produce inmediatamente después del fallo de adhesión, si el desprendimiento, aunque sea permanente, se produce a un nivel inferior de la construcción y el grado de entrecruzamiento físico de las partículas de agregado es suficiente para resistir el esfuerzo del tráfico. Dado que el desprendimiento es un fenómeno asociado a la presencia de agua. Se deduce que los pavimentos densos, de bajo contenido en huecos, son prácticamente inmunes y que el comportamiento de los agregados pétreos en los ensayos de deslizamiento es bastante irrelevante en dicho uso.



F.2.6 - Desprendimiento o Carencia de Adhesión.



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente"- Instituto Salvadoreño de Asfalto

2.2.5.6 Aptitud para contribuir a la resistencia y rigidez de la mezcla en conjunto.

Esta propiedad se refiere tanto a los agregados gruesos, finos y polvo mineral; siempre que se cumpla que la resistencia y durabilidad específica de las partículas del agregado es la adecuada a las propiedades de la masa de agregados de entrecruzado y rozamiento interno.

A este respecto tanto la angularidad como la irregularidad de la textura superficial contribuyen en gran medida a las resistencias mecánicas y a la deformación de la mezcla asfáltica.

2.3 LIGANTES ASFÁLTICOS.

2.3.1 Definición de Asfalto

El asfalto es un material negro, cementante, que varía ampliamente en consistencia, entre sólido y semisólido (sólido blando), a temperaturas ambientales normales. Cuando se calienta lo suficiente, el asfalto se ablanda y se vuelve líquido, lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la producción de mezcla en caliente.



Casi todo el asfalto usado actualmente es producido por refinerías modernas de petróleo y es llamado asfalto de petróleo. El grado de control permitido por los equipos



modernos de refinería permite la producción de asfaltos con características distintas, que se prestan para usos específicos. Como resultado, se producen asfaltos para pavimentación, techado y otros usos especiales.

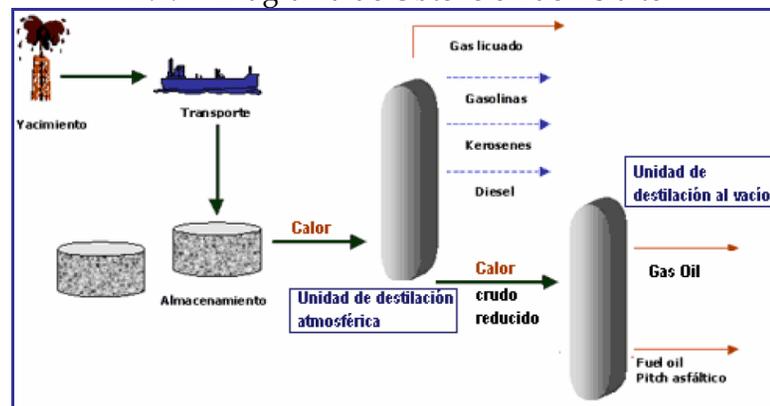
El asfalto usado en pavimentación, generalmente llamado cemento asfáltico, es un material viscoso (espeso) y pegajoso. Se adhiere fácilmente a las partículas de agregado y, por lo tanto, es un excelente cemento para unir partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El cemento asfáltico es un excelente material impermeabilizante y no es afectado por los ácidos, los álcalis (bases) o las sales. Esto significa que un pavimento de concreto asfáltico construido adecuadamente es impermeable y resistente a muchos tipos de daño químico.

El asfalto cambia cuando es calentado y/o envejecido. Tiende a volverse duro y frágil y también puede perder parte de su capacidad para adherirse a las partículas de agregado. Estos cambios pueden ser minimizados si se comprenden las propiedades del asfalto, y si se toman las medidas, durante la construcción, para garantizar que el pavimento terminado sea construido de tal manera que pueda retardarse el proceso de envejecimiento.

2.3.2 Obtención del Asfalto

El asfalto se produce en una variedad de tipos y grados que van desde sólidos duros y quebradizos a líquidos casi tan fluidos como el agua. La forma semisólida conocida como betún asfáltico es el material básico.

F.2.7 - Diagrama de Obtención de Asfalto



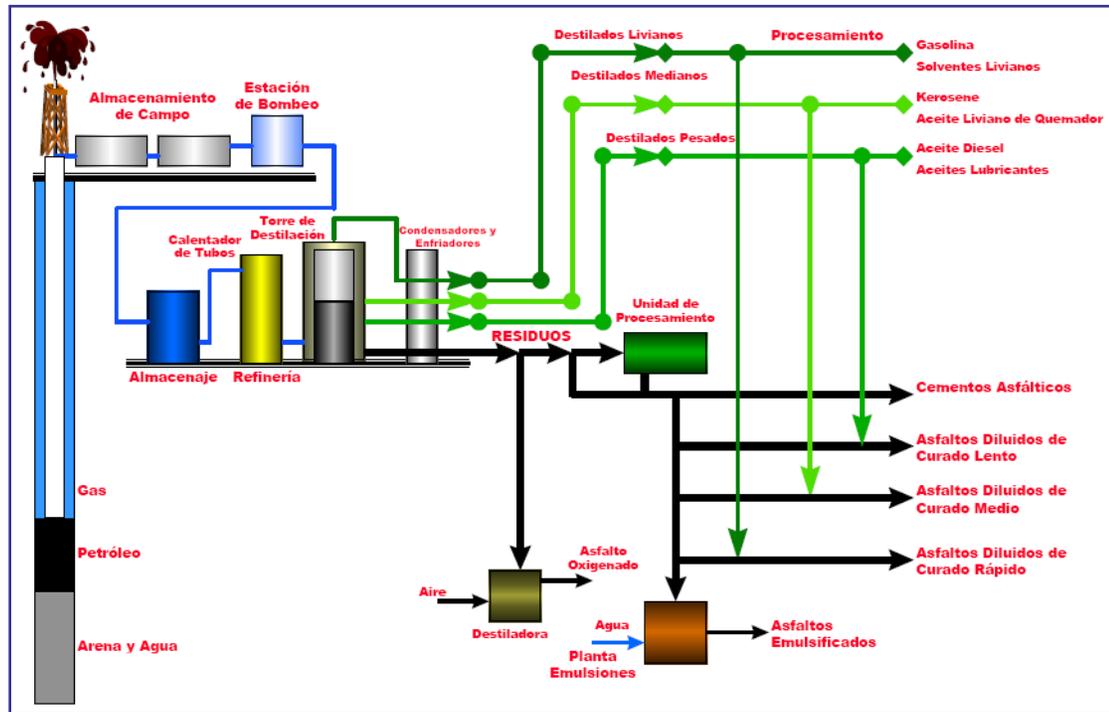
Fuente: http://www.repsol.com/pe_es/productos_y_servicios/productos/peasfaltos/



2.3.3 Refinación de Asfalto

Diferentes usos requieren diferentes tipos de asfalto. Los refinadores de crudo deben tener maneras de controlar las propiedades de los asfaltos que producen, para que estos cumplan ciertos requisitos. Esto se logra, usualmente, mezclando varios tipos de crudos de petróleo antes de procesarlos. El hecho de poder mezclar permite al refinador combinar crudos que contienen asfaltos de características variables, para que el producto final posea exactamente las características solicitadas por el usuario.

F.2.8 - Proceso de destilación de una refinería.



Fuente: A Guide for Hot Mix Asphalt Pavement. NAPA

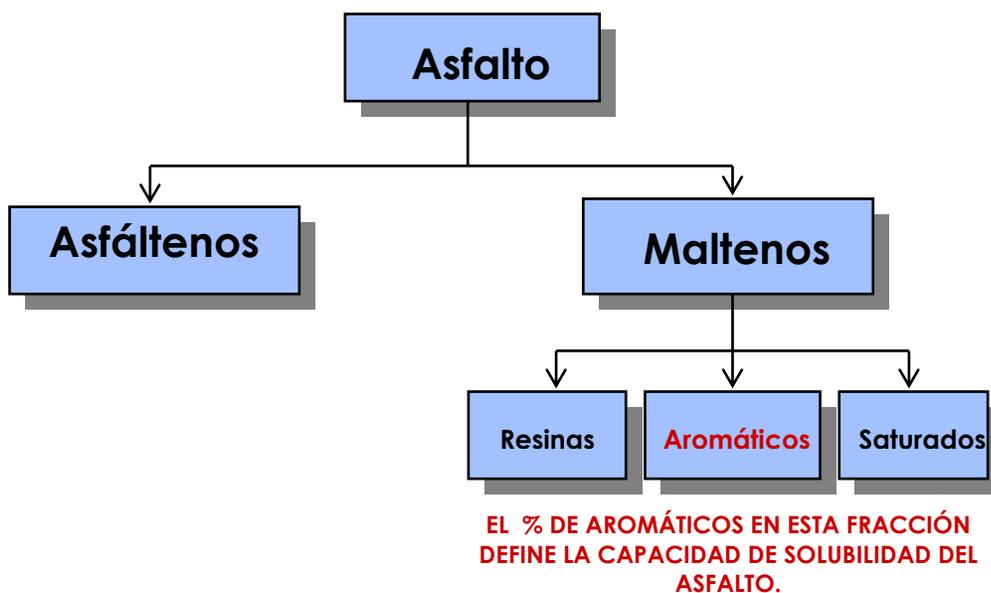
2.3.4 Propiedades Físicas y Químicas del Asfalto

2.3.4.1 Propiedades Químicas de Asfalto

Básicamente, el asfalto está compuesto por varios hidrocarburos (combinaciones moleculares de hidrógeno y carbono) y algunas de azufre, oxígeno, nitrógeno y otros elementos. El asfalto, cuando es disuelto en un solvente como el heptano, puede separarse en dos partes principales: asfaltenos y maltenos.



F.2.9 - Composición del Asfalto.



Fuente: ASFALCA "Asfalto de Centroamérica"

- *Asfáltenos*: Son moléculas grandes, inertes, tienen valor como componente de asfalto y como combustible. No son solubles en los aceites pero las resinas los mantienen en suspensión formando un sistema coloidal. Su contenido se asocia a la dureza que presenta un asfalto.
- *Maltenos*: Su contenido se asocia a las propiedades mecánicas mostradas en el asfalto. Su naturaleza química mantiene a los asfáltenos en "solución coloidal". El contenido de aromáticos influye en la facilidad que tiene un asfalto para admitir polímeros modificadores.

2.3.4.2 Propiedades Físicas del Asfalto

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras, son: durabilidad, adhesión, susceptibilidad a la temperatura, envejecimiento y endurecimiento.



- *Durabilidad*

Es la medida de que tanto puede retener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento. Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, y por consiguiente es difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto. Esto se debe a que el comportamiento del pavimento está afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, y otras variables que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto. En nuestro país se realiza la Prueba de Película Delgada en Horno (TFO) que incluyen el calentamiento de películas delgadas de asfalto.

- *Adhesión y Cohesión*

Adhesión es la capacidad del asfalto para adherirse al agregado en la mezcla de pavimentación. Cohesión es la capacidad del asfalto de mantener firmemente, en su puesto, las partículas de agregado en el pavimento terminado.

El ensayo de ductilidad no mide directamente la adhesión o la cohesión; más bien, examina una propiedad del asfalto considerada por algunas como relacionadas con la adhesión y la cohesión. En consecuencia, el ensayo es del tipo "califica - no califica", y solo puede indicar si la muestra es, o no, lo suficientemente dúctil para cumplir con los requisitos mínimos.

- *Susceptibilidad a la Temperatura*

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (más viscosos) a medida que su temperatura disminuye, y más blandos (menos viscosos) a medida que su temperatura aumenta. Esta característica se conoce como susceptibilidad a la temperatura, y es una de las propiedades más valiosas en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleos de diferente origen, aún si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.



Es de vital importancia que un asfalto sea susceptible a la temperatura. Debe tener suficiente fluidez a altas temperaturas para que pueda cubrir las partículas de agregado durante el mezclado, y así permitir que estas partículas se desplacen unas respecto de otras durante la compactación. Luego deberá volverse lo suficiente viscoso, a temperaturas ambientales normales, para mantener unidas las partículas de agregado.

- *Endurecimiento y Envejecimiento*

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la construcción, y también en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de construcción) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas de agregado).

No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas. Por lo tanto, cada asfalto debe ser ensayado por separado para determinar sus características de envejecimiento, y así ajustar las técnicas constructivas para minimizar el endurecimiento. Estos ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura más baja posible, y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica.

El endurecimiento del asfalto continúa en el pavimento después de la construcción. Una vez más, las causas principales son la oxidación y la polimerización. Estos procesos pueden ser retardados si se mantiene, en el pavimento terminado, una cantidad pequeña de vacíos (de aire) interconectados, junto con una capa gruesa de asfalto cubriendo las partículas de agregado.

2.3.5 *Cualidades de los ligantes asfálticos.*

Se mencionarán las cualidades que los hacen tan apreciables en el campo de construcción y mantenimiento de vías de comunicación.

1. Poder Aglomerante.

Los ligantes asfálticos tienen la propiedad de bajar su viscosidad con la temperatura, de tal modo que se convierte en una sustancia fluida que moja, se adhiere y envuelve con



mucha facilidad a los agregados pétreos y a los materiales granulares, al tiempo que los aglomera. Este poder aglomerante del asfalto, aumenta al enfriarse y se aumenta la superficie de contacto entre las partículas mediante la compactación, dando lugar a una mezcla asfáltica de características particulares para la construcción de cada una de las diferentes capas del pavimento, en especial, de base, intermedia y rodadura.

2. Agente Estabilizante

Los ligantes asfálticos al ser usados como estabilizadores en materiales granulares, dan como resultado una alta estabilidad, por lo que son considerados al igual que el cemento, la cal y otros conglomerantes hidráulicos (agentes estabilizantes que permiten dar dureza, cohesión y resistencia a los materiales granulares sueltos).

3. Agentes Impermeabilizante

Los ligantes asfálticos recubren a los materiales granulares a través de una capa impermeable haciendo inaccesible el paso del agua, al mismo tiempo se logra conseguir el relleno de los huecos dejados por el material granular, con lo que se obtienen materiales totalmente impermeables.

4. Manejabilidad.

Los materiales tratados con ligantes asfálticos son fácilmente manejables, elaborados y puestos en obra.

5. Resistencia a los Agentes Atmosféricos.

El asfalto es un material muy inerte químicamente e insoluble en agua, por ello las mezclas asfálticas no generan ningún compuesto contaminante por lixiviación y su composición permanece prácticamente inalterable en el tiempo. Se tiene que tener en cuenta su envejecimiento debido a la acción del oxígeno del aire y los rayos ultravioleta. Esta oxidación junto con la evaporación de sus componentes más volátiles hace que el asfalto vaya perdiendo tenacidad y se convierta en un producto más frágil. El mayor envejecimiento y oxidación del asfalto se produce durante su fabricación y puesta en obra.



2.3.6 Caracterización de ligantes Asfálticos

Es prácticamente imposible conocer las propiedades y comportamiento de un ligante bituminoso basándose en la valoración de los distintos componentes elementales que lo forman, porque su número es muy grande y no es posible en la práctica aislar cada uno de ellos; pero además, aunque pudiesen aislarse los diferentes componentes elementales constitutivos del ligante bituminoso, no conoceríamos sus propiedades con suficiente exactitud, ya que en su comportamiento no es la composición química la que juega el papel principal, sino la constitución físico-química del complejo coloidal que es el ligante bituminoso. Es por ello que la caracterización de los ligantes bituminosos se hace por medio de ensayos físico-mecánicos, aunque dada su complejidad, es necesario recurrir a una gran variedad de ensayos que aisladamente van definiendo cada una de sus propiedades.

La mayor parte de estos ensayos se utilizan fundamentalmente para identificar el producto y comprobar que satisface las especificaciones fijadas. Otros, intentan dar una idea del comportamiento del betún bajo la acción de las cargas producidas por el tráfico y los agentes atmosféricos. No obstante, solo determinan indirectamente la propiedad que nos interesa, no caracterizando suficientemente su comportamiento.

Para abordar el estudio de los diferentes ensayos de caracterización, y debido al gran número existente, se han agrupado en función de la propiedad que pretenden valorar.

Estas propiedades pueden clasificarse en:

- Propiedades másicas o propiedades relativas al estado del ligante.
- Propiedades mecánicas, relativas a su comportamiento frente tensiones o deformaciones.
- Adhesividad, relativa a la adhesión al árido en presencia de agua.
- Durabilidad o resistencia al envejecimiento.
- Propiedades químicas, relativas a su composición y estructura coloidal.

La Tabla 2.3 muestra los ensayos de caracterización generalmente utilizados en la valoración de cada una de estas propiedades. De los ensayos aplicados a los ligantes



bituminosos se tratarán únicamente los relativos a ligantes asfálticos, omitiendo todos aquellos que son exclusivos de los ligantes fluidificados y las emulsiones asfálticas que, como es sabido, se obtienen a partir de un ligante asfáltico, por disolución de éste en un disolvente volátil o por emulsificación en agua.

T.2.3 - Propiedades y Ensayos de caracterización de ligantes asfálticos

PROPIEDADES		ENSAYOS DE CARACTERIZACION	
MASICAS	DENSIDAD	PICNOMETRO	
	VISCOSIDAD	VISCOSIMETROS	
	CONSISTENCIA	PENETRACION PUNTO DE REBLANDECIMIENTO	
	SUSCEPTIBILIDAD TERMICA	INDICE DE PENETRACION VISCOSIDAD METODO UCL	
MECANICAS	DUCTIBILIDAD	DUCTILOMETRO	
	FRAGILIDAD	PUNTO FRAASS	
	TENACIDAD Y RESISTENCIA	RECUPERACION ELASTICA TRACCION	
	RIGIDEZ	MODULO DE RIGIDEZ	
	COHESION	PENDULO VIALIT	
ADHESIV.	ADHESIVIDAD AL PETREO	DESENVUELTA	
		ADHESIVIDAD MECANICA	
		RESISTENCIA CONSEVADA TRAS INMERSION	
DURABILID	RESISTENCIA AL ENVEJECIMIENTO (DURABILIDAD)	CALENTAMIENTO	
		OXIDACION	
		RAYOS ULTRA VIOLETA Y/O INFRARROJOS	
QUIMICAS	COMPOSICION	SOLUBILIDAD	
		DESTILACION	
		EXUDACION	
		COMBUSTION	
		CALCINACION	
		FRACCIONAMIENTO	
	ANALISIS QUIMICO		
	ESTRUCTURA		DETERMINACION DE CONSTANTES FISICAS
			ESPECTROSCOPIA ULTRAVIOLETA E INFRARROJA
			MICROSCOPIA ELECTRONICA
MAGNETOQUIMICA			

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto



2.3.6.1 Propiedades Másicas

Se consideran propiedades másicas aquellas que hacen referencia al estado del asfalto o a la variación del mismo por efecto, fundamentalmente, de la temperatura. Se clasifican en:

→ Densidad.

La densidad relativa o peso específico es la relación entre la masa de un determinado volumen de asfalto y la masa de un volumen igual de agua, a una cierta temperatura. Por ejemplo una sustancia con una densidad de 1.6 pesa 1.6 veces mas que el agua.

Transporte, Cobro y Compactación.

→ Viscosidad

Resistencia que presenta un material a ser deformado en función de la velocidad de aplicación de una carga, y se debe al rozamiento o fricción interna de sus moléculas. Es una propiedad que frena la libre y rápida deformación de un material.

Adhesividad y Cohesión de la Mezcla Asfáltica

→ Consistencia

Es el estado físico que presenta en un momento dado, con relación a los estados sólidos, liquido y gaseoso de la materia.

Ensayo: Penetrómetro, Anillo y Bola

→ Susceptibilidad Térmica

Indica la Sensibilidad que presenta el asfalto a variar su viscosidad por aumento o disminución de la temperatura.

Adherencia, Trabajabilidad, Compactación, Estabilidad.

2.3.6.2 Propiedades Mecánicas

Las pruebas que se efectúan a los asfaltos, como en el caso de cualquier otro material, son un medio eficaz para conocer sus propiedades y tratar de predecir su comportamiento cuando se utilizan en un determinado trabajo.

Los resultados de dichas pruebas permiten verificar el cumplimiento de normas o especificaciones de calidad que aseguren el buen uso de los distintos materiales.



La *reología* es la parte de la física que estudia el comportamiento de la materia a través del tiempo de aplicación de una carga y está directamente relacionada a las propiedades de viscosidad, plasticidad y elasticidad y en general con el flujo de la materia. Se clasifican en:

→ Ductilidad

La ductilidad es la capacidad que posee un asfalto de deformarse por alargamiento sin que su masa se disgregue. Ensayo ductilometro.

→ Fragilidad

Propiedad relacionada con la facilidad de alcanzar la rotura de un material bajo impacto o pequeñas deformaciones. Por debajo de determinadas temperaturas el asfalto puede presentar un comportamiento frágil.

Ensayos: Fragilidad Frass, Temperaturas de Servicio, Agrietamiento Térmico.

→ Tenacidad y Resistencia

Resistencia: Lo que se opone a la acción de una fuerza.

Tenacidad: Resistencia de un material a la ruptura por tensión.

Los asfaltos también se caracterizan por variar su respuesta en un ensayo de tensión según la velocidad de aplicación de la carga o la deformación y además esa respuesta varía con la temperatura. Mezclas Friables o Dúctiles. Ensayos: BTB, DTT, SHRP.

→ Rigidez

Los asfaltos son materiales visco-elásticos cuyo comportamiento depende del tiempo de aplicación de la carga t y de la temperatura T . Así como un cuerpo elástico está caracterizado por un módulo de elasticidad, los materiales visco-elásticos se caracterizan por su módulo de rigidez. Aunque el comportamiento mecánico de los asfaltos está influido por el estado de esfuerzos y la relación entre esfuerzos y deformaciones es no lineal, su influencia es muy pequeña si se compara con el efecto producido por la temperatura o el tiempo de aplicación de carga. Por lo tanto, se puede suponer un comportamiento lineal y que su respuesta sólo depende de la temperatura y del tiempo de aplicación de carga, y considerar a los asfaltos como un material visco-elástico lineal.



→ Cohesión.

Algunos autores la definen como el trabajo por unidad de superficie realizado para fraccionar y dividir una muestra de asfalto venciendo las fuerzas de atracción que mantienen unidas sus moléculas.

En términos sencillos, dentro de la mezcla, podemos definir la cohesión como la capacidad del asfalto de mantener firmemente en su lugar, las partículas del agregado en el pavimento terminado.

Ensayos: Péndulo de Vialit, Método UCL

2.3.6.3 Adhesividad

Se denomina adhesividad a la adhesión o adherencia del asfalto al agregado pétreo en presencia de agua.

La adhesión o adherencia es la fuerza por unidad de superficie que une las moléculas del asfalto a las moléculas del pétreo.

En la práctica, este concepto científico se ha sustituido por otro denominado adhesión mecánica, que viene siendo la fuerza por unidad de superficie necesaria para romper la unión agregado pétreo-asfalto.

De tal forma, dentro del término adhesividad se agrupan dos propiedades distintas que son:

1. La facilidad para que el asfalto moje al agregado pétreo: Adhesividad Activa.



2. La resistencia que ofrece el asfalto, una vez adherido al pétreo, a ser desplazado por el agua: Adhesividad Pasiva.





Ensayos: Desenvuelta⁴, pérdida de agregados, desintegración, estabilidad de la mezcla, durabilidad de la mezcla.

2.3.6.4 Durabilidad

Es la medida de que tanto puede mantener un asfalto sus características originales cuando es expuesto a procesos normales de degradación y envejecimiento (influencia del tráfico, ambiente y fenómenos climáticos). Oxidación, evaporación de solventes, reacciones químicas.

Es una propiedad juzgada principalmente a través del comportamiento del pavimento, por consiguiente, es muy difícil de definir solamente en términos de las propiedades del asfalto.

Esto se debe a que el comportamiento del pavimento esta afectado por el diseño de la mezcla, las características del agregado, la mano de obra en la construcción, la altitud y clima de la zona donde se coloque y otras variables, que incluyen la misma durabilidad del asfalto.

Ensayos: Fragilidad y endurecimiento. RTFOT, PAV, Penetración retenida y viscosidades, Método UCL

Los asfaltos tienden a endurecerse en la mezcla asfáltica durante la fabricación, construcción y en el pavimento terminado. Este endurecimiento es causado principalmente por el proceso de oxidación (el asfalto combinándose con el oxígeno), el cual ocurre más fácilmente a altas temperaturas (como las temperaturas de elaboración) y en películas delgadas de asfalto (como la película que cubre las partículas del agregado).

Durante el proceso de envejecimiento el asfalto:

- Pierde plasticidad y gana viscosidad y dureza.
- La cohesión va haciéndose mayor hasta alcanzar un máximo, correspondiente a una dureza crítica, a partir de la cual la cohesión disminuye y el material va adquiriendo fragilidad.

⁴ Por la acción de Desenvuelta, el ligante se separa del agregado, disminuyendo la cohesión de la mezcla.



○ En este estado no es capaz de absorber tensiones y es fácil la rotura a partir de fisuras superficiales que irán progresando hacia el interior con el paso del tiempo. No todos los asfaltos se endurecen a la misma velocidad cuando son calentados en películas delgadas.

Cada asfalto debe ser ensayado por separado para poder determinar sus características de envejecimiento y así poder ajustar las técnicas constructivas para minimizarlo.

Tales ajustes incluyen mezclar el asfalto con el agregado a la temperatura mas baja posible y durante el tiempo más corto que pueda obtenerse en la práctica

Los factores que generalmente se toman en cuenta para explicar el proceso de envejecimiento son:

- Evaporación de los productos más volátiles, asociada generalmente al envejecimiento a corto plazo durante el proceso de fabricación, puesta en obra y quizás el primero o segundo año de servicio. RTFOT, PAV.
- Oxidación o reacciones químicas entre los componentes del asfalto y el oxígeno, asociados al envejecimiento a largo plazo durante el período de servicio.

El asfalto aumenta su consistencia durante el mezclado y continúa incrementando la misma después de su puesta en servicio.

La experiencia demuestra que medir el grado de endurecimiento después del clásico ensayo de la pérdida por calentamiento, con un ensayo de penetración, tiene el mismo error conceptual que ésta última como medida de la consistencia.

Por tal razón, la medida de la consistencia del asfalto original y del sometido a envejecimiento en película delgada, a una temperatura determinada, debe hacerse determinando, en ambos casos, la viscosidad, pudiendo definir entonces el denominado índice de envejecimiento I_e :

$$I_e = \text{Viscosidad final} / \text{Viscosidad inicial}$$

La determinación del índice de envejecimiento I_e o de incremento de consistencia, brinda un valor de mayor base científica que los obtenidos con los clásicos ensayos de



penetración, ya que nos permite evaluar la viscosidad que habría que dar en las especificaciones, la cual debería ser la del producto en obra, después del mezclado y compactado, y no la del material original, que no ha experimentado calentamiento alguno.

2.3.6.5 Propiedades Químicas

Relativas a su Composición (Asfáltenos y Maltenos) y Estructura Coloidal.

La mayoría de los ensayos que se hacen a los asfaltos sirven para identificar el producto y para comprobar que satisface las especificaciones o normas establecidas para poder utilizarlos en las obras de carreteras.

Solo se determina su composición química en casos muy especiales o con fines de investigación.

Otros ensayos intentan dar una idea del comportamiento del asfalto bajo la acción de las cargas producidas por el tráfico y los agentes meteorológicos.

No obstante, sólo logran determinar indirectamente alguna propiedad de interés, sin caracterizar lo suficiente, y de manera acertada, su comportamiento real en la estructura del pavimento.

Las propiedades fundamentales de los asfaltos para su empleo en carreteras son:

- ✓ Carácter termoplástico:

Por acción de la temperatura, su consistencia debe disminuir de manera que sean capaces de "mojar" y envolver los agregados. Al enfriarse deben adquirir la consistencia primitiva y dar cohesión a la mezcla.

- ✓ Buena adhesividad a los agregados pétreos

Para poder cumplir su poder aglomerante y evitar la desenvuelta y desprendimientos de agregados

- ✓ Buen comportamiento mecánico y reológico

Para resistir las tensiones y deformaciones impuestas conjuntamente por el tránsito y el clima con el fin de diseñar y construir mezclas resistentes y durables.



2.4 LIGANTES ESPECIALES

2.4.1. Caracterización de Ligantes Modificados

Los asfaltos modificados con polímeros elevan la vida útil de un pavimento de dos a tres veces (según el caso a aplicar) con un costo adicional de hasta un 25% sobre la mezcla asfáltica. Esta plenamente probado que los asfaltos convencionales poseen propiedades satisfactorias tanto mecánicas como de adhesión en una amplia gama de aplicaciones y bajo distintas condiciones climáticas y de transito. Sin embargo, el creciente incremento de volumen del transito y la magnitud de las cargas, y la necesidad de optimizar las inversiones, provoca que, en algunos casos, las propiedades de los asfaltos convencionales resulten insuficientes. Por ejemplo, con los asfaltos convencionales, aun con los grados mas duros, no es posible eliminar el problema de las deformaciones producidas por el transito canalizado (ahuellamiento), especialmente cuando se deben afrontar condiciones de alta temperatura. Además, con la simple adopción de asfaltos más duros se corre el riesgo de fisuraciones por efectos térmicos cuando las temperaturas son muy bajas.

Con ciertas mezclas abiertas, alternativa generada por razones de confort y seguridad, con los ligantes convencionales no se alcanzaría una resistencia mecánica suficiente a causa de una insuficiente cohesión y adhesividad, lo que unido al bajo contenido de ligante de estas mezclas podría redundar en una disminución en su durabilidad. Del mismo modo, las nuevas capas superficiales delgadas serian menos durables cuando se vean sometidas a altas intensidades de transito.

2.4.1.1 Compatibilidad

El sistema "asfalto-polímero" desde el punto de vista microscópico es una mezcla heterogénea. Dependiendo del poder de aumento del microscopio se puede llegar a ver la separación de fases. Se pueden observar las dos fases con 50 aumentos en sistemas poco compatibles, a mayor compatibilidad mayor número de aumentos se requieren, pudiéndose llegar a 5 o 6,000 aumentos en sistemas muy compatibles.



Para que los asfaltos modificados con polímeros consigan las prestaciones óptimas, hay que seleccionar cuidadosamente el asfalto base (es necesario que los polímeros sean compatibles con el material asfáltico), el tipo de polímero, la dosificación, la elaboración y las condiciones de almacenaje. Cada polímero tiene un tamaño de partícula de dispersión óptima para mejorar las propiedades reológicas, donde por encima de ésta el polímero sólo actúa como un filler (mineral como: cemento, cal, talco, sílice, etc.); y por debajo de ésta, pasan a estar muy solubilizados y aumentan la viscosidad, sin mejorar la elasticidad y la resistencia.

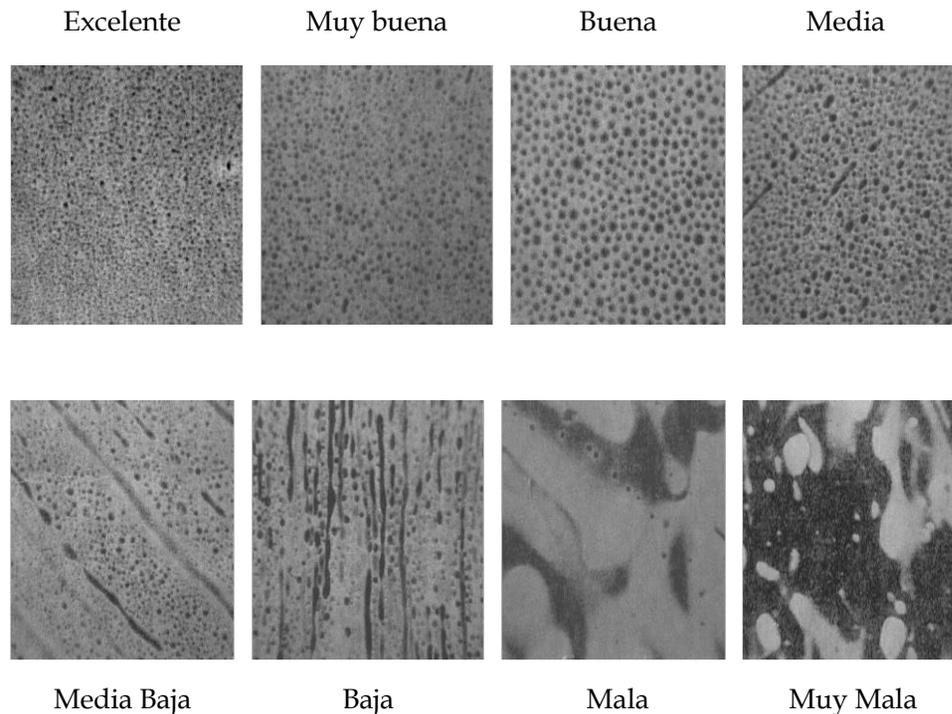
Si un polímero se añade a dos diferentes asfaltos, las propiedades físicas de los productos finales, pueden ser muy diferentes. Para mayor efectividad, el polímero debe crear una red continua de trabajo en el asfalto; para que esto ocurra, la química del polímero y del asfalto necesita ser compatible.

Los polímeros compatibles producen rápidamente un asfalto estable, usando técnicas convencionales de preparación. Estos sistemas convencionales de preparación de asfaltos modificados con polímeros son grandes recipientes de mezclado con paletas agitadoras a velocidades lentas, o recipientes especiales que favorecen la recirculación con agitadores mecánicos de corte de gran velocidad. El polímero puede venir en polvo, en forma de pequeñas bolitas o en grandes panes. La temperatura de mezclado depende del tipo de polímero utilizado.

En las microfotografías mostradas en la Figura 2.10 se muestran la compatibilidad de polímeros en diferentes asfaltos (lo blanco es polímero y lo negro es asfalto).



F.2.10 - Compatibilidad de Polímeros.



Fuente: ASFALCA "Asfaltos de Centroamérica"

Compatibilidades entre el Asfalto y los Polímeros.

- ✓ Los Asfaltos más ricos en fracciones Aromáticas y Resinas serán los más compatibles ya que estas fracciones son los que permiten disolverse al polímero.
- ✓ Los Asfaltos menos compatibles son aquellos que en su composición son más ricos en Asfaltenos y Saturados. Estas fracciones son de alto peso molecular.
- ✓ Los Asfaltos se pueden ajustar agregando Aceites del Tipo Aromático, para enriquecerlo y hacerlo compatible con el polímero.

2.4.1.2 Estabilidad al Almacenamiento

En los asfaltos modificados con polímeros pueden producirse, durante el almacenamiento a elevadas temperaturas, fenómenos de cremado o sedimentación según sea menor o mayor la densidad del polímero respecto a la del asfalto. Las causas



de esta desestabilización son la incorrecta dispersión del polímero en el asfalto y/o la falta de compatibilidad de ambos componentes.

2.6.2 Asfalto Modificado con Polímero.

Definición de Polímero. Los polímeros son sustancias de alto peso molecular formada por la unión de cientos de miles de moléculas pequeñas llamadas monómeros (compuestos químicos con moléculas simples). Se forman así moléculas gigantes que toman formas diversas: cadenas en forma de escalera, cadenas unidas o termo fijas que no pueden ablandarse al ser calentadas, cadenas largas y sueltas.

¿Qué es un asfalto modificado?

Los materiales asfálticos modificados son el producto de la disolución o incorporación en el asfalto, de un polímero o de hule molido de neumáticos, que son sustancias estables en el tiempo y a cambios de temperatura, que se le añaden al material asfáltico para modificar sus propiedades físicas y reológicas, y disminuir su susceptibilidad a la temperatura y a la humedad, así como a la oxidación.

Cambios inmediatos en algunas propiedades físicas:

- ◆ Disminución de la penetración.
- ◆ Aumento del punto de ablandamiento.
- ◆ Aumento del intervalo de plasticidad.
- ◆ Disminución de la fragilidad a baja temperatura.
- ◆ Aumento de viscosidad.
- ◆ Disminución de la susceptibilidad térmica.
- ◆ Mejora de la adhesividad
- ◆ Incremento de la cohesividad.
- ◆ Aumento de la resistencia a la rotura en los ensayos de tracción a diferentes temperaturas.
- ◆ Aumento de la durabilidad debido al aumento de la resistencia a la oxidación.
- ◆ Disminución en deterioro por permeabilidad.



Efecto del asfalto modificado en la mezcla asfáltica

- ✓ Permite obtener mayor espesor de película de ligante mejorando la cohesión, resistencia al envejecimiento y durabilidad de la mezcla.
- ✓ Disminuye las pérdidas por desgaste.
- ✓ Mayor durabilidad de la impermeabilidad de la mezcla.
- ✓ Disminuye considerablemente susceptibilidad térmica.
- ✓ Mayor resistencia a la deformación plástica.

Métodos de prueba para asfaltos modificados.

1. Reparación Elástica por Torsión.
2. Resiliencia.
3. Recuperación Elástica por Ductilometro.
4. Penetración.
5. Punto de Reblandecimiento.
6. Separación para Asfaltos Modificados.

Mejoramiento en el Uso de Asfalto Modificado con Polímero.

- ✓ Mejora la resistencia a la fatiga.
- ✓ Mejora la resistencia a la deformación permanente.
- ✓ Mejora el desempeño a altas temperaturas.
- ✓ No se reblandece y a bajas temperaturas no se fractura.
- ✓ Reduce la formación de "roderas" (ahuellamiento).
- ✓ Reduce significativamente los costos de mantenimiento.

Principales modificadores utilizados en el Asfalto.

Los principales modificadores utilizados en los materiales asfálticos son:

Polímero Tipo I: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas tanto a altas como a bajas temperaturas.



USOS DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO I	
<p>Tipo I-A: Ligantes para uso en mezcla caliente para servicio en condiciones de clima frío y en tratamientos superficiales en caliente y sellado de grietas.</p>	<p>Tipo I-B: Para toda aplicación de mezcla densa o abierta y aplicaciones de sellado en caliente para climas de moderado a caliente.</p>
<p>Tipo I-C: Para toda aplicación de mezcla densa o abierta y aplicaciones de sellado en caliente en climas más calientes que I-B.</p>	<p>Tipo I-D: Aplicaciones para climas calientes, donde el concreto asfáltico es usado en altos volúmenes de tráfico y áreas con gran porcentaje de vehículos de carga.</p>

Polímero Tipo II: Es un modificador de asfaltos que mejora el comportamiento de mezclas asfálticas a bajas temperaturas.

USOS DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO II	
<p>Tipo II-A: Ligantes para uso en concreto de mezcla caliente en climas fríos y en aplicaciones de tratamientos superficiales de mezcla en caliente y llenado de grietas.</p>	<p>Tipo II-B y C: Para uso en cualquier grado de concreto asfáltico para graduación densa o abierta y para aplicaciones de sellado en caliente, en condiciones de servicio de climas cálidos. Se usan principalmente para modificar emulsiones asfálticas,- Las modificaciones en caliente, se dieron en la fase inicial de la modificación en los años 60 (la prehistoria de esta tecnología).</p>

Polímero Tipo III: Es un modificador de asfaltos que mejora la resistencia a las roderas de las mezclas asfálticas, disminuye la susceptibilidad del cemento asfáltico a la temperatura y mejora su comportamiento a altas temperaturas. Es fabricado con base en un polímero de tipo *plastómero*.

USOS DEL ASFALTO MODIFICADO CON POLÍMERO TIPO III
<p>Es el principal aliado para evitar el ahuellamiento ocasionado por fallas imputables a la carpeta. Altamente usado en países cálidos para evitar los desplazamientos de la mezcla en edades tempranas. Solución ideal para áreas con temperaturas superiores a los 30 grados centígrados.</p>



APLICACIONES DE ASFALTO MODIFICADOS UTILIZADOS EN EL SALVADOR



Área Urbana San Miguel (Plastomeros)

Área Urbana San Miguel (Plastomero)



Calles de El Puerto de Acajutla

Proceso de colocación, mezcla asfáltica en caliente



Carretera San Martín- San Rafael



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

2.5 USO Y CLASIFICACION DE LAS MEZCLAS ASFALTICAS.

2.5.1 Definición de Mezcla Asfáltica.

Las mezclas asfálticas, también reciben el nombre de aglomerados, están formadas por una combinación de agregados pétreos y un ligante hidrocarbonato, de manera que aquellos quedan cubiertos por una película continua éste. Se fabrican en unas centrales fijas o móviles, se transportan después a la obra y allí se extienden y se compactan.



Las mezclas asfálticas se utilizan en la construcción de carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros. Sin olvidar que se utilizan en las capas inferiores de los pavimento para tráficos pesados intensos.

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 del pavimento y la falta de calidad en alguno de ellos afecta el 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.

2.5.2 Empleo de las Mezclas Asfálticas en la Construcción de Pavimento.

Las mezclas asfálticas se emplean en la construcción de pavimentos, ya sea en capas de rodadura o en capas inferiores y su función es proporcionar una superficie de rodamiento cómoda, segura y económica a los usuarios de las vías de comunicación, facilitando la circulación de los vehículos, aparte de transmitir suficientemente las cargas debidas al tráfico a la explanada para que sean soportadas por ésta.

Se tienen que considerar dos aspectos fundamentales en el diseño y proyecto de un pavimento:

1. La Función Resistente, que determina los materiales y los espesores de las capas que habremos de emplear en su construcción.
2. La Finalidad, que determina las condiciones de textura y acabado que se deben exigir a las capas superiores del pavimento, para que resulten seguras y confortables. A estas capas superiores de le denomina pavimento.

Las tipologías de los pavimentos de acuerdo a su comportamiento y respuesta se pueden dividir en los siguientes tipos:



<p>a) Pavimentos flexibles. (Base Granular). Constituidos por capas de sub-base y base de material granular, y por un tratamiento superficial o por una capa de mezcla asfáltica de espesores muy delgados que pueden ir hasta los 10 cm. regularmente, las capas granulares resisten fundamentalmente la acción del tráfico, la capa de rodadura sirve para impermeabilizar el pavimento, resistir los efectos abrasivos del tráfico y proporcionar una rodadura cómoda y segura.</p>	<p>b) Pavimentos Flexibles. (Base Asfáltica). Compuesto por una base y un pavimento asfáltico y el cual está constituido por una capa intermedia y otra de rodadura, la sub-base puede ser granular o bien tratada con un ligante hidráulico o hidrocarbonado.</p>
<p>c) Pavimentos Semi-rígidos. (Base tratada con ligantes hidráulicos). Constituido por una capa de base tratada con ligantes hidráulicos, o de concreto, la sub-base suele ser de material granular, pudiendo ser estabilizada, el pavimento está formado por una o dos capas de mezcla asfáltica (rodadura e intermedia).</p>	<p>d) Pavimentos Rígidos. (Pavimentos Concreto Hidráulico). Están formados por una losa de concreto colocada directamente sobre la explanada, o sobre una capa de base granular o estabilizada o un hormigón pobre, la losa de hormigón actúa como capa de rodadura.</p>

2.5.3 Funcionalidad de las Mezclas Asfálticas en los Pavimentos.

Las mezclas asfálticas como ya hemos visto anteriormente sirven para soportar directamente las acciones de los neumáticos y transmitir las cargas a las capas inferiores, proporcionando unas condiciones adecuadas de rodadura, cuando se emplean en capas superficiales; y como material con resistencia simplemente estructural o mecánica en las demás capas de los pavimento.

Como material simplemente estructural se pueden caracterizar de varias formas. La evaluación de parte de sus propiedades por la cohesión y el rozamiento interno es comúnmente utilizada; o por un módulo de rigidez longitudinal y un módulo transversal, o incluso por un valor de estabilidad y de deformación. Como en otros materiales hay que considerar también, la resistencia a la rotura, las leyes de fatiga y las deformaciones plásticas.

El comportamiento de la mezcla depende de circunstancias externas a ellas mismas, tales como son el tiempo de aplicación de la carga y de la temperatura. Por esta causa su caracterización y propiedades tienen que estar vinculadas a estos factores,



temperatura y duración de la carga, lo que implica la necesidad del conocimiento de la reología del material. Las cualidades funcionales del pavimento residen fundamentalmente en su superficie. De su acabado y de los materiales que se hayan empleado en su construcción dependen aspectos tan interesantes y preocupantes para los usuarios como:

1. La adherencia del neumático al pavimento.
2. Las proyecciones de agua en tiempo de lluvia.
4. El ruido en el exterior y en el interior del vehículo.
5. La comodidad y estabilidad en marcha.
6. Las cargas dinámicas del tráfico.
7. La resistencia a la rodadura (consumo de carburante).
8. El envejecimiento de los vehículos.
9. Las propiedades ópticas.

Estos aspectos funcionales del pavimento están principalmente asociados con la textura y la regularidad superficial del pavimento.

Actualmente la reología de las mezclas está bien estudiada tanto desde el punto de vista experimental como del teórico, con una consecuencia práctica inmediata: la mejor adaptación de las fórmulas de trabajo y de los materiales a las condiciones reales de cada pavimento. Por ejemplo, son fácilmente posibles estos ajustes, según la región climática o las condiciones de velocidad de los vehículos, en los métodos de diseño de pavimentos.

Como resumen, se puede decir que en una mezcla asfáltica, en general, hay que optimizar las propiedades siguientes:

- ✓ Estabilidad.
- ✓ Durabilidad.
- ✓ Resistencia a la fatiga.

Si la mezcla se usa como capa de rodadura hay que añadir las propiedades siguientes:

- ✓ Resistencia al deslizamiento.



- ✓ Regularidad.
- ✓ Permeabilidad adecuada.
- ✓ Sonoridad.
- ✓ Color, entre otras.

3.5.4 Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Capas de Rodadura.

La capa superior de un pavimento es la que debe proporcionar una superficie de rodadura segura, confortable y estética. Como todas las exigencias deseables para una superficie de rodadura no pueden optimizarse simultáneamente hay que equilibrar las propiedades contrapuestas para llegar a las soluciones más satisfactorias.

Los materiales asfálticos proporcionan superficies continuas y cómodas para la rodadura de los vehículos. No obstante, hay que establecer un balance entre la durabilidad, rugosidad, impermeabilidad, y otras características útiles o imprescindibles para el usuario. Por ejemplo, en los países fríos, en particular en el centro de Europa, se han desarrollado mezclas muy impermeables y ricas en mortero. Si estas mezclas no proporcionan la textura adecuada, se recurre a procedimientos ajenos a la propia mezcla como son la incrustación en la superficie de gravillas o al abujardado en caliente.

En las capas de rodadura el uso de agregados de alta calidad y de aditivos se justifica por las solicitaciones a que están sometidas. Actualmente la modificación de ligantes se ha generalizado para carreteras importantes persiguiéndose la optimización de la respuesta mecánica y de la durabilidad de la mezcla. Por la misma razón, la calidad de los agregados es absolutamente imprescindible, aunque todo ello suponga un costo mayor para el pavimento.

2.5.5 Propiedades de las Mezclas Asfálticas para Capas Inferiores.

Las capas de espesor apreciable (7.5 a 10 cm.) de un pavimento tienen una misión estructural fundamental para absorber la mayor parte de las solicitaciones del tráfico,



de forma que éstas lleguen convenientemente disminuidas a las capas inferiores, explanada o cimienta de la carretera.

Existen tendencias y países que llegan a utilizar paquetes asfálticos de gran espesor que forman la losa estructural fundamental del pavimento. En otros casos la función resistente radica en la colaboración con otras capas de materiales granulares o hidráulicos.

La tendencia tradicional para el diseño de las mezclas de las capas gruesas de base ha sido la de elegir granulometrías inspiradas en el Instituto del Asfalto, con muchos huecos. Las mezclas anteriores son netamente abiertas con un esqueleto mineral, en cuyo rozamiento interno radica la función resistente. Estas mezclas se podían considerar inspiradas en las antiguas bases de piedra partida o Macadam tratadas por penetración con ligantes hidrocarbonatos.

T.2.4 - Propiedades Funcionales de las Mezclas Asfálticas.

Seguridad Resistencia al Deslizamiento Regularidad Transversal Visibilidad (Marcas Viales)
Comodidad Regularidad longitudinal Regularidad transversal Visibilidad Ruido
Durabilidad Capacidad soporte Resistencia a la desintegración superficial
Medio ambiente Ruido Capacidad de ser reciclado
Trabajabilidad

Fuente: "La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras". Ruiz R.



T.2.5 - Propiedades Técnicas de las Mezclas Asfálticas

Textura Superficial
Conductividad hidráulica
Absorción de ruido
Propiedades Mecánicas (en relación con el tráfico) Resistencia a la fisuración por fatiga Resistencia a las deformaciones plásticas permanentes Módulo de rigidez Resistencia a la pérdida de partículas
Durabilidad (en relación con el clima) Resistencia al lavado por el agua Resistencia a la fisuración térmica Resistencia a la fisuración por reflexión Resistencia al envejecimiento
Trabajabilidad Compactabilidad Resistencia a la segregación agregado grueso/fino Resistencia a la segregación agregado/ligante

Fuente: "La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras". Ruiz R

2.5.6 Características de Mezclas Asfálticas.

Al realizar el diseño de mezclas asfálticas en caliente, se deben obtener las siguientes características:

★ *Resistencia a la Deformación Permanente*

La resistencia a la deformación permanente es crítica al elevarse la temperatura durante los meses de verano cuando la viscosidad del cemento asfáltico baja y la carga del tráfico es soportada por la estructura del agregado en mayor proporción. La resistencia a la deformación permanente se controla seleccionando la calidad de agregados con gradación apropiada y seleccionando el contenido asfáltico y vacío adecuado para la mezcla.

★ *Resistencia a la Fatiga*

La mezcla no se agrietará por causa de la repetición de las cargas en un período de tiempo (período de diseño)



★ *Resistencia al agrietamiento por bajas temperaturas*

Esta propiedad es importante en regiones frías que experimentan bajas temperaturas. Sin embargo, para ello se utilizan aditivos diversos.

★ *Durabilidad*

La mezcla contiene suficiente cemento asfáltico asegurando un adecuada espesor de película rodeando las partículas de agregados, así se minimiza el endurecimiento del cemento asfáltico. El curando durante la producción y la puesta en servicio también contribuye a esta característica. Por otro lado, la mezcla compactada no debería tener altos porcentajes de vacíos que aceleren el proceso de curado.

★ *Resistencia a la Humedad*

Algunas mezclas expuestas a humedad pierden adhesión entre el agregado y el cemento asfáltico. Las propiedades de los agregados son los primeros responsables de este fenómeno, aunque algunos cementos asfálticos son más propensos a separarse que otros.

★ *Resistencia al Patinaje*

Este requisito es solamente aplicable a mezclas superficiales que sean diseñados para proporcionar la suficiente resistencia al patinaje.

★ *Trabajabilidad*

La mezcla debe ser capaz de ser colocada y compactada con razonable esfuerzo. Los problemas de trabajabilidad se presentan frecuentemente durante los trabajos de pavimentación.

2.5.7 Clasificación de las Mezclas Asfálticas.

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



T.2.6 - Clasificaciones de las mezclas asfálticas.

PARÁMETRO DE CLASIFICACIÓN	TIPO DE MEZCLA
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Caliente
Vacíos en la mezcla (h)	Cerradas ($h < 6\%$)
	Semicerradas ($6\% < h < 12\%$)
	Abiertas ($h > 12\%$)
	Porosas ($h > 20\%$)
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

Fuente: "Ingeniería de Carreteras" Vol. 1 y Vol. 2. McGraw Hill

a) Por Fracciones de agregado pétreo empleado.

- Masillas.

Son unas mezclas con elevadas proporciones de polvo mineral y de ligante, de manera que si hay agregado grueso, se haya disperso en la masilla formada por aquellos, este tipo de mezcla no trabaja por rozamiento interno y su resistencia se debe a la cohesión que proporciona la viscosidad de la masilla.

Las proporciones de asfalto son altas debido a la gran superficie específica de la materia mineral. Dada la sensibilidad a los cambios de temperatura que puede tener una estructura de este tipo, es necesario rigidizar la masilla y disminuir su susceptibilidad térmica mediante el empleo de asfaltos duros, cuidando la calidad del polvo mineral y mejorando el ligante con adiciones de fibras. Los asfaltos fundidos, son de este tipo, son mezclas de gran calidad, pero su empleo está justificado únicamente en los tableros de los puentes y en las vías urbanas, incluso en aceras, de los países con climas fríos y húmedos.



F.2.11 - Masilla Asfáltica



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

Mortero Asfáltico: Agregado fino más masilla.

F.2.12 - Colocación de Mortero Asfáltico



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

- Concreto Asfáltico: Agregado grueso más mortero.

F.2.13 - Muestra de Concreto Asfáltico.



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.



- Macadam Asfáltico: Agregado grueso más ligante asfáltico.

F.2.14 - Muestra de Macadam Asfaltico.



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

b) Por la Temperatura de Puesta en Obra.

- Mezclas asfálticas en Caliente:

Constituye el tipo más generalizado de mezcla asfáltica y se define como mezcla asfáltica en caliente la combinación de un ligante hidrocarbonado, agregados incluyendo el polvo mineral y, eventualmente, aditivos, de manera que todas las partículas del agregado queden muy bien recubiertas por una película homogénea de ligante. Su proceso de fabricación implica calentar el ligante y los agregados (excepto, eventualmente, el polvo mineral de aportación) y su puesta en obra debe realizarse a una temperatura muy superior a la ambiente.

Se emplean tanto en la construcción de carreteras, como de vías urbanas y aeropuertos, y se utilizan tanto para capas de rodadura como para capas inferiores de los pavimentos. Existen a su vez subtipos dentro de esta familia de mezclas con diferentes características. Se fabrican con asfaltos aunque en ocasiones se recurre al empleo de asfaltos modificados, las proporciones pueden variar desde el 3% al 6% de asfalto en volumen de agregados pétreos.

Se producen asfaltos a unas temperaturas elevadas, en el rango de los 150 grados centígrados, según la viscosidad del ligante, se calientan también los agregados, para que el asfalto no se enfríe al entrar en contacto con ellos. La puesta en obra se realiza a temperaturas muy superiores a la ambiente, pues en caso contrario, estos materiales no pueden extenderse y menos aún compactarse adecuadamente.



F.2.15 - Por Temperatura Puesta en Obra de Concreto Asfáltico



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

- Mezclas Asfálticas en Frío:

Son las mezclas fabricadas con emulsiones asfálticas, la puesta en obra se realiza a temperatura ambiente y su principal campo de aplicación es en la construcción y en la conservación de carreteras secundarias. Para retrasar el envejecimiento de las mezclas abiertas en frío se suele recomendar el sellado por medio de lechadas asfálticas.

Se caracterizan por su trabajabilidad tras la fabricación incluso durante semanas, la cual se debe a que el ligante permanece un largo periodo de tiempo con una viscosidad baja debido a que se emplean emulsiones con asfalto fluidificado: el aumento de la viscosidad es muy lento en los acopios, haciendo viable el almacenamiento, pero después de la puesta en obra en una capa de espesor reducido, el endurecimiento es relativamente rápido en las capas ya extendidas debido a la evaporación del fluidificante. Existe un grupo de mezclas en frío, el cual se fabrica con una emulsión de rotura lenta, sin ningún tipo de fluidificante, pero es menos usual, y pueden compactarse después de haber roto la emulsión. El proceso de aumento paulatino de la resistencia se le suele llamar maduración, que consiste básicamente en la evaporación del agua procedente de la rotura de la emulsión con el consiguiente aumento de la cohesión de la mezcla.



F.2.16 - Mezcla asfáltica en Frió.



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente"- Instituto Salvadoreño del Asfalto.

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.

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados.

Normalmente se utiliza en la construcción de carpetas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiere una alta resistencia estructural, o en renivelaciones y refuerzo de pavimentos existentes.

La proporción de vacíos no supera el 6 %.

F.2.17 - Muestras de Mezclas Asfálticas Cerradas



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente"- Instituto Salvadoreño del Asfalto.

- Mezclas Semi-cerradas o Semi-densas: Es el rango intermedio de las mezclas densas y abiertas. La proporción de vacíos está entre el 6-10%.



- Mezclas Abiertas.

Es la mezcla en caliente, uniforme, homogénea y con un alto porcentaje de vacíos, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos de granulometría uniforme, Estas mezclas normalmente se utilizan para formar capas de rodadura, no tienen función estructural y generalmente se construyen sobre una carpeta de granulometría densa, con la finalidad principal de satisfacer los requerimientos de calidad de rodamiento del tránsito, al permitir que el agua de lluvia sea desplazada por las llantas de los vehículos, ocupando los vacíos de la carpeta, con lo que se incrementa la fricción de las llantas con la superficie de rodadura, se minimiza el acuaplaneo, se reduce la cantidad de agua que se impulsa sobre los vehículos adyacentes y se mejora la visibilidad del señalamiento horizontal.

La proporción de vacíos supera el 12 %.

F.2.18 - Muestra de Mezclas Abiertas



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

- Mezclas Porosas o Drenantes.

Fueron desarrolladas alrededor de 1970. Similar a una mezcla no-porosa pero en donde la arena y los finos han sido removidos dejando más espacios de aire. Esto permite que el agua fluya a través y pueda ser colectada.

- Se requieren aditivos como polímeros o fibras para evitar que el asfalto migre a los vacíos de aire e impida el paso del agua.





Se emplean en capas de rodadura, principalmente en las vías de circulación rápida, se fabrican con asfaltos modificados en proporciones que varían entre el 4.5 % y 5 % de la masa de agregados pétreos, con asfaltos normales, se aplican en vías secundarias, en vías urbanas o en capas de base bajo los pavimentos de Concreto Hidráulico.

Utilizadas como mezclas en caliente para tráficos de elevada intensidad y como capas de rodadura en espesores de unos 4 cm., se consigue que el agua lluvia caída sobre la calzada se evacue rápidamente por infiltración.

La proporción de vacíos es superior al 20 %.

F.2.19 - Muestra de Mezclas Drenantes



Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

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 microaglomerados, pueden denominarse también morteros asfálticos, pues se trata de mezclas formadas básicamente por un árido 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.



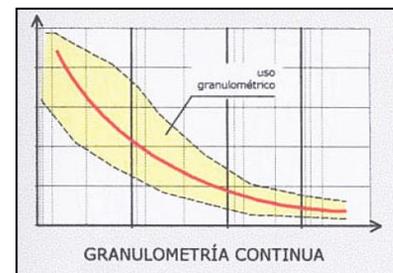
e) Por la Estructura del agregado pétreo.

- 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.

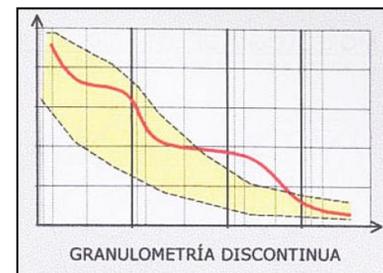
- Mezclas sin Esqueleto mineral: No poseen un esqueleto mineral resistente, la resistencia es debida exclusivamente a la cohesión de la masilla. Ejemplo, los diferentes tipos de masillas asfálticas.

f) Por la Granulometría.

- Mezclas Continuas: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.



- Mezclas Discontinuas: Una cantidad muy limitada de tamaños de agregado pétreo en el uso granulométrico.



2.5.8 Consideraciones para la Selección y Proyecto de una Mezcla Asfáltica.

En muchas ocasiones, el proyecto de una mezcla asfáltica se reduce a determinar su contenido de ligante, sin embargo, esa es solo la última fase de un proceso más amplio, que requiere de un estudio cuidadoso de todos los factores involucrados, a fin de garantizar un comportamiento adecuado de la mezcla y un considerable ahorro económico en la solución.

Las fases de las que consta el proyecto de una mezcla son las siguientes:



a) Análisis de las condiciones en las que va a trabajar la mezcla: tráfico, tipo de infraestructura (carretera, vía urbana, aeropuerto, etc.), la capa de la que se trata (rodadura, intermedia o base) y espesor, naturaleza de las capas subyacentes, intensidad del tráfico pesado, clima, etc. asimismo, hay que distinguir si se trata de un pavimento nuevo o de una rehabilitación.

b) Determinación de las propiedades fundamentales que ha de tener la mezcla, dadas las condiciones en las que ha de trabajar. Debe establecerse la resistencia a las deformaciones plásticas o la flexibilidad, entre otras.

c) Elección del tipo de mezcla que mejor se adapte a los requerimientos planteados, incorporando en este análisis las consideraciones económicas o de puesta en obra que haya que considerar.

d) Materiales disponibles, elección de los agregados pétreos, los cuales deben cumplir con determinadas especificaciones, pero que en general serán los disponibles en un radio limitado y, por lo tanto, a un costo razonable. Asimismo, hay que elegir el polvo mineral de aportación.

e) Elección del tipo de ligante: asfalto, asfalto modificado, emulsión asfáltica, el costo es siempre un factor muy relevante.

f) Dosificación o determinación del contenido óptimo de ligante según un proceso que debe adaptarse al tipo de mezcla, la cual debe hacerse para distintas combinaciones de las fracciones disponibles del agregado pétreo, de manera que las granulometrías conjuntas analizadas estén dentro de un uso previamente seleccionado.

g) Otros factores a tener en cuenta en el diseño y selección de una mezcla asfáltica son los siguientes: Exigencias de seguridad vial, Estructura del pavimento,



Técnicas de Diseño y Ejecución, Sitio de construcción del pavimento (topografía, temperatura, terreno, periodo de lluvias trazado de la vía, entre otros), Condiciones de drenaje, Consideraciones económicas.

Para realizar el proyecto de una mezcla asfáltica que se empleará en un determinado pavimento existe una gama amplia de posibles soluciones, para esto se hace necesario un estudio muy riguroso y detenido, para elegir el diseño más adecuado técnica y económicamente.

Existen también principios que se aplican de acuerdo con las siguientes reglas:

a) Tipo de mezclas asfálticas según su composición granulométrica.

El tipo de mezcla asfáltica a emplear se determinará en función de:

- La capa de pavimento a que se destine.
- La categoría del tráfico.
- La sección de pavimentos correspondiente.

b) Tipo de ligante asfáltico.

El tipo de ligante asfáltico a emplear dependerá de:

- La capa de pavimento a que se destine la mezcla.
- El tipo de mezcla.
- La categoría del tráfico.
- El clima de la zona en que se encuentre la carretera.

c) Relación Fíller / Asfalto.

La relación ponderal de los contenidos de fíller y asfalto de la mezcla asfáltica, dependerá de:

- La capa de pavimento a que se destine la mezcla.
- El tipo de mezcla.
- La categoría del tráfico.
- La zona en que se encuentre la carretera.



2.6 METODOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS.

2.6.1 Tipos de Métodos de Diseño de Mezclas Asfálticas.

Entre los diversos métodos de diseño de mezclas asfálticas se encuentran los siguientes: Marshall, Hveen y Superpave.

■ Método Marshall:

Es uno de los métodos de diseño de mezclas más usados en la actualidad. Esta técnica de diseño fue desarrollada por Bruce Marshall siendo US Army Corps of Engineers quien depuró y adicionó ciertos aspectos a las propuestas de Marshall al punto de que el ensayo fue normalizado como ASTM D 1559. El método Marshall es un experimento de laboratorio dirigido al diseño de una adecuada mezcla asfáltica por medio del análisis de su estabilidad, fluencia, densidad y vacíos.



Una de las virtudes del método Marshall es la importancia que se asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Este análisis garantiza que las importantes proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla estén dentro de rangos adecuados para asegurar una mezcla durable. Desafortunadamente una de sus grandes desventajas es el método de compactación de laboratorio por impacto el cual no simula la densificación de la mezcla que ocurre bajo tránsito en un pavimento real.

■ Metodo Hveen:

Los conceptos del Método Hveem de diseño de mezclas de pavimentación fueron desarrollados por Francis N. Hveem, anteriormente Ingeniero de Materiales e Investigación con la División de Carreteras de California.

El método abarca la determinación de un contenido aproximado de asfalto por medio del ensayo Equivalente Centrifugo de Kerosene, y luego el sometimiento de probetas



con este contenido de asfalto, y con contenidos mayores y menores, a un ensayo de estabilidad. También se efectúan un ensayo de expansión sobre una probeta que ha sido expuesta al agua.

El método Hveen también implica análisis de densidad, estabilidad y la resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua. El método Hveen tiene dos ventajas concretas el método de compactación por amasado y el parámetro de resistencia, estabilidad. La desventaja del procedimiento Hveen es que el equipo de ensayo, en particular el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveen, es algo más costoso que el equipamiento del Marshall y no muy portable. Además, algunas propiedades volumétricas relacionadas con la durabilidad de la mezcla no son rutinariamente determinadas en el método, tomando en cuenta también que el método de selección del contenido de asfalto es demasiado subjetivo y podría resultar en una no durable mezcla con poco asfalto.



■ Metodo Superpave:

En 1987 el SHRP (Strategic Highway Reserch Program) comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificación de materiales asfálticos.

El producto final del programa de investigación sobre asfaltos de SHRP es un nuevo sistema conocido como SUPERPAVE (Superior Perfoming Asphalt Pavement). El Software de Superpave es una nueva metodología para la selección del ligante asfáltico y el diseño de la mezcla. Superpave representa el sistema más avanzado de especificación de los materiales, diseño de mezclas





asfálticas y su análisis, así como la predicción del desempeño de los pavimentos, incluyendo equipos de ensayo, métodos de ensayo y criterios.

El sistema Superpave proporciona un medio completo y muy amplio para diseñar mezclas con base en los requerimientos específicos de comportamiento definidos por el tránsito, el clima y la sección estructural del pavimento en una cierta localización. Se facilita con este sistema, la selección y combinación de asfalto agregado y, de ser necesario, de un aditivo, para alcanzar el nivel requerido de comportamiento en el pavimento. El sistema es aplicable tanto para mezclas densas en caliente vírgenes o recicladas

2.6.2 Parámetros Volumétricos.

Un factor que debe ser tomado en cuenta al considerar el comportamiento de la mezcla asfáltica, es el de las *proporciones volumétricas* del asfalto y de los componentes del agregado; o más simplemente, *parámetros volumétricos de la mezcla asfáltica*. En este apartado se describe el análisis volumétrico de MAC, el cual juega un rol significativo en muchos procedimientos de diseño de mezclas.

Las propiedades volumétricas de una mezcla de pavimento compactado (vacíos de aire (V_a); vacíos en el agregado mineral (VMA); vacíos llenados con asfalto (VFA), y contenido de asfalto efectivo (P_{be}) proporcionan una indicación del probable funcionamiento de la mezcla asfáltica. Es necesario entender las definiciones y los procedimientos analíticos descritos en este capítulo para poder tomar decisiones concernientes a la selección del diseño de mezclas asfálticas. La información aplica tanto a mezclas elaboradas en laboratorio, como a probetas asfálticas extraídas en el campo.

Definiciones.

El agregado mineral es poroso y puede absorber agua y asfalto a un grado variable. Además, el cociente de absorción entre el agua y el asfalto varía con cada agregado. Los tres métodos para medir la gravedad específica del agregado toman estas variaciones



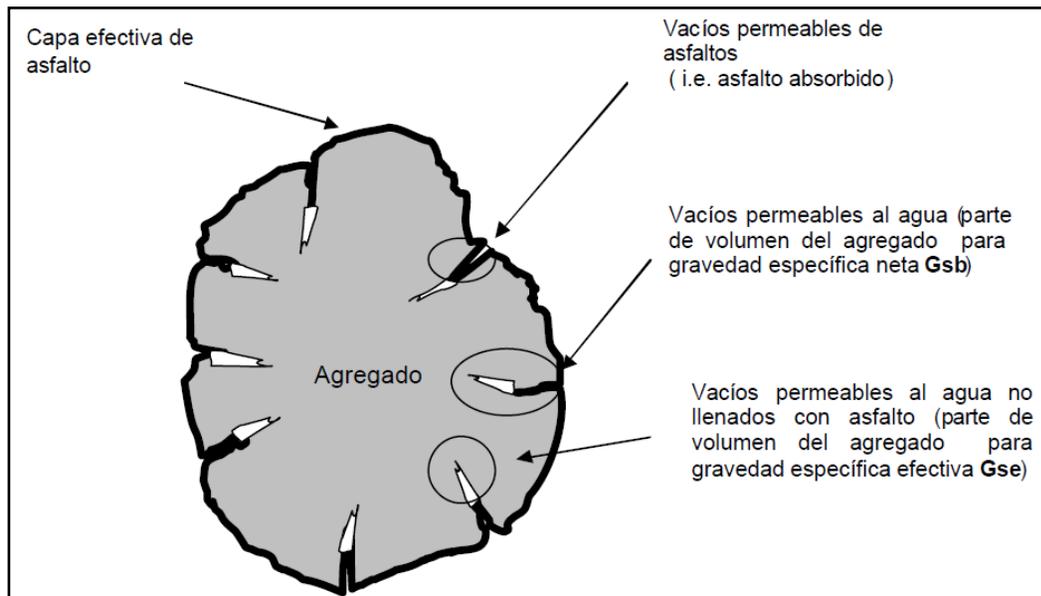
en consideración. Estos métodos son, la gravedad específica neta, la aparente y la efectiva.

Gravedad Específica Neta, G_{sb} . - Proporción de la masa al aire de una unidad de volumen de un material permeable (incluyendo vacíos permeables e impermeables del material) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada (Figura 2.20).

Gravedad Específica Aparente, G_{sa} . - Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada (Figura 2.20).

Gravedad Específica Efectiva, G_{se} . - Proporción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material permeable (excluyendo vacíos permeables de asfalto) a una temperatura indicada, con respecto a una masa al aire de igual densidad de volumen igual al de agua destilada a una temperatura indicada (Figura 2.20).

F.2.20 - Ilustración de los Parámetros de Diseño Volumétrico.



Fuente: <http://www.imt.mx>



Vacíos en el Agregado Mineral, VAM. - Volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado de una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total de la muestra (Figura 2.21).

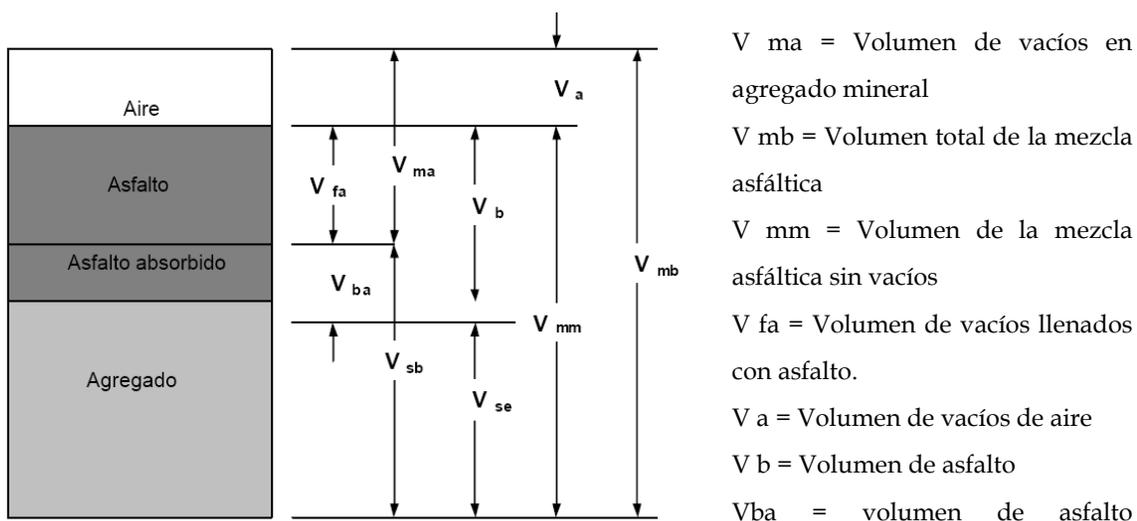
Contenido de Asfalto Efectivo, Pbe. - Contenido de asfalto total de una mezcla asfáltica, menos la proporción de asfalto absorbido en las partículas del agregado.

Vacíos de Aire, Va. - Volumen total de una pequeña bolsa de aire entre las partículas cubiertas del agregado en una mezcla de pavimento compactado, expresado como el porcentaje del volumen neto de la mezcla del pavimento compactado (Figura 2.21).

Vacíos Llenados con Asfalto, VFA. - Porción del porcentaje del volumen de espacio vacío intergranular entre las partículas del agregado, que es ocupado por el asfalto efectivo. Se expresa como la porción de $(VAM - V_a)$ entre VAM. (Figura 2.21).

El procedimiento de diseño de mezcla, calcula los valores de VAM para las mezclas de pavimento en términos de la gravedad específica neta de los agregados, Gsb.

F.2.21 - Componente del diagrama de compactación de una MAC.



absorbido

V_{sb} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica de la masa)

V_{se} = Volumen de agregado mineral (gravedad específica efectiva)



Fuente: <http://www.imt.mx>

Los vacíos en el agregado mineral (VAM) y vacíos de aire (Va), se expresan como un porcentaje del volumen de la mezcla asfáltica. Los vacíos llenos de asfalto (VFA) son el porcentaje del VAM llenado con el asfalto efectivo.

Dependiendo de cómo se especifica el contenido de asfalto, el contenido de asfalto efectivo puede expresarse como un porcentaje de la masa total de la mezcla asfáltica, o como porcentaje de la masa del agregado de la mezcla asfáltica.

Debido a que el vacío de aire, VAM y VFA son cantidades de volumen; una mezcla asfáltica, primero debe ser diseñada o analizada sobre la base del volumen. Para propósitos de diseño, este acercamiento volumétrico puede ser fácilmente cambiado a valores de masas, para proveer una mezcla de diseño.

2.6.2.1 Gravedad Específica Neta del Agregado.

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

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}}$$

Donde:

G_{sb} = Gravedad específica neta para el agregado total.

P_1, P_2, P_n = Porcentajes individuales por masa de agregado.

G_1, G_2, G_n = Gravedad específica neta individual del agregado.

La gravedad específica neta del filler es difícil de determinar correctamente. De cualquier modo, si la gravedad específica aparente del filler es estimada, el error es usualmente insignificante.

2.6.4.2 Gravedad Específica Efectiva del Agregado.

Cuando se basa en la gravedad específica máxima de una mezcla de pavimento, G_{mm} , la gravedad específica efectiva del agregado, G_{se} , incluye todos los espacios de vacíos



en las partículas del agregado, excepto aquellos que absorben el asfalto; G_{se} se determina usando:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima (ASTM D 2041/ AASHTO T 209) de mezcla de pavimento (sin vacíos de aire).

P_{mm} = Porcentaje de masa del total de la mezcla suelta = 100

P_b = Contenido de asfalto con el cual ASTM D 2041/ AASHTO T 209 desarrolló el ensayo; el porcentaje por el total de la masa de la mezcla

G_b = Gravedad específica del asfalto

El volumen de asfalto absorbido por los agregados es casi invariablemente menor al volumen de agua absorbida. Por tanto, el valor para la gravedad específica efectiva de un agregado debe estar entre su gravedad específica neta y su gravedad específica aparente. Cuando la gravedad específica efectiva sale de estos límites, su valor se debe asumir como incorrecto. El cálculo de la gravedad específica máxima de la mezcla mediante la ASTM D 2041/ ASSHTO T 209; la composición de la mezcla en términos del contenido de agregado; y el total de asfalto se deben entonces, volver a inspeccionar para encontrar la causa del error.

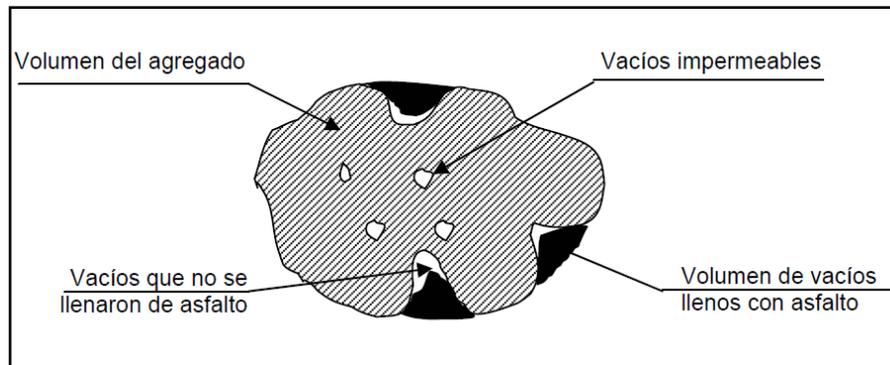
2.6.4.3 Gravedad Específica Máxima de la Mezcla Asfáltica.

En el diseño de una mezcla asfáltica para un agregado dado, se necesitará la gravedad específica máxima, G_{mm} , para cada contenido de asfalto con el fin de calcular el porcentaje de vacíos de aire para cada contenido de asfalto. Mientras que la gravedad específica máxima puede determinarse para cada contenido de asfalto mediante ASTM D 2041/ ASSHTO T 209; la precisión del ensayo es mejor cuando la mezcla está cerca del



contenido de asfalto de diseño. Además, es preferible medir la gravedad específica máxima por duplicado o triplicado.

F.2.22 - Ilustración de Gravedad Específica Teórica Máxima.



Fuente: Manual de Laboratorios, Ensayos para Pavimentos Volumen I.

Después de calcular la gravedad específica efectiva del agregado para cada gravedad específica máxima medida; y promediando los resultados del G_{se} , la gravedad específica máxima para cualquier otro contenido de asfalto puede obtenerse con la siguiente ecuación, la cual supone que la gravedad específica efectiva del agregado es constante, y ésta es válida puesto que la absorción del asfalto no varía apreciablemente con los cambios en el contenido de asfalto.

$$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$$

Donde:

G_{mm} = Gravedad específica teórica máxima de la mezcla del pavimento
(Sin vacíos de aire)

P_{mm} = Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 100

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje del total de la masa de la mezcla

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado

G_b = Gravedad específica del asfalto



2.6.2.4 Absorción del Asfalto.

La absorción se expresa como un porcentaje de la masa del agregado, más que como un porcentaje del total de la masa de la mezcla.

La absorción del asfalto, P_{ba} , se determina mediante:

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \times G_b$$

Donde:

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado.

G_{se} = Gravedad específica efectiva del agregado.

G_{sb} = Gravedad específica neta del agregado.

G_b = Gravedad específica del asfalto.

2.6.2.5 Contenido de Asfalto Efectivo.

El contenido de asfalto efectivo, P_{be} , de una mezcla de pavimento es el volumen total de asfalto, menos la cantidad de asfalto perdido por absorción dentro de las partículas del agregado. Es la porción del contenido total de asfalto que se queda como una capa en el exterior de la partícula del agregado y es el contenido de asfalto que gobierna el desempeño de una mezcla asfáltica. La fórmula es:

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

Donde:

P_{be} = Contenido de asfalto efectivo, porcentaje de la masa total de la mezcla

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje de la masa total de la mezcla

P_{ba} = Asfalto absorbido, porcentaje de la masa del agregado

P_s = Contenido de agregado, porcentaje total de la masa de la mezcla

2.6.2.6 Porcentaje de Vacíos en el Agregado Mineral.

Los vacíos en el agregado mineral, VAM, se definen como el vacío intergranular entre las partículas del agregado en una mezcla asfáltica compactada, que incluye los vacíos de aire y el contenido de asfalto efectivo, expresado como un porcentaje del volumen total. El VAM puede calcularse sobre la base de la gravedad específica neta del



agregado, y expresarse como un porcentaje del volumen mezcla asfáltica compactada. Por tanto, el VAM puede estimarse restando el volumen del agregado determinado por su gravedad específica neta, del volumen neto de la mezcla asfáltica compactada. Si la composición de la mezcla se determina como el porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}} \times 100$$

Donde:

VMA = Vacíos en el agregado mineral (porcentaje del volumen neto)

G_{sb} = Gravedad específica neta del total de agregado.

G_{mb} = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada (ASTM D 1188 o D 2726/ AASHTO T 166)

P_s = Contenido de agregado, porcentaje del total de la masa de la mezcla asfáltica o, si la composición de la mezcla es determinada como el porcentaje de la masa del agregado:

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_b} \times 100$$

Donde:

P_b = Contenido de asfalto, porcentaje de la masa del agregado.

2.6.4.7 Porcentaje de Vacíos de Aire.

Los vacíos de aire, P_a , en la mezcla asfáltica compactada consiste en los pequeños espacios de aire entre las partículas de agregado. El porcentaje del volumen de vacíos de aire en una mezcla compactada, puede determinarse usando:

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

Donde:

P_a = Vacíos de aire en la mezcla compactada, porcentaje del volumen total

G_{mm} = Gravedad específica máxima de la mezcla asfáltica.

G_{mb} = Gravedad específica neta de la mezcla asfáltica compactada.



2.6.4.8 Porcentaje de Vacíos Llenos de Asfalto.

El porcentaje de los vacíos en el agregado mineral que son llenados por el asfalto, VFA, no incluyendo el asfalto absorbido, se determina usando:

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

Donde:

VFA = Vacíos llenados con asfalto, porcentaje de VAM

VAM = Vacíos en el agregado mineral, porcentaje del volumen total

V_a = Vacíos de aire en mezclas compactadas, porcentaje del volumen total

2.6.3 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 éstas pueden 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

2.6.3.1 Densidad.

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario (el peso de un volumen específico de mezcla). La densidad es una característica muy importante, debido a que es esencial tener una alta densidad en el pavimento terminado para obtener un rendimiento duradero.

En las pruebas y el análisis de diseño de mezclas, la densidad de la muestra compactada se expresa, generalmente, en kilogramos por metro cúbico (kg/m³) o libras por pie cúbico (lb/ft³). La densidad es calculada al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua (1,000kg/m³ ó 62.416 lb/ft³). 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 muy rara vez la compactación in-situ logra las densidades que se obtienen al usar los métodos normalizados de compactación de laboratorio.

2.6.3.2 Vacíos de Aire (o simplemente vacíos).

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 donde puede fluir el asfalto durante esta compactación adicional. El porcentaje permitido de vacíos (en muestras de laboratorio) para capas de base y capas superficiales está entre 3 y 5%, 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, menor 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 de 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%.



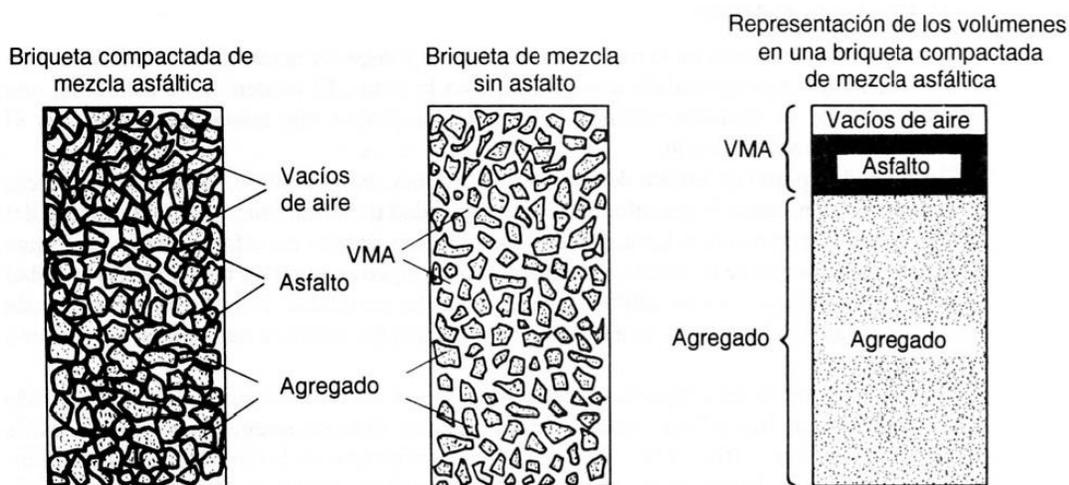
2.6.3.3 Vacíos en el Agregado Mineral.

Los vacíos en el agregado mineral (VMA) son los espacios de aire 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 (i.e. todo el asfalto menos la porción que se pierde, por absorción, en el agregado) y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla. Cuanto 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 de agregado. Estos valores se basan en el hecho de que cuanto más gruesa sea la película de asfalto que cubre las partículas de agregado, más durable será la mezcla. La Figura 2.23 ilustra el concepto de VMA.

F.2.23 - Ilustración del VMA en una mezcla Compactada.

(Nota: para simplificar, el volumen de asfalto absorbido no es mostrado)



Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto MS-2

Para que pueda lograrse un espesor durable de película de asfalto, se deben tener valores mínimos de VMA. Un aumento en la densidad de la graduación de agregado, hasta el punto donde se obtengan valores de VMA por debajo del mínimo especificado, puede resultar en películas delgadas de asfalto y en mezclas de baja durabilidad y



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

2.6.3.4 Contenido de Asfalto.

La proporción de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada en el laboratorio, y luego controlada con precisión en la obra. El contenido de asfalto de una mezcla particular se establece al usar los criterios dictados por el método de diseño seleccionado.

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 de 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 las 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 0.075mm (No 200)). Los pequeños incrementos en la cantidad de relleno mineral, pueden absorber, literalmente, gran parte del 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). Cualquier variación en el contenido de 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 la empeorara. En vez de hacer ajustes arbitrarios, se deberá efectuar un muestreo y unas pruebas apropiados para determinar las causas de las variaciones y si es necesario, establecer otro diseño de mezclas.

La capacidad de absorción (habilidad de 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 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 cualidades deseadas en la mezcla. El contenido efectivo de asfalto es el volumen de asfalto no absorbido por el agregado, en la cantidad de asfalto que forma una película ligante efectiva sobre las superficies 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 asfalto es, obviamente, una característica importante en definición del contenido de asfalto de una mezcla. Generalmente se conoce la capacidad de absorción de las fuentes comunes de agregado, pero es necesario efectuar ensayos cuidadosos cuando son usadas fuentes nuevas.

2.6.4 Propiedades Consideradas en el Diseño de Mezclas

Las propiedades utilizadas en el diseño de mezcla y sus aplicaciones son innumerables, como también los nombres usados para describir las mezclas. De todos modos los tipos de Mezcla Asfáltica en Caliente pueden ser reducidos a dos mezclas de graduación, agregado de relación baja de vacíos o relación alta de vacíos.

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.

2.6.4.1 Estabilidad.

La estabilidad de un asfalto es su capacidad para resistir deslizamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Un pavimento es capaz de mantener su forma y finura 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 las 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 de otras debido a las fuerzas ejercidas por el tránsito. En términos más 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 agregados disponibles con características de alta fricción interna, se pueden usar mezclas más económicas, en lugares donde se espere tráfico liviano, al utilizar agregados con menores valores de fricción interna

La fuerza ligante de la cohesión aumenta con incrementos en la frecuencia de carga (tráfico). La cohesión también aumenta a medida que la viscosidad del asfalto crece, o a medida que la temperatura del pavimento disminuye. Adicionalmente, y hasta cierto nivel, la cohesión aumenta con incrementos 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 pérdidas de fricción entre las partículas. Existen muchas causas y efectos asociados con una estabilidad insuficiente en el pavimento. La Tabla 2.7 enuncia varias de estas causas y efectos.



T.2.7 - Causas y Efectos de Inestabilidad en el Pavimento

Causas	Efectos
Exceso de Asfalto	Ahuellamiento, Exudación
Exceso de Arena Natural no Angular	Mezcla blanda durante la compactación, Ahuellamiento
Agregado redondeado sin suficientes caras trituradas	Ahuellamiento.

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

2.6.4.2 Durabilidad.

La durabilidad de un pavimento asfáltico es su habilidad para resistir factores tales como la desintegración del agregado, cambios en las propiedades del asfalto (polimerización y oxidación), y separación de las películas de asfalto. Estos factores pueden ser e resultado de la acción del clima, el transito, o una combinación de ambos. Generalmente, la durabilidad de una mezcla puede ser mejorada de tres formas. Estas son: usando la mayor cantidad posible 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, dificultando 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 de agregado, lo cual mejora la impermeabilidad de la mezcla Un agregado firme y duro resiste la desintegración bajo las cargas del transito. 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 minerales 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 asociados con una poca durabilidad del pavimento. La Tabla 2.8 presenta una lista de algunas de estas causas y efectos.

T.2.8 - Causas y Efecto de Poca Durabilidad.

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Difícil compactar, desprendimiento, fisuras prematuras
Alto contenido de vacíos en el pavimento	Mezcla porosa, desprendimiento, fisuras prematuras
Mezcla susceptible al daño por humedad	Desprendimiento superficial, desintegración de capas abajo de la superficie, baches

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

2.6.4.3 Impermeabilidad.

La impermeabilidad de un pavimento asfáltico es la resistencia al paso de aire y agua hacia su interior, o a través de él. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada. 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 más 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. La Tabla 2.9 cita ciertas causas y efectos relacionados con valores bajos de impermeabilidad para pavimentos asfálticos de graduación densa.



T.2.9 - Causas y Efectos de la Permeabilidad

Causas	Efectos
Bajo Contenido de Asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran 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	Vacíos altos en el pavimento, lo cual conducirá a infiltración de agua.

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

2.6.4.4 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 una mala trabajabilidad son difíciles de colocar y compactar. La trabajabilidad puede ser mejorada al modificar los parámetros del diseño de la mezcla, el tipo de agregado, y/o granulometría.

Las mezclas gruesas (mezclas que contienen 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 mineral también puede afectar la trabajabilidad. Puede ocasionar que la mezcla se vuelva viscosa, al dificultar su compactación.

La trabajabilidad es especialmente importante en sitios donde se requiere colocar y rastrillar a mano cantidades considerables de mezcla, 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 mezclas tiernas. Las mezclas tiernas son demasiado inestables para ser colocadas y compactadas de manera apropiada. Usualmente son el producto de una falta de relleno mineral, demasiada arena de tamaño mediano, partículas lisas y redondas de agregado, y/o demasiada humedad en la mezcla.

Aunque el asfalto no es la principal causa de los problemas de la trabajabilidad, sí tiene algún efecto especial 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. La Tabla 2.10 cita algunas causas y efectos relacionados con la trabajabilidad de mezclas de pavimentación.

T.2.10 - Causas y Efectos de Problemas en la Trabajabilidad

Causas	Efectos
Tamaño Máximo de partículas grandes	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 mixto	La mezcla se desplaza bajo la compactadota, permanece firme o blanda
Bajo contenido de relleno Mineral	Mezcla firme, altamente permeable
Alto contenido de relleno Mineral	Mezcla muy viscosa, difícil de manejar, poco durable

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.

2.6.4.5. Flexibilidad.

Es la capacidad de un pavimento asfáltico para acomodarse, sin que se agriete, a movimientos y asentamientos 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 de bajo contenido de asfalto. Algunas veces los requerimientos de flexibilidad entran en conflicto con los requisitos de estabilidad, de tal manera que se debe buscar el equilibrio de los mismos.

2.6.4.6. Resistencia a la Fatiga.

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las cargas de tránsito. Se ha demostrado, por medio de investigaciones 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. Asimismo, 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 de agrietamiento asociado con cargas de tránsito. Los pavimentos de gran espesor sobre subrasantes resistentes no se flexionan tanto, bajo las cargas, como los pavimentos delgados o aquellos que se encuentran sobre subrasantes débiles.

La Tabla 2.11 presenta una lista de causas y efectos que conducen a una mala resistencia a la fatiga.

T.2.11 - Causas y Efectos de una Mala Resistencia a la Fatiga

Causas	Efectos
Bajo Contenido de Asfalto	Agrietamiento por Fatiga
Vacíos 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

Fuente: Seminario "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño de Asfalto.



2.6.4.7 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 está 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, a una velocidad de 65 km/hr (40 mi/hr).

Una superficie áspera y yugosa 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 gradación abierta y con un tamaño máximo de 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ pulgada) a 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ pulgada). Además de tener una superficie áspera, los agregados deben resistir el pulimento (aislamiento) 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.

CAPITULO III:

ENSAYOS PARA DE LOS AGREGADOS.



3.1 Descripción de Ensayos para Agregado a Utilizar en la Producción de Mezclas Asfálticas en Caliente.

Ensayos de Laboratorio para Agregados Pétreos en Mezclas Asfálticas

No	Ensayos	ASTM	AASHTO	Agregado Grueso	Agregado Fino
1	Sanidad/Disgregabilidad	C - 88	T 104	*	*
2	Material que pasa la Malla No 200	C - 117	T 11		*
3	Partículas Ligeras	C - 123	T 113		*
4	Gravedad Especifica y Absorción	C - 127	T 85	*	
		C - 128	T 84		*
5	Abrasión	C - 131	T 96	*	
6	Granulometría	C - 136	T 27	*	*
7	Partículas Desmenuzables	C - 142	T 112	*	*
8	Equivalente de Arena	D - 2419	T 176		*
9	Índice de Durabilidad	D - 3744	T 210	*	*
10	Partículas Planas y Alargadas	D - 4791	--	*	
11	Caras Fracturadas	D - 5821	--	*	

Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente Instituto Salvadoreño del Asfalto.

3.1.1 Sanidad/Disgregabilidad (ASTM C 88)

Este método cubre las pruebas de agregados para estimar su sanidad cuando están sujetos a la acción de intemperismo por ejemplo en concreto u otras aplicaciones. Esto se realiza por inmersión repetida en solución de sulfato de sodio o de magnesio seguida por secado al horno hasta que se deshidrate parcial o totalmente la sal precipitada en los espacios de los poros permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal durante la reinmersión, simula la expansión del agua durante el congelamiento. Este método de prueba proporciona información útil en la evaluación de la sanidad de los agregados cuando no hay información adecuada disponible en los registros de servicios del material expuesto a las condiciones de intemperismo actual.

Importancia y uso

Este método de prueba proporciona un procedimiento para hacer una estimación preliminar de la sanidad de los agregados para su uso en concreto y para otros propósitos. Los valores obtenidos pueden ser comparados con especificaciones, por ejemplo la especificación C 33, que son diseñadas para indicar la conveniencia de usar



los agregados propuestos. Cuando la precisión de este método es pobre, puede no ser conveniente en el momento el rechazo del material sin la confirmación de otros métodos de prueba más estrechamente relacionados con el servicio específico intentado.

Los valores para el porcentaje de pérdida permitido por este método de prueba son usualmente diferentes para agregados finos y gruesos, y es de llamar la atención el hecho de que los resultados por el uso de las dos sales difiere considerablemente y debe tenerse cuidado en fijar límites apropiados en cualquier especificación que incluya requerimientos para esta prueba. La prueba es usualmente más severa cuando se usa sulfato de magnesio; por lo tanto, los límites para el porcentaje de pérdida permitido cuando se usa sulfato de magnesio son normalmente más altos que los límites cuando se usa sulfato de sodio.

Resumen del método

Se sumergen las muestras en la solución preparada de 16 a 18 h, de tal manera que cubra el agregado hasta una profundidad de $\frac{1}{2}$ " , evitando la evaporación y previniendo la adición accidental de sustancias ajenas por medio de una tapa sobre el contenedor. Las muestras sumergidas en la solución se mantienen a una temperatura de $21 \pm 1^\circ\text{C}$ durante el periodo de inmersión.

F.3.1 - Preparación de las muestras para ensayo de sanidad.



Fuente: <http://www.imt.mx/>



Después del periodo de inmersión se retiran las muestras de agregado de la solución, se dejan escurrir 15 ± 5 minutos se secan al horno a una temperatura constante de 105 ± 5 °C hasta obtener una masa constante. Se establece el tiempo requerido para alcanzar esa masa constante con el horno conteniendo la muestra de carga máxima esperada, verificando la pérdida de masa de las muestras retirándolas y pesándolas, sin enfriar, a intervalos de 2 a 4 h, con suficientes verificaciones se establece el tiempo de secado requerido. Se dejan enfriar las muestras y se repite el proceso alterno de inmersión y secado hasta que el número de ciclos requerido se obtenga.

Después de completar el ciclo final y con la muestra enfriada, se lava hasta que esté libre de la solución determinado por la reacción del agua lavada con cloruro de bario ($BaCl_2$). Para lavar la muestra se circula el agua a 43 ± 6 °C a través de las muestras en sus contenedores. En la operación de lavado se debe evitar impactos o abrasión que pueden provocar rompimiento de las partículas.

La prueba se realiza para cada fracción de tamaños de la muestra que se retiene en la malla 4, esto es por ejemplo de $\frac{1}{2}$ " a malla No. 4, $\frac{3}{4}$ " a $\frac{1}{2}$ ", 1" a $\frac{3}{4}$ ".

Cálculos

Ya sin la solución y después de secar el agregado, se criba el agregado fino con la misma malla en la cual este fue retenido antes del ensayo y se criba el agregado grueso con las mallas de acuerdo al tamaño apropiado de partícula. Se pesa el material retenido en cada una de las mallas, la diferencia entre cada una de estas cantidades y la masa inicial de la fracción de la muestra es la pérdida en el ensayo y es expresada en porcentaje del peso inicial, de acuerdo a las siguientes expresiones:

$$D = \frac{B - C}{B} \times 100 \quad E = \frac{D_i \times A_i}{100}$$

Donde:

B = Masa antes del ensayo

C = Masa después del ensayo

D_i = Pérdida individual

A_i = Porcentaje de cada fracción de tamaño

E = Pérdida total o % de sanidad del agregado



3.1.2 Material que pasa la malla No 200. (ASTM C 117)

Existen diversos materiales que con cierta frecuencia acompañan a los agregados entre dichos materiales contaminantes los mas comunes son los finos indeseables (limo y arcilla). Por lo reducido del tamaño de sus partículas ambos materiales (limo y arcilla) son indeseables en los agregados, pues incrementan el requerimiento de agua de mezclado y los cambios volumétricos del concreto, pero en igualdad de proporciones se considera más perjudicial la arcilla por su carácter plástico.

Importancia y Uso.

El material fino, que pasa el tamiz de 75 μm (No.200) puede separarse de las partículas mayores, en forma mucho más eficiente y completa, mediante tamizado por vía húmeda, que a través del tamizado en seco. Por esto, cuando se desean determinaciones precisas del material más fino que 75 μm en los agregados finos o gruesos, se usa este método, antes de efectuar el tamizado en seco de la muestra (Norma ASTM C 136).

Los resultados de este ensayo se incluyen en los cálculos obtenidos mediante tamizado en seco (Norma ASTM C 136) y se informan junto con los resultados de dicho ensayo.

Normalmente, la cantidad adicional de material menor que 75 μm obtenido por el tamizado en seco (Norma ASTM C 136) es pequeña, pero si no lo es, este hecho puede indicar una falta de eficiencia en el lavado, o degradación del material durante el proceso.

Resumen del Método.

Secar la muestra de ensayo, hasta peso constante, a una temperatura que no exceda los $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) y pésese con una precisión de 0.1%.

Después de secada y pesada, colocar la muestra de ensayo en el recipiente y agregar suficiente cantidad de agua para cubrirla. Agitar vigorosamente el contenido del recipiente y de inmediato viértase sobre el juego de tamices armado. Se considera satisfactorio el uso de una cuchara grande para agitar la muestra en el agua.



Agitar con suficiente vigor para lograr la separación total de todas las partículas más finas que el tamiz de 75 μm (No.200) y provocar la suspensión del material fino, de manera que pueda ser removido por decantación del agua de lavado. Es conveniente tener el cuidado necesario para no arrastrar las partículas más gruesas. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado salga completamente limpia.

Devolver todo el material retenido en el juego de tamices a la muestra lavada. Secar el agregado lavado hasta obtener un peso constante, a una temperatura que no exceda de $110^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$) y pesar con una aproximación de 0.1% del peso de la muestra.

Calculo.

Calcúlese la cantidad de material que pasa el tamiz de 75 μm (No.200) por lavado, de la siguiente forma:

$$A = [(B-C)/B] \times 100$$

Siendo:

A = Porcentaje del material fino que pasa el tamiz de 75 μm (No.200) por lavado.

B = Peso original de la muestra seca, en gramos.

C = Peso de la muestra seca, después de lavada, en gramos

3.1.3 Partículas ligeras. (ASTM C 123)

Importancia y Uso.

Esta norma tiene por objeto establecer el método para determinar el porcentaje de partículas ligeras en los agregados pétreos, mediante separación por suspensión, en un líquido de gravedad específica elevada.

Resumen del Método.

Agregado fino - Se coloca la muestra dentro del recipiente con el líquido de gravedad específica alta, cuyo volumen mínimo debe ser tres veces el del agregado.

El líquido que rebosa se vierte en un segundo recipiente, pasándolo a través del tamiz, teniendo el cuidado de que solamente las partículas que floten, se viertan en el tamiz.



Se devuelve el líquido recogido en el segundo recipiente al primero; después de agitar la muestra vigorosamente, se repite la operación anterior, hasta cuando la muestra esté libre de partículas flotantes.

Se lavan las partículas decantadas contenidas en el colador en un solvente apropiado para quitar el líquido pesado y se deja secar. El alcohol es apropiado para 1,1,2,2 tetrabromoetano y agua para las soluciones de cloruro de zinc y de bromuro de zinc . Por sí solas, las partículas se secan rápidamente, pero si se desea, se pueden colocar dentro de un horno a $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230^{\circ} \pm 9^{\circ}\text{F}$) por unos pocos minutos. Se pesa el material retenido en el colador, con una aproximación de 0.1 g.

Si se conoce la absorción, tal como se determina con la norma ASTM C 128, el agregado fino podría prepararse para el ensayo, añadiendo a una masa conocida de arena seca la cantidad de agua que ésta absorbería, mezclándola completamente y permitiendo que la arena permanezca en un recipiente tapado por 30 minutos antes de su uso.

El secado se debe hacer en la campana o al aire libre si se usan soluciones diferentes al cloruro de zinc o bromuro de zinc. Un horno o reverbero puede ser usado para evaluar el secado siempre y cuando se haga en la campana o que el horno sea ventilado con aire a presión que salga del laboratorio y que no se exceda una temperatura de 115°C .

Normalmente la discrepancia entre masa seca al horno y masa saturada superficialmente seca (S.S.S) de las partículas decantadas, no afectará significativamente el porcentaje calculado de partículas de masa ligera.

Agregado grueso – Se coloca la muestra dentro del recipiente con el líquido de gravedad específica alta, cuyo volumen mínimo debe ser tres veces el del agregado.

Se retiran las partículas que suban a la superficie, usando el colador y se colocan en otro recipiente. Se agita la muestra repetidamente y se retiran las partículas que flotan, hasta cuando ninguna suba a la superficie del líquido. Se lavan las partículas que han sido retiradas tal como se indica en la Sección 5.1, hasta remover de ellas el líquido de



gravedad específica alta; se deja n secar y se determina su masa con una aproximación de 1 g.

Cálculos

El porcentaje de partículas ligeras en los agregados se calcula mediante las siguientes fórmulas:

Agregado fino

$$L = \frac{M_1}{M_2} \times 100$$

Donde:

L = porcentaje de partículas ligeras,

M₁= peso seco de las partículas retenidas en el colador, y

M₂= peso de la muestra seca retenida en el tamiz de 300 μm (No.50).

Agregado grueso

$$L = \frac{M_1}{M_3} \times 100$$

Donde:

L = porcentaje de partículas ligeras,

M₁ = peso seco de las partículas retenidas en el colador, y

M₃ = peso de la muestra seca retenida en el tamiz de 4.75 mm (No.4).

3.1.4 Gravedad específica y absorción. (ASTM C 127 y C128)

Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso o fino según sea el caso (no incluye el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso o fino. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad kg/m³ (lb/ft³) se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS), o como densidad aparente. De cualquier manera, la



densidad relativa (gravedad específica), es una cantidad adimensional, se expresa como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente).

La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan después de secar el agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan después de sumergir el agregado en agua por una duración preestablecida.

Este método de prueba se usa para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un número grande de partículas de agregado y provee un valor promedio representativo de la muestra.

Este método de prueba no es apropiado para partículas ligeras.

Definiciones.

Absorción. Es el incremento en masa del agregado debido a la penetración de agua en los poros de las partículas durante un período de tiempo preestablecido, pero no incluye el agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresada como un porcentaje de la masa seca.

Secado al horno (SH), adjetivo relativo a las partículas de agregado. Es la condición en la cual los agregados han sido secados por calentamiento en un horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ durante el tiempo suficiente para alcanzar una masa constante.

Saturado y superficialmente seco (SSS), adj. relativo a las partículas de agregado.

Es la condición en la cual los poros permeables de la partícula del agregado son llenados con agua llevado a cabo por inmersión en agua durante el periodo de tiempo prescrito, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

Densidad. Es la masa por unidad de volumen de un material, expresada en kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico).

Densidad (SH). Es la masa del agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de los poros internos permeables e impermeables de la partícula, pero no incluyen los vacíos entre las partículas.

Densidad (SSS). Es la masa del agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de las partículas de agregado, incluyendo el volumen de los poros



impermeables y los vacíos llenados con agua, pero no incluye los poros entre las partículas.

Densidad aparente. Es la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.

Densidad relativa (Gravedad específica). Es la relación de la densidad de un material a la densidad el agua destilada a una temperatura conocida; los valores son adimensionales.

Importancia y uso

La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas que contienen agregados incluyendo concreto asfáltico, concreto hidráulico, y otras mezclas que son proporcionadas o analizadas con base en el volumen absoluto.

La densidad relativa (gravedad específica) es también usada en el cálculo de vacíos en agregados en el método de prueba C29/C29M (ASTM). La densidad (gravedad específica) (SSS) es usada si el agregado está húmedo, esto es, si su absorción ha sido satisfactoria. Inversamente, la densidad relativa (gravedad específica) (secado al horno) se usa para cálculos cuando el agregado está seco o se asume que está seco.

La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenece al material sólido el cual constituye las partículas, no incluye los espacios internos de los poros en las partículas los cuales son accesibles al agua.

Los valores de absorción se usan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en los espacios internos de los poros de las partículas, comparados con la condición seca, cuando se considera que el agregado ha estado en contacto con agua lo suficiente para aprovechar al máximo el potencial de absorción. El estándar de laboratorio para absorción es aquel obtenido después de sumergir el agregado seco durante un periodo de tiempo prescrito. Los agregados extraídos debajo del nivel freático comúnmente tienen una absorción más alta, cuando se usan, si no es permitido el secado.



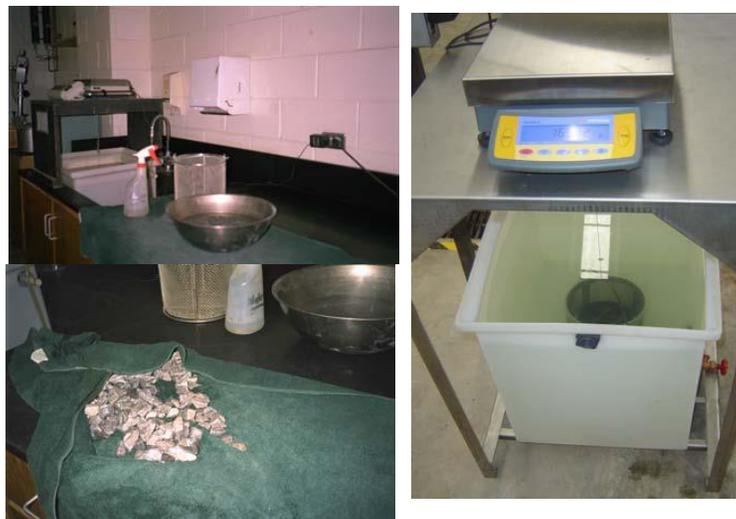
Inversamente, algunos agregados los cuales no han sido mantenidos en una condición de humedad hasta ser utilizados pueden contener una cantidad menor de humedad absorbida que en la condición sumergida durante 24 horas.

Los poros en agregados ligeros no necesariamente llegan a ser esencialmente llenados con agua después de la inmersión durante 24 horas. De hecho, muchos agregados pueden permanecer inmersos en agua por varios días sin aprovechar al máximo el potencial de absorción. Por lo tanto, este método de prueba no es apropiado para usarse en agregados ligeros.

Resumen del método para agregados gruesos. (ASTM C 127)

Se seca la muestra del agregado en un horno hasta peso constante, la muestra es sumergida en agua por aproximadamente 24 ± 4 horas para esencialmente llenar los poros. Después la muestra es retirada del agua, secada superficialmente y pesada. Subsecuentemente el volumen de la muestra se determina por el método del desplazamiento de agua. Finalmente la muestra se seca en el horno y se determina la masa. Usando las masas obtenidas y las fórmulas de este método de prueba, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica) y la absorción.

F.3.2 - Determinación de la gravedad específica en agregados gruesos



Fuente: <http://www.imt.mx/>



Cálculos para agregados gruesos

- ⊕ Gravedad específica neta del agregado G_{sb}

$$G_{sb} = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

- ⊕ Gravedad específica en condición saturada y superficialmente seca $G_{s,sss}$

$$G_{s,sss} = \frac{B}{B - C}$$

Donde:

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

- ⊕ Gravedad específica aparente G_{sa}

$$G_{sa} = \frac{A}{A - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

C = masa aparente en agua de la muestra saturada, g

- ⊕ Absorción

$$Absorción = \frac{B - A}{A} \times 100$$

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B = masa de la muestra saturada superficialmente seca, g



Resumen del método para agregados finos. (ASTM C 128)

Se seca la muestra del agregado en un horno hasta peso constante, la muestra se sumerge en agua o se incrementa al menos 6% de humedad al agregado fino y se deja reposar por aproximadamente 24 ± 4 horas para esencialmente llenar los poros. Se decanta el agua con cuidado para evitar pérdida de finos, se extiende la muestra en una superficie plana no absorbente exponiéndola a movimientos suaves de corriente de aire, y mezclando frecuentemente para asegurar un secado homogéneo. Se puede emplear ayuda mecánica tal como espátula o agitador para lograr la condición saturada y superficialmente seca. Se continúa con esta operación hasta que el espécimen de prueba se aproxime a la condición de flujo libre.

Para determinar si la humedad superficial continúa presente en las partículas que constituyen el agregado fino se sigue el procedimiento siguiente. Se sostiene el molde firmemente sobre una superficie suave y lisa con el diámetro grande hacia abajo. Se vacía cuidadosamente la porción del agregado fino secado parcialmente llenando hasta el borde y amontonando material adicional sobre la parte superior del molde, sosteniendo el molde con los dedos de la mano ahuecados. Se apisona ligeramente el agregado fino dentro del molde con 25 golpes del pisón. Se deja caer el pisón desde una altura de 5 mm arriba de la superficie del agregado fino.

Permitiendo que el pisón caiga libremente bajo la atracción gravitacional en cada uno de los golpes. Se ajusta la altura al inicio para una nueva elevación de la superficie después de cada golpe y se distribuyen los golpes sobre la superficie.

Se retira la arena suelta de la base y se levanta el molde verticalmente. Si la humedad superficial continúa presente, el agregado fino tendrá la forma del molde.

Cuando haya una caída insignificante o escasa de agregado fino del molde se ha alcanzado la condición de secado superficial.



Se hace el primer intento de prueba de humedad superficial cuando hay algo de agua en el espécimen de prueba. Se continúa secando con mezclado constante y probando a intervalos constantes hasta que el ensaye indique que el espécimen ha alcanzado la condición de secado superficial. Si el primer intento de la prueba de humedad superficial indica que no hay humedad presente en la superficie de las partículas, el material está más seco que la condición de saturado y superficialmente seco. En este caso, se mezclan completamente unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y se deja reposar el espécimen en un contenedor cubierto durante 30 minutos. Luego se reanuda el proceso de secado y ensaye a intervalos frecuentes para el inicio de la condición de secado superficial.

Se llena parcialmente el picnómetro (calibrado) con agua. Se introduce dentro del picnómetro 500 ± 10 g de agregado fino saturado y superficialmente seco y se llena con agua adicional hasta aproximadamente 90% de la capacidad. Se tapa manualmente, se invierte y agita el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire. Se requieren normalmente cerca de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire por métodos manuales. Se ha visto que es útil mojar la punta de una toalla de papel dentro del picnómetro para dispersar la espuma que algunas veces se concentra cuando son eliminadas las burbujas de aire. Opcionalmente una pequeña cantidad de alcohol isopropílico puede ser usado para dispersar la espuma.

Después de eliminar todas las burbujas de aire, se ajusta la temperatura del picnómetro y su contenido a $23.0 \pm 2^\circ\text{C}$ si es necesario por inmersión parcial en agua circulando, y se llena con agua el picnómetro hasta la marca de calibración.

Se determina la masa total de la muestra, el picnómetro y el agua.

Se retira el agregado fino del picnómetro, se seca a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ hasta masa constante, se enfría a temperatura ambiente durante $1 \pm 1/2$ horas y se determina la masa seca.



Se determina la masa del picnómetro lleno hasta la marca de calibración con agua a una temperatura de 23 ± 2.0 °C.

Cálculos para agregados finos

⊕ Gravedad específica neta del agregado G_{sb}

$$G_{sb} = \frac{A}{B + S - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B = masa del picnómetro lleno con agua, g

C = masa del picnómetro, agregado saturado y superficialmente seco y agua, g

S = masa del agregado saturado y superficialmente seco.

⊕ Gravedad específica en condición saturada y superficialmente seca $G_{s,sss}$

$$G_{s,sss} = \frac{S}{B + S - C}$$

Donde:

B = masa del picnómetro lleno con agua, g

C = masa del picnómetro, agregado saturado y superficialmente seco y agua, g

S = masa del agregado saturado y superficialmente seco.

⊕ Gravedad específica aparente G_{sa}

$$G_{sa} = \frac{A}{B + A - C}$$

Donde:

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

B = masa del picnómetro lleno con agua, g

C = masa del picnómetro, agregado saturado y superficialmente seco y agua, g



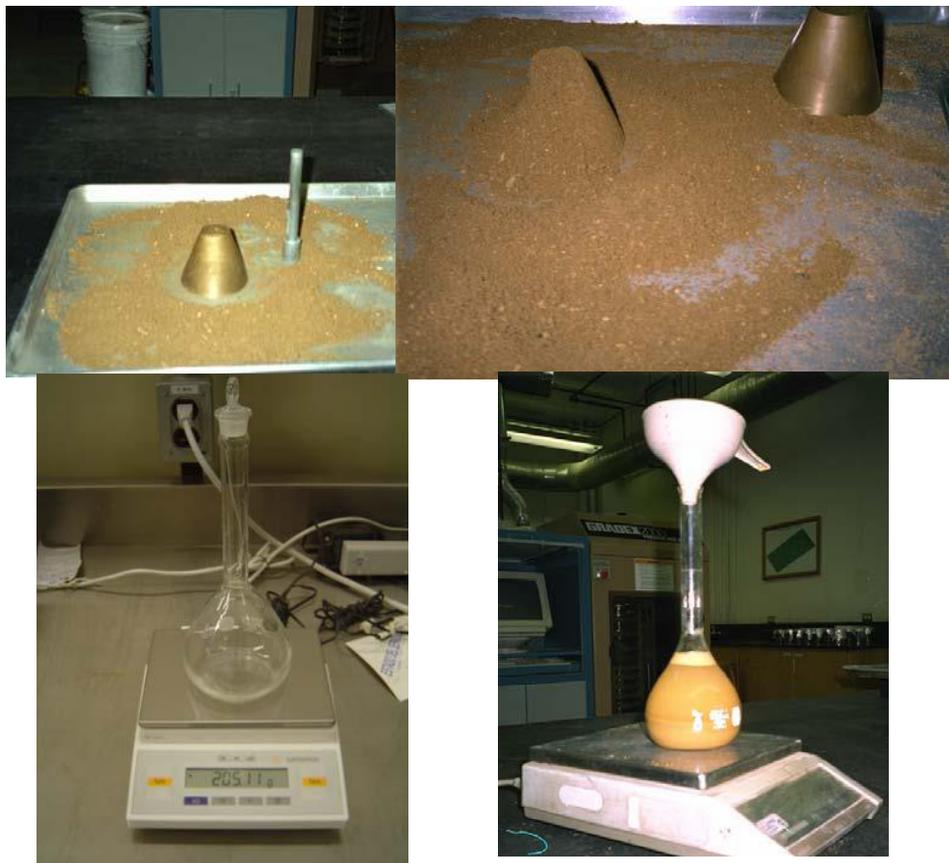
⊕ Absorción

$$\text{Absorción} = \frac{S - A}{A} \times 100$$

A = masa de la muestra ensayada secada al horno, g

S = masa del agregado saturado y superficialmente seco.

F.3.3 - Procedimiento para Gravedad Específica de agregados finos



Fuente: <http://www.imt.mx/>

3.1.5 Abrasión (Maquina de los Ángeles) (ASTM C 131)

Este método de prueba cubre un procedimiento para ensayar partículas de agregado grueso menor que 1 ½" (37,5 mm) para resistencia a la degradación usando la máquina de abrasión de Los Ángeles.



Importancia y uso

Esta prueba ha sido ampliamente usada como un indicador de la calidad relativa o competencia de varios tipos de agregado que tienen composición mineral similar.

Los resultados no permiten validar automáticamente la comparación para ser usadas indistintamente entre agregados de diferente origen, composición o estructura. Asignar límites de especificación con extremo cuidado tomando en consideración el tipo de agregado disponible y su historial de comportamiento en usos específicos.

Resumen del método de prueba

Esta prueba es una medida de la degradación de los agregados minerales de granulometría estándar resultado de una combinación de acciones que involucran abrasión o desgaste, impacto y molienda en un cilindro hueco de acero giratorio que contiene un número especificado de esferas de acero, el número depende sobre todo de la granulometría de la muestra. Cuando el cilindro gira, una placa radial de acero separa la muestra y las esferas de acero, llevándolas alrededor hasta que estas caen en el lado opuesto del cilindro, creando un efecto de trituración e impacto. Los contenidos giran dentro del cilindro hueco bajo una acción de desgaste y molienda hasta que la placa radial de acero separa la muestra y las esferas de acero, y el ciclo es repetido. Después del número de revoluciones preestablecidas, los contenidos son retirados del cilindro y la porción de agregado es cribado para medir la degradación como pérdida de porcentaje.

F.3.4 - Maquina de los Angeles.



Fuente: <http://www.imt.mx/>



Cálculos

Se calcula la pérdida (diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra de prueba) como un porcentaje de la masa original de la muestra de prueba. Se reporta este valor como la pérdida en porcentaje.

$$\% \text{ Desgaste} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Masa Inicial}} \times 100$$

3.1.6 Granulometría (ASTM C 136)

Importancia y Uso

Este método cubre la determinación de la distribución por tamaño de las partículas de agregado fino y grueso mediante tamizado. Una muestra de agregado seco de masa conocida es separada en una serie de tamices colocados progresivamente desde el más pequeño al más grande para determinar su distribución por tamaño.

Especificación de Mallas para Agregados Gruesos.

- Este método determina la gradación de los materiales gruesos, obteniendo el peso del material retenido en las mallas 5", 4", 3.5", 3", 2.5", 2", 1.5", 1", 3/4", 1/2", 3/8" y #4 (4.75mm).

Especificación de Mallas para Agregados Finos.

- Este método determina la gradación de los materiales finos, obteniendo el peso del material pasante de la malla #4 (4.75mm) y retenido en las mallas #8 (2.38mm), #16 (1.19mm), #30 (0.59mm), #50 (0.297mm), #100 (0.149mm), #200 (0.074mm) y fondo.



Tamaño máximo de la partícula:

- ✓ La malla más pequeña por la cual pasa el 100% del material.

Tamaño máximo nominal de la partícula:

- ✓ La malla más grande en la cual se retiene el agregado hasta el 10% del material.



Una buena granulometría define:

- La estructura del pavimento asfáltico.
- Porcentaje óptimo de asfalto.
- Porcentaje de vacíos.
- Densidad bulk.

Resumen del Método.

- Secar la muestra a masa constante.
- Ordenar los tamices apropiados en orden decreciente.
- Colocar la muestra sobre el tamiz de la parte superior.
- Agitar los tamices con la mano o por medio de métodos mecánicos.
- No sobrellenar ningún tamiz, use tamices protectores, o tamizar la muestra en incrementos.
- Para mezclas de agregado grueso y fino, el material menor a 4.75 mm (N°. 4) debe ser tamizado en incremento o apropiadamente reducido.
- Tamizar hasta que no más del 1 % de la masa retenida pase el tamiz con un minuto de agitación (normalmente de 7 a 10 minutos).
- Determinar la masa retenida de cada tamiz con aproximación de 0.1%.
- Calcular la masa total de la sumatoria de los incrementos individuales, y chequee si difiere por más del 0.3 % de la masa de la muestra original.
- Si la muestra fue previamente lavada (ASTM C117), agregue la masa del material que pasó el tamiz de 75um (N°. 200) por lavado a la masa del material que pasa por tamizado seco.
- Calcular los porcentajes del material que pasa por cada tamiz con precisión de
- 0.1% con base a la masa total de la muestra inicialmente seca.
- Calcular el módulo de finura y reportar con precisión de 0.01.
- Reportar los porcentajes con aproximación a un número entero, excepto si el porcentaje que pasa el tamiz 75 μm (Nº 200) es menor que el 10 %, este debe ser reportado con aproximación del 0.1%.



Cálculos.

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B$$

Donde:

A = masa del tamaño incrementado sobre el total de la muestra base.

W_1 = masa de la fracción más fina que 4.75 mm (Nº4) en la muestra total.

W_2 = masa de la porción reducida del material más fino que 4.75 mm (Nº4) actualmente tamizada, y

B = masa del tamaño incrementado, en la porción reducida del tamiz.

3.1.7 Partículas Desmenuzables. (ASTM C 142)

Este método se refiere a la determinación aproximada de los terrones de arcilla y de las partículas desmenuzables (friables) en los agregados.

Importancia y Uso

Este ensayo es de importancia fundamental para aceptar el empleo de agregados que cumplan con las exigencias de la especificación.

Resumen del Método

Pésese la muestra de ensayo con precisiones especificadas y extiéndase en una capa delgada sobre el fondo del recipiente. Cubrir con agua destilada y déjese remojar durante 24 ± 4 h.

Rodar y apretar individualmente las partículas, entre el pulgar y el índice, para tratar de romperlas en tamaños más pequeños. No deberán emplearse las uñas para romper las partículas, ni presionarlas una contra la otra o contra una superficie dura. Las partículas que puedan romperse con los dedos, en finos removibles mediante tamizado en húmedo, se clasificarán como terrones de arcilla, o partículas deleznable. Después de que todas las partículas identificables como terrones de arcilla y partículas deleznable hayan sido rotas, sepárese el desperdicio de la parte restante, mediante tamizado en húmedo, sobre el tamiz con especificaciones preestablecidas.



Efectuar el tamizado en húmedo haciendo circular agua sobre la muestra (a través del tamiz), mientras se agita manualmente el tamiz, hasta que haya sido removido todo el material más pequeño.

Remover cuidadosamente del tamiz las partículas retenidas, secar hasta peso constante a una temperatura de $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$), dejar enfriar y pesar con aproximación al 0.1% del peso de la muestra de ensayo.

Cálculos

Calcúlese el porcentaje de terrones de arcilla, y de partículas deleznales, en los agregados finos, o de los tamaños individuales de agregados gruesos, en la siguiente forma:

$$p = [(W-R)/W] \times 100$$

Donde:

p = Porcentaje de terrones de arcilla y de partículas deleznales.

W = Peso de la muestra (agregado fino y grueso) de ensayo.

R = Peso de las partículas retenidas sobre el tamiz designado.

3.1.8 Equivalente de arena. (ASTM D 2419)

El equivalente de arena es una medida de la cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino menor de 4.75 mm.

Este método tiene la intención de servir como un ensaye rápido de correlación en campo. El propósito de este método de prueba es indicar bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos y polvos de suelos granulares y agregados finos que pasan la malla No. 4. (4,75 mm). El término "equivalente de arena" expresa el concepto de que muchos suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena, con arcilla o finos plásticos y polvo, no deseables.



Importancia y uso

Este método de ensaye asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fina y característica del material arcilloso presente en el espécimen de prueba. Un valor mínimo de equivalente de arena sirve para limitar la cantidad permisible de partículas finas en un agregado.

Este método de prueba provee de un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

Resumen del método de prueba

Se varilla un volumen medido de suelo o agregado fino con una pequeña cantidad de solución floculante en una probeta graduada y agitados con la finalidad de desprender la capa de arcilla de las partículas de arena en el espécimen de prueba. Se irriga entonces al espécimen usando solución adicional para forzar que el material arcilloso entre en suspensión sobre la arena. Después de un período de sedimentación prescrito, se lee la altura de la arcilla floculada y se determina la altura de la arena en la probeta. El equivalente de arena es la relación de la altura de la arena a la altura de la arcilla, multiplicada por cien para expresarlo en porcentaje.

F.3.5 - Prueba equivalente de arena.



Fuente: <http://www.imt.mx/>



Cálculos

Se calcula el equivalente de arena lo más cercano a 0,1% como sigue:

$$EA = (\text{lectura de arena} / \text{lectura de arcilla}) \times 100$$

Donde:

EA = Equivalente de Arena.

3.1.9 Índice de Durabilidad. (ASTM D 3744)

Este método describe el procedimiento para determinar la durabilidad de agregados. El índice de durabilidad es un valor que muestra la resistencia relativa de un agregado para producir finos dañinos, del tipo arcilloso, cuando se somete a los métodos de degradación mecánica que se describen.

Importancia y Uso.

Este ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura, y comportamiento arcilloso del material que puede ser generado en un agregado cuando se somete a degradación mecánica.

Un índice de durabilidad mínimo ha sido especificado para prohibir el uso de un agregado, en varias aplicaciones de construcción, propensas a degradación y consecuente generación de finos de comportamiento arcilloso.

Este método provee un ensayo rápido de evaluaciones de la calidad de una nueva fuente de agregados. Investigaciones han indicado que puede también usarse, en cambio del ensayo de sanidad frente a la acción de una solución de sulfato de sodio, para evaluar la durabilidad del agregado fino de uso en el concreto, reduciendo así el consumo de tiempo y los costos incurridos en el ensayo de sanidad.

Aunque la aplicación de este método se ha restringido a agregados para usos específicos de construcción, puede expandirse a otras áreas, como mezclas bituminosas de pavimento y concretos.



Resumen del Método

Este método fue desarrollado para permitir la precalificación de los agregados, propuestos para uso en la construcción de vías. Básicamente, el ensayo establece una resistencia de los agregados a generar finos, cuando son agitados en presencia de agua. Procedimientos de ensayos separados y diferentes son usados para evaluar las porciones gruesa y fina del material.

Una muestra de agregado grueso es preparada con una gradación específica y luego es lavada en un agitador mecánico durante 2 min. Después de secado y descartado el material que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4), la muestra de ensayo lavada es preparada a la gradación final del ensayo.

La muestra de agregado grueso es entonces agitada en el vaso mecánico de lavado, por un período de 10 min. El agua de lavado resultante, junto con los finos que pasan el tamiz de 75 μ m (No.200), son unidos y mezclados con una solución de cloruro de calcio y depositados en un cilindro plástico. Después de un tiempo de sedimentación de 20 min, se lee el nivel de la columna de sedimentación. La altura del valor de sedimentación es usada entonces para calcular el índice de durabilidad del agregado grueso (Dc).

La muestra de agregado fino se prepara lavando una cantidad específica de material en el vaso mecánico de lavado por un período de 2 min. Todo el material que pasa el tamiz de 75 μ m (No.200) mediante operación de lavado, es descartado. La porción que no pasa dicho tamiz es secada y tamizada por 20 min. Todos los tamaños del tamizado, incluyendo aquella fracción recogida en la cazuela final, son recombinados. La muestra final de ensayo se prepara a partir de este material lavado, secado y recombinado.

La muestra de agregado se ensaya según la Norma ASTM D-2419 (Equivalente de arena), excepto por una modificación a la duración del tiempo de agitación. Se requiere el método de agitación mecánica y se usa un tiempo de agitación de 10 min en vez de 45 s.

Este método incluye procedimientos de ensayo para agregados que exhiben una amplia variación en su gravedad específica, incluyendo agregados gruesos livianos y porosos y



también procedimientos para ensayar agregados de tamaños máximos que en realidad son muy pequeños para ser considerados agregados gruesos y muy grandes para ser considerados agregados finos.

El índice de durabilidad para agregados gruesos (D_c) o para agregados finos (D_f) se calcula, según el caso, con ecuaciones apropiadas presentadas en el método. El índice de durabilidad de un agregado bien gradado, que contenga ambas fracciones (fina y gruesa) se define como el menor de los dos valores D_c o D_f , obtenidos de éste ensayo. Este debe ser el valor que controle para propósitos de especificación.

Cálculos

Índice de Durabilidad de Agregado Grueso

$$D_c = 30.3 + 20.8 \cot(0.29 + 0.15H)$$

Donde:

D_c = Índice de durabilidad

H = Altura de sedimentación, en pulgadas, y la cantidad $(0.29+0.15H)$ en rad.

Índice de Durabilidad de Agregado Fino.

$$D_f = \frac{\text{Lectura de la Arena}}{\text{Lectura de la Arcilla}} \times 100$$

3.1.10 Partículas alargadas y planas (ASTM D 4791)

Este método cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, alargadas o alargadas y planas de agregado grueso mayores de 4.75 mm.

Importancia y uso

Las partículas de agregado planas o alargadas, para algunos usos en construcción, pueden interferir con la consolidación y provocar dificultad para colocar los materiales. Este método de prueba provee un medio para verificar el cumplimiento con las especificaciones que limitan tales partículas, o para determinar las características relativas a la forma del agregado grueso.



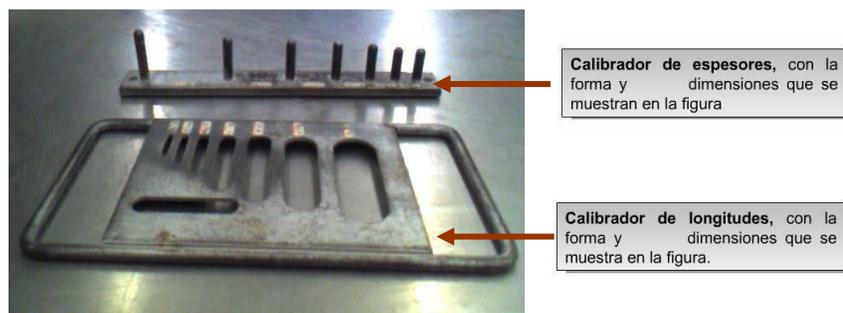
Generalmente se miden la relación de la mínima dimensión (espesor) a la máxima dimensión (largo) de la partícula de agregado para determinar el porcentaje de partículas planas o alargadas, usualmente se especifica un porcentaje máximo de relaciones 1:5. Sin embargo, esta relación no representa ninguna de las dos características, partículas planas ni alargadas y, por lo tanto, este valor es cuestionable. El porcentaje de partículas planas o alargadas obviamente no es una medida completa de la forma de la partícula de agregado. Además, la textura de las partículas de agregado no es medida aquí. Este ensayo se relaciona con la degradación o rompimiento de las partículas de agregado durante la producción y compactación de la mezcla.

Resumen del método de prueba.

Las partículas individuales de agregado de tamaños de malla específico se miden para determinar las relaciones de ancho a espesor, largo a ancho o de largo a espesor, haciéndolas pasar primeramente a lo ancho en la proporción 1 y después por el largo en la proporción 5 para determinar si es plana o alargada o planas y alargadas.

En otros países esta prueba se denomina "Partículas alargadas y lajeadas". Se desarrolla la prueba utilizando dispositivos, denominados calibrador de espesores y calibrador de longitudes (Ver Figura 3.6). Se selecciona una porción de material que se retiene en la malla No. 4, la cual se somete a un proceso de cribado para separar los diferentes tamaños. Esto se hace para dos muestras.

F.3.6 - Dispositivos para estimar las partículas alargadas y lajeadas.



Fuente: <http://www.imt.mx/>



Para cada porción clasificada de cada una de las dos muestras de prueba, es decir, del número de partículas retenido de cada malla, se verifica que cada pieza pase por el claro correspondiente al calibrador de longitudes, buscando la posición tal que su dimensión mayor sea paralela al eje del calibrador. Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por las ranuras de calibrador de longitudes y se determina su masa. Cada claro corresponde a las designaciones de las mallas que definen la fracción de prueba correspondiente.

Seguido se verifica que cada pieza pase por la ranura correspondiente del calibrador de espesores, buscando la posición más adecuada. Se reúnen todas las partículas que hayan pasado por las ranuras del calibrador de espesores y se determina su masa. Cada ranura corresponde a las designaciones de las mallas que definen la fracción de prueba correspondiente.

Cálculos

Se calcula el porcentaje de partículas alargadas y planas con una aproximación de 1% para cada uno de los tamaños más grandes que la malla de 9,5 mm (3/8") o 4,75 mm (No.4), como sea requerido.

Por Masa:

$$\% \text{Partículas planas} = (M_p / M_t) * 100$$

$$\% \text{Partículas alargadas} = (M_a / M_t) * 100$$

$$\% \text{Partículas planas y alargadas} = (M_{ayp} / M_t) * 100$$

Donde:

M_p = Masa de partículas planas

M_{ayp} = Masa de partículas planas y alargadas

M_t = Masa total

Por Conteo:

$$\% \text{Partículas planas} = (N_p / N_t) * 100$$

$$\% \text{Partículas alargadas} = (N_a / N_t) * 100$$

$$\% \text{Partículas planas y alargadas} = (N_{ayp} / N_t) * 100$$



Donde:

N_p = Número de partículas planas

N_{ayp} = Número de partículas planas y alargadas N_t = Número total de partículas.

3.1.11 Caras Fracturadas. (ASTM D 5821)

Angularidad del agregado grueso.

Este ensayo se realiza en materiales retenidos en la malla 4. Normalmente desarrollado en gravas que necesitan triturarse para obtener caras fracturadas.

Una cara fracturada es una cara que expone el interior de la partícula de grava.

Importancia y uso

Uno de los propósitos de esta estimación es maximizar la resistencia al corte mediante el incremento de la fricción entre partículas de las mezclas de agregado.

Otro propósito es proveer estabilidad para tratamientos superficiales de agregados mediante el incremento de la fricción y textura del agregado utilizado carpetas asfálticas delgadas.

Resumen del método de prueba.

Las partículas fracturadas contenidas en una muestra son pesadas después de lavarlas, separarlas y secarlas hasta masa constante para determinar el porcentaje en peso. Se considera una cara fracturada si el área proyectada es mayor o igual al 25% del área máxima proyectada y la cara es puntiaguda y margen bien definido. La determinación es subjetiva y es considerada buena. La precisión puede ser pobre para materiales con baja cantidad de partículas fracturadas. Este ensayo no cuantifica la forma de la partícula ni la textura superficial.

Algunos países especifican porcentaje de partículas con una o más caras fracturadas y otros con dos o más caras fracturadas. Este requisito varía dependiendo del tipo de mezcla.



Cálculos.

$$P = \frac{M_f}{M_t} \times 100$$

Donde:

P = % de partículas con el número especificado de caras fracturadas

M_f = Masa o cantidad de partículas fracturadas con el menor número de caras fracturadas especificadas

M_t = Masa o cantidad total de partículas.

F.3.7 - Ejemplos de caras fracturadas



(a) 0% de caras fracturadas



(b) 100% con 2 ó más caras fracturadas

CAPITULO IV:

GUIA DE CONTROL DE CALIDAD.



4.1 INTRODUCCIÓN

El uso de diseño de mezclas asfálticas tiene como objetivo el lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. De ahí, la importancia de simular de manera adecuada en el laboratorio lo que ocurre en campo, bajo la acción vehicular y de esta forma llegar a mezclas que muestren un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima.

La práctica de diseño de mezclas asfálticas ha recurrido a diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio; los comúnmente más utilizados son el método Marshall, Hveem y Superpave. Siendo el primero el utilizado como método de diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente en El Salvador.

El diseño de una mezcla asfáltica, consiste en seleccionar la calidad de los agregados y granulometría de la mezcla a emplear, así como el tipo y cantidad de asfalto de acuerdo al clima y a las cargas que estarán presentes durante la vida útil del pavimento.

Para obtener un pavimento asfáltico de alta calidad es indudable que las propiedades de los materiales, el diseño, la producción y la colocación de la mezcla son factores fundamentales. Una de las ventajas más importantes que brindan las mezclas asfálticas, reside en la gran variedad de espesores en que se puede colocar y en los niveles de rigidez que pueden obtenerse, lo cual les permite adaptarse casi a cualquier situación estructural y ahora con el empleo de los asfaltos modificados también se pueden adaptar con facilidad a cualquier situación climática.

4.2 PROCESO DE EXTRACCION Y PRODUCCIÓN DE LOS AGREGADOS

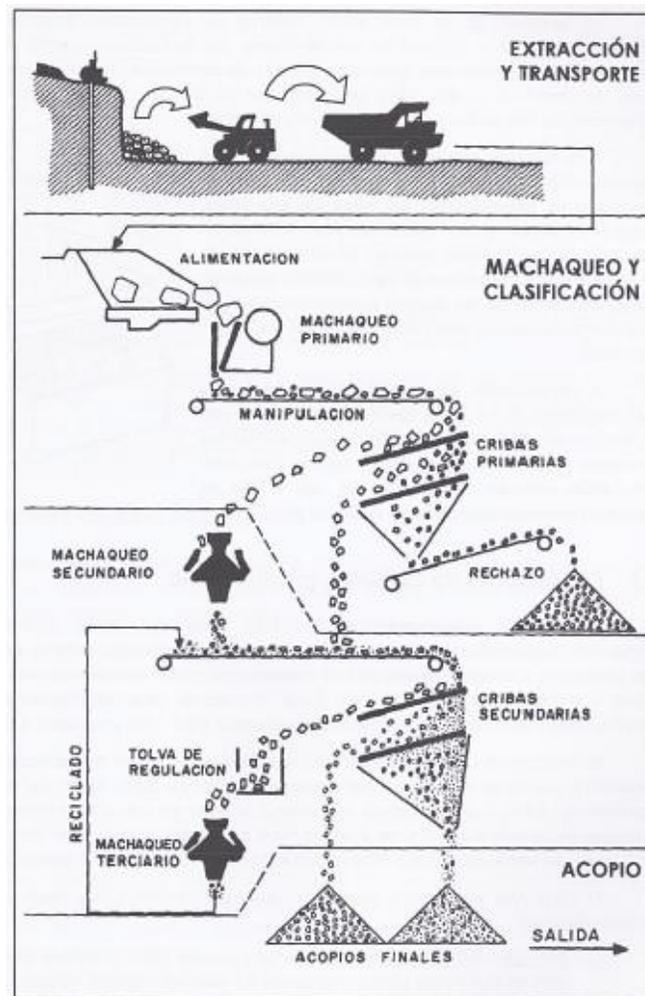
La explotación de los agregados se realiza casi siempre a cielo abierto.

La concepción y el diseño de las explotaciones así como la técnica operativa empleada varían cuando se trata de extraer rocas masivas o materiales sin consolidar, en vía seca o en vía húmeda. Sin embargo hay ciertas analogías que se pueden citar dentro de los métodos de explotación empleados.



1. Descubierta de las capas no explotables (Cubierta vegetal, estériles y rocas alteradas).

F.4.1 - Proceso de Extracción y Clasificación de Agregados.



Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente - Instituto Salvadoreño del Asfalto

2. Extracción de los materiales

Extracción de materiales sin consolidar:

- ✓ En vía seca, cuando el yacimiento se encuentra por encima del nivel del agua (capa freática o nivel del curso de agua). Se emplea maquinaria minera y de obras públicas como bulldozers, palas cargadoras, retroexcavadoras,



atacando el frente de material bien desde arriba, bien desde el pie del mismo, y avanzando la explotación mediante el método denominado minería de transferencia.

- ✓ En vía húmeda, cuando el yacimiento se encuentra por debajo del nivel del agua. Se utilizan, desde la orilla, dragaminas (pala de arrastre) con cables y cuchara o retroexcavadoras (si la profundidad es escasa) y, desde el agua, dragas (en profundidades mayores).

Explotación mixta:

3. Extracción de materiales consolidados mediante la voladura con explosivos, adoptando grandes medidas de seguridad, para la fragmentación controlada del macizo rocoso y la obtención de un material que se transportará por dumpers o cintas a la planta de tratamiento.
4. Transporte a la planta de tratamiento (generalmente situada en la propia explotación) mediante:
 - ✓ Transporte continuo que consiste en cintas transportadoras o, más raramente, tuberías (para sólidos en suspensión).
 - ✓ Transporte discontinuo: camiones y dumpers.
5. Tratamiento de los agregados para obtener productos terminados aptos para el consumo. Las etapas básicas son:
 - ✓ La trituración permite disminuir, en sucesivas fases, el tamaño de las partículas, empleando para ello equipos de trituración de características diferentes, como son los de mandíbulas, los de percusión, los giratorios o los molinos de bolas o de barras. En las arenas y gravas de origen aluvial, únicamente se trituran los tamaños superiores y por lo tanto el número de etapas de trituración suele ser inferior.
 - ✓ Intercalados entre las etapas de trituración, aparecen los equipos de clasificación que permiten seleccionar el tamaño de las partículas separándolas entre las que pasan y las que no pasan, lográndose agregados de todos los tamaños posibles, en función de la demanda del mercado.



- ✓ Las operaciones de desenlodado, lavado o desempolvado del material permiten obtener agregados limpios para responder a las necesidades de ciertas aplicaciones la industria ya que la presencia de lodos, arcillas o polvos mezclados con el agregado o envolviendo a las partículas puede alterar la adherencia con los ligantes (cemento, cal, compuestos bituminosos u otros) e impedir una correcta aplicación.
6. En las etapas de almacenamiento y envío, gracias al control del proceso, se dispone ya de productos de calidad que responden a criterios bien precisos como son:
- ✓ La naturaleza de los agregados que es función del yacimiento.
 - ✓ Las características morfológicas del grano, caras de fractura, redondez, lajosidad.
 - ✓ La granulometría precisa o la fracción granulométrica.

F.4.2 - Planta Trituradora



Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente – Instituto Salvadoreño del Asfalto



4.2.1 Producción, Acopio de Reservas, Manejo y Muestreo de Agregados

El procesamiento de agregados consiste en excavar las capas de suelo (sobrecarga) encontradas sobre los depósitos de grava, trabajar los depósitos para obtener agregados adecuados, y separar en pilas las partículas de agregado.

Los procedimientos para manejar y acopiar las reservas de agregado varían de obra en obra, debido a que la mayoría de las empresas contratantes no tienen especificaciones para dichos procedimientos. En vez de ello la empresa requiere, usualmente, que el contratista cumpla con las especificaciones de graduación para el agregado. Estas especificaciones se cumplen ya sea durante la elaboración o acopio de reservas de agregado, o cuando la mezcla de pavimentación es producida y colocada.

El muestreo y las pruebas son los únicos medios de verificar si las especificaciones están siendo cumplidas, aun si estas requieren que el agregado cumpla con graduaciones durante la fabricación, acopio de reservas o producción de mezcla. Para garantizar que las muestras seleccionadas sean representativas, se deben seguir ciertos procedimientos de muestreo.

- *Producción de Agregados*

Es importante familiarizarse con los datos geológicos relacionados con el depósito de agregado y con las especificaciones que han sido establecidas para trabajar con el mismo.

Cuando se trata de arenas o gravas, se debe tener un cuidado especial al remover el suelo de destape (suelo que cubre el depósito) para no contaminar el agregado. Esto es particularmente importante cuando el suelo de destape (o descapote) contiene arcilla, vegetación, o algún otro material que pueda afectar desfavorablemente el comportamiento del pavimento. Puede que algún material de destape proporcione un relleno mineral aceptable; sin embargo, rara vez este material podrá producir una mezcla de agregado con la adecuada proporción de relleno mineral si tan sólo se añade al depósito de agregado a medida que éste es removido. En consecuencia, cualquier material de destape que sea adecuado para ser usado como relleno mineral deberá ser removido del depósito, tamizado y añadido posteriormente al agregado ya procesado.



Este método permite un control cuidadoso, en la mezcla final, del contenido del relleno mineral.

Con cierta frecuencia, las operaciones en las excavaciones y canteras deben efectuarse alrededor de lentes de arcilla (depósitos en forma de lente), vetas (capas) de arcilla esquistosa y otros depósitos de materiales indeseables que forman parte del depósito de agregado. En este caso la excavación del agregado puede tener que efectuarse a lo largo de un marco (nivel) horizontal, o de abajo hacia arriba sobre una cara vertical del depósito, para evitar contaminación del agregado y garantizar una graduación uniforme.

Después del triturado y el tamizado es esencial evaluar completamente los agregados producidos para averiguar si cumplen con los requisitos de calidad y graduación.

- *Acopio de Reservas de Agregado*

Para producir mezclas asfálticas en caliente de alta calidad es esencial tener buenos procedimientos de acopio de reservas. Los agregados retienen su graduación si son adecuadamente acopiados. Cuando el acopio es malo, las partículas de agregado se segregan (separan por tamaño), y la graduación varía en los diferentes niveles del acopio.

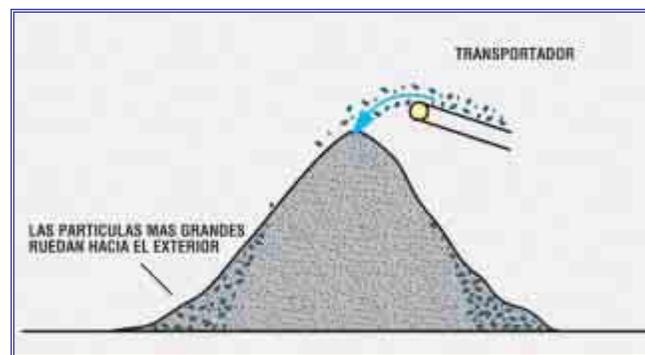
Deben prepararse pavimentos con superficies limpias, y tomarse precauciones para mantener separadas las reservas y así prevenir entremezclado de partículas, el cual conduce, frecuentemente, a errores en la graduación. La separación se logra ya sea al mantener las reservas ampliamente espaciadas, mediante el uso de muros de contención entre ellas, o almacenando el agregado en depósitos. El uso de muros de contención requiere que estos sean los suficientes fuertes para resistir el peso del agregado, y que se extiendan hasta la profundidad total de las reservas.

Las arenas, el agregado triturado fino y los agregados, que consisten de partículas de un solo tamaño (especialmente partículas pequeñas) pueden ser acopiados con muy poca segregación, al utilizar cualquier método. Sin embargo, los materiales que contienen partículas que varían en tamaño de grandes (gruesas) a pequeñas (finas)



requieren de ciertas precauciones en su acopio. La segregación de dichos agregados puede ser minimizada si el material grueso y el material fino son separados en el sitio y después juntados, en proporciones apropiadas, antes de las operaciones de mezclado. Cuando estas prácticas no sean llevadas a cabo, se deben seguir de todas maneras, ciertas normas aplicables al acopio de reservas. La primera norma consiste en controlar la forma de los acopios. Cuando un agregado que contiene materiales gruesos y finos es apilado para formar un acopio de lados inclinados, las partículas gruesas tienden a rodar abajo, por la pendiente, y acumularse en la base (Ver Figura 4.3).

F.4.3 – Segregación en un Acopio.



Fuente: <http://www.astecinc.com/>

El mejor método para acopiar reservas de agregado que contienen partículas de diferente tamaño consiste en apilar el material en capas. Tales capas minimizan la segregación que puede ocurrir por gravedad. Si el agregado es entregado por un camión, las cargas deberían ser vaciadas una cerca de otra, sobre la superficie del acopio (Ver Figura 4.4). En este caso, el volumen de carga del camión va a determinar el espesor de cada capa. Cuando se use una grúa para acopiar el agregado, cada carga de la cubeta debería ser vaciada una cerca de otra para garantizar uniformidad en el espesor de las capas.

Los rellenos minerales son usualmente almacenados en depósitos, silos o bolsas para prevenir que sean arrasados por el viento y que sean expuestos a la humedad, la cual puede aglutinar o endurecer.



F.4.4 - Apilamiento del Material en Capas



Fuente: <http://www.astecinc.com/>

F.4.5 - Acopio de Agregados.



Grava $\frac{3}{4}$



Grava $\frac{3}{8}$

- *Manejo de Agregado*

El manejo de agregado degrada (rompe), hasta cierto punto, las partículas individuales de agregado, y causa segregación cuando se trata de partículas que presentan diferentes tamaños. Por lo tanto, el manejo de agregado debe ser mínimo para prevenir cualquier degradación y segregación.

El manejo mínimo incluye apartar el agregado de las reservas para que pueda ser procesado adicionalmente, y para luego ser mezclado en la planta de mezcla en caliente. No existen reglas específicas para esta operación, pero si hay una norma general que casi siempre se aplica. Esta consiste en usar un cargador de tractor o



cucharón de almeja para remover el material de las partes casi verticales del acopio. Si se usa un buldózer, o cualquier otro vehículo de tracción, para trabajar en la parte superior del acopio, aumenta la probabilidad de una alta degradación.

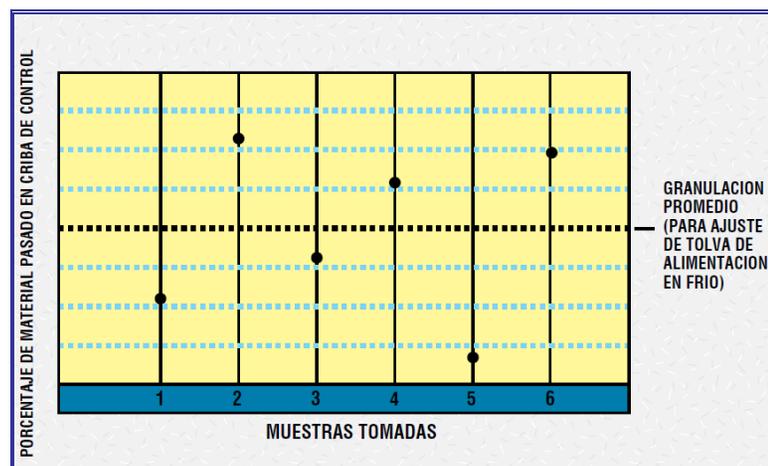
- *Muestreo de Agregado*

Los buenos procedimientos de control de calidad requieren de pruebas durante los procesos de producción, acopiado y manejo, para:

- Asegurar que solamente se use material satisfactorio en la mezcla de pavimentación, y
- Proporcionar un registro permanente como evidencia de que los materiales cumplen con las especificaciones de la obra.

Obviamente, no resulta práctico ensayar todo el agregado que esta siendo producido o ensayar todo el contenido del acopio. Sólo es posible ensayar muestras de estos materiales. La muestra seleccionada debe ser verdaderamente representativa de todo el agregado para que los resultados de los ensayos sean confiables. Es muy importante, por lo tanto, tener técnicas apropiadas de muestreo.

F.4.6 - Muestra de Acopio de Material



Fuente: <http://www.astecinc.com/>



4.3 PRUEBAS Y SELECCIÓN DE MATERIALES

Selección de Agregado.

Los agregados para el diseño de mezclas asfálticas deben de cumplir con las Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales (SIECA) y la Sociedad Americana para Ensayos y Materiales (ASTM). De acuerdo a esto se mencionan los ensayos que normalmente se les practica a los agregados para verificar su calidad al momento de ser usado y las especificaciones para la calidad de los agregados.

Granulometría Individual de Agregados.

Los agregados constituyen el 95 % del peso de la mezcla, dependiendo de la granulometría de los agregados y la aplicación, éstos tienen una gran influencia en el rendimiento del diseño de mezclas. Para obtener mejores resultados, los agregados deben ser 100 % triturados, limpios, resistentes y libres de químicos, arcillas y otras materias que puedan afectar su adherencia, mezclado y colocación. Los agregados triturados preferentemente deberán de ser angulares y no contener muchas partículas planas ni alargadas. Las granulometrías individuales y mezclado de agregados se hacen de acuerdo a la especificación ASTM D 3515 y esta a su vez recomienda utilizar la clasificación D 448 para agregados grueso y D 1073 para agregado fino.

Combinaciones de Agregados

En base a las granulometrías individuales se hacen combinaciones de agregados de manera que cumplan con las especificaciones de gradación. El método que se utiliza en El Salvador para la realización de las combinaciones teóricas de agregados será el de Tanteos Sucesivos del Instituto del Asfalto, Manual de Diseños de Mezclas MS-2.

Consideraciones Fundamentales para el Mezclado de los Componentes de la Mezcla.

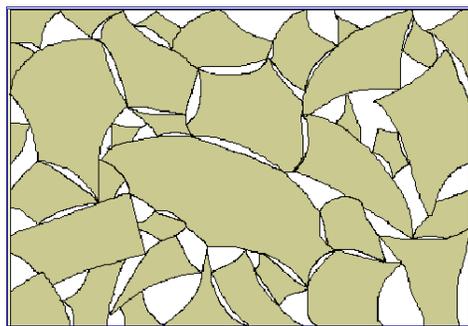
Uno de los factores que se tiene que verificar en el diseño de mezclas asfálticas es la que se muestra en la (Figura 4.7 literal a) donde se presenta una mezcla de agregados



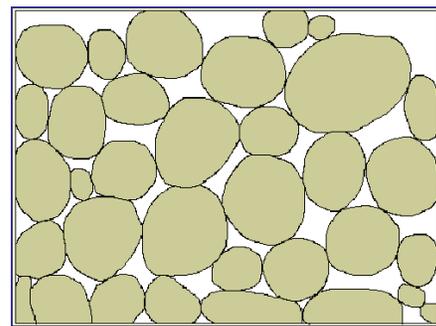
triturados compactados para formar un esqueleto con las partículas de agregados en contacto unas con otras. Cuando se confina éste, posee una considerable resistencia al movimiento ante la carga impuesta. Si esta masa consiste de partículas redondeadas (Figura 4.7 literal b), dicha estabilidad se reduce considerablemente. Sin embargo, aún poseen resistencia al movimiento debido a la rugosidad de la superficie de las partículas suficiente para resistir el deslizamiento de unas sobre otras. Si las partículas son lisas la resistencia friccional es muy pequeña y la masa prácticamente no es resistente al movimiento. La combinación de la unión entre partículas y de la resistencia friccional es comúnmente denominada "fricción interna" es muy alta en calizas y basaltos triturados y en escorias y muy baja en gravas y arenas pulimentadas y redondeadas.

En la figura 4.8 literal (a) se aprecia un esquema del esqueleto de agregados con ligante asfáltico. Del diagrama se infiere que las cargas procedentes de los neumáticos son tomadas por el esqueleto de piedra que está contenido en su lugar por la acción del ligante de cemento asfáltico. Los vacíos entre las partículas de agregado son parcialmente rellenos con asfalto dejando espacios con aire, como se indica en los pequeños círculos blancos. Los vacíos de aire en el pavimento son vitales y por lo tanto deben constituir del 3 al 5 % del volumen total del pavimento.

F.4.7 - Esqueleto de Agregados



a) Esqueleto de Agregado Angularoso.

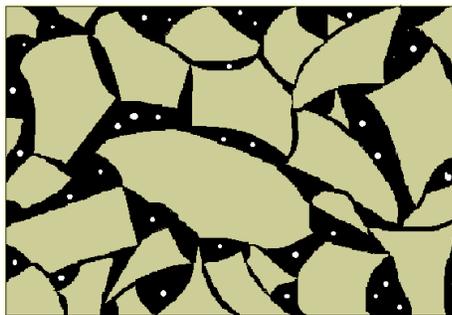


b) Esqueleto de Agregado Redondeados

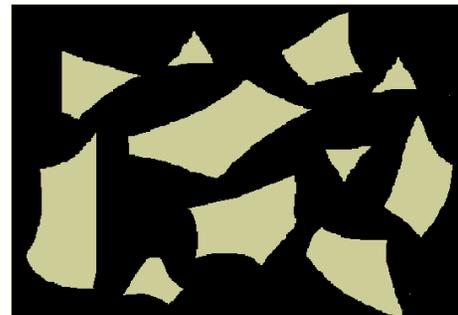


La figura 4.8 literal (b) muestra una mezcla de asfalto y agregados en la cual el asfalto está presente en un mayor volumen que los agregados los cuales flotan. El esqueleto de piedras ha sido destruido y el pavimento no soportará carga apreciable. Esta condición da como resultante la presencia de exudación, ahuellamientos y deformaciones del pavimento y debe ser evitada. Por lo menos 3 % de vacíos deben estar presentes en el pavimento con el objetivo de evitar dicha situación. El otro extremo es cuando el asfalto solo realiza la función de ligante (unión de las partículas de agregado) dejando un alto volumen de vacíos. En este caso el pavimento permanecerá todavía con buena resistencia a las deformaciones, pero otros aspectos entran en consideración; un alto volumen de vacíos conduce al endurecimiento del cemento asfáltico mediante el intemperismo, el cual atenta contra la vida útil del pavimento. Además, un bajo contenido de asfalto hace que resulte un pavimento frágil el cual se agrieta bajo la acción del tráfico. La experiencia recomienda situar un límite superior de vacíos en 5 % para evitar el indebido endurecimiento del asfalto y el agrietamiento.

F.4.8 - Esqueleto de Agregados con Ligante.



a) Esqueleto de agregado ligado con
Cemento Asfáltico



b) Esqueleto de agregado con exceso de
Cemento Asfáltico sin Vacíos

4.3.1 Especificaciones SIECA para el Control de Calidad de los Agregados.

Los agregados que se utilizarán para las mezclas de concreto asfálticos en caliente estarán compuestos de partículas de material triturado, grava triturada, grava o material natural, arena, entre otras.



Los requisitos para agregados se indican en la sección 703.06-703.07 de "Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales", el cual enuncia lo siguiente:

703.06. Agregado triturado. Las partículas que lo constituyen serán duras, durables, resistentes, estables, provenientes de fragmentos de piedra triturada o grava triturada, con un tamaño máximo de 25 milímetros, determinado por AASHTO T 27 y T 11. Deben obtenerse de piedra triturada, uniformemente graduada de grueso a fino, libre de materia orgánica, grumos, arcillas y materias deletéreas.

703.07 Agregado para concreto asfáltico en caliente

Agregados Gruesos. (Retenidos en la malla de 4.75 milímetros). Este material debe consistir en piedra o grava de buena calidad triturada y mezclada de manera que el producto obtenido corresponda a uno de los tipos de granulometría aquí estipulados y llene además los requisitos siguientes:

- | | |
|--|----------|
| (1) Abrasión de los Angeles, AASHTO T 96 | 40% máx. |
| (2) Disgregabilidad (sanidad) en sulfato de sodio (5 ciclos), AASHTO T 104 | 12% máx. |
| (3) Caras fracturadas, FLH T 507 | 75% min. |
| (4) Índice durabilidad (agregado grueso) AASHTO T 210 | 35 min. |

No deben usarse agregados con caras pulidas o agregados que contengan carbonato soluble. El residuo insoluble debe ser menor del 25%, de acuerdo a ASTM D 3042.

Agregado Fino. (Pasando la malla 4.75 milímetros). Este material está formado por arenas naturales, arena de piedra quebrada cernida, o su combinación y deberá tener una granulometría que, al combinarse con otras fracciones en la proporción adecuada, la mezcla resultante pueda satisfacer la granulometría requerida AASHTO M 29 incluyendo la pérdida en sulfato, y que llene además los requisitos siguientes:

- | | |
|--|----------|
| (1) Índice de durabilidad (Fino), AASHTO T 210 | 40% máx. |
| (2) Equivalente arena, AASHTO T 176 | 45% min. |

Tabla 703-8



Rangos requeridos Granulometría de agregados para Concreto Asfáltico en Caliente.

Malla mm	Porcentaje por peso que pasa la malla estándar (AASHTO T 27 Y AASHTO T11)					
	Designación de la Granulometría					
	A	B	C	D	E	F
37.5	100	-	-	-	-	-
25	97-100	100	100	-	-	-
19	-	97-100	97-100	100	100	-
12.5	-	76-88(±5)	*(± 5)	97-100	97-100	-
9.5	53-70(± 6)	-	*(± 6)	-	*(± 5)	100
4.75	40-52(± 6)	49-59(± 7)	*(± 7)	57-69(± 6)	*(± 6)	33-47(± 6)
2.36	25-39(± 4)	36-45(± 5)	*(± 5)	41-49(± 6)	*(± 6)	7-13(± 4)
600 µm	12-22(± 4)	20-28(± 4)	*(± 4)	22-30(± 4)	*(± 4)	-
300 µm	8-16 (± 3)	13-21(± 3)	*(± 3)	13-21(± 3)	*(± 3)	-
75 µm	3-8(± 2)	3-7 (± 2)	3-8(± 2)	3-8(± 2)	3-8(± 2)	2-4(± 2)

Notas: El contratista especifica el valor del rango y límites

() Desviación permisible

Fuente: Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales - SIECA

Granulometría de agregados mezclados. Consiste en la combinación de diferentes tamaños de agregado, que debe llenar los requisitos siguientes:

- (1) Granulometría Tabla 703-8
- (2) Grumos de arcilla y partículas friables, AASHTO T 112 1% máx.
- (3) Libre de materiales vegetales, basura, terrones de arcilla y sustancia deletéreas

Agregados livianos (escorias). Escoria triturada que debe cumplir con los parámetros de calidad requeridos en AASHTO M 195. No se usará ningún otro tipo de agregado liviano como se define en AASHTO M 195.

4.4 CONTROL DE CALIDAD DE CEMENTOS ASFÁLTICOS EN PLANTA.

Los Cementos Asfálticos son fabricados especialmente para el uso en construcción de pavimentos asfálticos debido a que son un excelente cemento para unir las partículas de agregado en un pavimento de mezcla en caliente. El Cemento Asfáltico es un aglomerante muy adhesivo y duradero. Es una sustancia termoplástica, que da flexibilidad controlable a las mezclas de agregados con las que usualmente se combina.



Constituyen materiales impermeabilizantes que poseen alta resistencia a la mayoría de los ácidos, bases y sales. En general son una masa de color negro brillante, consistencia sólida o semi-sólida a temperatura ambiente.

4.4.1 Clasificación de los asfaltos de pavimentación.

- *Caracterización por penetración:* se aplica la norma ASTM D- 946 (Clasificación Estándar por Grado de Penetración para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Esta abarca los siguientes grados de penetración:

- ◆ 40 – 50
- ◆ 60 – 70
- ◆ 85 – 100
- ◆ 120 – 150
- ◆ 200 – 300

Este método se efectúa dejando penetrar una aguja dentro de una muestra de asfalto bajo una carga dada. La distancia que penetra la aguja en la muestra en un tiempo determinado es medida en décimas de milímetro (0.1 mm). Un grado 200- 300 indica que la aguja penetró en la muestra, bajo condiciones específicas de 200 a 300 décimas de milímetro. Esta es una indicación de un asfalto “blando”, un grado 40- 50 es indicación de un asfalto “duro”.

Requisitos para el Cemento del Asfalto para el Uso en la Construcción del Pavimento

PRUEBAS	GRADO DE PENETRACIÓN									
	40-50		60-70		85-100		120-150		200-300	
	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.	Min	Máx.
Penetración en 77°F (25°C) 100 g, 5 s	40	50	60	70	85	100	120	150	200	300
Punto de inflamación, °F (Copa abierta de Cleveland)	450	...	450	...	450	...	425	...	350	...
Ductilidad en 77°F (25°C) 5 cm/ min,	100	...	100	...	100	...	100	...	100	...
Solubilidad en tricloroetileno, % del cm	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...	99.0	...
Penetración conservada después de la prueba del horno de la película delgada, %	55+	...	52+	...	47+	...	42+	...	37 +	...
Ductilidad en 77°F (25°C) 5 cm/ min, cm después de la prueba de la prueba del horno de la fino-película	...	...	50	...	75	...	100	...	100	...

Fuente: ASTM D-946



- *Caracterización por viscosidad:* se aplica la norma ASTM D- 3381 (Clasificación Estándar por Grado de Viscosidad para Cementos Asfálticos Utilizados en Pavimentación). Clasifica los asfaltos en base a su viscosidad absoluta a 60°C. El poise (P) es la unidad normal de medida. Dependiendo de esta, los asfaltos se clasifican en:

- AC- 5 (500 ± 100): utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para riego de impregnación, riego de liga, en estabilizaciones y en mezclas asfálticas en caliente.
- AC- 10 (1000 ± 200): utilizado en la fabricación de emulsiones asfálticas para carpetas y morteros de mezcla en frío.
- AC- 20 (2000 ± 400): utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones asfálticas usadas en morteros y carpetas de mezclas en frío.
- AC- 30 (3000 ± 600): utilizado en la fabricación de mezclas en caliente, emulsiones para carpetas y mezclas en frío.

Requisitos para el Cemento del Asfalto, Clasificados por Viscosidad 140 ° F (60 °C)

PRUEBAS	GRADO DE VISCOSIDAD					
	AC-2.5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viscosidad, 140°F (60°C), P	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viscosidad, 275°F (135°C), minuto, CST	125	175	250	300	350	400
Penetración, 77°F (25°C), 100 g, 5 s, minuto	220	140	80	60	50	40
Punto de inflamación, copa abierta de Cleveland, minuto, ° F (°C)	325(163)	350(177)	425(219)	450(232)	450(232)	450(232)
Solubilidad en tricloroetileno, minuto, %	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0	99.0
Pruebas en residuo de la Prueba de Horno de Película delgada:						
Viscosidad, 140°F (60°C), máxima, P	1250	2500	5000	10000	15000	20000
Ductilidad, 77°F (25°C), 5cm/ min, min, cm	100	100	75	50	40	25

Fuente: ASTM D-3381

4.4.2 Certificado de Calidad del Cemento Asfáltico

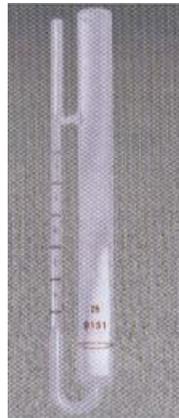
El Contratista deberá proporcionar los certificados de calidad extendidos por el proveedor en donde se hagan constar las características del material bituminoso correspondientes al grado especificado proveído por lote de producción o embarque según sea aplicable.

Los ensayos de análisis que se le aplican al cemento asfáltico en El Salvador son:



- *Viscosidad ASTM D 2171* (Viscosidad de asfalto por viscosímetro capilar de vacíos): las especificaciones de los trabajos de pavimentación indican valores de viscosidad a temperaturas de 60°C (140 °F), son utilizadas para clasificar el cemento asfáltico, representan la viscosidad de este a la temperatura más alta que el pavimento puede llegar a experimentar durante su servicio.

F.4.9 - Viscosímetro del Vacío del Asphalt Institute.



Fuente: <http://www.ucn.cl>

La viscosidad a 135°C (275°F) corresponde aproximadamente, a la viscosidad del asfalto durante el mezclado y la colocación. El conocer la consistencia de un asfalto dado a estas dos temperaturas, ayuda a determinar si es apropiado o no para el pavimento que se está diseñando. El poise (P) es la unidad normal de medida.

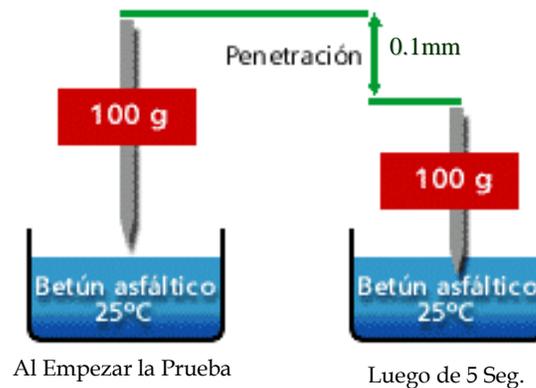
- *Penetración ASTM D5* (Penetración de materiales bituminosos):

La consistencia del asfalto puede medirse con un método antiguo y empírico, como es el ensayo de penetración, en el cual se basó la clasificación de los cementos asfálticos en grados normalizados. En la figura 4.10 puede verse el ensayo de penetración normal. Consiste en calentar un recipiente con cemento asfáltico hasta la temperatura de referencia, 25°C (77°F), en un baño de agua a temperatura controlada. Se apoya una aguja normalizada, de 100 g de peso sobre la superficie del cemento asfáltico durante 5 segundos. La medida de la penetración es la longitud que penetró la aguja en el cemento asfáltico en unidades de 0,1 mm.



Ocasionalmente el ensayo de penetración se realiza a distinta temperatura en cuyo caso puede variarse la carga de la aguja, el tiempo de penetración, o ambos.

F.4.10 - Ensayo de Penetración



Fuente: <http://www.ucn.cl>

- *Punto de inflamación ASTM D 92* (Punto de inflamación para materiales bituminosos): es la temperatura mas baja a la cual se separan los materiales volátiles de la muestra y crean un destello en presencia de una llama abierta. Es importante hacer notar que punto de inflamación no es lo mismo que punto de combustión (temperatura más baja a la cual el cemento asfáltico se inflama y se quema).

F.4.11 - Copa Abierta de Cleveland.



Fuente: <http://www.ucn.cl>

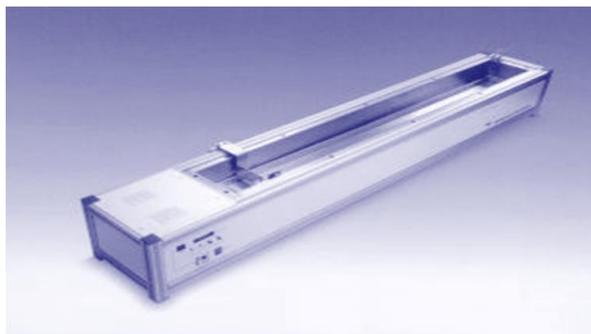


Se determina para identificar la temperatura máxima a la cual este puede ser manejado y almacenado sin peligro de que se inflame. El aparato utilizado con este fin es llamado Copa Abierta de Cleveland. Es importante conocer esta información, ya que el cemento asfáltico es calentado durante su almacenaje con el fin de mantener una viscosidad lo suficientemente baja para que el material pueda ser bombeado.

- *Solubilidad ASTM D 2042* (Solubilidad de asfaltos en tricloroetileno): este ensayo es utilizado para medir la pureza de un cemento asfáltico. Una muestra es sumergida en un solvente (tricloroetileno) en donde se disuelven sus componentes cementantes activos. Las impurezas como sales, el carbono libre y los contaminantes inorgánicos no se disuelven sino que se depositan en forma de partículas. Estas impurezas insolubles son luego filtradas fuera de la solución y medidas como un porcentaje de la muestra original.

- *Ductilidad ASTM D 113* (Ductilidad de materiales bituminosos): es una medida de cuanto puede ser estirada una muestra de asfalto antes de que se rompa en dos. Se obtiene mediante una prueba de extensión, en donde una probeta de cemento asfáltico es extendida o estirada a una velocidad y a una temperatura específica, hasta que el hilo de cemento asfáltico se rompa. La longitud del hilo en el momento del corte se mide en centímetros y se denomina ductilidad. Las condiciones establecidas para la realización de este ensayo son: una temperatura de $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ y a una velocidad de 5 cm./min.

F.4.12 - Ensayo de Ductilidad



Fuente: <http://www.ucn.cl>



- *Prueba de película delgada en horno (TFOT) ASTM D 1754* (Efectos de calor y aire en materiales asfálticos): Es el procedimiento que expone una muestra de cemento asfáltico, a condiciones que se aproximan a las que se dan durante las operaciones en las plantas de mezclado en caliente. La prueba de viscosidad efectuada sobre la muestra obtenida después de los ensayos de TFOT, es usada para medir el endurecimiento anticipado del material durante la construcción y servicio del pavimento.

F.4.13 - Ensayo TFOT



Fuente: <http://www.ucn.cl>

- *Peso específico ASTM D 70* (Densidad de materiales bituminosos semisólidos): es la proporción de la masa de cualquier volumen de material a la masa de un volumen igual de agua, ambos a una temperatura determinada. El peso específico es determinado generalmente usando el método del picnómetro. Los resultados para el asfalto, como para el agua, se expresan normalmente en términos de peso específico a una temperatura dada. Esto se debe a que este varía con la expansión y la contracción del cemento asfáltico a diferentes temperaturas.

F.4.14 - Picnómetro



Fuente: <http://www.ucn.cl>



Existen dos razones importantes por las que se debe conocer el peso específico del cemento asfáltico usado:

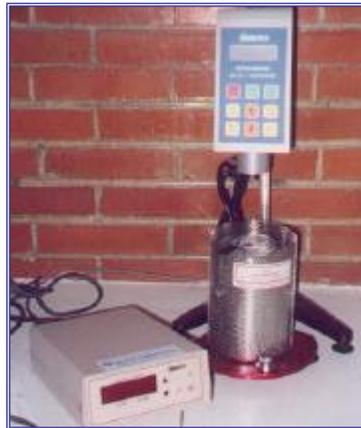
- El asfalto se expande cuando es calentado y se contrae cuando se enfría. Esto significa que el volumen dado de una cierta cantidad de cemento asfáltico será mayor a altas temperaturas. Las medidas de peso específico proveen un patrón para efectuar correcciones de temperatura- volumen.
- El peso específico de un asfalto es esencial en la determinación del porcentaje de vacíos de un pavimento compactado.

4.4.3 Carta de Viscosidad

La prueba del viscosímetro rotacional (Figura 4.15) se utiliza para determinar las temperaturas de mezclado y compactación de la mezcla asfáltica en el laboratorio.

Se determinan las viscosidades a distintas temperaturas, y se construye una carta de viscosidad (suministrado por el proveedor del cemento asfáltico) en donde se seleccionan las temperaturas de mezclado y compactación correspondientes a los rangos de viscosidades de 17 ± 20 y 28 ± 30 centiestokes respectivamente.

F.4.15 - Viscosímetro Rotacional.

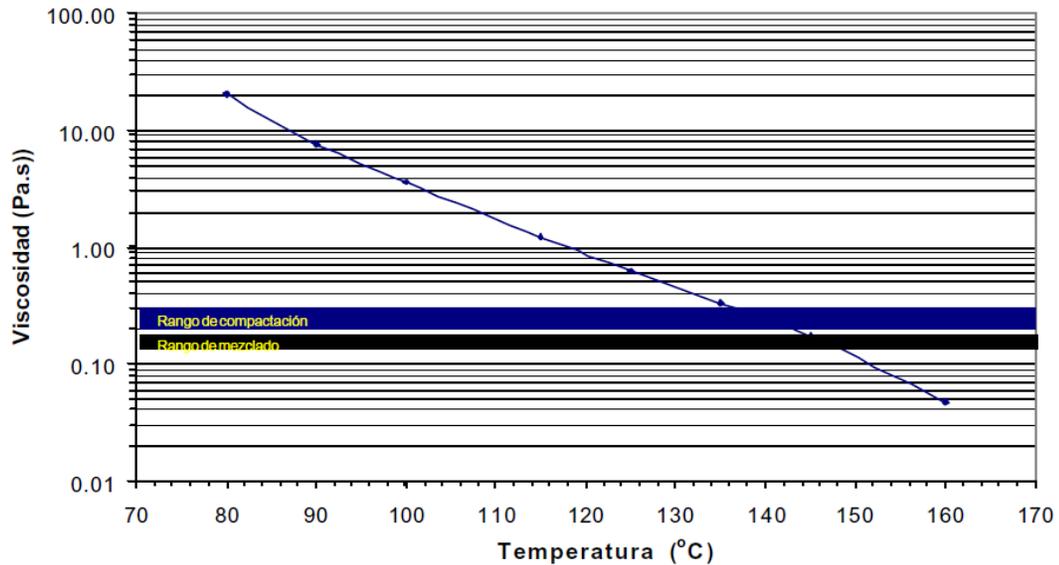


Fuente: <http://www.imt.mx/>

En la figura 4.16 se observa un ejemplo de una carta de viscosidad encontrando temperaturas de mezclado y compactación de $143 - 147^{\circ}\text{C}$ y $135 - 140^{\circ}\text{C}$, respectivamente.



F.4.16 - Carta de Viscosidad



Fuente: <http://www.imt.mx/>

4.5 GENERALIDADES SOBRE PLANTAS ASFÁLTICAS EN EL SALVADOR

La función de una Planta Asfáltica es realizar principalmente una combinación de agregados y ligantes asfálticos a una temperatura determinada, para producir una mezcla asfáltica homogénea. En El Salvador, los agregados utilizados para la elaboración de mezclas asfálticas provienen de la trituración de material procedente de ríos o de la explotación de canteras. El ligante asfáltico utilizado para la mezcla, puede ser modificado o no.

En la actualidad las plantas asfálticas identificadas en nuestro país se pueden clasificar en dos tipos: las de Dosificación y las de Producción Continua. Ambos tipos de plantas sirven para el mismo propósito, debiendo ser la mezcla asfáltica esencialmente similar, independientemente del tipo de planta que se utilice para su fabricación.

4.5.1 Plantas de Dosificación.

Las plantas de Dosificación se caracterizan por elaborar la mezcla asfáltica en "cargas individuales", produciendo una carga tras otra. El tamaño de la carga varía de acuerdo

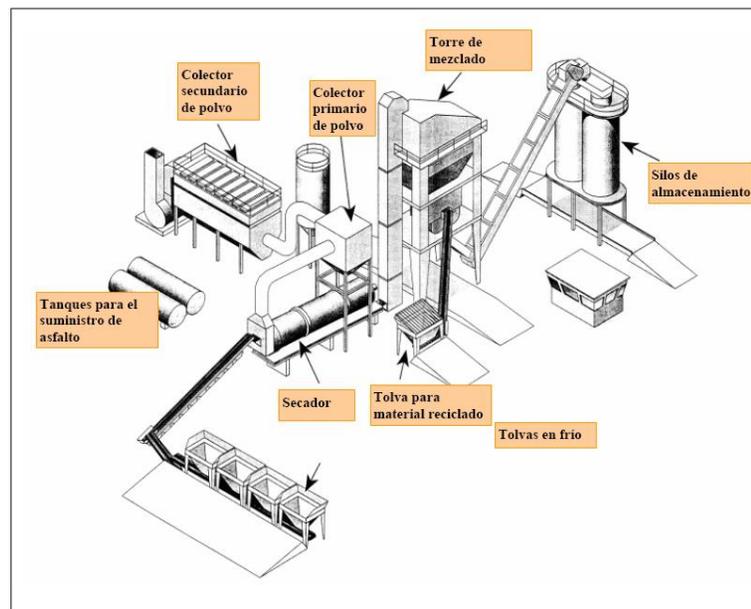


a la capacidad de la cámara mezcladora donde se combina el agregado y el asfalto. Los componentes principales de este tipo de planta son los siguientes:

- Sistema de alimentación en frío.
- Secador de agregados.
- Torre de mezclado.
- Sistema de almacenamiento y suministro de asfalto.
- Silos de almacenamiento.
- Sistema de control de emisiones.

La operación de estas se da de la siguiente forma: los agregados son removidos del lugar de almacenaje, colocados en depósitos (tolvas frías) de acuerdo a su tamaño y posteriormente transportados hacia un tambor donde son calentados y secados, posteriormente pasan a una unidad de cribado, la cual separa el material en fracciones de diferentes tamaños y lo deposita en tolvas para su almacenaje en caliente. Luego los agregados y el asfalto son pesados en cantidades controladas, y finalmente mezclados. En la figura 4.17 se esquematizan los componentes principales de este tipo de planta.

F.4.17 - Componentes principales de las Plantas de Dosificación.



Fuente: Viceministerio de Obras Públicas.- Unidad de Investigación y Desarrollo Vial



4.5.2 Plantas de Producción Continua.

La diferencia entre las Plantas de Producción Continua y las de Dosificación es que en las continuas el agregado es calentado, secado y finalmente mezclado con el asfalto dentro de un tambor, de manera continua. En este tipo de planta la graduación del agregado es controlado por el Sistema de alimentación en frío. Sus componentes principales son:

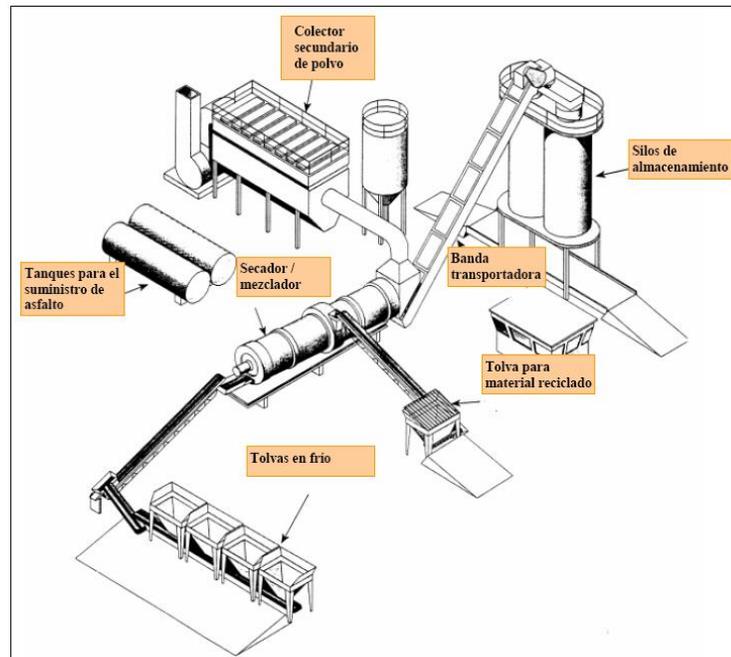
- Sistema de alimentación en frío.
- Tambor secador, calentador y mezclador.
- Sistema de almacenamiento y suministro de asfalto.
- Silos de almacenamiento.
- Sistema de control de emisiones.

Las secuencias de la operación de una Planta de Producción Continua es la siguiente: los agregados son colocados en tolvas frías de acuerdo a su tamaño, luego por medio de la banda transportadora son alimentados en proporciones exactas hacia el tambor secador; un sistema automático de pesaje monitorea la cantidad de agregados que entra al secador y en función de esta se suministra el asfalto para la mezcla; el asfalto es inyectado en el interior del tambor y la acción rotatoria del mismo mezcla los componentes. Finalmente la mezcla es transportada al silo de almacenamiento de donde es cargada a los camiones.

En la figura 4.18, se pueden identificar los componentes principales de este tipo de planta.



F.4.18 - Componentes principales de las Plantas de Producción Continua.



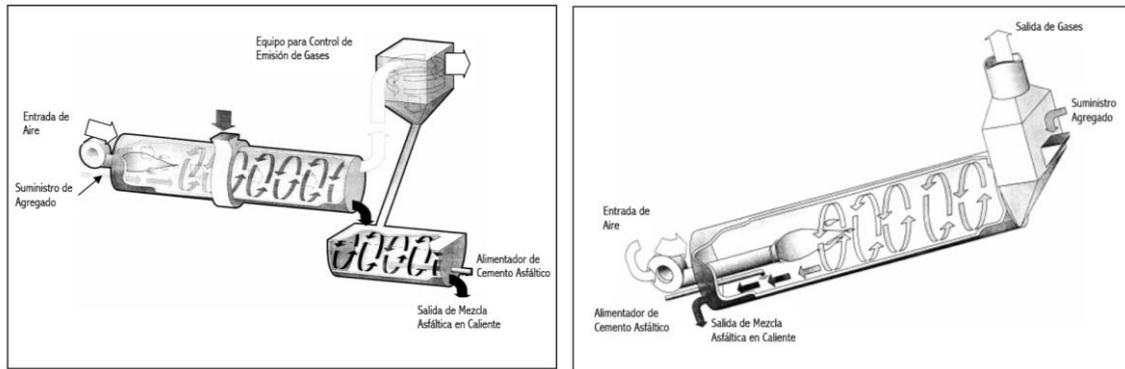
Fuente: Viceministerio de Obras Públicas.- Unidad de Investigación y Desarrollo Vial

Estas plantas asfálticas de producción continua actualmente se dividen en dos: las de Tambor Mezclador de Flujo-Paralelo (en adelante “Flujo-Paralelo”) y las de Tambor Mezclador de Contra-Flujo (en adelante “Contra-Flujo”).

La diferencia que existe entre las plantas de Producción Continua de Flujo-Paralelo y de Contra-Flujo (Ver Figura 4.19), estriba básicamente en el sentido en que circulan los agregados y los gases provenientes de la combustión (utilizados para el secado de los agregados). Cuando ambos circulan en la misma dirección, la planta es de Flujo-Paralelo, caso contrario, de Contra-Flujo. Sin embargo, la evolución más reciente de las Plantas Continuas corresponde a las Plantas Continuas de Contra-Flujo, ya que su diseño mejora el proceso de transferencia de calor al interior del tambor y reduce las emisiones de la planta.



F.4.19 - Tipos de Planta de Tambor Mezclador



Planta de Tambor Mezclador de Flujo - Paralelo.

Planta de Tambor Mezclador de Contra - Flujo.

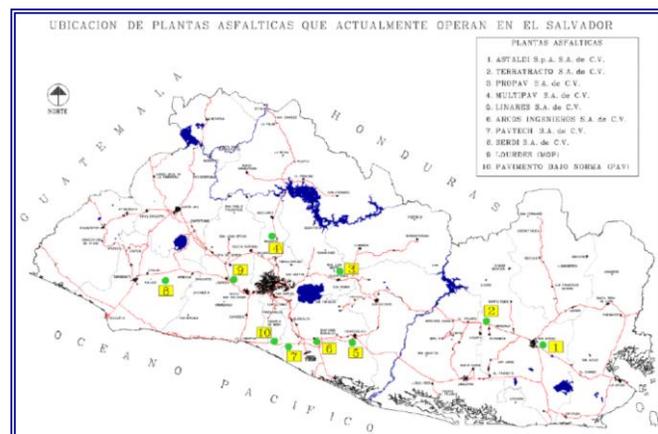
Fuente: Viceministerio de Obras Públicas.- Unidad de Investigación y Desarrollo Vial

Cabe mencionar, que las Plantas de Producción Continua han adquirido gran aceptación en las Empresas que se dedican a la producción de Mezclas Asfálticas, debido a la factibilidad para su Montaje/Desmontaje, eficiencia y economía, ya que tienen una mayor tasa de producción que las plantas de Dosificación.

Plantas Asfálticas que Actualmente Operan En El Salvador.

F.4.20 - Mapa de Ubicación de Plantas Asfálticas.

1. ASTALDI S.p.A S.A de C.V.
2. TERRATRAC TO S.A de C.V.
3. PROPAV S.A de C.V.
4. MULTIPAV S.A. de C.V.
5. LINARES S.A. de C.V.
6. ARCO INGENIEROS S.A. de C.V.
7. PAVTECH S.A. de C.V.
8. SERDI S.A. de C.V.
9. LOURDES (M.O.P.)
10. PAVIMENTO BAJO NORMA (PAV).



Fuente: ViceMinisterio de Obras Publicas - Unidad de Investigación y Desarrollo Vial



F.4.21 - Planta Asfáltica Producción Continua.



TOLVAS EN FRIO



SECADOR MEZCLADOR



TANQUE PARA ALMACENAMIENTO DE ASFALTO



BANDA TRANSPORTADORA



SILO DE ALMACENAMIENTO



PIPA DE SUMINISTRO DE ASFALTO

Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente - Instituto Salvadoreño del Asfalto

T.4.1 - Información General de Plantas Asfálticas que Operan en El Salvador.

No	Nombre de Planta Asfáltica	Tipo de Planta	Máxima Producción por hora	Capacidad de almacenamiento de agregados	Ligante Asfáltico Utilizado	Capacidad de almacenamiento de asfalto	Capacidad de almacenamiento de mezcla asfáltica	Productos	Laboratorios de Control de Calidad	Equipos para Transporte, Colocación y Compactación de Mezclas
1	ASTALDI S.p.A de C.V.	Producción Continua Flujo-Paralelo	150 Ton/hora	8.000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70 Asfalto AC-20	28.000 Galones	80 Ton.	Mezcla Asfáltica en Caliente	Poseen Laboratorio Propio	Si poseen
2	TERRATRAC TO S.A. de C.V.	Producción por Dosificación	200 Ton/hora	3.000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	24.000 Galones	No poseen silos para almacenar mezclas	Mezcla Asfáltica en Caliente	No Poseen Laboratorio Propio, el laboratorio es contratado	Si poseen
3	PROPAV S.A. de C.V.	Producción Continua Contra-Flujo	150 Ton/hora	8.000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70 Asfalto AC-30	18.000 Galones	No poseen silos para almacenar mezclas	Mezcla Asfáltica en Caliente	No Poseen Laboratorio Propio, el laboratorio es contratado	Si poseen
4	MULTIPAV S.A. de C.V.	Producción Continua Contra-Flujo	330 Ton/hora	60.000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70 Asfalto AC-20	80.000 Galones	450 Ton.	Base emulsificada, Mezcla Asfáltica en Caliente, Mezcla Asfáltica en Frío	Poseen Laboratorio Propio	Si poseen
5	LINARES S.A. de C.V.	Producción Continua Flujo-Paralelo	90 Ton/hora	200.000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	20.000 Galones	80 Ton.	Mezcla Asfáltica en Caliente	No Poseen Laboratorio Propio, el laboratorio es contratado	Si poseen
6	ARCO INGENIERO S.A. de C.V.	Producción Continua Flujo-Paralelo	70 Ton/hora	220.000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	21.000 Galones	73.5 Ton.	Mezcla Asfáltica en Caliente	Poseen Laboratorio Propio	Si poseen
7	PAVTECH S.A. de C.V.	Producción Continua Contra-Flujo	120 Ton/hora	400 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	13.000 Galones	No poseen silos para almacenar mezclas	Mezcla Asfáltica en Caliente	Poseen Laboratorio Propio	Si poseen
8	SERDI S.A. de C.V.	Producción Continua Contra-Flujo	85 Ton/hora	600 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	14.000 Galones	No poseen silos para almacenar mezclas	Mezcla Asfáltica en Caliente	Poseen Laboratorio Propio	Si poseen
9	LOURDES (M.O.P.)	Producción por Dosificación	105 Ton/hora	18000 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	24.000 Galones	No poseen silos para almacenar mezclas	Mezcla Asfáltica en Caliente, Mezcla Asfáltica en Frío	Poseen Laboratorio Propio (UIDV-MOP)	Si poseen
10	PAVIMENTO BAJO NORMA (PAV)	Producción Continua Flujo-Paralelo	70 Ton/hora	1400 m ³	Asfalto de Penetración 60-70	27.000 Galones	80 Ton.	Mezcla Asfáltica en Caliente	Poseen Laboratorio Propio	Si poseen

Fuente: Viceministerio de Obras Públicas.- Unidad de Investigación y Desarrollo Vía



4.6 ESPECIFICACIÓN ASTM D 3515 PARA MEZCLAS DE PAVIMENTOS BITUMINOSOS EN CALIENTE Y SU COLOCACIÓN.

4.6.1. Alcance

1. Esta especificación cubre las mezclas asfálticas en caliente, colocación de la Mezcla Asfáltica, Asfalto Emulsificado y Mezclas de Pavimentos Asfálticos Reciclados para Bases, nivelación, Carpeta o Capa de Rodadura.
2. Los valores indicados en unidades del Sistema Internacional SI, deben ser considerados como el estándar. La combinación de valores de dos sistemas puede resultar en una no conformidad con la norma.
3. Esta norma no pretende dar lineamientos sobre seguridad, si las hay, son asociadas con su utilización. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadas de seguridad y salud. Determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

4.6.2. Ordenes de Compra.

1. Los pedidos para mezclas asfálticas para pavimentos deberán incluir la siguiente información:

Tipo de Asfalto (cemento asfáltico o asfalto emulsificado)

- ✓ Grado del Asfalto.
- ✓ La composición de mezclas asfálticas para pavimentos (mezcla densa y designación de la mezcla; mezcla abierta y designación de la mezcla; mezcla gruesa abierta de alta fricción y designación de la mezcla)
- ✓ El porcentaje máximo de agregado reciclado que se permite en la mezcla cuando está limitado, y
- ✓ El porcentaje de partículas fracturadas que requiere el agregado si son diferentes a lo especificado en ASTM D 692.



4.6.3. Agregados.

1. Los agregados deben de ser rocas trituradas, grava triturada, arena natural o fabricada de acuerdo a los requerimientos de calidad y de partículas fracturadas de acuerdo a las siguientes especificaciones de ASTM:
 - ✓ Agregados gruesos Especificación ASTM D 692
 - ✓ Agregados finos Especificación ASTM D 1073

Nota 1. Otros agregados minerales, tales como grava no triturada, conchas quebradas y otros agregados sintéticos, podrían ser especificados tomando en cuenta la experiencia local o ensayos que demuestran su habilidad para producir satisfactoriamente mezclas asfálticas para pavimentos.

2. Los requerimientos granulométricos recomendados para agregados gruesos y finos pueden ser seleccionados de acuerdo a la Clasificación ASTM D 448 y la Especificación ASTM D 1073, respectivamente. Se pueden usar otras granulometrías para agregados provenientes de la combinación de agregados gruesos, finos y relleno mineral (cuando se utiliza), que cumpla con los requerimientos granulométricos del agregado total como se prescribe en la Tabla 4.2.
3. Cuando se produce mezcla asfáltica en caliente, y mezcla asfáltica reciclada y colocada en caliente, los agregados conformes con el numeral 1, pueden ser mezclados con el agregado reciclado (Pavimento asfáltico reciclado, PAR), según sea necesario para producir los resultados requeridos en 2.

4.6.4. Relleno Mineral.

El relleno mineral debe cumplir con la Especificación ASTM D 242

4.6.5. Asfalto.

1. Cuando se usa cemento asfáltico éste deberá ser conforme con las Especificaciones ASTM D 3381.



Nota 2. El grado de viscosidad que se utilice depende del tipo de construcción, condición climática, la cantidad y configuración del tráfico. El grado de viscosidad.

2. Cuando se utiliza asfalto emulsificado, deberá ser conforme con la Especificación. ASTM D 2397.
3. Cuando el comprador lo requiera, otros tipos de asfalto emulsificado pueden usarse si la experiencia ha demostrado que pueden tener resultados satisfactorios.
4. Cuando se produce mezcla asfáltica en caliente, mezcla asfáltica reciclada y colocada en caliente, el asfalto debe cumplir con las Especificaciones ASTM D2397 o ASTM D 3381 y los agentes reciclantes con o sin asfalto deben cumplir con la Práctica ASTM D 4552 cuando sea necesario agregarlos al cemento asfáltico.

4.6.6. Composición de las Mezclas para Pavimentos Bituminosos.

1. La mezcla deberá ser conforme con una de las composiciones por peso que se dan en la Tabla 4.2 o Tabla 4.3.

Nota 3. La designación de la mezcla seleccionada debería ser determinada por la intención del uso, espesor de las capas del pavimento, y textura deseada.

2. Las composiciones que señala la Tabla 4.2 ó Tabla 4.3, están basadas en el uso de agregados finos y gruesos teniendo aproximadamente la misma gravedad específica en la misma masa; en el grado del agregado total, sin embargo, debería ser la misma, sea por peso o en base al volumen de la masa. Si la gravedad específica de la masa del agregado fino o grueso defiere más de 0.20, debe ser necesario un ajuste pequeño en el grado del agregado cuando se hace el trabajo de mezclado para justificar las diferencias en volumen.
3. Un trabajo de mezclado debe ser seleccionado que está dentro de los límites de la especificación y es idóneo para las condiciones de clima y tráfico y las gravedades específicas usadas. Abajo de los 2.36 mm, criba (N° 8), el trabajo de mezcla para los límites de la curva de los grados está en la Tabla 4.2.



4. Cualquier variación en el trabajo de mezclado de la fórmula en el grado del agregado, como se demuestra en los trabajos análisis de la criba en la planta (Nota 4) o cualquier variación en el trabajo de mezcla del contenido de betún como se indica en los análisis de extracción de la mezcla final, si son mayores que el porcentaje en la Tabla 4.4, deberán ser investigados y las condiciones que causan esta variación deberán ser corregidas (Nota 5).

Nota 4. Se reconoce que el test de extracción es generalmente reconocido y aprobado para determinar la composición de una mezcla de concreto bituminoso. Sin embargo debido a la gran diferencia en el contenido de betún y la graduación del agregado que se encuentra algunas veces en muestras individuales de mezcla que se toman de la misma bachada, como se demuestra en los análisis de extracción se recomienda que el resultado de los análisis de extracción en pequeñas muestras sea usado como un indicación de la composición de la mezcla, y no como una sola base para aceptar o rechazar el producto. Aunque una planta de mezclado tiene dosificación automática de bachadas y equipo de registros, puede ser necesario determinar tanto la graduación del agregado como el contenido de betún en los test de extracción de las muestras.

Nota 5. La aplicación de las tolerancias puede resultar en una graduación fuera de los límites de composición de la Tabla 4.2 o tabla 4.3. Esto no será causa de investigación.

T.4.2- Composición de las Mezclas Bituminosas de Pavimentación.

Tamaño del tamiz	Mezclas Densas								
	Designación de Mezcla								
	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5	D-6	D-7	D-8	D-9
	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	4.75 mm (No. 4) (Arena Asfalto)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16) (Hoja de Asfalto)
Granulometría del Agregado Total (Gruoso más fino, más relleno si se requiere) Cantidad más fina que la del laboratorio (Cuadrado Abierto) % de masa.									
63-mm (2½ in.)	100	---	---	---	---	---	---	---	---
50-mm (2 in.)	90 a 100	100	---	---	---	---	---	---	---
37.5-mm (1½ in.)	---	90 a 100	100	---	---	---	---	---	---
25.0-mm (1 in.)	60 a 80	---	90 a 100	100	---	---	---	---	---
19.0-mm (¾ in.)	---	56 a 80	---	90 a 100	100	---	---	---	---
12.5-mm (½ in.)	35 a 65	---	56 a 80	---	90 a 100	100	---	---	---
9.5-mm (⅜ in.)	---	---	---	56 a 80	---	90 a 100	100	---	---
4.75-mm (No. 4)	17 a 47	23 a 53	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 85	80 a 100	---	100
2.36-mm (No. 8) ^A	10 a 36	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 58	32 a 67	65 a 100	---	95 a 100
1.18-mm (No. 16)	---	---	---	---	---	---	40 a 80	---	85 a 100
600-µm (No. 30)	---	---	---	---	---	---	25 a 65	---	70 a 95
300-µm (No. 50)	3 a 15	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23	7 a 40	---	45 a 75
150-µm (No. 100)	---	---	---	---	---	---	3 a 20	---	20 a 40
75-µm (No. 200) ^B	0 a 5	0 a 6	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10	2 a 10	---	9 a 20



Mezclas Abiertas									
Tamaño del tamiz	Designación de Mezclas								
	0-1	0-2	0-3	0-4	0-5	0-6	0-7	0-8	0-9
	50 mm (2 in.)	37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	4.75 mm (No. 4) (Arena Asfalto)	2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16) (Hoja de Asfalto)
Base y Recorridos de uniones					Superficies y Recorridos de Nivelación				
63-mm (2½ in.)	100	---	---	---	---	---	---	---	---
50-mm (2 in.)	90 a 100	100	---	---	---	---	---	---	---
37.5-mm (1½ in.)	---	90 a 100	100	---	---	---	---	---	---
25.0-mm (1 in.)	40 a 70	---	90 a 100	100	---	---	---	---	---
19.0-mm (¾ in.)	---	40 a 70	---	90 a 100	100	---	---	---	---
12.5-mm (½ in.)	18 a 48	---	40 a 70	---	85 a 100	100	---	---	---
9.5-mm (⅜ in.)	---	18 a 48	---	40 a 70	60 a 90	85 a 100	---	---	---
4.75-mm (No. 4)	5 a 25	6 a 29	10 a 34	15 a 39	20 a 50	40 a 70	---	100	---
2.36-mm (No. 8) ^A	0 a 12	0 a 14	1 a 34	2 a 18	5 a 25	10 a 35	---	75 a 100	---
1.18-mm (No. 16)	---	---	---	---	3 a 18	5 a 25	---	50 a 75	---
600-µm (No. 30)	0 a 8	0 a 8	0 a 10	0 a 10	---	---	---	28 a 53	---
300-µm (No. 50)	---	---	---	---	0 a 10	0 a 12	---	8 a 30	---
150-µm (No. 100)	---	---	---	---	---	---	---	0 a 12	---
75-µm (No. 200) ^B	---	---	---	---	---	---	---	0 a 5	---
	Masa del betún como % de la masa total ^C								
	2 a 7	3 a 8	3 a 9	4 a 10	4 a 11	5 a 12	6 a 12	7 a 12	8 a 12
	Tamaño sugerido para el agregado grueso								
	3 y 57	4 y 67 o 4 y 68	5 y 7 o 57	67 o 68 o 6 y 8	7 o 78	8			

^A Considerando que la granulometría total como característica de las mezclas bituminosas para asfaltos, la cantidad que pasa por la criba de 2.36 milímetros es un control de campo conveniente entre el agregado fino y grueso. La granulometría aproximada como cantidad máxima permitida en la criba N° 8 resultará en un pavimento de característica fina, la mínima que pasa por la criba N° 8 resultará en un pavimento de característica gruesa.

^B El material que pasa por las criba de 300 µm puede consistir de partículas finas del agregado o relleno mineral, o ambos, pero deberá estar libre de materia orgánica y partículas de cenizas. La mezcla de agregados y rellenos cuando cumple con la prueba ASTM D 4318, deberá tener un índice de plasticidad no mayor de 4, excepto que esta plasticidad sea un requerimiento no aplica cuando el material de relleno es cal hidratada o cemento hidráulico.

^C La cantidad de betún se da en términos de % de masa sobre la masa total. La mayor diferencia entre la gravedad específica de varios agregados considerando una diferencia en la adsorción, resulta en un rango grande en la cantidad del betún especificado. La cantidad de betún requerido para una mezcla debería ser determinada en un laboratorio de ensayo o tomando como base las experiencias anteriores con mezclas similares o por una combinación de ambas.

Fuente: ASTM D 3515

4.6.8. Planta de Mezclado.

1. La planta de mezclado deberá cumplir con la Especificación ASTM D 995. Cuando se utiliza asfalto emulsificado, el local del molino deberá tener ventilación adecuada para permitir el escape de vapor.



4.6.9. Operación de Planta de Mezclado

1. Almacenamiento de Agregados. Los agregados de diferentes tamaños y orígenes deben almacenarse por separado y se debe prevenir que se mezclen y se contaminen. Las pilas de inventarios se deberán construir de materiales que se puedan remover y así minimizar la segregación
2. Pavimentos Bituminosos Antiguos. Los agregados bituminosos para reciclado deben ser reducidos en tamaño y el tamaño mínimo de la partícula debe estar conforme con lo estipulado en 5.1 y debe ser almacenado separado de las pilas de agregados. Se deben tomar medidas precautorias para evitar que se mezclen con otros agregados y evitar la contaminación.
3. Preparación del Betún. El betún debe mantenerse a una temperatura en que se pueda manejar por sistema de bombeo y ser rociado en la mezcla. Cuando no se está procesando, la temperatura del betún en el almacenamiento no debe exceder de lo siguiente:

T.4.3 - Composición para mezclas de fricción para grado abierto.

Designación de la mezcla		
	Tipo I	Tipo II
Porcentaje que pasa		
19.0 mm	100	100
12.5 mm	100	90 a 100
9.5 mm	90 a 100	60 a 100
4.75 mm	30 a 50	15 a 40
2.36 mm ^A	5 a 15	4 a 12
75 μm ^B	2 a 5	2 a 5
Masa del betún como % de la masa total ^C		
	5 - 8 ½	4½ - 8
Tamaños de agregados sugeridos por la norma ASTM D 448		
	8 y 9	7 y 89
	o	o
	89	7 y 8

^A Considerando que la granulometría total como característica de las mezclas bituminosas para asfaltos, la cantidad que pasa por la criba de 2.36 milímetros es un control de campo conveniente entre el agregado fino y grueso. Para mezclas de fricción para grado abierto, la cantidad que pasa por la N° 8 tendrá un límite requerido para proveer una capa de partículas gruesas.

^B El material que pasa por la criba de 75 μm puede consistir de partículas de agregados o material de relleno o ambas, pero debería estar libre de materia orgánica y partículas de cenizas. La mezcla de agregados y rellenos cuando cumple con la prueba ASTM D 4318, deberá tener un índice de plasticidad no



mayor de 4, excepto que esta plasticidad sea un requerimiento no aplica cuando el material de relleno es cal hidratada o cemento hidráulico.

^c La cantidad de betún se da en términos de % de masa sobre la masa total. La mayor diferencia entre la gravedad específica de varios agregados considerando una diferencia en la adsorción, resulta en un rango grande en la cantidad del betún especificado. La cantidad de betún requerido para una mezcla debería ser determinada en un laboratorio de ensayo o tomando como base las experiencias anteriores con mezclas similares o por una combinación de ambas.

Fuente: ASTM 3515

T.4.4- Tolerancias para la mezcla de trabajo

Tamaño de la Criba	Tolerancias %
12.5 mm o mayor	± 8
9.5 mm y 4.75 mm	± 7
2.36 mm y 1.18 mm	± 6
600 µm y 300 µm	± 5
75 µm	± 3
Masa del betún como % de la masa total	± 0,5

Betún	Temperatura	
	°C	°F
Asfalto Cemento	176.6	350
Alquitrán	107.2	225
Asfalto emulsificado	82.2	180

Fuente. ASTM D 3515

- Preparación y Manejo de los Agregados Minerales: Cada tamaño de agregado deberá separarse para alimentar el elevador frío o los elevadores en proporción correcta y en una relación que permita un control de temperatura correcta y uniforme en la operación de secado y calentado. El agregado deberá ser secado y puesto en el mezclador a una temperatura tal que la mezcla será producida a una temperatura dentro del rango conveniente para el uso del betún siguiendo esta especificación:

Betún	Rango de temperatura	
	°C	°F
Cemento asfáltico (mezcla convencional)	121.1 a 162.7	250 a 235
Cemento asfáltico (grado abierto mezcla de fricción)	140.5 a 126.6	220 a 260
Cemento de alquitrán	79.4 a 107.2	175 a 225
Asfalto emulsificado	104.5 a 126.6	220 a 260

Fuente: ASTM D 3515



La temperatura entre estos límites deberá ser regulada de acuerdo a las características de grado y viscosidad del betún, temperatura ambiente, y viabilidad para trabajar la mezcla. Los agregados en estos compartimentos no deberán contener humedad porque esto puede formar espuma, depresión o segregación durante las operaciones de arrastre y colocación.

5. Preparación y Manejo del Agregado de Betún para reciclado. El agregado de betún para reciclado deberá ser llevado a la planta en la proporción adecuada y a un lugar que permita mantener un control de temperatura correcto para la operación de calentado y secado. Deberá ser colocado en la mezcladora a una temperatura tal que la mezcla que la mezcla será producida en el rango como se especifica en el numeral 4
6. Preparación de la Mezcla. Las proporciones de los componentes de la mezcla, dentro de los límites especificados, deberán ser reguladas para producir una mezcla satisfactoria. La secuencia en que los diferentes agregados y agregados de asfaltos para reciclados se pesen o se lleven a la planta varían dependiendo de las condiciones. El betún deberá agregarse en una capa pareja sobre toda la longitud del mezclador en una planta que se trabaje en bachadas o untarse parejo a través del mezclador en una plante de trabajo continuo.
 - 6.1 La mezcla se realizará en el menor tiempo para producir una mezcla satisfactoria. El tiempo de mezclado será efectuado dentro de los límites siguientes excepto que el mínimo se pueda determinar de acuerdo al literal 6.2 y el tiempo máximo de secado se puede determinar de acuerdo al numeral 6.3
 - 6.1.1 Plantas de bachada. 0 a 10 segundos secado en seco, seguido de 25 a 50 segundos adicionales después de la adición del betún.
 - 6.1.2 Plantas continuas. 25 a 60 segundos basada en la ecuación siguiente:

$$\text{Tiempo máximo en segundos} = \frac{\text{Capacidad del cuarto de molido, (kg)}}{\text{Capacidad de producción (kg/seg)}}$$



- 6.2 El tiempo mínimo de mezclado puede ser establecido sobre el porcentaje de partículas colocadas en la capa como se determina en el Método de Ensayo ASTM D 2489. El valor mínimo de porcentaje de las partículas colocadas en la capa se usa para establecer el tiempo mínimo de mezcla y será establecido por el técnico. Estos valores variarán con el grado de los agregados, forma de la partícula, y la textura de la superficie, y el contenido de betún para el propósito de la mezcla.
- 6.3 Cuando cualquier componente de la mezcla excepto betún, no se calienta en el secador, el periodo de secado de la mezcla se puede extender lo necesario para que la mezcla sea uniforme. Dentro de un rango de temperatura especificado en el numeral 4
7. Inspección de la Planta de Mezclado. El técnico responsable o la persona designada deberá tener acceso todo el tiempo a toda la planta para asegurarse que la fabricación de la mezcla esté de acuerdo a todas las especificaciones. Para que las muestras de agregado grandes sean suficientes y precisas pueden ser obtenidas de los compartimentos, se debe de proveer de un fácil y seguro acceso en el lugar de la planta donde se toman las muestras.
8. Requerimientos Especiales para Mezclas de Asfalto Almacenadas en Compartimentos o Regados. El cemento de asfalto recuperado de la mezcla deberá cumplir con la Alternativa 1 o 2 como sigue:

Alternativa 1
Para el Grado de Penetración del Asfalto Cemento según la Especificación
ASTM D 946

Grado	Penetración igual o mayor que
200 - 300	74
120 - 150	50
85 - 100	40
60 - 70	31
40 - 50	22

Fuente: ASTM D 3515



Alternativa 2

Para el Grado de Viscosidad del Cemento Asfáltico según la Especificación ASTM D 3381

Grado	Viscosidad (60 °C), P Igual o Menos que
AC-2.5 y AR-1000	1 250
AC-5 y AR-2000	2 500
AC-10 y AR- 4000	5 000
AC-20 y AR- 8000	10 000
AC-40 y AR- 16000	20 000

Fuente: ASTM D 3515

Las muestras para estos ensayos deben ser tomadas cuando los camiones cargados de la tolva. La adición de solvente se debe hacer de acuerdo a los procedimientos de los Métodos de Ensayo ASTM D 2172 y comenzarán dentro de 4 horas de haber tomado las muestras que serán colocadas en almacenamiento frío a 0 ° C o menor hasta que se comience hacer el análisis. Cuando la entrega de muestras al almacenamiento frío toma más de 4 horas se tomarán en cuenta los siguientes procedimientos:

- a) Las muestras frías se colocan en hieleras plásticas que contengan hielo seco, que se mantendrá hasta que se entregue al laboratorio.
- b) Poner la muestra en una lata de un galón que contenga hielo seco. Tapar inmediatamente. La tapadera debe tener un orificio pequeño. Cuando la presión interna cesa, soldar el orificio. Mantener la lata tapada durante la entrega al laboratorio.

8.1 Los siguientes tiempos de almacenamiento se permitirán hasta que los resultados de los ensayos del asfalto recuperado estén listos. Los tiempos se pueden aumentar o disminuir en base a los resultados de los análisis.

	Tiempo en horas	
	Mezcla fina ^A	Mezcla gruesa ^B
Asfalto sin tratar, aire en el compartimiento	12	6
Asfalto tratado, ^C aire en el compartimiento, asfalto sin tratar, gas inerte en el compartimiento	36	18
Asfalto tratado, ^C gas inerte en el compartimiento	96	72

^A Mezclas densas: ¾ pulg, 3/8 pulg. Criba N° 4 y 16

^B Mezclas densas: 2 pulg, 1 ½ pulg, y 1 pulg

^C Tratadas con Fluido Dow-Corning DC-200 en una relación aproximada de 30 cm³ (1 onz) 18.93 cm³ (5 000 gal) de asfalto.

Fuente ASTM D 3515



Nota 6. Un punto de separación arbitrario se ha hecho arriba basado en los Requerimientos de Composición para Mezclas Densas de ASTM, entre las mezclas finas y gruesas. Se ha observado que las mezclas gruesas presentan un rango más rápido de endurecimiento cuando se almacenan debido a un alto volumen de vacío en estas mezclas. Además, las “mezclas abiertas” generalmente endurecen más rápido que las “mezclas densas” y por consiguiente los límites de tiempo para almacenamiento que se dan arriba para mezclas gruesas deberían ser usadas para “mezclas abiertas”. El punto de separación arbitrario se debería ajustar como información en porcentaje de vacío de aire de los modelos compactos de laboratorio que se pueden encontrar. Un valor del 10% que contenga un de vacío de aire es sugerido como un punto de separación arbitraria entre mezclas finas y gruesas, con las mezclas gruesas que contienen un vacío de aire arriba del 10% y de mezclas finas que contienen un vacío de aire abajo del 10%. Este valor es arbitrario y puede requerir de ajustes como un modelo que puede ser disponible.

4.6.10 Métodos de Muestra y Ensayo

El muestreo y la determinación de las propiedades de todo el material que se enumeran en esta norma se deben hacer de acuerdo a las siguientes normas ASTM:

1. Agregado Mineral del Muestreo - Practica D 75
2. Muestreo de Mezclas Bituminosas - Practica D 979
3. Análisis de Tamiz de Agregados - Método de Prueba C 136
4. Análisis de Tamiz de Relleno Mineral - Método de Prueba D 546
5. Determinación del Contenido de Betún - Método de Prueba D 2172.
6. Muestre de los Materiales Bituminosos- Practica D 140
7. Gravedad Especifica del Agregado Grueso - Método de Prueba C 127
8. Gravedad Especifica del Agregado Fino - Método de Prueba C 128
9. Índice de Plasticidad - Método de Prueba D 4318
10. Porcentaje de Partículas Recubiertas - Método de Prueba D 2489
11. Recuperación de Extracción de Asfalto - Método de Prueba ASTM D 1586
12. Penetración de Recuperación de Asfaltos - Método de Prueba ASTM D 5
13. Vacíos de Aire - Método de Prueba D 3203
14. Viscosidad Absoluta de Asfalto - Método de Prueba D 2171



4.7 ESPECIFICACIONES SIECA PARA MAC.

Los requisitos para la construcción de mezcla asfáltica diseñada por metodología Marshall se especifican en la sección 401.03 de la SIECA "Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales". 2001, El cual se detalla a continuación:

401.03 Composición de la mezcla asfáltica (dosificación de diseño). La dosificación de diseño debe ajustarse a las siguientes propiedades:

Mezcla asfáltica diseñada por la metodología Marshall.- En los proyectos en que su uso sea requerido en los proyectos que su uso sea requerido, se debe usar agregados, ligante asfáltico no modificado y aditivos dosificados, en proporciones tales que se cumplan los requisitos de granulometría de la Tabla 703-4, así como los parámetros de diseño (a), (b), (c) y (d) de la Tabla 401-1. El Contratante definirá los casos en que se usará esta mezcla.

Tabla 401-1

Requerimientos para mezclas de concreto asfáltico diseñadas por el método Marshall.

Parámetros de diseño	Mezcla Marshall
(a) Marshall (AASHTO T 245) (1) Estabilidad (k.o.) (2) Flujo (1/100 cm.) (3) Vacíos en la mezcla (%) (4) Vacíos en el agregado mineral (%), mín. (5) Compactación, número de golpes en cada extremo de los especímenes de prueba	8.00 - 20.00 (i) 20-40 3.0 - 5.0 Ver Tabla 401-2 75
(b) Inmersión-Compresión (AASHTO T 165 / AASHTO T 167) (1) Resistencia a la compresión (APA), mín. (2) Resistencia retenida (%), mín. (3) Vacíos en los especímenes de prueba (%).	2.1 (i.e.) 75 (i.e.) 6.0 - 8.0
(c) Tensión indirecta (AASHTO T 283) (1) Resistencia retenida (%), mín. (2) Saturación en los especímenes de prueba (%). (3) Ciclo de congelamiento/descongelamiento. (4) Vacíos en los especímenes de prueba (%)	75 (ii) 55 - 80 Uso a ser definido por el Contratante 6.0 - 8.0
(d) Razón de polvo / asfalto efectivo (iv)	0.6-1.3

Fuente: Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales - SIECA



Requisitos

- (1) El requisito máximo de estabilidad podrá ser obviado si: a) el ligante asfáltico tiene una temperatura intermedia inferior o igual a 16°C; b) la mezcla asfáltica dosificada según diseño, cumple con los requisitos mínimos de resistencia a la fatiga definidos por el Contratante.
- (2) Los requisitos se deben cumplir para todo el rango de contenido de vacíos en los especímenes de prueba.
- (3) El porcentaje de vacíos se basa en los procedimientos de ensayo AASHTO T 166, AAASHTO T 209 y AASHTO T 269. La determinación de la densidad máxima teórica se basa en AASHTO T 209.
- (4) La razón de polvo / asfalto efectivo se define como la razón entre el porcentaje de material, incluyendo aditivos no líquidos y relleno mineral pasando el tamiz No. 200, y el porcentaje de asfalto efectivo (por peso total de mezcla).
- (5) El porcentaje de asfalto efectivo se define como el porcentaje de asfalto total (por peso total de mezcla) menos el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado (por peso total de mezcla).

Tabla 401-2 Vacíos en el agregado mineral (VMA)
Según método de diseño de mezcla Marshall

Tamaño Nominal ⁽¹⁾	Marshall
2.36 mm	21.0
4.75 mm	18.0
9.5 mm	16.0
12.5 mm	15.0
19 mm	14.0
25 mm	13.0
37.5 mm	12.0
50 mm	11.5

- ⁽¹⁾ Tamiz de menor tamaño que no retiene más del 10 % del agregado de diseño (por peso).
- ⁽²⁾ La determinación del VMA corresponde a la mezcla dosificada de acuerdo con el diseño de mezcla, incluyendo la adición correspondiente del relleno mineral o agente mejorado de adherencia no líquido, en caso de que alguno de estos, o ambos, se incluyan en la dosificación de diseño.

Fuente: Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales - SIECA



4.8 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

El diseño de mezclas es una herramienta usada para la aceptación de materiales, para el control de calidad de la mezcla, y para determinar la compactación final del pavimento.

El objetivo principal del diseño de mezclas asfálticas de pavimentación, consiste en determinar una combinación y graduación económica de asfalto y agregados (dentro de los límites de las especificaciones del proyecto) que produzcan una mezcla con:

- ◆ Suficiente asfalto para proporcionar un pavimento durable.
- ◆ Buena estabilidad para satisfacer las demandas de tránsito sin producir deformaciones o desplazamientos.
- ◆ Suficiente trabajabilidad para evitar la segregación al momento de la colocación.
- ◆ Un contenido de vacíos lo suficientemente alto, para permitir una ligera cantidad de compactación adicional bajo las cargas producidas por el paso de vehículos sin que se produzca exudación.

Previo a la ejecución del método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Los materiales a usar deben cumplir con las especificaciones del proyecto
- La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas del proyecto
- Se deben determinar las densidades reales secas de todos los agregados y las del asfalto para ser usados en el análisis de vacíos de la mezcla.

El método de diseño utilizado en El Salvador para el Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente es el Método Marshall debido a que el equipo utilizado es de costo relativamente bajo y portátil por lo que generalmente las especificaciones técnicas de diseño lo utilizan.



4.8.1 Método Marshall de Diseño de Mezclas Asfálticas.

Referencias Históricas

El Método Marshall para el diseño de mezclas fue desarrollado por Bruce Marshall, del Mississippi Highway Department alrededor de 1939. El ensayo Marshall, en su forma actual, surgió de una investigación iniciada por The Corps of Engineers Waterways (WES) de los Estados Unidos en 1943.

Este método fue normalizado por la ASTM D-1559, denominado Resistencia al Flujo Plástico de Mezcla Bituminosa usando el equipo Marshall (el método AASHTO T-245 es similar a la Norma ASTM D-1559, excepto en lo referente al martillo operado mecánicamente, en lugar de un martillo operado manualmente).

Fundamento Teórico

El contenido óptimo de asfalto para un material de carpeta es la cantidad de asfalto que forma una membrana alrededor de las partículas, de espesor suficiente para resistir los elementos del intemperismo evitando que el asfalto se oxide con rapidez. Por otro lado, no debe ser tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad, es decir, deformación excesiva por flujo plástico o resistencia y no soporte las cargas de los vehículos.

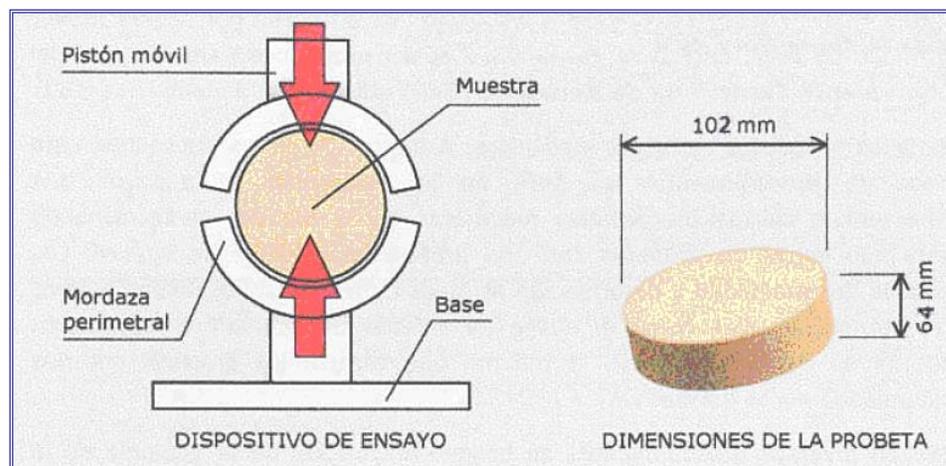
Objetivo

Determinar el contenido óptimo de asfalto para una mezcla específica de agregados; así como también proporcionar información sobre las características físicas y mecánicas de mezcla asfáltica en caliente, de tal manera que sea posible establecer si cumple en lo referente al establecimiento de densidades y contenidos óptimos de vacío durante la construcción de la capa del pavimento.



El Método Marshall, sólo se aplica a mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación que usan cemento asfáltico clasificado con viscosidad o penetración y que contiene agregados con tamaños máximo de una pulgada (25.0 mm) o menos. El método puede ser usado, para el diseño en laboratorio, como para el control de campo de mezclas asfálticas (en caliente) de pavimentación.

F.4.22 - Ensayo Marshall para Dosificación.



Fuente: ASTM D 1559

El Método *Marshall* usa muestras normalizadas de prueba (probetas) de 2.5 pulgadas (64 mm) de espesor por cuatro pulgadas (102 mm) de diámetro. Una serie de probetas, cada una con la misma combinación de agregados pero con diferente contenido de asfalto, es preparada usando un procedimiento específico, para calentar, mezclar y compactar mezclas asfálticas de agregado. Los dos datos más importantes del diseño de mezclas del Método *Marshall* son: un análisis de la relación de vacíos - humedad y una prueba de estabilidad - flujo de las muestras compactadas.



Granulometría.

El análisis granulométrico tiene por objeto determinar la distribución de tamaños de las partículas existente en una muestra seca de agregado. ES importante conocer esta distribución, ya que influye de forma decisiva en la resistencia mecánica de la capa del pavimento que contenga dicho agregado.

Los tamaños típicos usados en el análisis granulométrico para mezclas asfálticas en caliente son: 2"; 1 1/2"; 1"; 3/4"; 1/2"; 3/8"; N°4; N°8; N°16; N°30; N°50; N°100 y N°200 (50.8 mm; 38.0 mm; 25.4 mm; 19.0 mm; 12.5 mm; 9.5 mm; 4.75 mm; 2.36 mm; 1.18 mm; 0.6 mm; 0.3 mm; 0.15 mm; y 0.075 mm, respectivamente). La gradación de agregados algunas veces se describen como densas o bien gradadas, uniformemente gradadas (abierta), y gradación gruesa.

La granulometria se dibuja en papel semilogarítmico, en la cual en la ordenada se encuentran el porcentaje de material que pasa cierta malla, y en la abcisa 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 obligado para la curva granulométrica. La Tabla 4.2 presenta los tamaños máximos nominales más utilizados, así como sus líneas de control de acuerdo con la ASTM D3515.

Los usos Granulométricos son especificaciones para los productores de agregados y es empleado por diseñadores y constructores en proyectos de construcciones, para diseño de mezclas del concreto, entre otras.



4.8.2 Equipo para uso del Metodo Marshall.

<p>- Prensa de estabilidad Marshall, provista de un anillo con capacidad de 6,000 lb (27kN).</p>	<p>- Cabeza de rotura de estabilidad Marshall, de 4 plg (101.7 mm) de diámetro. Peso total de 20 lb (9 kg).</p>
<p>Prensa de Estabilidad Marshall</p> 	<p>Cabeza de estabilidad Marshall</p> 
<p>Molde de compactación Marshall, de 4 plg (101.7 mm) de diámetro y peso de 8 lb (3.6 kg).</p>	<p>Martillo de compactación Marshall, de 10 lb (4.54 kg) con una altura de caída de 18 plg (457 mm). Tiene un peso total de 17 lb (7.7 kg).</p>
<p>Molde de Compactación Marshall.</p> 	<p>Martillo de compactación Marshall</p> 
<p>Fuente: http://www.ele.com/usa/</p>	



<p>Pedestal de compactación, con dimensiones de 8 x 8 plg de lado y 18 plg de altura. Con un peso total de 85 lb (38 kg).</p>	<p>Baño de circulación de agua, tipo magnético, con capacidad de calentar hasta 12 probetas Marshall de 4 plg. Con termómetro de control. Con un peso total de 47 lb (21.4 kg).</p>
<p>Pedestal de compactación</p> 	<p>Baño de circulación de agua</p> 
<p>Picnómetro de vacíos, con capacidad de 2,000 g y un peso total de 15 lb (6.8 kg).</p>	<p>Extractor de la centrífuga del asfalto, velocidad variable entre 0-3600 rpm, con freno de parada automático. Peso total de 70 lb (32 kg).</p>
<p>Picnómetro de Vacíos Marshall.</p> 	<p>Extractor de la centrífuga de asfalto.</p> 
<p>Fuente: http://www.ele.com/usa/</p>	



4.8.3 Selección de la muestra de material.

Diferentes agregados y asfaltos presentan diferentes características, estas características tiene un impacto directo sobre la naturaleza misma del pavimento. El primer paso en el método de diseño, entonces, es determinar las cualidades (estabilidad, durabilidad, trabajabilidad, resistencia al deslizamiento, etc.) que debe tener la mezcla de pavimentación y seleccionar un tipo de agregado y un tipo compatible de asfalto que puedan combinarse, para producir esas cualidades. Una vez hecho esto, se puede empezar con la preparación de los ensayos.

La primera preparación, para los ensayos consta de reunir muestras de asfalto y del agregado que van a ser usados en la mezcla de pavimentación. Es importante que las muestras de asfalto 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 de diseño de mezcla determinan la fórmula o "receta", para la mezcla de pavimentación. La fórmula 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 utilizados en la realidad.

4.8.4 Preparación del Agregado

La relación viscosidad - temperatura del cemento asfáltico que va a ser usado debe ser ya conocida, para poder 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.

4.8.4.1 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 del ensayo. 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 °C (230 °F), como se muestra en la Figura 4.23. 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 pesar 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.

F.4.23 - Secado de la muestra de agregado



Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 72

4.8.4.2 Análisis Granulométrico por Vía Húmeda

El análisis granulométrico por vía húmeda es un procedimiento usado, para identificar las proporciones de partículas de tamaño diferente en las muestras de 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:

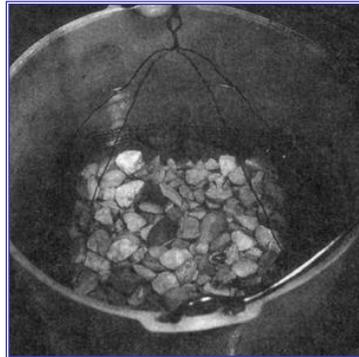
1. Cada muestra de agregado es secada y pesada.
2. Luego cada muestra es lavada a través del tamiz No. 200 (0.075 mm), para remover cualquier polvo mineral que esté cubriendo al agregado.
3. Las muestras lavadas son secadas siguiendo el procedimiento de calentado y pesado descrito anteriormente.
4. El peso seco de cada muestra es registrado. La cantidad de polvo mineral puede ser determinada si se compara los pesos registrados de las muestras antes y después del lavado.
5. Para obtener pasos detallados del procedimiento referirse a la norma *AASHTO T-11*.

4.8.4.3 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 (Figura 4.24). El peso específico del agregado se expresa en múltiplos del peso específico del agua (la cual siempre tiene un valor de uno). Por ejemplo, una muestra de 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 de 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.



F.4.24- Determinando el peso específico de una muestra de agregado.



Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 73

4.8.5 Preparación de las Probetas de Ensayo.

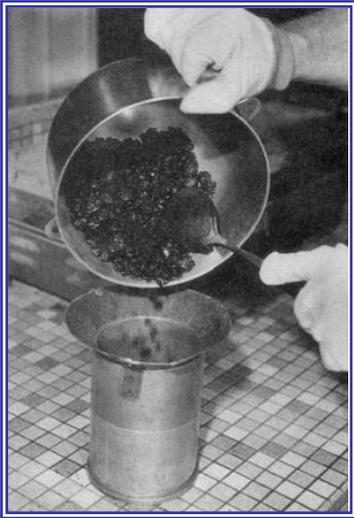
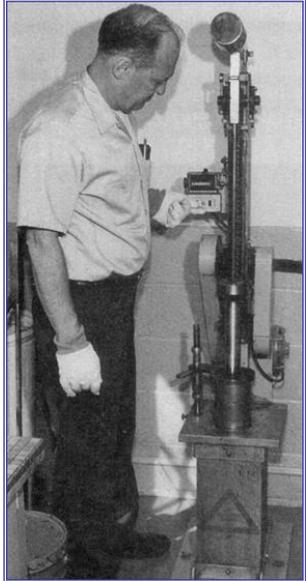
Las probetas de ensayo de las posibles mezclas de pavimentación son preparadas haciendo que cada una contenga una ligera cantidad diferente de asfalto. El margen de contenido de asfalto usado en las briquetas de ensayo esta determinado con base en experiencia previa con los agregados de la mezcla. Este 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 esta formulada por los resultados del análisis granulométrico. La muestra se prepara de la siguiente manera:

- a. El asfalto y el agregado se calientan y mezclan completamente hasta que todas las partículas de agregado estén revestidas. Esto simula los procesos de calentamiento y mezclado que ocurren en la planta.
- b. Las mezclas asfálticas calientes se colocan en los moldes precalentados Marshall (Figura 4.25 literal 1) como preparación, para la compactación, en donde se utiliza el martillo Marshall de compactación, el cual también es calentado para que no enfríe la superficie de la mezcla al golpearla (Figura 4.25 literal 2).



c. Las briquetas son compactadas mediante golpes del martillo *Marshall* de compactación (Figura 4.25 literal 3). El número de golpes del martillo (35, 50 ó 75) depende de la cantidad de tránsito, para la cual la mezcla esta siendo diseñada. En la actualidad es recomendable compactar las muestras utilizando 75 golpes, ambas caras de cada briqueta reciben el mismo número de golpes. Así, una probeta Marshall de 75 golpes recibe, realmente, un total de 150 golpes. Después de completar la compactación las probetas son enfriadas y extraídas de los moldes.

F.4.25 - Preparación de Briquetas de Ensayo

1. Preparación de las probetas de ensayo en moldes Marshall	2. Plato caliente, martillo Marshall y molde de 4" Marshall	3. Martillo Marshall de caída compactando una probeta
		

Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 75

4.8.6 Procedimiento para Realizar la Prueba.



Existen tres procedimientos en el método del ensayo Marshall. Estos son: determinación del peso específico total, medición de la estabilidad y la fluencia Marshall, el análisis de la densidad y el contenido de vacíos de las probetas.

4.8.6.1 Determinación del Peso Específico Total

El peso específico total de cada probeta se determina tan pronto como las probetas recién compactadas se hayan enfriado a la temperatura ambiente.

Esta medición de peso específico es esencial, para un análisis preciso de densidad - vacío. El peso específico total se determina usando el procedimiento descrito en la norma AASHTO T-166.

4.8.6.2 Contenido de Betumen

1. Para determinar el contenido de betumen o contenido de asfalto, se selecciona una muestra representativa de 500 g; dependiendo de las condiciones del asfalto y la proporción del agregado en dicha mezcla.
2. Colocar en el horno la muestra anterior, a 60 °C (140 °F). En el instante en que la muestra llegue a los 60 °C se debe retirar del mismo.
3. Se saca el material del horno y se coloca en el extractor de betumen.
4. Colocar 350 cm³ de gasolina en la boquilla de la centrífuga e iniciar la extracción. En la primera etapa, la extracción se concluye cuando no se obtenga más gasolina de la manguera de salida.
5. Colocar otros 350 cm³ de gasolina en la boquilla de la centrífuga e iniciar de nuevo la extracción.
6. El proceso concluye cuando en la manguera de salida de la centrífuga se obtenga gasolina limpia; es decir, gasolina sin presencia de material asfáltico. Esto asemeja el procedimiento de lavado en el ensayo de granulométrica por tamizado.
7. Concluido el proceso de extracción, se coloca todo el material de la centrífuga en una tara y se pesa. Luego se coloca en el horno a 110 °C.



8. Obtener la humedad de la muestra, con los procedimientos estudiados anteriormente.
9. El contenido de betumen o contenido de asfalto se expresa en porcentaje y se obtiene de la siguiente forma:

Diferencia = Peso neto muestra - Peso neto después del horno

$$\% \text{ Asfalto} = \frac{\text{Diferencia}}{\text{Peso} - \text{Neto} - \text{Muestra}} \times 100$$

4.8.6.3 Gradación de la Muestra

1. La muestra obtenida, después de la extracción de betumen o contenido de asfalto se somete al ensayo granulométrico por el método de tamizado, para determinar la gradación de la misma y encontrar el tamaño máximo nominal de agregado según, el Instituto de Asfalto.
2. Se arma un conjunto de tamices, según lo indicado por el Instituto de Asfalto, de la siguiente forma: 1", 3/4", 3/8", No. 4, No. 8, No. 50, No. 200 y fondo; en ese orden de arriba hacia abajo.
3. Determinar el peso neto que pasa y el porcentaje del mismo, según lo indicado en el ensayo granulométrico por tamizado.
4. Dibujar la curva porcentaje que pasa versus diámetro de los partículas en milímetros.
5. Siguiendo las indicaciones de la Tabla 4.5, determinar el tamaño máximo nominal de agregado presente en la muestra.



T.4.5 - Gradación de Agregados, para Pavimento de Concreto Asfáltico
(ASTM D3515)

Tamaño del tamiz	Designación de la Mezcla Usando el Tamaño Máximo Nominal del Agregado (AASHTO T 27 y T 11) ⁽¹⁾					
	A	B	C	D	E	F
	50.8mm 2"	38.1 mm 1 ½"	25.4 mm 1"	19.0 mm ¾"	12.5 mm ½"	9.5 mm ⅜"
Porcentaje Total que Pasa (en peso)						
63-mm (2½ in.)	100	---	---	---	---	---
50-mm (2 in.)	90 a 100	100	---	---	---	---
37.5-mm (1½ in.)	---	90 a 100	100	---	---	---
25.0-mm (1 in.)	60 a 80	---	90 a 100	100	---	---
19.0-mm (¾ in.)	---	56 a 80	---	90 a 100	100	---
12.5-mm (½ in.)	35 a 65	---	56 a 80	---	90 a 100	100
9.5-mm (⅜ in.)	---	---	---	56 a 80	---	90 a 100
4.75-mm (No. 4)	17 a 47	23 a 53	29 a 59	35 a 65	44 a 74	55 a 85
2.36-mm (No. 8)*	10 a 36	15 a 41	19 a 45	23 a 49	28 a 58	32 a 67
1.18-mm (No. 16)	---	---	---	---	---	---
600-µm (No. 30)	---	---	---	---	---	---
300-µm (No. 50)	3 a 15	4 a 16	5 a 17	5 a 19	5 a 21	7 a 23
150-µm (No. 100)	---	---	---	---	---	---
75-µm (No. 200)**	0 a 5	0 a 6	1 a 7	2 a 8	2 a 10	2 a 10
Cemento Asfáltico Porcentaje en Peso del Total de la Mezcla +	3-8	3-8	3-9	4-10	4-11	5-12

⁽¹⁾ El tamaño máximo nominal es el tamaño del tamiz mayor siguiente al tamaño del primer tamiz que retenga más del 10% del agregado combinado. El tamaño máximo es el del tamiz mayor al correspondiente al tamaño máximo nominal.

* Cuando se consideran las características de la graduación total de una mezcla asfáltica, resulta ser que la cantidad de material que pasa el tamiz de 2.36 mm (No. 8) es un punto importante y conveniente de control de campo entre los agregados finos y los agregados gruesos. Las graduaciones que se aproximan a la cantidad máxima permitida que deben pasar por el tamiz de 2.36 mm resultarán en superficies de pavimentos con texturas relativamente finas. Las graduaciones que se aproximan al valor mínimo permitido resultarán en superficies con texturas relativamente ásperas.



** El material que pasa el tamiz de 0.075 mm (No. 200) puede consistir de partículas finas de agregado o de relleno mineral, o de ambos. Este material deberá estar libre de materia orgánica y de partículas de arcilla y deberá tener un índice de plasticidad no mayor a 4 cuando se usa el Método D 423 o D 424 de la ASTM.

+ La cantidad de cemento asfáltico está dada en porcentaje por peso de la mezcla total. La amplia diferencia en pesos específicos de varios agregados, así como la diferencia en absorción, resulta en el amplio margen de cantidad de asfalto requerida. Esta cantidad de asfalto requerida deberá determinarse cuando las pruebas adecuadas de laboratorio, o con base en la experiencia previa con mezclas similares, o mediante una combinación de ambos métodos.

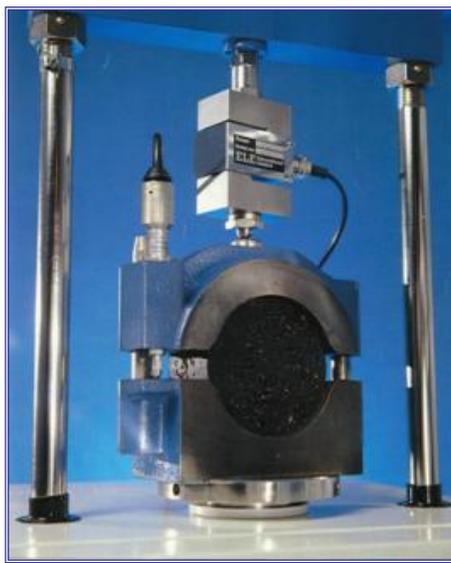
Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 250

4.8.6.4 Ensayos de Estabilidad y Fluencia

El ensayo de estabilidad está dirigido a medir la resistencia a la deformación de la mezcla. La fluencia mide la deformación, bajo carga, que ocurre en la mezcla. El procedimiento es el siguiente:

1. Las probetas son calentadas en un baño de agua a 60 °C (140 °F). Esta temperatura representa, normalmente, la temperatura más caliente que un pavimento en servicio va a experimentar.
2. La probeta es removida del baño, secada y colocada rápidamente en el aparato Marshall (Figura 4.26). El aparato consiste de un dispositivo que aplica una carga sobre la probeta y de unos medidores de carga y deformación (fluencia).
3. La carga del ensayo es aplicada a la probeta a una velocidad constante de dos pulgadas por minuto (51 mm) hasta que la muestra falle. La falla está definida como carga máxima que la briqueta puede resistir.
4. La carga de falla se registra como el valor de estabilidad Marshall y la lectura del medidor de fluencia se registra como fluencia.

F.4.26 - Probeta en el



Aparato Marshall



Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 76

4.8.6.5 Valor de Estabilidad Marshall

El valor de estabilidad *Marshall* es una medida de la carga bajo la cual una probeta cede o falla totalmente. La Figura 4.27, muestra un medidor para lecturas de estabilidad. Durante un ensayo, cuando la carga es aplicada lentamente, los cabezales superior e inferior del aparato se acerca y la carga sobre la briqueta aumenta al igual que la lectura en el indicador de cuadrante.

Luego se suspende la carga una vez de obtener la carga máxima. La carga máxima indicada por el medidor (anillo de carga) es el valor de estabilidad Marshall.

Debido a que la estabilidad Marshall indica la resistencia de una mezcla a la deformación, existe una tendencia a pensar que si un valor de estabilidad más alto será mucho mejor. Para muchos materiales de ingeniería, la resistencia del material es, frecuentemente, una medida de su calidad; sin embargo, este no es necesariamente el caso de las mezclas asfálticas en caliente. Las estabilidades extremadamente altas se obtienen a costa de durabilidad.

4.8.6.6 Valor de Fluencia Marshall.

La Figura 4.27, ilustra un medidor típico de fluencia, para medir la deformación que ocurre durante el ensayo Marshall. La deformación está indicada por la disminución en el diámetro vertical de la briqueta. Las mezclas que tienen valores bajos de fluencia y valores muy altos de estabilidad Marshall son consideradas demasiado frágiles y rígidas, para un pavimento en servicio. Aquellas que tienen valores altos de fluencia



son consideradas demasiado plásticas y tienen tendencia a deformarse fácilmente bajo las cargas del tránsito.

F.4.27 - Ejecución de la prueba estabilidad y fluencia Marshall



Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 77

4.8.6.7 Análisis de Densidad y Vacíos

Una vez que se completan los ensayos de estabilidad y fluencia, se procede a efectuar un análisis de densidad y vacíos, para cada serie de probetas de prueba. El propósito del análisis es el de determinar el porcentaje de vacíos en la mezcla compactada.

Análisis de Vacíos. Los vacíos son las pequeñas bolsas de aire que se encuentran entre las partículas de agregado revestidas de asfalto. El porcentaje de vacíos se calcula a partir



del peso específico total de cada probeta compactada y del peso específico teórico de la mezcla de pavimentación (sin vacíos).

Este último puede ser calculado a partir de los pesos específicos del asfalto y el agregado de la mezcla, con un margen apropiado, para tener en cuenta la cantidad de asfalto absorbido por el agregado; o directamente mediante un ensayo normalizado (AASHTO T-209/ASTM D 2041) efectuado sobre la muestra de mezcla sin compactar.

Análisis de Peso Unitario. El peso unitario promedio, para cada muestra se determina multiplicando el peso específico total de la mezcla por el peso unitario patrón, es decir, el agua que tiene un valor de $1,000 \text{ kg/m}^3$ (62.4 lb/ pie^3).

Análisis de VMA. Los vacíos en el agregado mineral, VMA, están definidos por el espacio intergranular de vacíos que se encuentra entre las partículas de agregado de la mezcla de pavimentación compactada, incluyendo los vacíos de aire y el contenido efectivo de asfalto y se expresan como un porcentaje del volumen total de la mezcla. El VMA es calculado con base en el peso específico total del agregado y se expresa como porcentaje del volumen total de la mezcla compactada. Por lo tanto, el VMA puede ser calculado al restar el volumen de agregado (determinado mediante el peso específico del agregado) del volumen total de la mezcla compactada.

Análisis de VFA. Los vacíos lleno de asfalto, VFA, son el porcentaje de vacíos intergranulares entre las partículas de 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 el valor final como un porcentaje.

4.8.5 Procedimientos de Cálculo para el Diseño de Mezclas.

Se listan todas las mediciones y cálculos necesarios para el análisis de vacíos:

- (a) Medir la gravedad específica bulk del agregado grueso (AASHTO T85 ó ASTM C127) y del agregado fino (AASHTO T84 ó ASTM C128).



- (b) Medir la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 ó ASTM D70) y del filler mineral (AASHTO T100 ó ASTM D854). (G_b)
- (c) Calcular la gravedad específica bulk de la combinación de agregados en la mezcla. G_{sb}
- (d) Medir la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta (ASTM D2041), también es conocida como RICE. G_{mm}
- (e) Medir la Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada (ASTM D1188 ó ASTM D2726). G_{mb}
- (f) Calcular la Gravedad Específica Bulk Efectiva de Agregados. (G_{se})
- (g) Calcular la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla para otros contenidos de asfalto. (G_{mm})
- (h) Calcular el porcentaje de asfalto absorbido por el agregado, P_{ba} .
- (i) Calcular el contenido de asfalto efectivo de la mezcla, P_{be} .
- (j) Calcular el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, VMA.
- (k) Calcular el porcentaje de vacíos de aire en la mezcla compactada, V_a
- (l) Calcular el porcentaje de vacíos llenos con asfalto. VFA

Las ecuaciones necesarias para determinar los parámetros se detallan a continuación:

Ecuaciones de Cálculos para el diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente

1. Gravedad Especifica Bulk de Agregados Totales (G_{sb})	$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}}$
2. Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta (G_{mm})	$G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$
3. Gravedad Especifica a Bulk de la Mezcla Compactada (G_{mb})	$G_{mb} = \frac{A}{B - C}$
4. Gravedad Específica Efectiva Bulk de Agregado (G_{se})	$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$



5. Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla para otros contenidos (G_{mm})	$G_{mm} = \frac{P_{mm}}{\frac{P_s}{G_{se}} + \frac{P_b}{G_b}}$
6. Porcentaje de Asfalto Absorbido (P_{ba})	$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb} G_{se}} \times G_b$
7. Porcentaje de Asfalto Efectivo (P_{be})	$P_{be} = P_b - \frac{P_{ba} P_s}{100}$
8. Porcentaje VMA en la Mezcla Compactada	$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$
9. Porcentaje de Vacíos de Aire en la Mezcla Compactada (V_a)	$V_a = 100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}$
10. Porcentaje de Vacíos Llenos con Asfalto VFA	$VFA = 100 \times \frac{VMA - V_a}{VMA}$

Fuente: <http://www.imt.mx/>

4.8.7 Análisis de Resultados.

4.8.7.1 Graficar Resultados.

Los técnicos de laboratorio trazan los resultados del ensayo *Marshall* en gráficas, para poder entender las características particulares de cada probeta (briqueta) usada en la serie. Mediante el estudio de las gráficas, se puede determinar cual probeta de la serie, cumple mejor los criterios establecidos, para el pavimento terminado. Las proporciones de asfalto y agregado en esta probeta se convierten en las proporciones usadas en la mezcla final. En la Figura 4.28, se muestran seis gráficas de resultados del ensayo *Marshall*. Cada gráfica tiene trazados los resultados de las diferentes pruebas. Los valores de estos resultados están representados por puntos. La primera gráfica muestra los porcentajes de vacíos; la segunda los porcentajes de vacíos en el agregado mineral (VMA); la tercera los porcentajes de vacíos llenos de asfalto (VFA); la cuarta los pesos unitarios (densidades); la quinta los valores de estabilidad Marshall; y la sexta los valores de fluencia Marshall. En cada gráfica, los puntos que representan los diferentes valores son conectados mediante líneas de tendencia, para formar curvas suaves.



4.8.7.2 Relaciones y observaciones de los resultados de los ensayos.

Cuando los resultados de los ensayo se trazan en gráficas, como las de la Figura 4.28, usualmente revelan cierta tendencia 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 de la Figura 4.28:

1. El porcentaje de vacíos disminuye a medida que aumenta el contenido de asfalto (Gráfica 1).
2. El porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA) generalmente, disminuye hasta un valor mínimo y luego aumenta con incrementos en el contenido de asfalto (Gráfica 2).
3. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) aumenta con incrementos en el contenido de asfalto (Gráfica 3).
4. La curva para el peso unitario (densidad) de la mezcla es similar a la curva de estabilidad, excepto que el peso unitario máximo se presenta a un contenido de asfalto ligeramente mayor que el que determina la máxima estabilidad (Gráfica 4).
5. 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 (Gráfica 5).
6. Los valores de fluencia aumentan con incrementos en el contenido de asfalto (Gráfica 6).

Ejemplo

F.4.28 - Gráficas para los resultados de una serie de cinco probetas Marshall.

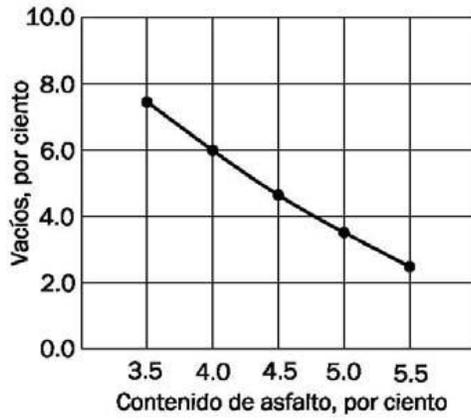


Gráfico 1

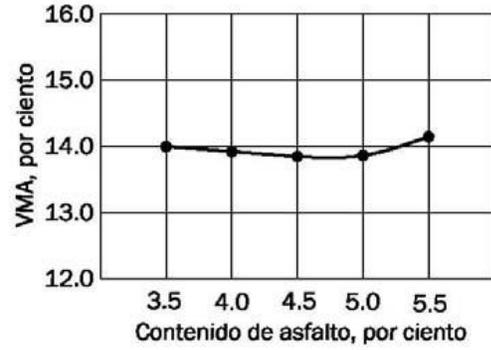


Gráfico 2

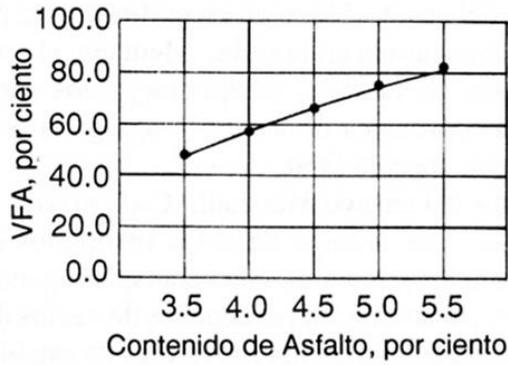


Gráfico 3

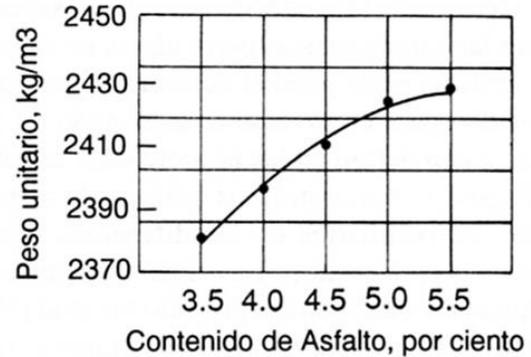


Gráfico 4

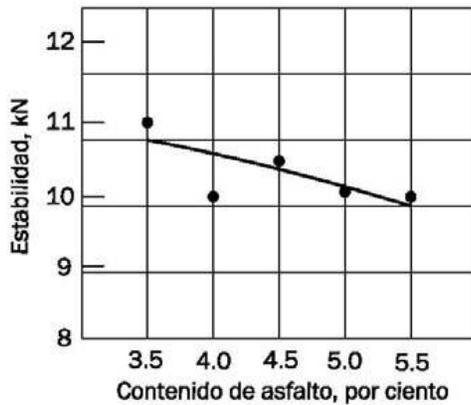


Gráfico 5

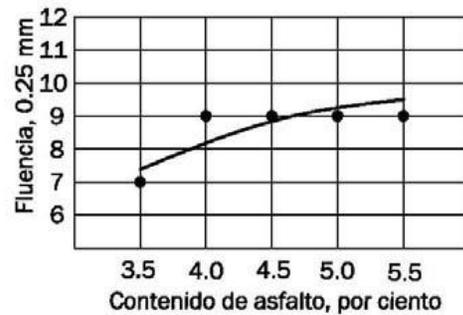


Gráfico 6

Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 80



4.8.7.3 Determinación del Contenido de Asfalto.

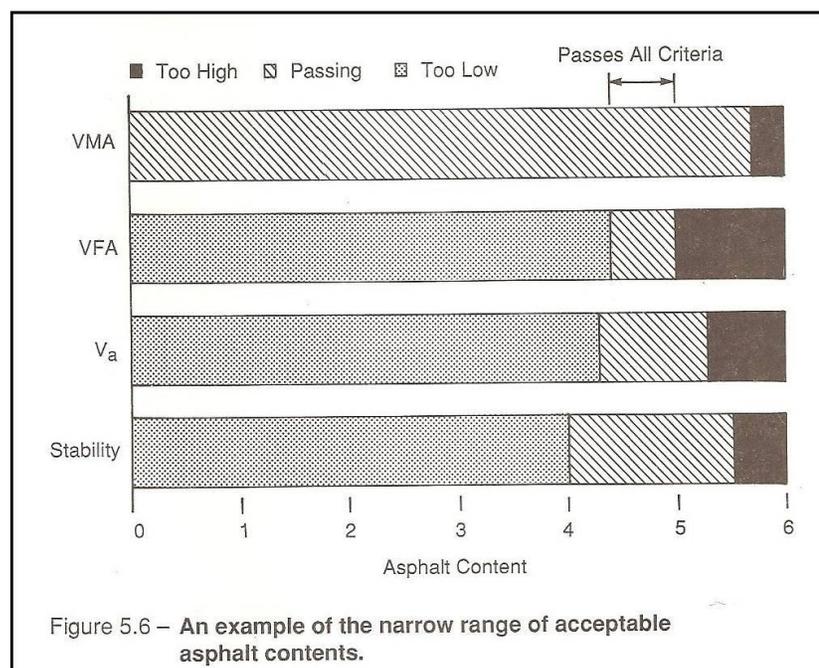
La practica actual del diseño volumétrico de mezclas asfálticas elaboradas en caliente, recomienda como primer criterio de selección elegir aquel contenido de asfalto correspondiente al 4% de Vacíos de Aire (V_a) y verificar después que los parámetros volumétricos restantes se encuentren dentro de los rangos establecidos por los criterios para el diseño de mezclas.

Si se cumplen todos los criterios, es el contenido de diseño de asfalto. Si no se cumple todos los criterios será necesario hacer algunos ajustes o volver a diseñar la mezcla.

4.8.7.4 Evaluación y Ajuste de una Mezcla de Diseño

Cuando se desarrolla una mezcla de diseño, es frecuentemente necesario hacer varias mezclas de prueba para encontrar una que cumpla con todos los criterios de diseño. Cada una de las mezclas de prueba sirve como una guía para evaluar y ajustar las pruebas siguientes. Para diseño de 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 prueba iniciales sirven para establecer la fórmula de trabajo y verificar que la graduación de agregado dentro de los límites especificados puede ser reproducida en una planta mezcladora.

F.4.29 - Un ejemplo del estrecho rango de contenidos de asfalto aceptable





Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto MS-2

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 deficiencia, 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. Si el ajuste de los porcentajes no es suficiente, se deberán realizar serias consideraciones. Existen lineamientos generales para ajustar las mezclas de prueba, aunque estas sugerencias no funcionan en todos los casos:

4.8.7.4.1 Vacíos bajos y estabilidad baja

Los vacíos pueden incrementarse en diferentes formas. Como un acercamiento general para lograr vacíos altos en el agregado mineral (en consecuencia proveer de suficientes espacios, para una adecuada cantidad de asfalto y vacíos de aire), la graduación del agregado debe ajustarse mediante la adición de más agregado grueso o fino.

Si el contenido de asfalto es más alto de lo normal y el exceso no es necesario para remplazar el absorbido por el agregado, entonces el contenido de asfalto deberá reducirse a fin de incrementar el porcentaje de vacíos, proveyendo un adecuado VMA. Se deberá recordar que disminuir el porcentaje de asfalto podrá tender a bajar la durabilidad del pavimento. Demasiada reducción en el contenido de asfalto puede ocasionar fracturación, oxidación acelerada e incremento de la permeabilidad. Si los ajustes anteriores no producen una mezcla estable, el agregado tendrá que cambiarse.

Es también posible mejorar la estabilidad e incrementar el contenido de vacíos en el agregado de la mezcla, mediante el incremento del agregado grueso o reducción de la cantidad de material que pasa la malla No. 200. Con la incorporación de arena



procesada, el contenido de vacíos puede mejorarse sin sacrificar la estabilidad de la mezcla.

4.8.7.4.2 Vacíos bajos y estabilidad satisfactoria

Bajos contenidos de vacíos pueden eventualmente resultar en inestabilidad debido a flujo plástico o después de que el pavimento ha sido expuesto al tránsito por un periodo de tiempo ante la reorientación de las partículas y compactación adicional.

Por su parte, insuficientes vacíos pueden ser producto de la cantidad requerida de asfalto para obtener una durabilidad alta en mezclas finas; sin embargo, la estabilidad es inicialmente satisfactoria por el tránsito específico. Una degradación de agregado pobre durante la producción de la mezcla y/o bajo la acción de tránsito puede ocasionar subsecuentemente inestabilidad y flujo si el contenido de vacíos de la mezcla no es suficiente. Por estas razones, mezclas con vacíos bajos tendrán que ajustarse por uno de los métodos dados, en el inciso anterior sin importar que la estabilidad inicial sea satisfactoria.

4.8.7.4.3 Vacíos satisfactorios y estabilidad baja

La baja estabilidad cuando los vacíos y la graduación del agregado son satisfactorios, puede indicar algunas deficiencias en el agregado. Se deberán tomar consideraciones para mejorar la forma de la partícula de los agregados utilizando material producto de trituración o incrementando el porcentaje de agregado grueso en la mezcla o posiblemente aumentando el tamaño máximo del agregado. Partículas de agregado con textura rugosa y superficies menos redondeadas, presentan más estabilidad cuando se mantiene o incrementa el volumen de vacíos.

4.8.7.4.4 Vacíos altos y estabilidad satisfactoria

Altos contenidos de vacíos se asocian frecuentemente con mezclas con alta permeabilidad; al permitir la circulación de aire y agua a través del pavimento pueden ocasionar endurecimiento prematuro del asfalto, desprendimiento del agregado, o



posible desprendimiento del asfalto en el agregado. Aun cuando la estabilidad es satisfactoria, se deberán realizar ajustes para reducir los vacíos.

Pequeñas reducciones se lograrán mediante la adición de polvo mineral a la mezcla. Podría ser necesario seleccionar o combinar agregados para lograr una graduación, la cual deberá estar cerca de la curva de máxima densidad.

4.8.7.4.5 Vacíos altos y estabilidad baja

Se deberán tomar en cuenta dos pasos para este tipo de condiciones; el primero es ajustar el volumen de vacíos mediante los métodos discutidos en los puntos anteriores; y en el segundo, si los ajustes no mejoran la estabilidad, deberá hacer una consideración de la calidad de los materiales, conforme en 4.8.7.4.1 y 4.8.7.4.2.

4.8.8 Verificando los criterios de diseño.

Usando los datos de la Figura 4.28, se puede observar que, para un contenido de vacíos del 4%, el contenido de asfalto (P_b) es de 4.7% (Gráfica 1). Los valores de las otras propiedades de la mezcla son luego revisados, para garantizar que cumplen con los criterios de diseño Marshall. Refiriéndose de nuevo a las gráficas de la Figura 4.28, se encuentra que un contenido de asfalto del 4.7% representa los siguientes valores de las otras propiedades:

Estabilidad (Gráfico 5) = 10.2kN (2300 lbf)

Fluencia (Gráfico 6) = 9

% VFA (Gráfico 3) = 70

% VMA (Gráfico 2) = 14

Estos valores se comparan con los valores recomendados por el Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto MS-2, Tabla 4.6 para una mezcla superficial con tránsito pesado. El valor de estabilidad de 10.2 kN (2300 lb) excede el criterio mínimo de 8 kN (1800 lb).



El valor de flujo igual a 9, cae dentro del margen establecido por los criterios, el cual es de 8 a 14 mm. El porcentaje de vacíos llenos de asfalto (VFA) cae dentro del margen establecido por los criterios, el cual es de 65 a 75.

Asuma que los datos en la Figura 4.28, son para una gradación con un tamaño máximo nominal de agregado de ¾ de pulgadas (19 mm) (Ver Tabla T-7). Se puede observar, entonces, que el valor de VMA de 14 sobrepasa el mínimo requerido de 13, para una mezcla de 19 mm que tiene un contenido de vacíos de 4%.

T.4.6 - Criterios del Instituto de Asfalto (USA), para el Diseño

Método Marshall	Transito Liviano		Transito Medio		Transito Pesado	
	Carpeta y Base		Carpeta y Base		Carpeta y Base	
Criterio de Mezcla	Min.	Máx.	Min.	Máx.	Min.	Máx.
Compactación, numero de goles en cada uno de los especimenes	35		50		75	
Estabilidad (N) (Lb)	3336		5338		8006	---
	750	---	1200	---	1800	---
Flujo (0.25mm)(0.01in)	8	18	8	16	8	14
Porcentaje de Vacíos	3	5	3	5	3	5
Porcentaje de Vacíos en los agregados Minerales	Ver Tabla 4.19					
Porcentaje de Vacíos rellenos de asfalto	70	80	65	78	65	75

NOTAS:

1 Todos los criterios y no sólo 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 considerarán 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 más extremas puede ser necesario usar temperaturas más bajas de ensayo.

2 Clasificaciones del Tránsito Liviano, condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño < 104

Mediano, condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño entre 104 y 106

Pesado, condiciones de tránsito que resultan en un EAL de diseño > 106

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

4 Los valores de fluencia se refieren al punto en donde la carga comienza a disminuir



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

6 El porcentaje de vacíos en el agregado mineral debe ser calculado con base en el peso específico total ASTM del agregado

Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Tabla 3.19 Pág. 82

T.4.7 - Porcentajes Mínimos de Vacíos en el Agregado Mineral VMA.

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

¹ Especificación Normal, para Tamaños de Tamices usados en pruebas, ASTM E11 (AASHTO M92)

² El tamaño máximo nominal de partícula es un tamaño más grande que el primer tamiz que retiene más del 10 por ciento del material.

³ Interpole el VMA mínimo, para los valores de vacíos de diseño que se encuentren entre los que están citados.

Fuente: Instituto de Asfalto. Principios de construcción de pavimentos de mezcla asfáltica en caliente. Pág. 82

4.8.9 Seleccionando un diseño de mezcla.

El diseño de mezcla seleccionado, para ser usado en un pavimento es generalmente, aquel que cumple, de la manera más económica, con todos los criterios establecidos. Sin embargo, no se deberá diseñar una mezcla para optimizar una propiedad en particular.



Por ejemplo, las mezclas con valores muy altos de estabilidad son, con frecuencia, poco deseable y pueden agrietarse prematuramente bajo volúmenes grandes de tránsito.

Cualquier variación en los criterios de diseño deberá ser permitida sólo bajo circunstancias poco usuales, a no ser que el comportamiento en servicio de una mezcla en particular indique que dicha mezcla alternativa es satisfactoria.

Lo mostrado anteriormente proporciona una visión global del Método de Diseño de Mezclas y de su uso en el control de la calidad de la construcción de pavimentos.

4.9 MEZCLAS ASFÁLTICAS COMPACTADAS

Frecuentemente, en el proceso de desarrollar un diseño de mezcla específico, es necesario hacer varias muestras de mezclas para encontrar la que mejor satisface el criterio del método de diseño usado.

Previo a utilizar un método de diseño para mezclas asfálticas es necesario que:

- a. Los materiales propuestos a usarse satisfagan los requisitos de las especificaciones del proyecto.
- b. Las combinaciones de agregados satisfagan la granulometría requerida en las especificaciones.
- c. Las gravedades específicas de masa de todos los agregados usados y la gravedad específica del asfalto sean determinados para poderse usar en los análisis de densidad y vanos.

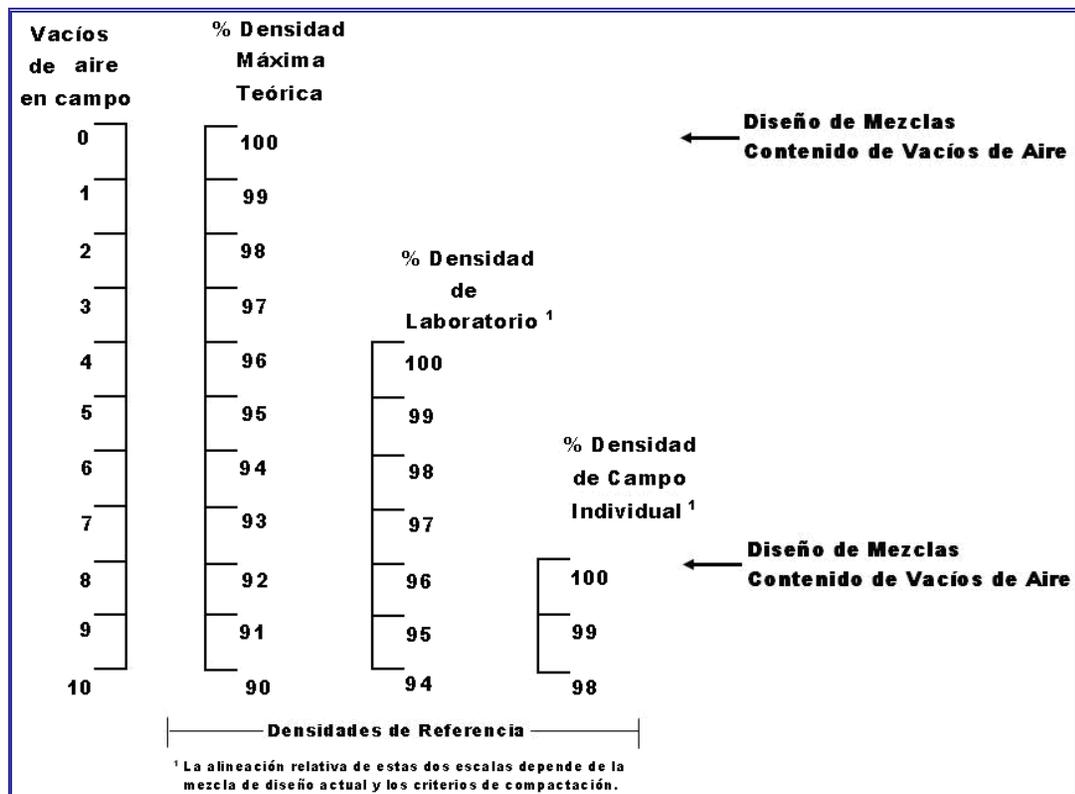
Estos requerimientos son materia de pruebas de rutina, especificaciones y técnicas de laboratorio que deben ser considerados, pero que no son técnicas para cualquier método de diseño en particular.

De acuerdo con los criterios establecidos en los requerimientos para mezclas de concreto asfáltico diseñadas por el método Marshall, el control del porcentaje de vacíos



durante la producción deberá registrarse por el rango establecido en los literales b y c de la Tabla 401-01, así como también tomando en cuenta la Tabla 8.1 del *Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto MS-2*.

Figura 8.1.- Relación entre las Referencias de Densidad Medidas y los Vacíos de Aire.



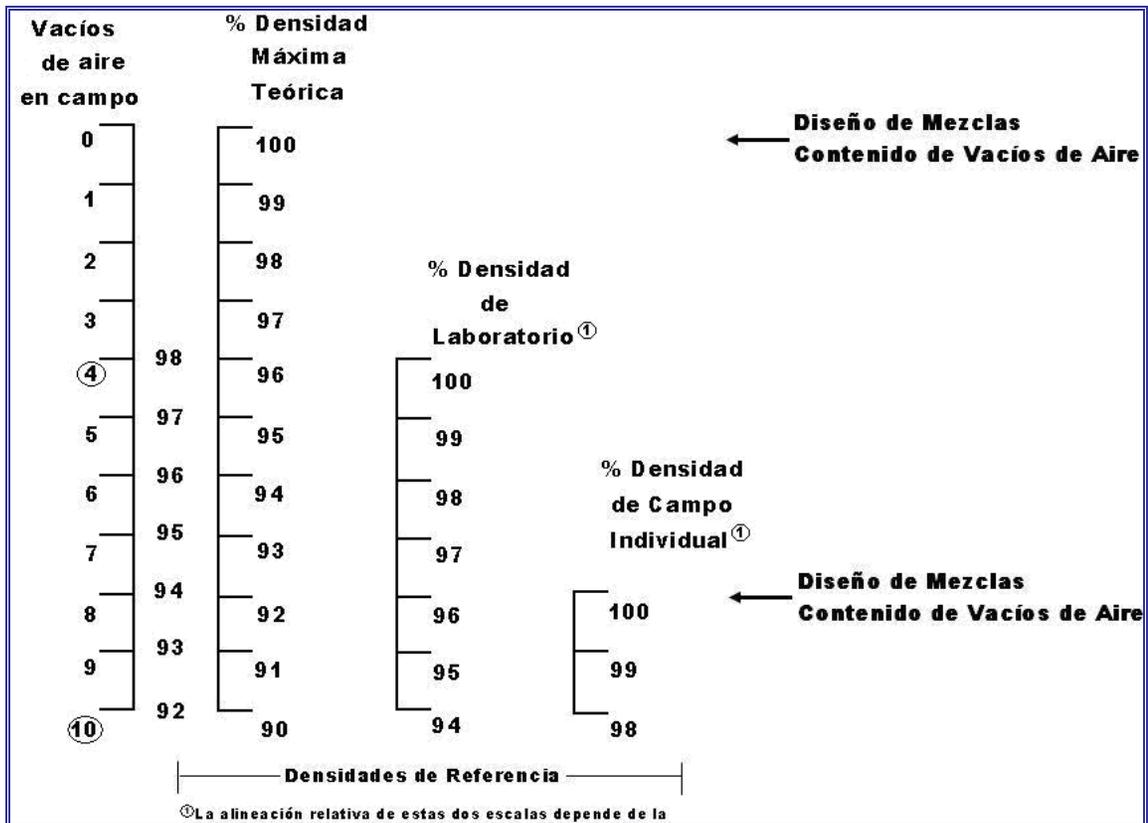
Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto MS-2

La Especificación SIECA en la sección 401.14 indica lo siguiente: "Se compactará con la meta de obtener densidades en sitio de no menos del 92 %, y no más del 98 %, respecto a la densidad máxima teórica determinada de acuerdo con AASHTO T 209. La



densidad máxima teórica de referencia para el cálculo de densidad en sitio corresponderá a un muestreo de mezcla asfáltica de la producción en el mismo día que la colocación, con la misma dosificación de diseño y seleccionado de manera aleatoria." También se especifica que el porcentaje de vacíos de la mezcla colocada, podrá variar en el rango de 4% a 10%, Este criterio es aplicable tanto para mediciones con densímetro nuclear al momento de la colocación como para mediciones a través del ensayo de núcleos de 4" de diámetro, extraídos con broca de diamante, posterior al proceso de colocación.

F.4.30 - Relación entre las Referencias de Densidad Medidas y los Vacíos de Aire.



Fuente: Manual de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente del Instituto del Asfalto MS-2

Se puede observar que los rangos utilizados en El Salvador para el porcentaje de vacíos de aire será de 4-10% y las especificaciones de densidad serán las siguientes: 94% de



densidad máxima, 96% densidad obtenida en el laboratorio (Metodo Marshall) o 100% de densidad de tramo de prueba.

4.10 TEMPERATURAS.

El establecimiento de temperaturas en el proceso de Diseño de Mezclas Asfálticas en Caliente será el siguiente:

1. Temperatura de Cemento Asfáltico.

La sección 401.08 de Especificaciones SIECA indica que "Se calentará cemento asfáltico de manera uniforme de tal manera que se supla, de manera uniforme, la demanda de cemento asfáltico en condiciones de flujo, del tanque de almacenamiento al mezclador. El tanque de almacenamiento para el cemento asfáltico debe tener recirculación, de manera que sólo el volumen de cemento asfáltico homogenizado sea aplicado en la operación de la planta. No se debe calentar el cemento asfáltico no modificado arriba de 175°C."

2. Temperatura de Mezclado.

La mezcla de concreto asfáltico se debe colocar a una temperatura conforme con los resultados de la carta de viscosidad determinados previamente; siempre que la temperatura ambiental esté de acuerdo con lo indicado anteriormente.

3. Temperatura de Compactación.

La temperatura de compactación se obtendrá de los resultados de la carta de viscosidad o por lo descrito en Especificaciones SIECA sección 401.14: "Se puede compactar la mezclas asfáltica en caliente hasta temperaturas mínimas de 100°C (para capas asfálticas de espesor inferior a 75 mm) y de 110°C (para capas asfálticas de espesor superior o igual a 75 mm); en cuyo caso se deberá retirar del sitio de las obras".

4.11 FÓRMULA DE TRABAJO

La Fórmula de Trabajo se presentará estableciendo un porcentaje definido y único de agregados que pasen por cada uno de los tamices especificados, el contenido óptimo de



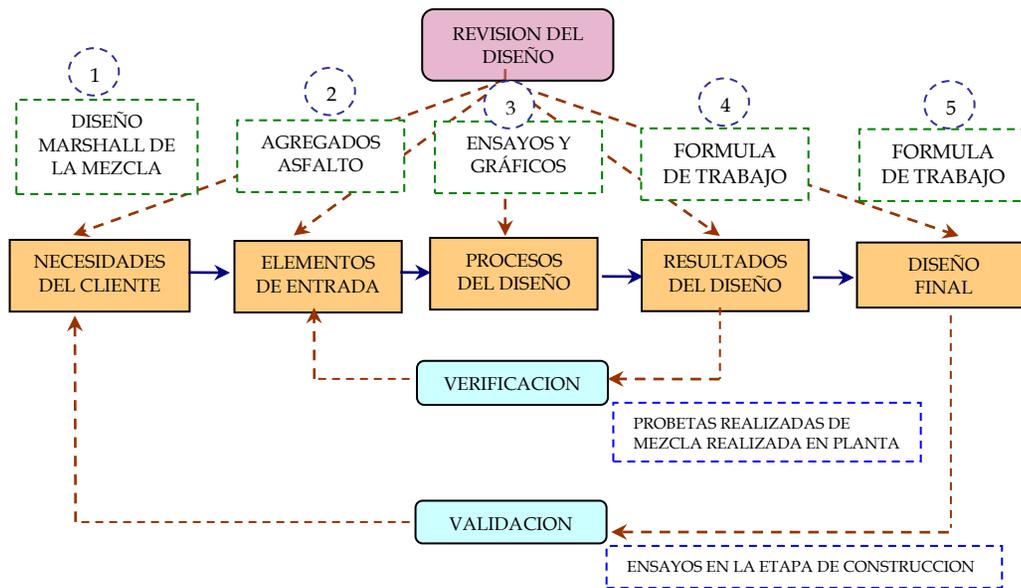
asfalto y los respectivos rangos de temperatura de producción y de compactación de la mezcla, debiendo todos estos detalles encontrarse dentro de los requerimientos fijados para la composición general de los agregados y los límites de temperatura.

Con las cantidades de las diversas fracciones definidas para los agregados, con el contenido óptimo de asfalto, y seleccionando la temperatura que deberá tener el concreto en la mezcladora y al colocarla en el sitio, se determina la fórmula de trabajo.

4.12 EJEMPLO DE DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE.

Diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente de Tamaño Máximo 3/4", Designación D-4 Tabla 1 ASTM D 3515. Las fotografías de los ensayos de la mezcla asfaltica se presentan en las figuras 4.33 y 4.34.

F.4.31 - Control de Calidad del Diseño



Fuente: Seminario de "Mezclas Asfálticas en Caliente" - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

a) Verificación del Cumplimiento de Especificaciones Granulométricas Individuales y Mezclados Según ASTM D 3515

El agregado fino deberá satisfacer los requerimientos granulométricos de la Especificación ASTM D 1073.

CHISPA 3/8"		VERIFICACION DE CUMPLIMIENTO INDIVIDUAL GRANULOMETRICO
Malla	% Pasa	ESPECIFICACION ASTM D 1073 (TABLA 1)



3/8"	100	100	100	OK	100	100	OK
No.4	93.8	95	100	NO	80	100	OK
No.8	65.4	70	100	NO	65	100	OK
No.16		40	80		40	80	
No.30		20	65		20	65	
No.50	19.2	7	40	OK	7	40	OK
No.100		2	20		2	20	
No.200	6.7	0	10	OK	0	10	OK
		No.1			No.4		

Se compara la granulometría de la Chispa (% Pasa) con la norma ASTM D1073 que estable los límites.

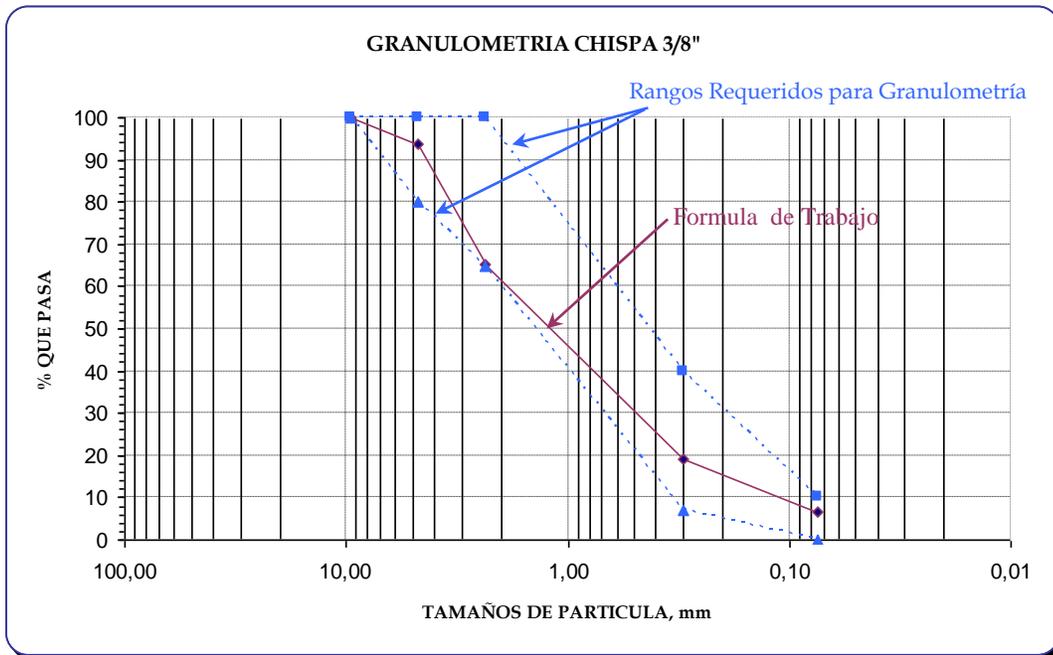
ASTM D 1073					
TABLE 1 Grading Requirements for Fine Aggregates					
Amounts Finer than Each Laboratory Sieve (Square Openings), mass %					
Sieve Size	Grading No. 1	Grading No. 2	Grading No. 3	Grading No. 4	Grading No. 5
9.5-mm (3/8-in.)	100	....	....	100	100
4.75-mm (No. 4)	95 to 100	100	100	80 to 100	80 to 100
2.36-mm (No. 8)	70 to 100	75 to 100	95 to 100	65 to 100	65 to 100
1.18-mm (No. 16)	40 to 80	50 to 74	85 to 100	40 to 80	40 to 80
600-µm (No. 30)	20 to 65	28 to 52	65 to 90	20 to 65	20 to 65
300-µm (No. 50)	7 to 40	8 to 30	30 to 60	7 to 40	7 to 46
150-µm (No. 100)	2 to 20	0 to 12	5 to 25	2 to 20	2 to 30
75-µm (No. 200)	0 to 10	0 to 5	0 to 5	0 to 10	....

Fuente: ASTM D 1073

Los porcentajes que pasa cada malla para un agregado fino (Chispa 3/8") se encuentra entre de las clasificaciones No.1 y No.4 de la Especificación ASTM D 1073, Tabla 1.

Se puede observar que el porcentaje que pasa en las mallas No4 y No8 de la clasificación No 1 no cumple con los límites establecido en la tabla 1, en caso contrario la clasificación No.4 cumple con los rangos especificados para cada malla.

Por lo tanto la franja de control individual para el Agregado Fino (Chispa 3/8") será la gradación No.4 de Especificación ASTM D 1073.



Se presentan a continuación las graficas Granulométricas para Agregado Fino.

El Agregado Grueso deberá satisfacer los requerimientos granulométricos de la Especificación ASTM D 692 y que esta a su vez Remite a la Designación D 448, Tabla 1.

GRAVA 3/4"		VERIFICACION DE CUMPLIMIENTO INDIVIDUAL GRANULOMETRICO					
Malla	Malla	ESPECIFICACION ASTM D 692 REMITE A LA TABLA 1 DE LA ASTM D 448					
1"	100	100	100	OK	100	100	OK
3/4"	98.3	90	100	OK	50	100	OK
1/2"							
3/8"	31.9	30	65	OK	20	55	OK
No.4	3.3	5	25	NO	0	10	OK
No.8	1.5	0	10	OK	0	5	OK
No.16	0.5	0	5	OK	AGREGADO N° 67		
		AGREGADO N° 68					

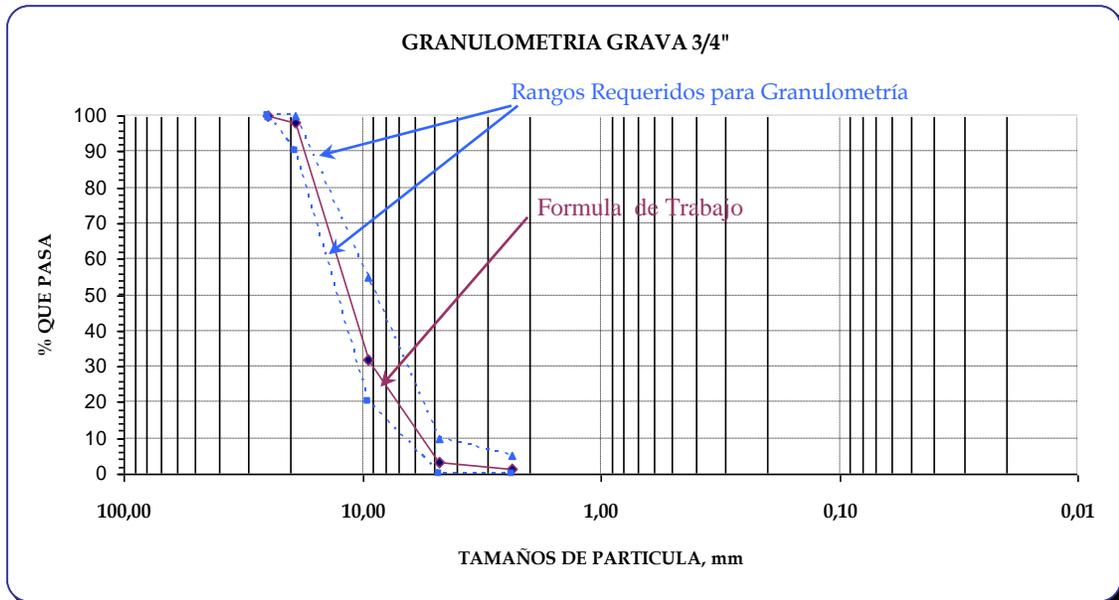
Nota: Los colores significan sólo presentación.

Los porcentajes que pasa cada malla para un Agregado Grueso (Grava 3/4") se encuentra entre los números de tamaño 67 y 68 de la Tabla 1 (Ver Anexo Designación ASTM D448).

Seleccionando el agregado No 67 como franja individual para el Agregado grueso debido a que este cumple con las especificaciones de la tabla 1 de ASTM D 448.



Se presentan a continuación la grafica Granulométricas para Agregado Grueso:



Combinaciones Granulométricas.

Para obtener la Combinación Teórica de Agregado Grueso y Fino se realizara mediante el Método de Tanteos Sucesivos del Instituto del Asfalto, Manual de Diseño de Mezclas MS-2.

Las combinaciones teóricas propuestas son:

Proporción 40% Grava 3/4" -- 60% Chispa 3/8"

Proporción 45% Grava 3/4" -- 55% Chispa 3/8"

Proporción 50% Grava 3/4" -- 50% Chispa 3/8"

Agregados:

A = Grava 3/4"

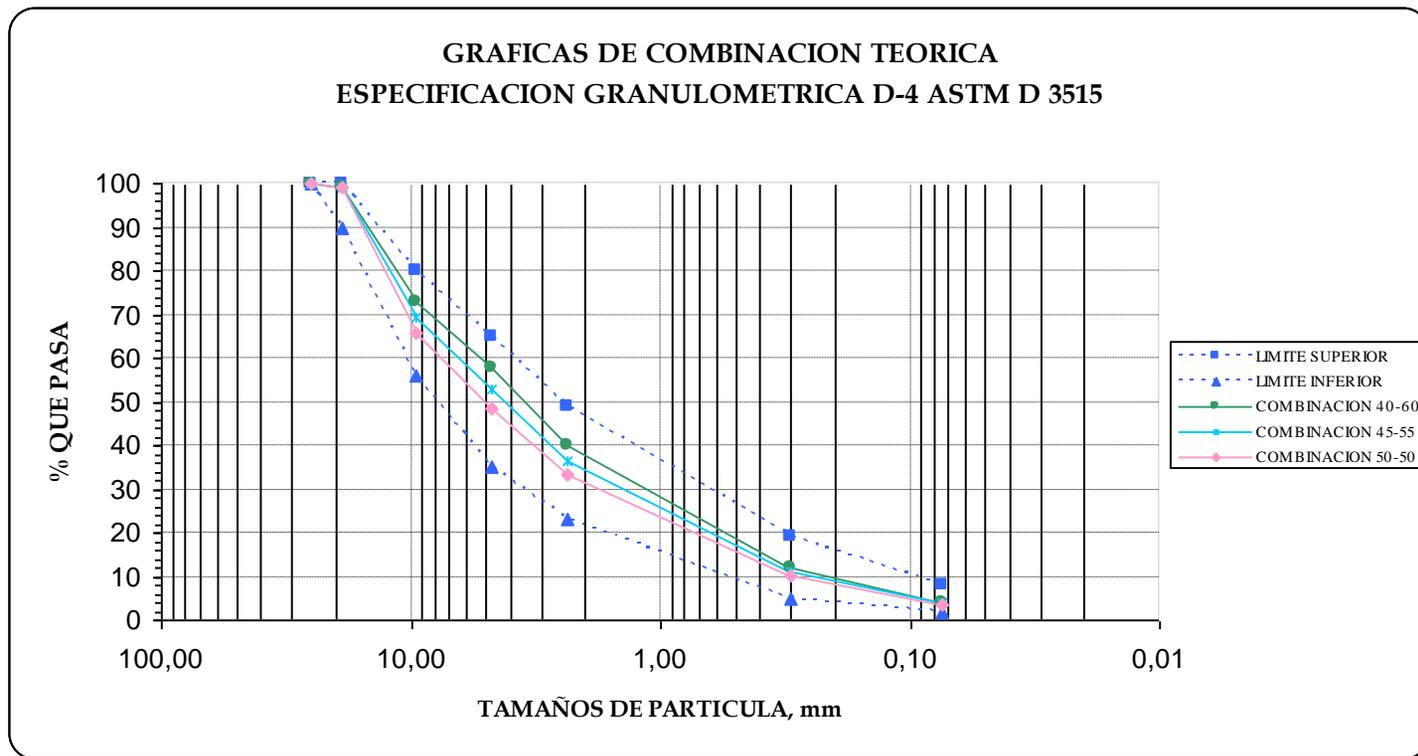
B = Chispa 3/8"

AGREGADO	PORCENTAJE QUE PASA POR LA MALLA						
	1"	¾"	⅜"	No.4 (4.75mm)	No.8 (2.36mm)	No.50 (0.3mm)	No.200 (0.075mm)
A	100	98.3	31.9	3.3	1.5	1.0	0.4
B	100	100	100	93.8	65.4	19.2	6.7
Designación D-4 ASTM D3515	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8

PRIMER TANTEO							
Agregado	PORCENTAJE QUE PASA POR LA MALLA						
	1"	¾"	⅜"	No.4 (4.75mm)	No.8 (2.36mm)	No.50 (0.3mm)	No.200 (0.075mm)
0.4xA	40.0	39.3	12.8	1.3	0.6	0.4	0.2
0.6xB	60.0	60.0	60.0	56.3	39.2	11.5	4.0
TOTAL	100	99.3	72.8	57.6	39.8	11.9	4.2
Designación D-4 ASTM D3515	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
ACEPTACION	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

SEGUNDO TANTEO							
Agregado	PORCENTAJE QUE PASA POR LA MALLA						
	1"	¾"	⅜"	No.4 (4.75mm)	No.8 (2.36mm)	No.50 (0.3mm)	No.200 (0.075mm)
0.45xA	45.0	39.3	14.4	1.5	0.7	0.5	0.2
0.55xB	55.0	60.0	55.0	51.6	35.9	10.5	3.7
TOTAL	100	99.2	69.4	53.1	36.6	11.0	3.9
Designación D-4 ASTM D3515	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
ACEPTACION	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

AGREGADO	PORCENTAJE QUE PASA POR LA MALLA						
	1"	3/4"	3/8"	No.4 (4.75mm)	No.8 (2.36mm)	No.50 (0.3mm)	No.200 (0.075mm)
0.5xA	50.0	49.1	16.0	1.7	0.8	0.5	0.2
0.5xB	50.0	50.0	50.0	46.9	32.7	9.6	3.4
TOTAL	100	99.1	66.0	48.6	33.4	10.1	3.6
Designación D-4 ASTM D3515	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
ACEPTACION	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK



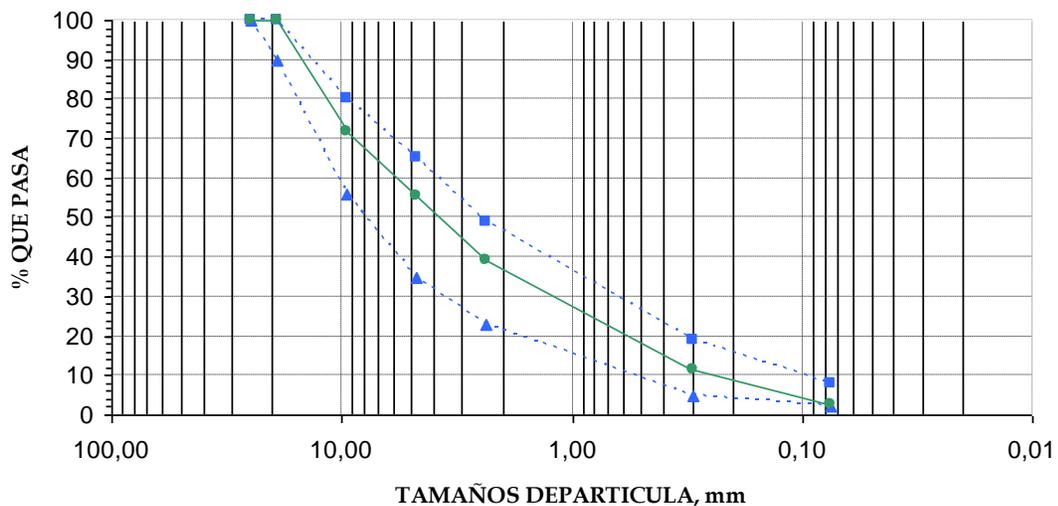


COMPROBACION DE LABORATORIO PARA MEZCLAS:
 PROPORCION 40% GRAVA -60% CHISPA

Peso Bruto: 3385.2 grs Tara: 384.4 grs Humedad %: 0.0 Peso Neto: 3000 grs
 Retenido N°4: 3000.5 grs Pasa N°4: 0.30 grs % Pasa N°4: 0.0
 % Gravas: 44.4 % Arenas: 55.6 % Finos: 2.7 Total: 102.7

Malla (pulg)	Malla (mm)	Peso Retenido Parcial grs	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificación ASTM D 3515 Designación D-4	Verificación Previa al Diseño
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100 - 100	OK
¾"	19.050	0.0	0.0	0.0	100.0	90 - 100	OK
⅝"	9.525	851.2	28.4	28.4	71.6	56 - 80	OK
N°4	4.750	480.9	16.0	44.4	55.6	35 - 65	OK
N°8	2.375	491.0	16.4	60.8	39.2	23 - 49	OK
N°50	0.300	832.2	27.7	88.5	11.5	5 - 19	OK
N°200	0.075	263.2	8.8	97.3	2.7	2 - 8	OK
FONDO		82.0	2.7	100.0	0.0		

COMBINACION 40% GRAVA - 60% CHISPA



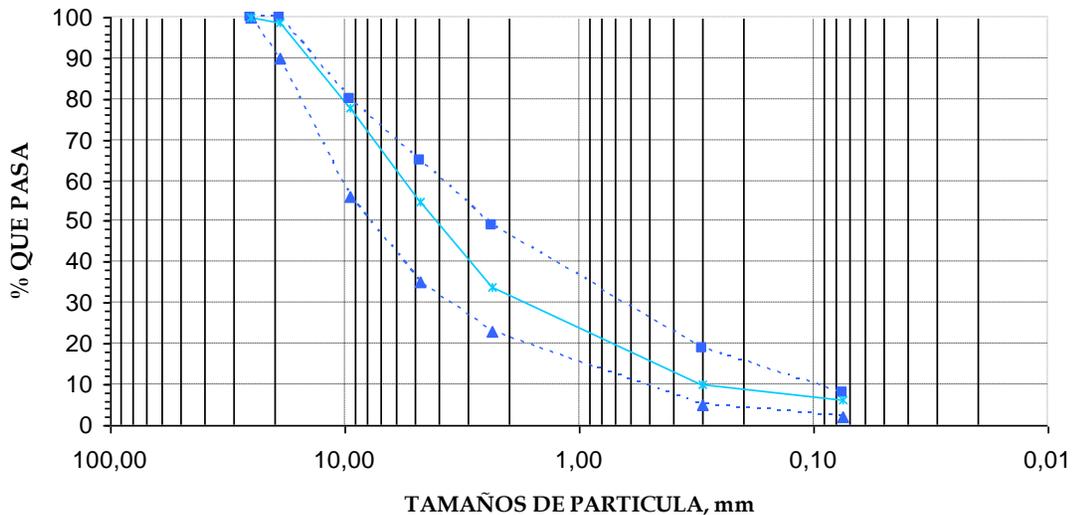


COMPROBACION DE LABORATORIO PARA MEZCLAS:
 PROPORCION 45% GRAVA -55% CHISPA

Peso Bruto: 2363.0 grs Tara: 363.0 grs Humedad %: 0.0 Peso Neto: 2000 grs
 Retenido N°4: 1978.0 grs Pasa N°4: 22.0 grs % Pasa N°4: 0.0
 % Gravas: 45.1 % Arenas: 54.9 % Finos: 6.3 Total: 106.3

Malla (pulg)	Malla (mm)	Peso Retenido Parcial grs	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificación ASTM D 3515 Designación D-4	Verificación Previa al Diseño
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100 - 100	OK
¾"	19.050	22.0	1.1	1.1	98.9	90 - 100	OK
⅜"	9.525	418.0	20.9	22.0	78.0	56 - 80	OK
N°4	4.750	462.0	23.1	45.1	54.9	35 - 65	OK
N°8	2.375	423.0	21.2	66.3	33.8	23 - 49	OK
N°50	0.300	478.0	23.9	90.2	9.9	5 - 19	OK
N°200	0.075	72.0	3.6	93.8	6.3	2 - 8	OK
FONDO		125.0	6.3	100.0	0.0		

COMBINACION 45% GRAVA - 55% CHISPA



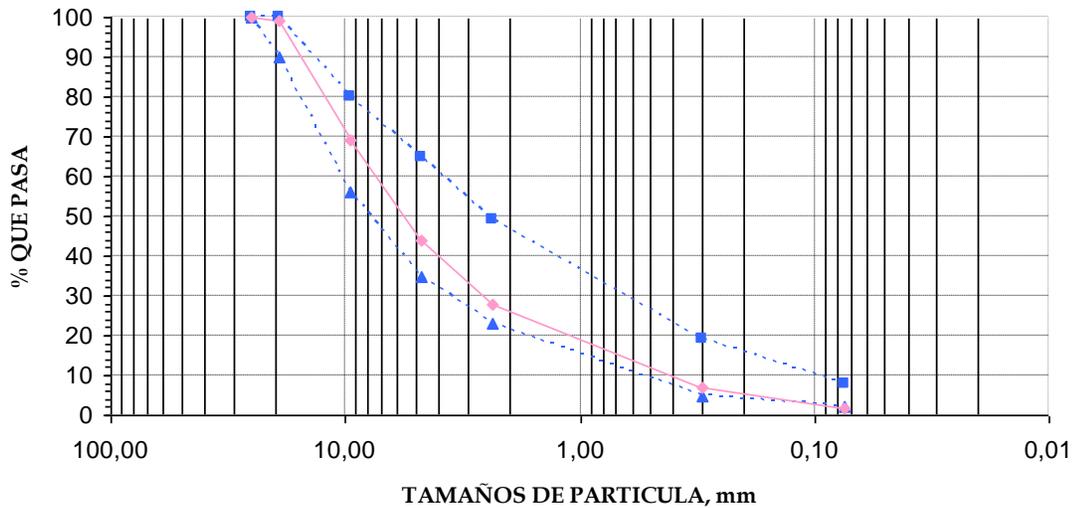


COMPROBACION DE LABORATORIO PARA MEZCLAS:
 PROPORCION 50% GRAVA -50% CHISPA

Peso Bruto: 4882.0 grs Tara: 363.0 grs Humedad %: 0.0 Peso Neto: 4519.1 grs
 Retenido N°4: 4478.2.0 grs Pasa N°4: 41.0 grs % Pasa N°4: 0.0
 % Gravas: 55.9 % Arenas: 44.1 % Finos: 1.9 Total: 101.9

Malla (pulg)	Malla (mm)	Peso Retenido Parcial grs	% Retenido Parcial	% Retenido Acumulado	% que Pasa	Especificación ASTM D 3515 Designación D-4	Verificación Previa al Diseño
1"	25.000	0.0	0.0	0.0	100.0	100 - 100	OK
¾"	19.050	41.0	0.9	0.9	99.1	90 - 100	OK
⅝"	9.525	1353.4	29.9	30.9	69.1	56 - 80	OK
N°4	4.750	1131.2	25.0	55.9	44.1	35 - 65	OK
N°8	2.375	727.2	16.1	72.0	28.0	23 - 49	OK
N°50	0.300	951.6	21.1	93.0	7.0	5 - 19	OK
N°200	0.075	231.0	5.1	98.1	1.9	2 - 8	OK
FONDO		83.8	1.9	100.0	0.0		

COMBINACION 50% GRAVA - 50% CHISPA





En los resultados de las combinaciones teóricas de los agregados realizados en el laboratorio, se puede observar que los porcentajes que pasa cada malla cumplen con los rangos establecidos en la especificación ASTM D 3515 Designación D-4.

De acuerdo con las graficas granulométricas presentadas anteriormente se selecciona la proporción de 45% Grava ¾" - 55% Chispa ¾" como formula de trabajo para la mezcla de agregados con sus tolerancias según tabla 3 de la especificación ASTM D 3515 .

La franja de trabajo se muestra a continuación:

FRANJA GRANULOMETRICA DE TRABAJO							
MALLA	1" (25mm)	¾" (19mm)	⅜" (9.5mm)	No.4 (4.75mm)	No.8 (2.36mm)	No.50 (0.3mm)	No.200 (0.075mm)
FORMULA DE TRABAJO	100	98.9	78.0	54.90	33.80	9.90	6.30
D-4, ASTM D3515	100	90-100	56-80	35-65	23-49	5-19	2-8
TOLERANCIA			± 7	± 7	± 6	± 5	± 3
FRANJA DE TRABAJO	100	90-100	71-85	48-62	28-40	5-15	3-9

b) Procedimiento de Análisis de Parámetros Marshall.

1. Encontrando los valores de la gravedad específica bulk del agregado grueso (AASHTO T85 ó ASTM C127), agregado fino (AASHTO T84 ó ASTM C128) y la gravedad específica del cemento asfáltico (AASHTO T228 ó ASTM D70) y del Filler mineral (AASHTO T100 ó ASTM D854). (G_b)

Datos Obtenidos de las pruebas antes mencionadas se detallan continuación:

Material	Gravedad Especifica		AASHTO	ASTM	% Por peso del total de agregado
		Bulk			
Cemento Asfáltico	1.022 (G_b)		T 228	D 70	
Agregado Grueso		2.724 (G_1)	T 85	C 127	50.0 (P_1)
Agregado Fino		2.613 (G_2)	T 84	C 128	50.0 (P_2)
Filler Mineral			T 100	D 854	--

2. Calculando la gravedad específica bulk de Agregados Totales en la mezcla. G_{sb}

$$G_{sb} = \frac{P_1 + P_2 + \dots + P_N}{\frac{P_1}{G_1} + \frac{P_2}{G_2} + \dots + \frac{P_N}{G_N}} = \frac{50 + 50}{\frac{50}{2.724} + \frac{50}{2.613}}$$

$$G_{sb} = 2.667$$



3. Encontrando el Contenidos de asfalto ASTM D 2172

Utilizando 3 briquetas por cada % de Asfalto.

BRIQUETA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% ASFALTO	4.0			4.5			5.0			5.5			6.0		

4. Calculando la Gravedad Específica Teórica Máxima de la mezcla suelta (ASTM D2041), G_{mm} .

$$\text{Ecuación para G.E. Teórica Máxima } G_{mm} = \frac{A}{A + D - E}$$

Donde:

A = Masa de la mezcla asfáltica (Estado Suelto)

D = Masa del Picnómetro + Agua

E = Masa del Picnómetro + Mezcla + Agua

No de BRIQUETA	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
% ASFALTO	4.0			4.5			5.0			5.5			6.0		
P. PYC + AGUA	11790,0			11790,0			11790,0			11790,0			11790,0		
P. MUEST. AL AIRE	2756,0			2523,0			2616,0			2659,0			2675,0		
PYC+AGUA+MUES.	13483,0			13318,0			13370,0			13384,0			13353,0		
GRAV.TEOR. MAXIMA	2,593			2,536			2,525			2,497			2,406		

5. Gravedad Específica Bulk de la mezcla compactada - ASTM D2726. - Ver Tabla

$$\text{Volumen} = P_{ss} - P_{sumergido}$$

$$G_{mb} = \frac{A}{B - C} = \frac{\text{Masa del Especimen al Aire}}{\text{Masa del Especimen SSS} + \text{Masa Sumergida al Agua}}$$

$$\text{Densidad} = \text{Gravedad Especifica Bulk} \times 997 \text{ kg/m}^3$$

6. Estabilidad y Flujo Marshall - Ver Tabla

Corrección de los valores de Estabilidad

En base al volumen de la briketa se calcula la estabilidad corregida de acuerdo a la Tabla 4.8.

La ecuación de corrección será:

$$E_c = \text{Dial} * \text{Factor de Corrección} * \text{Constante del Anillo}$$



Donde:

Constante del anillo es: $4.7137 \cdot \text{Dial} + 47.814$ (Solo para este ejemplo)

Dial: Lectura de Estabilidad

T.4.8 - Correcciones de Estabilidad Marshall.

Volumen de la probeta en cm^3	Espesor aproximado de la probeta en mm	Factor de corrección
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85
265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	36,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,5	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,92
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,5	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Fuente: ASTM D 1559



Consideraciones para Corrección:

- Los valores de Estabilidad corregida para cada grupo de muestras elaboradas con el mismo contenido de asfalto, se promedian, tomándose dicho promedio como valor de estabilidad para ese contenido de asfalto.
- Debe excluirse del promedio aquel valor que se encuentre notoriamente alejado de los demás.
- Los valores de flujo obtenidos para todas las muestras elaboradas con determinado contenido de cemento asfáltico se promedian, deberá también descartarse aquel valor que difiera notablemente del promedio si lo hay.

7. Análisis de Densidad y Vacíos.- Ver Tabla

Ecuaciones usadas para calcular los Parámetros de Diseño son:

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

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

$$G_{se} = \frac{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}{\frac{P_{mm} - P_b}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}}$$

$$VMA = 100 - \frac{G_{mb} \times P_s}{G_{sb}}$$

$$P_{ba} = 100 \times \frac{G_{se} - G_{sb}}{G_{sb}G_{se}} \times G_b$$

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

Donde:

- V_a: Porcentaje de vacíos de Aire.
- G_{mm}: Gravedad Especifica Teórica Máxima.
- G_{mb}: Gravedad Especifica a Bulk de la Mezcla Compactada en lab.
- G_{se}: Gravedad Especifica Efectiva a Bulk de Agregados.
- P_{mm}: Porcentaje de la masa del total de la mezcla suelta = 1
- P_b: Porcentaje de Asfalto respecto al peso total de la mezcla.
- G_b: Gravedad Especifica del Cemento Asfáltico.
- P_{ba}: Porcentaje de Asfalto Absorbido.
- G_{sb}: Gravedad Especifica a Bulk de los Agregados Totales.
- P_{be}: Porcentaje de Asfalto Efectivo.
- P_s: Contenido de Agregado, Porcentaje del total de la masa de la mezcla.
- VMA: Vacíos en el Agregado Mineral, %
- VFA: Vacíos llenados con Asfalto, %

8. Análisis de Vacíos (Ver tabla) y Elaboración de Graficas.

GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK (ASTM D 2726)

BRIQUETA No	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PORCENTAJE DE ASFALTO	4,0%			4,5%			5,0%			5,5%			6,0%		
P.S. AL AIRE, g	1196,0	1191,8	1156,0	1183,4	1188,2	1192,4	1180,0	1196,2	1187,4	1180,7	1177,9	1182,4	1159,6	1142,8	1142,5
P.S.S.S., g	1210,0	1200,0	1160,0	1189,0	1193,0	1193,0	1182,0	1197,3	1189,6	1182,0	1183,5	1187,2	1163,2	1151,30	1150,3
P. SUMERGIDO, g	699,6	686,9	674,1	690,5	692,3	692,8	691,2	696,8	696,4	689,6	690,5	692,3	670,1	664,5	665,4
VOL. (cm ³)	510,4	513,1	485,9	498,5	500,7	500,2	490,8	500,5	493,2	492,4	493,0	494,9	493,1	486,8	484,9
G.E. BULK	2,343	2,323	2,379	2,374	2,373	2,384	2,404	2,390	2,408	2,398	2,389	2,389	2,352	2,348	2,356
G.E. BULK Prom x 0,997 (G _{mb})	2,341			2,370			2,393			2,385			2,345		
DENSIDAD (kg/m ³)	2336	2316	2372	2367	2366	2377	2397	2383	2400	2391	2382	2382	2345	2341	2349
DENS. BULK PROM. (Kg / m ³)	2341			2370			2393			2385			2345		

ESTABILIDAD Y FLUJO MARSHALL (ASTM D 6927)

BRIQUETA No.		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
PORCENTAJE DE ASFALTO		4.0%			4.5%			5.0%			5.5%			6.0%		
Volumen en cm ³		510,4	513,1	485,9	498,5	500,7	500,2	490,8	500,5	493,2	492,4	493,0	494,9	493,1	486,8	484,9
LECTURA DE ESTABILIDAD		730	732	741	665	667	661	615	622	618	518	547	593	423	425	445
CTE ANILLO: F (lbf) = 4,7137*L-47,814																
ESTAB.	lbf	3488,8	3498,2	3540,7	3182,4	3191,9	3163,6	2946,7	2979,7	2960,9	2489,5	2626,2	2843,0	2041,7	2051,1	2145,4
	kgf	1582,2	1586,5	1605,7	1443,3	1447,6	1434,7	1336,4	1351,4	1342,8	1129,0	1191,0	1289,4	925,9	930,2	973,0
Factor Correlación Volumétrica		1,00	1,00	1,09	1,04	1,04	1,04	1,09	1,04	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09	1,09
ESTAB.	lbf	3488,8	3498,2	3859,3	3309,7	3319,5	3290,1	3211,9	3098,9	3227,4	2713,6	2862,6	3098,9	2225,5	2235,7	2338,5
	kgf	1582,2	1586,5	1750,3	1501,0	1505,5	1492,1	1456,7	1405,4	1463,7	1230,6	1298,2	1405,4	1009,3	1013,9	1060,5
Estabilidad Prom. Corregida, Kgf		1639,7			1499,5			1441,9			1311,4			1027,9		
FLUJO	mm	3,00	2,96	3,30	3,31	3,36	3,41	3,76	3,95	3,69	4,96	4,72	4,68	5,81	5,45	5,32
	Flujo Promedio, mm	3,09			3,36			3,80			4,79			5,53		
	0.001"*100	12	12	13	13	13	14	15	16	15	20	19	19	23	22	21

ANALISIS DENSIDAD - VACIOS (MS-2)

% VACIOS	9,7	6,5	5,2	4,5	2,5
% ASFALTO	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0
% GRUESO	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
% FINO	50,0	50,0	50,0	50,0	50,0
G. E. GRUESO	2,724	2,724	2,724	2,724	2,724
G. E. FINO	2,613	2,613	2,613	2,613	2,613
G. E. AGR. TOTAL (Gsb)	2,667	2,667	2,667	2,667	2,667
% CONT. AGREG. (Ps)	96,0	95,5	95,0	94,5	94,0
G.E. EFECTIVA BULK DE AGREGADOS Gse	2,770	2,726	2,737	2,726	2,633
ABSORCIONES DE BRIQUETAS Pba	1,421	0,823	0,975	0,819	-0,498
% ASFALTO EFECTIVO Pbe	2,636	3,714	4,074	4,726	6,468
V. M. A., %	15,7	15,2	14,8	15,5	17,4
V.F.A., %	38,4	56,8	64,7	71,1	85,4

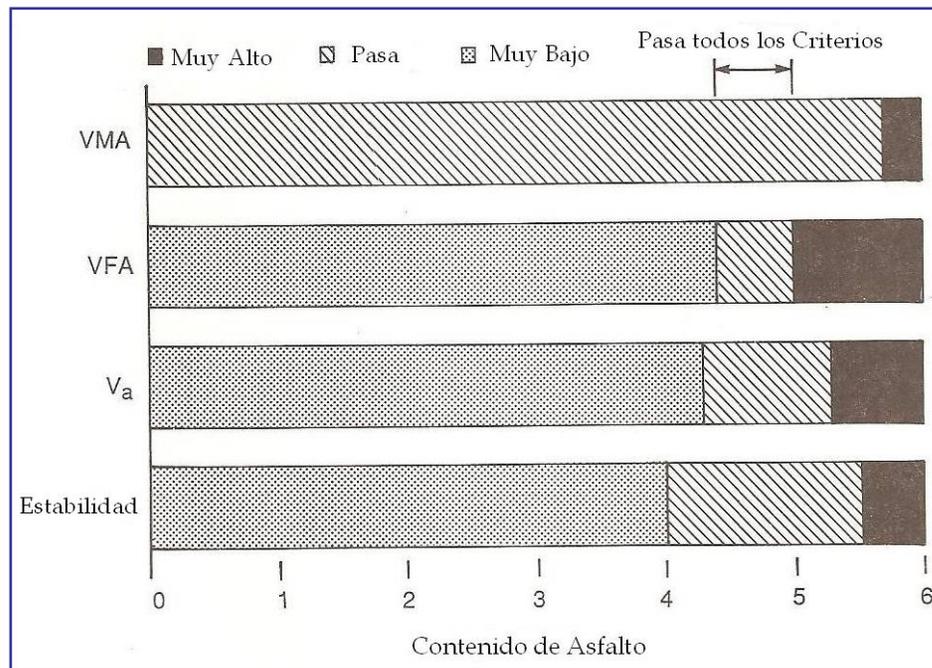


9. Determinando el Contenido Óptimo de Asfalto.

Eligiendo como primer criterio de selección aquel contenido de asfalto correspondiente a 4% de Vacíos de Aire.

De la grafica % Vacíos- Contenido de Asfalto % se puede observar que con un % de Vacíos de 4% el contenido de Vacíos es Asfalto $P_b = 5.5\%$.

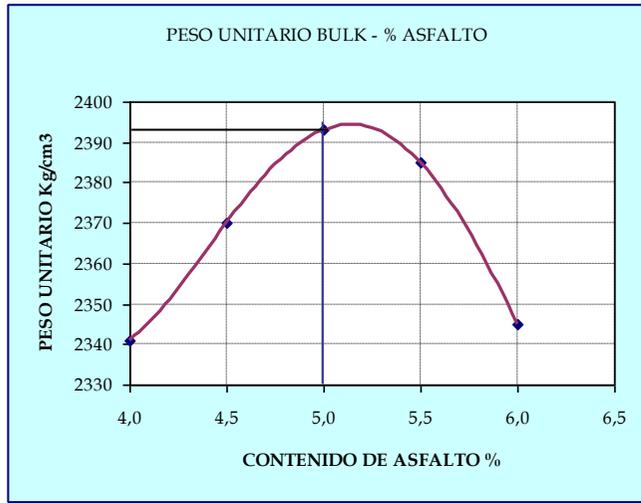
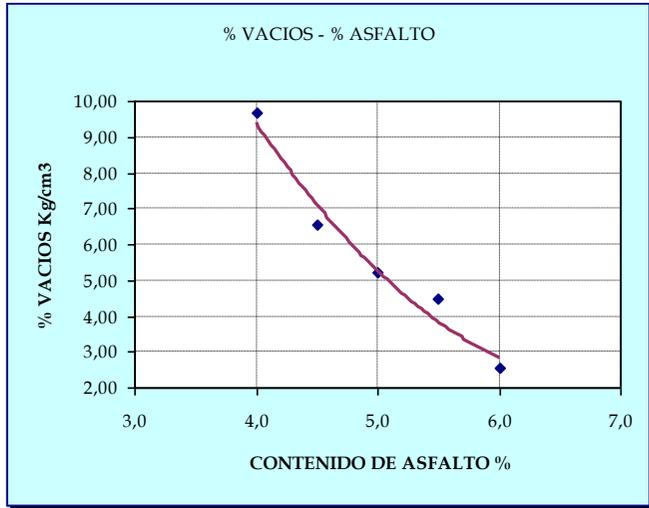
Tomando en cuenta que el contenido de asfalto de diseño debe ser seleccionado para balancear todas las propiedades de la mezcla, se evaluara el P_b a un rango estrecho de contenido de asfalto que se presenta en la en Figura 4.29:

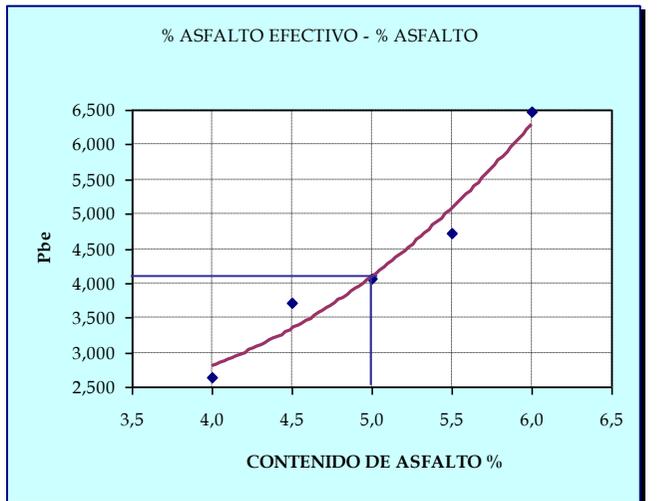
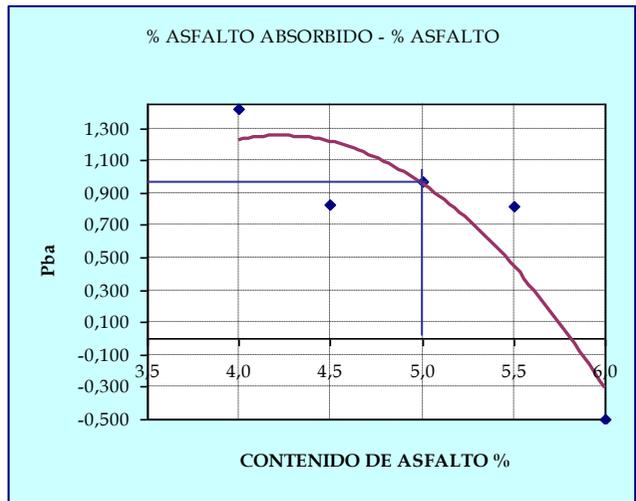
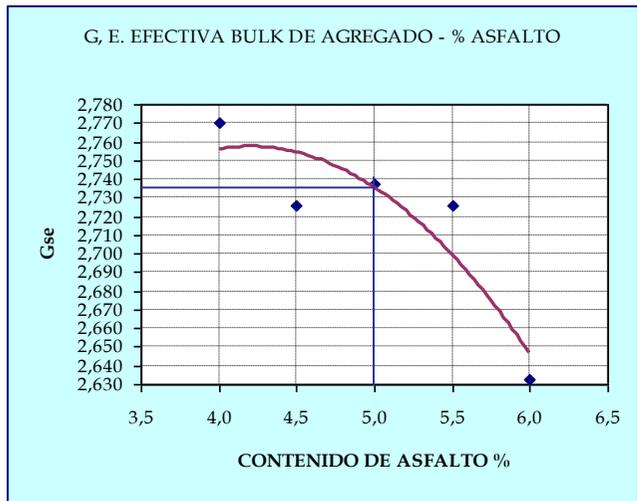
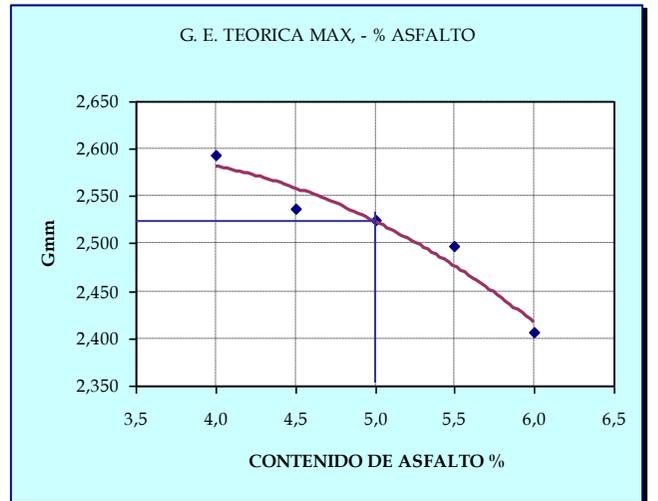


Se puede observar que un $P_b=5.5\%$ producido por un $V_a = 4\%$ se genera una Estabilidad y Porcentaje de Vacíos VFA "Muy Alto", por lo que se evaluara para un $P_b = 5.0\%$ y se puede apreciar que pasa todos los criterios especificados se obtiene el balance deseado.

Por lo anterior el Porcentaje de Asfalto de diseño seleccionado será $P_b = 5.0\%$

RESUMEN DE ANALISIS DE DENSIDAD - VACIOS					
Asfalto del de Proyecto %	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0
% Agregados	96,0	95,5	95,0	94,5	94,0
Gsb de agregados	2,667	2,667	2,667	2,667	2,667
Gmb (brigueta)	2,341	2,370	2,393	2,385	2,345
Gse (Agregados)	2,770	2,726	2,737	2,726	2,633
Densidad Bulk kg/cm ³	2341	2370	2393	2385	2345
Gmm (Teórica Máx. de Mezcla)	2,593	2,536	2,525	2,497	2,406
Asfalto Absorbido Pba %	1,421	0,823	0,975	0,819	-0,498
% Asfalto Efectivo Pbe	2,631	3,714	4,074	4,726	6,468
VMA %	15,7	15,2	14,8	15,5	17,4
VACIOS DE AIRE %	9,69	6,54	5,22	4,48	2,53
VFA %	38,4	56,8	64,7	71,1	85,4
ESTABILIDAD kgf	1640	1503	1445	1314	1030
FLUJO mm	3,087	3,360	3,500	4,787	5,527







10. Seleccionar el Diseño de Mezcla (Formula de Trabajo)

ESPECIFICACIONES PARA LA MEZCLA ASFÁLTICA			
SIECA TABLA 401			
Estabilidad (min) =	816 Kgf	% Vacíos =	3-5
Flujo , mm =	2 a 4	VMA(%min) =	14%
VFA, % máx. =	65	VFA, % máx. =	75

Evaluando $P_b = 5.0\%$ en las graficas restantes se obtiene los siguientes parámetros:

ESTABILIDAD KG	1439
PESO UNITARIO Kg/m ³	2392
FLUJO mm	3.9
VMA %	14.8
VFA %	64.7
G _{mm}	2.524
G _{se}	2.735
P _{ba}	0.93
P _{be}	4.1

La tolerancia para el porcentaje de Asfalto es ± 0.5 (ASTM D 3515), Es decir que el rango de aceptación para el contenido de Asfalto de la mezcla durante la producción es 5.0 ± 0.5 .

La Formula de Trabajo para los Parámetros de Marshall de la mezcla Asfáltica serán los siguientes:

FORMULA DE TRABAJO	
MEZCLA: 45% GRAVAS - -55% CHISPA	
% ASFALTO	5.0
VACIOS DE LA MEZCLA	5.0%
ESTABILIDAD Kg	1439
FLUJO mm	3.9
VMA %	14.8
VFA %	64.7
G _{mm}	2.524
RELACION FILLER/ ASFALTO	0.5
ACEPTACION PARA EL CONTENIDO ASFALTO	5.0 ± 0.5

El diseño de Mezcla Asfáltica en Caliente queda resumido en Fórmula de Trabajo.



4.13 SEGUIMIENTO AL CONTROL DE CALIDAD DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE.

En el control de calidad de mezclas asfálticas en caliente se pueden distinguir cuatro fases bien diferenciadas:

- ✓ Control de los componentes de la mezcla.

En la primera fase hay que realizar los correspondientes ensayos, tanto en origen como en el lugar de fabricación, para garantizar que los materiales básicos cumplen con lo especificado en los documentos de prescripciones.

F.4.32 - Tipos de compactadores empleadas en capas asfálticas.



Compactador Vibratorio de Rodillo Liso



Compactador Neumático

- ✓ Control del proceso

En la planta central de fabricación se debe controlar, en primer lugar, el buen funcionamiento de sus diversos elementos, poniendo especial atención en la calibración de los sistemas de dosificación, así como también de los indicadores de temperaturas.

Sobre la mezcla fabricada se deben realizar periódicamente controles de contenido de ligante y de granulometría de los agregados, para lo cual han de llevarse a cabo ensayos de extracción (ASTM D 2172 y D 5444). Con una frecuencia menor, hay que fabricar probetas y comprobar que se satisfacen las características mecánicas y de contenido de vacíos que fueron fijados en el proceso de dosificación.



F.4.33 - Extracción Cuantitativa del Asfalto. ASTM D 2172



F.4.34 - Análisis Granulométrico de la Mezcla ASTM D 5444.



Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente - Instituto Salvadoreño del Asfalto.

✓ Control de la puesta en obra.

En la puesta en obra es fundamental controlar la temperatura del material y que dicho proceso, empezando por la preparación de la superficie existente, se ajuste a lo especificado en los documentos de prescripciones, a las indicaciones del Encargado de



Obra y a las correspondientes normas de buena práctica. Hay que atender también a las condiciones climatológicas, debiéndose suspender la extensión de la mezcla cuando la temperatura ambiente es inferior a 5 °C con tendencia a disminuir, o cuando hay una lluvia apreciable. Un viento intenso constituye también un factor negativo a tener en cuenta.

F.4.35 - Control de la Temperatura.



Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente - Instituto Salvadoreño del Asfalto

Terminada la compactación, hay que comprobar que se ha alcanzado la densidad especificada. Independientemente de la necesaria extracción de muestras con sonda rotativa, lo que sirve también como comprobación de espesores y para poder controlar en el laboratorio las características mecánicas de la mezcla, los métodos de control de mayor rendimiento son los basados en técnicas nucleares, similares a los que se utilizan para el control de la compactación de los suelos. Aunque con ellos no se obtiene una medida absolutamente precisa de la densidad de la capa, proporcionan unos valores



relativos suficientemente significativos no sólo del grado de compactación, sino también de la homogeneidad de la capa.

F.4.36 - Verificación de la Densidad



F.4.37 - Ensayo Densímetro Nuclear.



Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente – Instituto Salvadoreño del Asfalto.

✓ Control de la unidad de obra terminada.

Finalmente, ha de controlarse la regularidad de la superficie terminada, comprobando si se ajusta a los planos del proyecto y a las exigencias de los documentos de prescripciones técnicas. En el caso de capas de rodadura, la regularidad superficial es fundamental como indicativa de la calidad alcanzada.



En las capas de rodadura, el control de calidad finaliza con la medida de la macrotextura y de la resistencia al deslizamiento.

4.14 CRITERIOS GENERALES PARA EL MUESTREO.

Todas las operaciones de la fabricación y puesta en obra de las diversas capas de un pavimento constituyen un proceso eminentemente industrial y, en tal virtud, este proceso puede considerarse como una producción sucesiva de lotes, es decir, de cantidades de material de la misma procedencia, cuya producción se supone uniforme y en la cual sólo intervienen factores aleatorios.

Un adecuado control de dicha producción se puede realizar aplicando las siguientes definiciones:

- Lote. Es una cantidad de material que se desea controlar. Puede representar el volumen de una fuente, la producción de un día, un determinado número de toneladas o un tiempo especificado durante el proceso de fabricación.
- Sub-lote. Parte designada de un gran lote con el fin de aplicar el método de toma de muestras a esta parte designada. Cada sub-lote debe estar separado físicamente y ser identificable.
- Muestra. Es una porción que se elige del lote y que se considera representativa de él. Puede estar constituida por un determinado número de muestras parciales. Para que una muestra sea representativa de la población a la que pertenece, debe ser tomada de forma aleatoria, de modo que todas sus posibles localizaciones dentro del lote tengan, en principio, la misma probabilidad de ser escogidas.

4.14.1 Especificaciones SIECA para Muestreo y Ensayos

Requisitos mínimos de muestreo y ensayo tienen las siguientes propiedades de aceptación:

- a) *Contenido de asfalto.* Los límites de tolerancia, a partir de la dosificación de diseño aprobada, serán de $\pm 0.5\%$. La categoría de pago en función de la calidad para el parámetro de contenido de asfalto se indica en la Tabla 401-7.



- b) *Granulometría del agregado*. Los límites de tolerancia a partir de la dosificación de diseño aprobada se presentan en la Tabla 703-4. La categoría de pago en función de la calidad para granulometría se indica en la Tabla 401-7.
- c) *Densidad en sitio*. El límite inferior de tolerancia para la densidad en sitio es de 92% de la densidad máxima teórica determinada a partir de AASHTO T 209 y el límite superior de tolerancia es de 98 % de la densidad máxima igualmente determinada. En ambos casos se usará, como referencia para el cálculo del porcentaje de densificación, la densidad máxima teórica correspondiente a un muestreo aleatorio, para la producción de mezcla asfáltica correspondiente a la producción evaluada. La categoría de pago, en función de la calidad para granulometría, se indica en la Tabla 401-7. La densidad en sitio será medida, para efectos de aceptación, en un plazo no mayor de 2 semanas posterior a la compactación. La categoría de pago en función de la calidad para densidad en sitio se indica en la Tabla 401-7.
- d) *Rugosidad superficial del pavimento*. La evaluación para pago deberá realizarse luego de la corrección de todos los defectos identificados. Los criterios de aceptación en función de la calidad para la rugosidad superficial serán definidos por el Contratante para cada proyecto particular, Tabla 401-7.
- e) *Deflexiones medidas en la superficie del pavimento*. La evaluación para pago se realizará luego de la corrección de todos los defectos identificados. Los criterios de aceptación en función de la calidad para deflexión serán definidos por el Contratante para cada proyecto particular, Tabla 401-7.
- f) *Deformación permanente*. Este concepto se aplica a la mezcla asfáltica que se colocará en capas diseñadas para una vida útil sobre tres millones de ejes equivalentes. La categoría de pago en función de la calidad para deformación permanente que se requiere ver Tabla 401-7.
- g) *Fatiga*. El concepto aplica a mezcla asfáltica que se coloque en capas diseñadas para una vida útil sobre tres millones de ejes equivalentes. La categoría de pago en función de la calidad para fatiga será definida de acuerdo con el criterio establecido por el Contratante para cada proyecto en particular. Tabla 401-7.



El muestreo y ensayo se efectuaran de acuerdo con la tabla 401-7 que indica lo siguiente:

Tabla 401-7

Material o producto	Propiedad o característica	Categoría	Método de prueba o especificación	Frecuencia	Punto de muestreo
Capa de superficie de concreto asfáltico procesado en planta en caliente, Con ligante asfáltico no modificado	Contenido de asfalto	I	FLHT516, FLHT 517, o AASHTO T 164	1 cada 500 Toneladas	Después de la colocación y antes de la compactación
	Granulometría (1) 4.75 mm 600µ.m 75µm Otros tamices especificados	I II I II	AASHTO T 30 (4)	1 cada 500 Toneladas	Después de la colocación y antes de la compactación
	Densidad en núcleos (2)	I	AASHTOT 166 y AASHTO T 209,	1 cada 500 Toneladas	En sitio, no más de dos semanas después de la compactación
	Rugosidad superficial (3)	I	A definir por el Contratante	Sub-lotes de 0.1 m a lo largo de todo el proyecto	En sitio, posterior a la compactación
	Deflexión en la superficie del pavimento (3)	I	A definir por el Contratante	Sub-lotes de 0.1 m a lo largo de todo el proyecto	En sitio, posterior a la compactación
	Deformación permanente (4)	I	En sitio, posterior a la compactación	A definir por el Contratante	A definir por la Administración
	Fatiga (4)	I	En sitio, posterior a la compactación	A definir por Administración	A definir por la Administración

- 1) Usar sólo los tamices requeridos por las especificaciones de granulometría.
- 2) Cortar núcleos del pavimento compactado, de acuerdo con AASHTO T 230, método B. Llenar y compactar el hueco correspondiente al muestreo con mezcla de concreto asfáltico.
- 3) Se aplica solo a capas de superficie, de acuerdo con el contrato.
- 4) Para mezcla asfáltica que se use en capas asfálticas con vida útil de más de tres millones de ejes equivalentes.

Fuente: Especificaciones para la Construcción de Carreteras y Puentes Regionales.



Muestreo de la Mezcla Asfáltica después de la Colocación y antes de la Compactación.

F.4.38 - Colocación de la Mezcla Asfáltica.



F.4.39 - Muestreo de la Mezcla Asfáltica después de Colocación.



Fuente: Seminario Mezclas Asfálticas en Caliente - Instituto Salvadoreño del Asfalto.



4.15 GUÍA TÉCNICA DE SEGUIMIENTO DEL CONTROL DE CALIDAD.

De acuerdo al diseño de mezcla asfáltica en caliente con el que se construirá el pavimento de un proyecto, recae sobre el control de calidad asegurar que dicho diseño sea la guía con el proceso de producción que se va a ejecutar, y con ello entregar un producto que cumpla con los requerimientos especificados. A partir de lo anterior es que proponemos el Seguimiento del Control de Calidad a la mezcla asfáltica en caliente:

1. Verificar continuamente, de ser posible semanalmente, el comportamiento de los agregados pétreos, tanto en las granulometrías individuales como combinadas así como las gravedades específicas individuales y combinadas, actualizando de ser posibles dichos valores en el proceso de cálculo de los parámetros de calidad de la mezcla asfáltica, como por ejemplo el contenido de asfalto.

2. Verificar los ensayos de calidad del asfalto utilizado en la mezcla asfáltica y actualizar el proceso de cálculo de los parámetros de calidad, como por ejemplo el contenido de asfalto.

3. verificar en la planta de producción asfáltica si el diseño de la mezcla asfáltica se esta reproduciendo en ella, realizado a través de muestreos en planta y controlando los parámetros de granulometría y contenido de asfalto. Cabe mencionar que la inyección de asfalto axial como el proporcionamiento de los agregados programados en la planta tienen que ser constatados con los correspondientes ensayos en el laboratorio.

4. Realizar el muestreo de la muestra asfáltica en el tramo de colocación contiguo a la pavimentadota y depositada en una bandeja protegida con lona y trasladada de inmediato al laboratorio para realizar todos los ensayos requeridos.



5. Verificar que el personal de laboratorio cuente con toda la documentación en el sitio, como normas de ensayos de laboratorio de edición reciente, cartas de calibración de todo el equipo con una vigencia menor de un año, así como espacios adecuados para la realización de cada una de las pruebas, así como equipo de protección personal guantes mascara entre otros.

6. Verificar que el personal de laboratorio conozca y cumpla las normas con las que se determinarán los parámetros e calidad de la mezcla asfáltica.

7. Verificar que el personal de campo de control de calidad lleve registros de las temperaturas de la mezcla asfáltica a su llegada al sitio durante su colocación y compactación.

8. Verificar que el personal de campo de control de calidad haya constatado que el camión que traslada la mezcla asfáltica lleve su lona para evitar la pérdida de temperatura.

9. Verificar mediante la utilización de densímetro nuclear el patrón de compactación que es necesario aplicar a la capa de mezcla asfáltica colocada para garantizar una adecuada densificación y extraer núcleos para determinar que el grado de compactación cumpla el requerimiento de calidad.

10. Verificar el espesor suelto y compactado de la mezcla asfáltica.

CAPITULO V:

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.



5.1 CONCLUSIONES

- ◆ Los Agregados calizos triturados y arenas angulosas producen mezclas de alta estabilidad mientras, que las gravas silíceas no trituradas y arenas redondeadas producen mezclas de baja estabilidad.
- ◆ Las Partículas de agregado blandas rompen bajo el impacto de los vehículos causando agrietamiento y vacíos en la superficie del pavimento, por el contrario agregados muy duros suelen dar pavimentos deslizantes.
- ◆ Es de vital importancia llevar a cabo un permanente control en la distribución granulométrica de los agregados, debido a que la estabilidad crece cuando el tamaño del agregado se incrementa.
- ◆ En nuestro país, de acuerdo a las especificaciones técnicas de los proyectos de construcción de pavimentos, se emplean:
 1. Granulometría de Mezcla Asfáltica Tipo Densa con tamaño Máximo $\frac{1}{2}$ " , aunque las normas permiten utilizar tamaños máximos de $\frac{3}{8}$ " (9.5mm) y $1\frac{1}{2}$ " (37.5mm) para mezclas densas.
 2. Granulometría de Mezcla Asfáltica Tipo Abierta con tamaño Máximo $\frac{3}{4}$ "
- ◆ Los agregados que se utilicen en la producción de mezclas asfálticas en caliente debe cumplir con la especificación técnica que define los valores máximos y mínimos para los ensayos requeridos, como son: Abrasión de los Angeles, Sanidad, Caras Fracturadas, Índice de Durabilidad, Equivalente de Arena, Granulometría, Limites de Consistencia, Partículas Planas y Alargadas, Material que pasa la Malla No 200, Gravedad Especifica y Absorción de Agregados Gruesos y Finos, Partículas Desmenuzables y ligeras.



- ◆ El empleo de cementos asfálticos muy duros da como resultado un pavimento quebradizo, mientras que cemento asfáltico de alta penetración ofrecen pavimentos con huellas provocados por los neumáticos de los vehículos.
- ◆ La mezcla asfáltica actúa como soporte que contribuye a la resistencia y rigidez en la estructura de pavimento, cuyos valores dependen de las propiedades individuales de los materiales, las condiciones ambientales y de la carga que soporta la vía.
- ◆ El método de diseño más utilizado en El Salvador para las mezclas Asfálticas en Caliente, es el Método Marshall, el cual consiste en cuantificar el contenido óptimo de asfalto para que la mezcla asfáltica se encuentre en un rango de 3-5% y puede usarse tanto para el diseño en laboratorio como para el control en campo.
- ◆ Las graficas del Método Marshall relacionan los parámetros de la mezcla de diseño versus el contenido de asfalto, determinando a partir de estas graficas el contenido de asfalto optimo y posteriormente expresando los parámetros de la mezcla asfáltica que será la formula de trabajo que se utilizara en la construcción.
- ◆ El diseño de la mezcla de concreto asfáltico comienza con la selección del cemento asfáltico, la estructura del agregado, proporciones de agregado, cemento asfáltico y mezclados de tal manera que los agregados pétreos queden cubiertos por una película uniforme de asfalto para lograr una combinación óptima de materiales para la construcción de los proyectos. El diseño de mezclas se basa en los requisitos de construcción del pavimento definido a través de la evaluación de laboratorio y las especificaciones. También se indica el grado del cemento asfáltico, las especificaciones sobre la calidad del



agregado y los requisitos de control de calidad para la colocación de la mezcla en obra.

- ◆ El certificado de calidad del asfalto proporciona información sobre el análisis de las propiedades del asfalto y carta de viscosidad siendo en esta última donde se establecen los rangos de temperaturas de mezclado y temperatura de compactación que se deben de utilizar en la fabricación de mezclas asfálticas.
- ◆ El Control de Calidad durante la construcción requiere lograr la gradación de agregados, el contenido de asfalto necesario, la densidad de la mezcla, el volumen de aire en los vacíos, el volumen de vacíos en el agregado mineral, el volumen de vacíos llenos con asfalto y la relación de ligante.
- ◆ El contenido de vacíos de aire (V_a) es uno de los parámetro de desempeño mas importantes de una mezcla asfáltica. De acuerdo con las especificaciones SIECA utilizadas en El Salvador el contenidos de vacíos esta entre el rango de 3% a 5%. Para contenidos de vacíos bajo 3% la mezcla es muy propensa a exudar y/o ahuellarse. Por otro lado, para contenidos de vacíos superiores a 5% la mezcla puede sufrir excesiva oxidación, agrietamiento prematuro y desintegración.
- ◆ El V.M.A, o contenido de vacíos en el agregado mineral, es una propiedad que depende del agregado (forma y granulometría) y del contenido asfáltico. Valores de V.M.A. muy bajos puede indicar que en terreno el asfalto no tendrá suficiente espacio y que por lo tanto podría exudar. Valores de V.M.A muy altos también es asociado con la ahuellamiento ya que se requiere un mayor contenido asfáltico para cumplir con las especificaciones de diseño.



- ◆ El contenido de asfáltico óptimo de mezcla compactada debe ser el que produzca porcentajes Vacíos en la Mezcla de 3 a 5 %, y que se cumplan condiciones específicas según el tipo de tránsito con respecto a:
 - a) Estabilidad y Fluencia: para asegurar que la mezcla no sufrirá deformación.
 - b) Vacíos en el Agregado Mineral: para asegurar suficiente espacio en el agregado para alojar el asfalto.
 - c) Vacíos Llenos de Asfalto: para asegurar la durabilidad de la mezcla.

5.2 RECOMENDACIONES

- ◆ Se recomienda que en El Salvador debe impulsarse el conocimiento desde la formación profesional en la Universidad de las mezclas asfálticas en caliente tanto en su diseño, colocación y control de calidad, ya que se construyen nuevas obras viales como carreteras o se rehabilitan las ya existentes.
- ◆ Es necesario usar técnicas correctas para formar los acopios de materiales para asegurarse que los materiales alimentados a la planta de mezcla caliente sean de tamaño uniforme, ya que el material es revuelto en el acopio por un cargador antes de ser colococado para la fabricación de la mezcla asfáltica.
- ◆ Al realizar el proceso de verificación de granulometría individual de agregados grueso, fino y al ser mezclados se recomienda elegir las mejores combinaciones posibles de agregados o lo que dicte la experiencia para obtener una mezcla con resultados deseados.
- ◆ Se recomienda utilizar agregados 100% triturados, con un mínimo porcentaje de agregado alargado o lajas, para mejorar sustancialmente el desempeño de las mezclas asfálticas, y evaluar las características principales de los agregados



pétreos de modo de asegurarse de utilizar agregado con buenas propiedades mecánicas.

- ◆ Se recomienda que los agregados cumplan con las especificaciones establecidas en las normativas de ensayos para obtener mayores resultados al ser utilizados en la producción de mezclas asfálticas.
- ◆ Se recomienda mantener una vigilancia estricta sobre los diferentes parámetros de calidad de la mezcla asfáltica durante su etapa de producción en planta ya que los bancos de materiales en nuestro país no son completamente homogéneos.
- ◆ Se recomienda verificar constantemente los parámetros de laboratorio Gravedad Bulk, Gravedad Teórica Máxima y el porcentaje de vacíos durante su etapa de producción en planta, para que la carpeta asfáltica cumpla con la vida útil proyectada.
- ◆ Se recomienda verificar la Gravedad Teórica Máxima en el laboratorio continuamente, ya que a mayores valores obtenidos con respecto a las de Diseño requerirá que la mezcla asfáltica en el campo se densifique más que el patrón de compactación establecido en un tramo.
- ◆ Se recomienda disminuir el contenido de asfalto de las mezclas, mediante el manejo de la granulometría del agregado y valores bajos de VMA. Una alternativa de diseño de mezcla es usando contenido de vacíos próximos al 5%, para asegurar un comportamiento menos plástico de las mezclas. Esto permitiría, además, contrarrestar el efecto negativo de la exigencia de compactar las mezclas a un 96% de la densidad Marshall.



- ◆ Para llevar un mejor control en el diseño de mezclas asfálticas utilizando el método marshall se recomienda lo siguiente:
 - a) Hacer una revisión periódica de los parámetros de diseño con muestras de mezcla producida en planta, y actualizar la información de referencia en base a dichos resultados.
 - b) El control de densidad de la mezcla asfáltica debería ser realizado considerando los valores obtenidos con mezcla de planta.
 - c) Establecer los límites máximos y mínimos del VMA, para evitar mezclas con contenidos asfálticos demasiado altos.
 - d) Estudiar una eventual modificación de los niveles de compactación exigidos a las mezclas asfálticas, y en particular se recomienda incluir un límite máximo para evitar la construcción de mezclas con bajos contenidos de vacíos.

- ◆ Para obtener mezclas asfálticas en caliente de buena calidad se recomienda:
 - 1. Un Diseño correcto.
 - 2. Elaboración adecuada
 - 3. Colocación y Compactación con el equipo y procedimientos idóneos, de tal manera que se logre obtener las propiedades deseadas.



5.3 BIBLIOGRAFIA.

- ✓ Análisis y verificación de las Normas de Calidad ISO en el Proceso de producción de Mezclas Asfálticas.
Universidad Francisco Marroquín, Guatemala Tesis 2004
- ✓ Asfaltos Modificados y Pruebas de Laboratorio para Caracterizarlos.
Instituto Politécnico Nacional, México, Tesis - 2004
- ✓ Asfaltos Modificados con Polímeros.
Universidad de San Carlos de Guatemala. Tesis - 2007
- ✓ Carpetas Asfálticas.
Instituto Politécnico Nacional, México, Tesis 2009
- ✓ Guía Básica para el Control de Calidad en Recarpeteos con Mezclas Asfálticas en Caliente.
Universidad de El Salvador, Tesis - 2005.
- ✓ Guía para el control y Aseguramiento de la Calidad de Construcción de Pavimentos Flexibles Elaborados con Mezclas Asfálticas en Caliente en El Salvador.
Universidad de El Salvador, Tesis - 2006.
- ✓ Manual de Laboratorio.
Ensayos para Pavimentos Volumen I
Universidad Nacional de Ingeniería.
Lima Perú, 2001.
- ✓ Manual de Diseño de Mezclas MS-2
Instituto del Asfalto.



- ✓ Método de Rehabilitación en Pavimentos.
Instituto Politécnico Nacional, México Tesis 2005

- ✓ Seminario de Mezclas Asfálticas en Caliente.
Instituto Salvadoreño del Asfalto - ISA.
San Salvador del 25 al 27 de Agosto 2009.

- ✓ Standard Specifications For Construction of Roads and Bridges on Federal
Highway Projects, FP-03 - 2003

- ✓ Principios de Construcción de Pavimentos de Mezcla Asfáltica en Caliente.
Serie de Manuales No 22, MS - 22
Asphalt Institute.

- ✓ Ventajas y Desventajas del Uso de Polímeros en el Asfalto
Universidad de las América Puebla, México Tesis 2006.

Paginas Web Consultadas.

1. <http://www.imt.mx/>
2. <http://www.astm.org/>
3. <http://www.asfalca.com>
4. <http://www.astecinc.com>
5. <http://www.e-asfalto.com>
6. <http://www.mop.gob.sv/>
7. <http://www.conacyt.gob.sv/>
8. <http://www.camineros.com/>
9. <http://fovia.com/fovia2009/>
10. <http://www.asphaltinstitute.org>



5.4 GLOSARIO

A

ABRASIÓN: Desgaste mecánico de agregados y rocas resultante de la fricción y/o impacto.

ABRASIVO: Cualquier roca, mineral u otra sustancia que debido a su superior dureza, tenacidad, consistencia u otra propiedad, es apropiado para moler, afilar, cortar, frotar u otro uso similar.

ABSORCIÓN: Fluido que es retenido en cualquier material después de un cierto tiempo de exposición (suelo, rocas, maderas, etc.).

ACARREO: Transporte de materiales a diferentes distancias en el área de la obra

ACCESO: Ingreso y/o salida a una instalación u obra de infraestructura vial.

AGLOMERANTE: Material capaz de unir partículas de material inerte por efectos físicos o transformaciones químicas o ambas.

AGRADACIÓN: Crecimiento o elevación general y progresiva del perfil longitudinal del lecho de un cauce como resultado de la deposición de sedimentos.

AGREGADO: Material granular de composición mineralógica como arena, grava, escoria, o roca triturada, usado para ser mezclado en diferentes tamaños.

AGREGADO ANGULAR: Agregados que poseen bordes bien definidos formados por la intersección de caras planas rugosas.

AGREGADO BIEN GRADUADO: Agregado cuya gradación va desde el tamaño máximo hasta el de un relleno mineral y que se encuentra centrado a una curva granulométrica "uso" especificada.

AGREGADO DE GRADACIÓN ABIERTA: Agregado que contiene poco o ningún relleno mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

AGREGADO FINO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general pasa la malla N° 4 (4.75 mm) y contiene finos.

AGREGADO GRUESO: Material proveniente de la desintegración natural o artificial de partículas cuya granulometría es determinada por las especificaciones técnicas correspondientes. Por lo general es retenida en la malla N°4 (4.75 mm).

AHUELLAMIENTO: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO O MECÁNICO: Procedimiento para determinar la granulometría de un material ó la determinación cuantitativa de la distribución de tamaños.

ARCILLAS: Partículas finas con tamaño de grano menor a 2 μm (0.002 mm) provenientes de la alteración física y química de rocas y minerales.

ARENA: Partículas de roca que pasan la malla N° 4 (4.75 mm.) y son retenidas por la malla N° 200.



ASFÁLTENOS: La fracción de hidrocarburo de alto peso molecular, en el asfalto, que es precipitada por medio de un solvente parafínico de nafta, usando una proporción específica de solvente-asfalto.

ASFALTO: Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.

ASFALTO MODIFICADO: Producto de la incorporación de un polímero u otro modificador en el asfalto para mejorar sus propiedades físicas y geológicas como la disminución de la susceptibilidad a la temperatura y a la humedad.

B

BACHE: Depresión que se forma en la superficie de rodadura producto del desgaste originado por el tránsito vehicular y la desintegración localizada.

BANCO DE GRAVA: Material que se encuentra en depósitos naturales y usualmente mezclado en mayor ó menor cantidad con material fino (arenas, arcillas) que da lugar a bancos de gravas arcillosas, gravas arenosas.

BITUMEN: Un tipo de sustancia cementante de color negro u oscuro (sólida, semi-sólida, o viscosa), natural o fabricada, compuesta principalmente de hidrocarburos de alto peso molecular, siendo típicos los asfaltos, las breas (o alquitranes), los betunes y las asfaltitas.

C

CALIZA: Roca de origen sedimentario compuesta esencialmente de carbonato de calcio (calcita) proveniente de acumulación mecánica de fragmentos de este mineral, por precipitación química.

CALZADA: Sector de la carretera que sirve para la circulación de los vehículos.

CAMINO: Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.

CANTERA: Deposito natural de material apropiado para ser utilizado en la construcción, rehabilitación, mejoramiento y/o mantenimiento de las carreteras.

CARRETERA: Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.

CEMENTO ASFÁLTICO: Un asfalto con flujo o sin flujo, especialmente preparado en cuanto a calidad o consistencia para ser usado directamente en la construcción de pavimentos asfálticos.

COHESIÓN: La resistencia al corte de un suelo, a una tensión normal

COLOIDALES (partículas): Tamaño tan pequeños que ejercen una actividad superficial apreciable sobre las propiedades del agregado.

COMPACTACIÓN: Proceso manual o mecánico que tiende a reducir el volumen total de vacíos de suelos, mezclas bituminosas, morteros y concretos frescos de cemento Pórtland.



CONCRETO: Mezcla de material aglomerante y agregados fino y grueso. En algunos casos se agrega aditivos para proporcionarle cualidades que no poseen y en otros para mejorar los que poseen.

CONCRETO ASFÁLTICO: Mezcla procesada, compuesta por agregados gruesos y finos, material bituminoso y de ser el caso aditivos de acuerdo a diseño y especificaciones técnicas. Es utilizada como capa de base o de rodadura y forma parte de la estructura del pavimento.

CONGLOMERADO: Roca sedimentaria clástica, compuesta de cantos rodados cementados en una matriz fina que puede ser calcárea o silicosa.

CONSTRUCCIÓN: Ejecución de obras de una vía nueva con características geométricas acorde a las normas de diseño y construcción vigentes.

CONTENIDO DE HUMEDAD ÓPTIMO: Es el contenido de humedad al cual un suelo ó material granular al ser compactado utilizando un esfuerzo especificado proporciona una máxima densidad seca. El esfuerzo puede ser estándar ó modificado.

CONTENIDO DE HUMEDAD: Volumen de agua de un material determinado bajo ciertas condiciones y expresado como porcentaje de la masa del elemento húmedo, es decir, la masa original incluyendo la sustancia seca y cualquier humedad presente.

CONTROL DE CALIDAD: Pruebas técnicas para comprobar la correcta ejecución de las diferentes etapas o fases de un trabajo con relación a las especificaciones técnicas o requisitos específicos establecidos.

CUARTEO: Procedimiento de reducción del tamaño de una muestra.

CURVA GRANULOMÉTRICA: Representación gráfica de la granulometría y proporciona una visión objetiva de la distribución de tamaños del agregado. Se obtiene llevando en abscisas los logaritmos de las aberturas de los tamices y en las ordenadas los porcentajes que pasan o sus complementos a 100, que son los retenidos acumulados.

D

DENSIDAD: Relación entre la masa y el volumen de un cuerpo.

DENSIDAD EN EL SITIO: Procedimiento para determinar el peso unitario de los suelos en el terreno.

DESTILACIÓN (de emulsiones): Procedimiento de separación del residuo, aceite destilado. También hay de asfaltos líquidos.

DUCTILIDAD: Propiedad de una sustancia de ser estirada o estrechada en forma delgada. Aún cuando la ductilidad se considera como una característica importante del cemento asfáltico en muchas de sus aplicaciones, la presencia o ausencia de ductilidad es generalmente considerada más importante que el mismo grado de ductilidad.

DURABILIDAD: Propiedad de un material o mezcla para resistir desintegración por efectos mecánicos, ambientales o de tráfico.

DURABILIDAD DEL CONCRETO ASFÁLTICO: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación para resistir desintegración por efectos ambientales o de tráfico. Los efectos ambientales incluyen cambios en las características del asfalto, tales como oxidación y/o volatilización y en el agregado debido a la acción del agua, incluyendo congelamiento y deshielo.



DUREZA: Resistencia superficial que presentan los materiales a ser rayados.

E

ELASTICIDAD: Propiedad de un material que hace que retorne a su forma original después que la fuerza aplicada se mueve o cesa.

EMPALME: Conexión de una carretera con otras, acondicionada para el tránsito vehicular.

EMULSIÓN ASFÁLTICA: Una emulsión de cemento asfáltico y agua que contiene una pequeña cantidad de agente emulsivo.

ENSAYO MARSHALL: Procedimiento para obtener el contenido de asfalto y diferentes parámetros de calidad de una mezcla bituminosa.

EQUIVALENTE DE ARENA: Proporción relativa del contenido de polvo fino nocivo (sucio) ó material arcilloso en los suelos ó agregados finos.

EROSIÓN: Desgaste producido por el agua en la superficie de rodadura o en otros elementos de la carretera.

ESPECIFICACIONES: Recopilación de disposiciones y requisitos para la ejecución de una obra.

ESTABILIDAD: Propiedad de una mezcla asfáltica de pavimentación de resistir deformación bajo las cargas impuestas. La estabilidad es una función de la cohesión y la fricción interna del material.

EXUDACIÓN DEL ASFALTO: Flujo de asfalto hacia arriba en un pavimento asfáltico, resultando en una película de asfalto sobre la superficie.

F

FATIGA: Reducción gradual de la resistencia de un material debido a solicitaciones repetidas.

FILLER: Material proveniente por lo general de la caliza pulverizada, polvos de roca, cal hidratada, cemento Pórtland, y ciertos depósitos naturales de material fino, empleado en la fabricación de mezclas asfálticas en caliente como relleno de vacíos, espesante de la mezcla ó como mejorador de adherencia.

FINOS: Porción del agregado fino o suelo que pasa la malla N° 200 (0,074 mm).

FISURA: Fractura fina, de varios orígenes, con un ancho igual o menor a 3 milímetros.

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

G

GRADOS DE PENETRACIÓN: Sistema de Clasificación de los cementos asfálticos basado en la penetración a una temperatura de 25°C. Existen grados patrones de clasificación tales: 40-50, 60-70, 85-100, 120-150 y 200-300.

GRADOS DE VISCOSIDAD: Sistema de clasificación de cementos asfálticos basado en rangos de viscosidad a una temperatura de 60°C (140°F). Usualmente también se



especifica una viscosidad mínima a 135°C (275°F). El propósito es de establecer valores límites de consistencia a estas dos temperaturas. Los 60°C (140°F) se aproximan a la máxima temperatura de servicio de la superficie del pavimento asfáltico. Los 135°C (275°F) se aproximan a la temperatura de mezclado y colocación de pavimentos de mezclas en caliente. Existen cinco grados de cemento asfáltico basado en la viscosidad del asfalto original a 60°C (140°F).

GRANULOMETRÍA: Representa la distribución de los tamaños que posee el agregado mediante el tamizado según especificaciones técnicas.

GRAVA: Agregado grueso, obtenido mediante proceso natural o artificial de los materiales pétreos.

GRAVEDAD ESPECIFICA DEL SUELO: Determina el Peso Específico de un suelo con el Picnómetro, siendo la relación entre el peso en el aire de un cierto volumen de sólidos a una temperatura dada.

GRIETA: Fractura, de variados orígenes, con un ancho mayor a 3 milímetros, pudiendo ser en forma transversal o longitudinal al eje de la vía.

H

HIDRÓMETRO: Instrumento de laboratorio que permite determinar el porcentaje de partículas de suelo dispersado que permanecen en suspensión en un determinado tiempo.

I

IMPERMEABILIDAD: Capacidad de un pavimento asfáltico de resistir el paso de aire y agua dentro o a través del mismo.

ÍNDICE DE FORMA (agregados): Permite medir las características de forma y textura.

INERTE: Que no participa en alguna forma en una reacción química.

INESTABILIDAD: Pérdida de resistencia a las fuerzas que tienden a ocasionar movimiento o distorsión de una estructura del pavimento.

INFLAMACIÓN (Punto de): Temperatura a la cual los vapores de un material bituminoso producen ignición (inflamación) al contacto directo con una llama.

INTEMPERISMO: Efectos producidos por la intemperie (a cielo descubierto, sin techo).

J

JUNTA: Separación establecida entre dos partes contiguas de una obra, para permitir su expansión o retracción por causa de las temperaturas ambientes.

L

LÍMITE LÍQUIDO: Contenido de agua del suelo entre el estado plástico y el líquido de un suelo.

LÍMITE PLÁSTICO: Contenido de agua de un suelo entre el estado plástico y el semi-sólido.



M

MÁFICO: es un adjetivo que se aplica a un silicato o roca que es rico en magnesio y hierro. La palabra deriva de la contracción de "magnesio" y "férrico". La mayoría de los minerales máficos son de color oscuro y su densidad relativa es mayor que 3. Son ejemplos de minerales máficos el olivino, el piroxeno, el anfíbol y la biotita. Son rocas máficas el basalto y el gabro.

MALLA: Abertura cuadrada de un tamiz.

MATERIA ORGÁNICA: Son compuestos carbonáceos existentes en el suelo, tales como turba, lodos orgánicos y suelos que contengan materia vegetal.

MATERIAL DE CANTERA: Material de características apropiadas para su utilización en las diferentes partidas de construcción de obra, que deben estar económicamente cercanas a las obras y en los volúmenes significativos de necesidad de la misma.

MEJORAMIENTO: Ejecución de las obras necesarias para elevar el estándar de la vía mediante actividades que implican la modificación sustancial de la geometría y de la estructura del pavimento; así como la construcción y/o adecuación de los puentes, túneles, obras de drenaje, muros, y señalizaciones necesarias.

MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE: son mezclas de agregados finos y gruesos o únicamente de finos, con o sin relleno mineral, mezclados uniformemente con asfalto o asfalto emulsificado.

MINERAL: Material inorgánico de origen natural con una composición química definida.

MORTERO: Conglomerado o masa constituida por arena, conglomerante (bituminoso o cemento Pórtland), agua y puede contener aditivos.

MORTERO ASFÁLTICO: Mezcla de agregados pétreos, agua, emulsión asfáltica, polvo mineral y, eventualmente aditivos que se aplica sobre la superficie de una vía de acuerdo con las especificaciones.

MUESTREO: Investigación de suelos, materiales, asfalto, agua etc., con la finalidad de definir sus características y/o establecer su mejor empleo y utilización.

O

OBRA: Infraestructura vial ejecutada en un **ÁREA DE TRABAJO**, teniendo como base un Expediente Técnico aprobado, empleando generalmente recursos: mano de obra, materiales y equipo.

OBRA PÚBLICA: Obra que ejecuta en forma directa o indirecta una entidad del Estado con la finalidad de servir al público.

P

PAVIMENTO: Estructura construida sobre la subrasante de la vía, para resistir y distribuir los esfuerzos originados por los vehículos y mejorar las condiciones de seguridad y comodidad para el tránsito. Por lo general está conformada por las siguientes capas: subbase, base y rodadura.



PAVIMENTO FLEXIBLE: Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivos.

PLASTÓMERO: aquellos materiales que pueden moldearse, modelarse o extruirse en formas útiles a temperaturas elevadas

PERMEABILIDAD: Capacidad de un material para permitir que un fluido lo atraviese sin alterar su estructura interna.

PESO ESPECÍFICO (productos asfálticos): Sólidos y semisólidos. Relación del peso de un volumen dado de material a 25°C y el peso de un volumen aquel de agua a la temperatura indicada.

POLÍMERO: Aditivo modificador del asfalto.

POROSIDAD: Propiedad de un cuerpo que se caracteriza por la presencia de vacíos en su estructura.

PROYECTO: Conjunto de documentos, Planos, Memoria descriptiva, Bases de licitación, Especificaciones generales, Especificaciones Especiales, Precios unitarios, Presupuestos, Cronograma de ejecución, Equipo mínimo, anexos, y otros a los que debe ajustarse la ejecución de una obra. El proyecto aprobado por la entidad licitante se convierte en el Expediente Técnico de Licitación. El proyecto debe incluir también los estudios y plan de Reasentamiento Involuntario y el Plan de Conservación Ambiental.

PUNTO DE ABLANDAMIENTO (anillo y bola): Temperatura de referencia a la cual los asfaltos tienen la misma viscosidad o penetración (aproximadamente 800 dmm); es decir, cuando se tornan fluidos debido a que son materiales viscoelásticos.

R

RECUPERACIÓN (elástica): Sirve para determinar el grado de elasticidad de los asfaltos modificados.

RED VIAL: Conjunto de carreteras que pertenecen a la misma clasificación funcional (Nacional, Departamental o Regional y Vecinal o Rural).

RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO: Propiedad de la superficie del pavimento, particularmente cuando esta mojado, para resistir el deslizamiento o resbalamiento de las ruedas de los vehículos.

RIEGO DE LIGA: Aplicación delgada y uniforme de material asfáltico sobre una superficie existente de asfalto o de concreto hidráulico, con la finalidad de asegurar la adherencia entre la capa de rodadura existente y la de cobertura.

ROCA: Material formado por diversos minerales unidos por fuerzas cohesivas permanentes.

S

SEDIMENTACIÓN: Proceso por el cual un material sólido se deposita en los cauces de los ríos, quebradas, alcantarillas, cunetas o canales, por efecto del transporte de corrientes de agua.

SEGREGACIÓN: Separación de los materiales por movimientos bruscos.

SOLUBILIDAD: Es una medida de la capacidad de una determinada sustancia para disolverse en otra.



SUELO ARCILLOSO: Conformado por arcillas o con predominancia de éstas. Por lo general, no es adecuado para el tránsito vehicular.

SUPERFICIE O CAPA DE RODADURA: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye acera.

T

TAMIZ: Aparato, en un laboratorio, usado para separar tamaños de material, y donde las aberturas son cuadradas.

TENSIÓN: Ensayo que se practica en barras y alambres de acero, determinando parámetros que hacen a la calidad del producto, como son: alargamiento, área y su reducción, carga máxima, carga final, etc.

TENSIÓN DE COMPRESIÓN: Esfuerzo normal que tiende a acortar el cuerpo en la dirección en la que actúa.

TRABAJABILIDAD: La facilidad con que las mezclas de pavimentación y de otras obras de infraestructura vial pueden ser colocadas y compactadas.

TRÁNSITO: Actividad de personas y vehículos que circulan por una vía

V

VÍA: Camino, arteria o calle.

VIDA ÚTIL: Lapso de tiempo previsto en la etapa de diseño de una obra vial, en el cual debe operar o prestar servicios en condiciones adecuadas bajo un programa de mantenimiento establecido.

VISCOSIDAD: Medida de la resistencia al flujo. Es un método usado para medir la consistencia del asfalto.

VISCOSIDAD ABSOLUTA: Método usado para medir viscosidad usando el poise como la unidad de medida. Este método hace uso de un vacío parcial para inducir flujo en el viscosímetro.

VISCOSIDAD CINEMÁTICA: Método usado para medir viscosidad, usando el STOKES como la unidad de medida.

VISCOSÍMETRO: Aparato (Tubo capilar) de vidrio adecuado para el ensayo a viscosidad capilar de vacío, cuando se requiere este ensayo.

VOLUMEN DE VACÍOS: Cantidad total de espacios vacíos en una mezcla compactada.

ANEXOS:

***ESPECIFICACIONES ASTM APLICABLES A LOS
COMPONENTES DE LA MEZCLA ASFALTICA EN CALIENTE.***



Designación: C 88-99

Método de Prueba Estándar para la Solidez de Agregados por Uso de Sulfato de Sodio o Sulfato de Magnesio.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 88; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación.

Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance.

1.1 Este método de ensayo se refiere a las pruebas de los agregados para estimar su solidez cuando se someta a la erosión o la acción concreta en otras aplicaciones. Esto se logra con la repetida inmersión en soluciones saturadas de sodio o de sulfato de magnesio seguido por el horno de secado parcial o totalmente a la deshidratación de la sal precipitada en espacios porosos permeables. La fuerza expansiva interna, derivada de la rehidratación de la sal a volver a la inmersión, simula la expansión del agua en la congelación. Este método de ensayo proporciona información útil para juzgar la solidez de los agregados de la información adecuada cuando no se dispone de servicio de los materiales expuestos a la intemperie de condiciones reales.

1.2 Los valores entre paréntesis se proporciona únicamente con fines informativos.

1.3 Esta norma no se pretende hacer frente a los problemas de seguridad asociados con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma para establecer prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM:

C 33 Especificación para Agregados de Concreto.²

C 136 Método de ensayo para el análisis de tamices de Agregados grueso y fino.²

C 670 Práctica para la Elaboración de precisión y declaraciones de Tendencia de Métodos de Prueba para Materiales de Construcción.²

C 702 Práctica para la Reducción de muestras de agregados a tamaño de ensayo.²

D 75 Prácticas para la toma de muestras de Agregados.³

D 3665 Práctica para el muestreo aleatorio de los materiales de construcción.³

E 11 Especificación para tejido de alambre y los tamices para los propósitos de prueba.⁵

E 100 Especificación para Hidrómetros ASTM E 323 Especificación para Placa perforada-Tamices con propósitos de prueba.⁴

3. Importancia y uso

3.1 Este método de ensayo proporciona un procedimiento para hacer una estimación preliminar de la solidez de los agregados para el uso de concreto y otros propósitos. Los valores obtenidos pueden compararse con las especificaciones, por ejemplo Especificación C 33, que están diseñados para indicar la adecuación del conjunto de propuestas para el uso. Dado que la precisión de este método de ensayo es pobre (Sección 12), que puede no ser adecuado para rechazo de áridos sin la confirmación de otras pruebas más estrechamente en relación a los servicios destinados.

3.2 Los valores para el porcentaje permitido por la pérdida de este método de ensayo son generalmente diferentes para los agregados fino y grueso, y la atención se llama a el hecho de que los resultados de las pruebas por el uso de las dos sales difieren considerablemente y el cuidado debe ejercerse en la fijación de los límites en las especificaciones que incluyen las necesidades de estas pruebas.

¹ Este método de ensayo se encuentra bajo la jurisdicción del Comité en ASTM C-9 en torno a los 4,1 Tamices-Con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños y concreto con agregado de arena es la responsabilidad directa del Subcomité C09.20 sobre Agregados de peso normal. Edición actual aprobado 10 de marzo de 1999. Publicado en junio de 1999. Originalmente publicado como C 88 - 31 T. Última edición anterior C 88 - 99.

² Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02

³ Libro Anual de Normas ATSM, Vol. 04-03.

⁴ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 14.02.

⁵ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 14.03.

La prueba suele ser más grave cuando se utiliza sulfato de magnesio y, en consecuencia, la pérdida de los límites permitidos por ciento de sulfato de magnesio, cuando se utiliza normalmente son superiores a los límites cuando se utiliza sulfato de sodio.

NOTA 1- Refiérase a las secciones correspondientes de especificación C 33 se establecen las condiciones para la aceptación de los agregados gruesos y finos que no cumplan los requisitos sobre la base de esta prueba.

4. Aparatos

4.1 Tamices-Con aberturas cuadradas de los siguientes tamaños conforme a especificaciones E 11 o E 323, para el tamizado de las muestras de conformidad con las secciones 6, 7 y 9:

150 µm (No. 100)	8.0 mm (5/16 in.) 9.5 mm (3/8 in.)
300 µm (No. 50)	12.5 mm (1/2 in.) 16.0 mm (5/8 in.)
600 µm (No. 30)	19.0 mm (3/4 in.) 25.0 mm (1 in.)
1.18 mm (No. 16)	31.5 mm (1 1/4 in.)
2.36 mm (No. 8)	37.5 mm (1 1/2 in.) 50 mm (2 in.)
4.00 mm (No. 5)	63 mm (2 1/2 in.) tamaños más grandes por
4.75 mm (No. 4)	12.5-mm (1/2-in.) extender

4.2 Contenedores- contenedores para las muestras de inmersión total en la solución, de conformidad con el procedimiento descrito en este método de prueba, será perforado de tal manera que permita el libre acceso de la solución de la muestra y el drenaje de la solución de la muestra sin pérdida de agregado.

NOTA 2- Cestas de malla de alambre adecuada o tamices con aberturas adecuadas son satisfactorios contenedores para las muestras.

4.3 Regulación de Temperatura, los medios adecuados para la regulación de la temperatura de las muestras durante la inmersión en el sulfato de sodio o solución de sulfato de magnesio se facilitará.

4.4 Depósitos-Para agregados finos, una balanza o escala de precisión, entre 0,1 g en el rango

requerido para esta prueba; para el agregado grueso, una balanza o precisión, entre la escala al 0,1% o de 1 g, lo que sea mayor, en el rango requerido para esta prueba.

4.5 Horno de secado -La estufa deberá ser capaz de ser calentado continuamente a $230 \pm 9^\circ \text{F}$ ($110 \pm 5^\circ \text{C}$) y la tasa de evaporación, en este rango de temperatura, deberá ser al menos 25 g/h para 4 horas, período durante el cual las puertas del horno se mantendrán cerradas. Esta tasa será determinada por la pérdida de agua de 1-L Grifo vasos bajos, cada uno de ellos inicialmente contiene 500 g de agua a una temperatura de $70 \pm 3^\circ \text{F}$ ($21 \pm 2^\circ \text{C}$), colocado en cada esquina y el centro de cada plataforma del horno La evaporación es requisito para aplicar a todos los lugares de ensayo cuando el horno está vacío a excepción de los vasos de agua.

4.6 Gravedad específica-Hidrómetros de medición se ajusten a los requisitos de la especificación E 100, o una combinación adecuada de vidrio graduado, y el equilibrio, capaz de medir la solución dentro de la gravedad específica $\pm 0,001$.

5. Soluciones especiales requeridos

5.1 Preparar soluciones necesarias para la solución de inmersión de muestras de ensayo, ya sea de sodio o de sulfato de magnesio, de conformidad con 5.1.1 o 5.1.2 (Nota 3). El volumen de la solución será de al menos cinco veces el volumen de sólidos de todas las muestras inmerso en un momento dado.

NOTA 3 Algunos agregados que contienen carbonatos de calcio o magnesio son atacadas químicamente por la solución de sulfato de nuevo, lo que, erróneamente, mide altas pérdidas. Si esta condición se encuentra o se sospecha, repetir la prueba utilizando una solución de filtrado que se ha utilizado anteriormente para poner a prueba el mismo tipo de carbonato de la roca, siempre que la solución satisfaga los requisitos de 5.1.1 y 5.1.2 de gravedad específica.

5.1.1 Solución de sulfato de sodio-Preparar una solución saturada de sulfato de sodio por la disolución de la USP un grado igual o de la sal en el agua a una temperatura de 77 a 86°F (25 a 30°C).

Añadir sal (Nota 4), de cualquiera de los anhidro (Na_2SO_4) o el cristalino ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) forma⁶ para garantizar no sólo la saturación sino también la presencia de un exceso de cristales cuando la solución está lista para su uso en los ensayos. Agitar la mezcla a fondo durante la adición de la sal y revuelva la solución a intervalos frecuentes hasta su uso. Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, conservar la solución de cubiertas en todo momento cuando el acceso no es necesario. Dejar que la solución enfriar a 70 ± 2 ° F (21 ± 1 ° C).

Una vez más, agitar y dejar que la solución para permanecer en el lugar designado para temperatura de por lo menos 48 horas antes de su uso. Antes de cada uso, romper la torta de sal, en su caso, en el envase, agitar la solución a fondo, y determinar la gravedad específica de la solución. Cuando se utiliza, la solución deberá tener un peso específico no inferior a 1.151 ni superior a 1.174. Descartar una solución descoloridos, o filtrar y para comprobar la gravedad específica.

NOTA 4-Para la solución, 215 g de sal anhidra o 700 g de la decahidrato por litro de agua son suficientes para la saturación a $71,6$ ° F (22 ° C). Sin embargo, puesto que estas sales no son completamente estables y ya que es deseable que un exceso de cristales de estar presente, la utilización de no menos de 350 g de sal anhidra o 750 g de la decahidrato sal por litro de agua es recomendado.

5.1.2 Solución de sulfato de magnesio-Preparar una solución saturada de sulfato de magnesio en una disolución de la USP o igual grado de la sal en el agua a una temperatura de 77 a 86 ° F (25 a 30 ° C). Añadir sal (Nota 5), bien de la anhidro (MgSO_4) o el cristalino ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) (sal de Epsom) forma, para garantizar la saturación y el exceso de la presencia de cristales cuando la solución está lista para su uso en los ensayos.

⁶ La experiencia con el método de ensayo indica que una calificación de sulfato de sodio designado por el comercio, en polvo, que pueden considerarse como unos anhidro, es el más práctico para su uso. Grado que es más económico que dispone de la forma anhidra. El sulfato de sodio decahidrato presenta dificultades en la composición de la solución necesaria en razón de su efecto de enfriamiento sobre la solución.

Para reducir la evaporación y evitar la contaminación, conservar la solución de cubiertas en todo momento cuando el acceso no es necesario. Dejar que la solución enfriar a 70 ± 2 ° F (21 ± 1 ° C). Una vez más, agitar y dejar que la solución para permanecer en el lugar designado para la temperatura de por lo menos 48 horas antes de su uso. Antes de cada uso, romper la pasta de sal, en su caso, en el envase, agitar la solución a fondo, y determinar la gravedad específica de la solución. Cuando se utiliza, la solución deberá tener un peso específico no inferior a 1.295 ni superior a 1.308. Descartar una solución descolorida, o filtrar para comprobar la gravedad específica.

NOTA 5-Para la solución, 350 g de sal anhidra o 1230 g de la heptahidrato por litro de agua son suficientes para la saturación a $73,4$ ° F (23 ° C). Sin embargo, puesto que estas sales no son completamente estable, con la sal hidratada es la más estable de los dos, y ya que es conveniente que un exceso de cristales este presente, se recomienda que se utilice la sal heptahidratado y en una cantidad no menos de 1400 g/litro de agua.

5.1.3 Solución de cloruro de bario-Preparar 100 ml de 5% de solución de cloruro de bario disolviendo 5 g de BaCl_2 en 100 ml de agua destilada

6. Muestras

6.1 La muestra se obtendrá en general de conformidad con la práctica D 75 y la reducción de tamaño de la porción de ensayo de conformidad con la Práctica C 702.

6.2 *Agregado Fino* - El agregado fino para la prueba será el que pasa a través de 9,5-mm (3/8-in.) tamiz. La muestra deberá tener un tamaño que va a producir no menos de 100 g de cada uno de los siguientes tamaños, que estará disponible en cantidades de 5% o más, expresado en términos de los siguientes tamices:

Pasando Tamiz	Retenidas en el Tamiz
600 µm (No. 30)	300 µm (No. 50)
1.18 mm (No. 16)	600 µm (No. 30)
2.36 mm (No. 8)	1.18 mm (No. 16)
4.75 mm (No. 4)	2.36 mm (No. 8)
9.5 mm (3/8 in.)	4.75 mm (No. 4)

6.3 *Agregado Grueso* - Agregado grueso para el ensayo consistirá en material con el que los tamaños más finos que el tamiz N°4 se han eliminado. La muestra será de un tamaño tal que va a producir las siguientes cantidades de las que se indica, los tamaños están disponibles en cantidades de 5% o más.

Tamaño (Cuadrado-Tamices de apertura)	Masa, en g
9.5mm (3/8 in.) a 4.75mm (No. 4)	300 ± 5
19.0 mm (3/4 in.) a 9.5 mm (3/8 in.) Consta de: 12.5mm (1/2 -in.) a 9.5mm (3/8-in.) material 19.0mm (3/4 -in.) a 12.5mm (1/2 -in.) material	1000 ± 10 330 ± 5 670 ± 10
37.5-mm (1 1/2 -in.) a 19.0-mm (3/4 in.) Consta de: 25.0mm (1-in.) a 19.0-mm (3/4 -in.) material 37.5mm (1 1/2 -in.) a 25.0-mm (1-in.) material	1500 ± 50 500 ± 30 1000 ± 50
63-mm (2 1/2 in.) a 37.5-mm (1 1/2 in.) Consta de: 50mm (2 in.) a 37.5mm (1 1/2 -in.) material 63mm (2 1/2 -in.) a 50mm (2-in.) material	5000 ± 300 2000 ± 200 3000 ± 300
Tamaños más grandes en 25 mm (1 -in.) extensión en tamaño de tamiz, cada fracción	7000 ± 1000

6.4 Cuando un agregado para el ensayo contiene cantidades apreciables de material grueso y fino, con una clasificación con más de 10% mas grueso que el peso de 9.5-mm (3/8-in.) de tamiz y, también, más del 10% mas fino que el peso de 4.75 mm (No.4) de tamiz, prueba de muestras por separado de la fracción No.4 menos y la fracción No.4, más de conformidad con los procedimientos para el agregado fino y agregado grueso, respectivamente.

7. Preparación de la muestra de Prueba.

7-1 *Agregado Fino* - Lave bien la muestra de agregado fino en una 300 µm tamiz (N°. 50), secar hasta peso constante en 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C), y por separado en las diferentes tamaños mediante tamizado, de la siguiente manera: Haga una áspera separación de la muestra clasificados por medio de un nido de tamices de la norma, se especifica en 6.2. De las fracciones obtenidas de esta manera, seleccionar las muestras de tamaño suficiente para producir 100g después de la denegación de tamizado. (En general, un 110-g de muestra será suficiente). No utilice agregado fino pegando en las mallas de los tamices en la preparación de las muestras. Pesar muestras consistentes en 100 ± 0,1 g de cada una de las fracciones separadas desde el final de tamizado y el lugar en contenedores separados para la prueba.

7.2 *Agregado grueso-lavar y secar* completamente la muestra de agregado grueso hasta peso constante en 230 ± 9 °F (110 ± 5 °C) y por separado en los diferentes tamaños de muestra en 6,3 por tamizado a la denegación. Pesar las cantidades de los diferentes tamaños dentro de las tolerancias de 6,3 y, si la porción de muestra se compone de dos tamaños, combinan al designado peso total. Registre los pesos de las muestras de ensayo y sus componentes de fracciones. En el caso de los tamaños superiores a 19,0 mm (3/4 in.), Registrar el número de partículas en las muestras de ensayo.

8. Procedimiento

8.1 *Almacenamiento de muestras en la solución.* Sumergir las muestras preparadas en la solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio por no menos de 16 horas ni más de 18 h de tal manera que la solución que cubre a una profundidad de al menos 1/2 pulg (Nota 6). Cubra los recipientes para reducir la evaporación y evitar la adición accidental de sustancias extrañas. Mantener las muestras sumergido en la solución a una temperatura de 70 ± 2 ° F (21 ± 1 ° C) durante el período de inmersión.

NOTA 6 - Debidamente ponderada mallas de alambre se coloca sobre la muestra en los contenedores permitirá a esta cobertura a alcanzar agregados muy ligero.

8.2 Después de las muestras de secado de inmersión - Después de la inmersión de período, extraiga la muestra de agregado de la solución, permitir fuga de 15 ± 5 min, en el lugar de horno de secado. Secar la muestra a la temperatura especificada hasta peso constante que se ha logrado. Establecer el tiempo necesario para alcanzar un peso constante de la siguiente manera: con el horno que contiene la carga máxima de la muestra esperada, la comprobación del peso de las pérdidas por la eliminación de las muestras de ensayo y de un peso, sin refrigeración, en intervalos de 2 a 4 horas; hacer lo suficiente para establecer los controles necesarios para el tiempo de secado menos favorable de ubicación del horno (ver 4.5) y muestra la condición (Nota 7). Peso constante se considerará que se han logrado cuando la pérdida de peso es inferior al 0,1% del peso de la muestra en 4 horas de secado.

Después de que se ha logrado un peso constante, permitir enfriar las muestras a temperatura ambiente, cuando de nuevo se sumergiera en la solución preparada como se describe en el punto 8.1

NOTA 7- Tiempo de secado requerido para alcanzar un peso constante puede variar considerablemente por varias razones. Eficiencia de secado se reducirá en los ciclos de acumulación de sal, porque se adhieren a las partículas y, en algunos casos, a causa de aumento de la superficie debido a la avería. Las diferentes fracciones del tamaño de agregado, se tienen diferentes tipos de secado. Los tamaños más pequeños tienden a secarse con mayor lentitud debido a su mayor superficie y huecos entre partículas restringido, pero esta tendencia puede ser alterada por efectos del tamaño del contenedor y la forma.

8.3 Número de ciclos-Repita el proceso de los suplentes de inmersión y secado, hasta que se obtiene el número requerido de ciclos.

8.4 Tras la terminación del último ciclo y después de que la muestra se haya enfriado, lavar la muestra libre de sulfato de sodio o el sulfato de magnesio, determinado por la reacción del agua de lavado con cloruro de bario (BaCl₂). Lavado por el agua circulante en 110 ± 10 ° F (43 ± ° C) a través de las muestras en sus contenedores. Esto se puede hacer por su inclusión en un tanque en el que el agua caliente se puede introducir en la parte inferior y permite desbordamiento. En la operación de lavado, las muestras no serán sometidas a la abrasión o impacto que puede tender a romper las partículas.

NOTA 8- El agua del grifo contiene sulfatos cuando se usa para el lavado de agua de niebla durante la prueba con la solución de cloruro de bario. La turbidez de una solución de agua y la el mismo grado de nubosidad, puede suponerse que esta libre de sulfatos en la prueba.

9. Examen Cuantitativo

9.1 examen cuantitativo de la siguiente manera:

9.1.1 Después de que el sulfato de sodio o sulfato de magnesio se ha eliminado, en seco cada fracción de la muestra hasta peso constante en 230 ± 9 ° F (110 ± 5 ° C). Tamice el agregado fino sobre el mismo tamiz sobre el cual fue conservado antes de la prueba, y el tamiz de agregado grueso

sobre el tamiz mostrado debajo para el tamaño apropiado de partícula. Para el agregado fino, el método y la duración de tamizar serán los mismos como fue usado en la preparación de las muestras de prueba.

Para el agregado grueso, el tamizado será a mano, sólo con la agitación suficiente para asegurar que todos los materiales pasa debajo de la designada. Sin manipulación se emplea para romper las partículas o hacer pasar a los tamices. Pesar las fracciones retenidas en cada tamiz y registrar cada uno de los importes. La diferencia entre cada uno de estos importes y el peso inicial de la fracción de la muestra analizada es la pérdida de la prueba y se expresa como un porcentaje del peso inicial para el uso en la Tabla 1.

Tamaño de agregados	Tamiz utilizado para determinar la pérdida
63 mm (2½ in.) a 37.5 mm (1½ in.)	31.5 mm (1¼ in.)
37.5 mm (1½ in.) a 19.0 mm (¾ in.)	16.0 mm (5/8 in.)
19 mm (¾ in.) a 9.5 mm (⅜ in.)	8.0 mm (5/16 in.)
9.5 mm (⅜ in.) a 4.75 mm (No. 4)	4.0 mm (No. 5)

10. Examen Cualitativo

10.1 Hacer un examen cualitativo de las muestras más gruesas que 19.0 mm (¾ in) de la siguiente manera (Nota 9):

10.1.1 Separar las partículas de cada muestra en grupos de acuerdo a la acción producida por la prueba (Nota 9).

10.1.2 Anotar el número de partículas que muestra cada tipo de riesgo.

NOTA 9- Muchos tipos de acción se pueden esperar. En general, pueden ser clasificados como, partidas, desmenuzadas, desmoronamiento, agrietadas, descascarada, etc con el fin de determinar si existe alguna evidencia de la excesiva división.

11. Informe -

11.1 Informe los siguientes datos (Nota 10):

11.1.1 Peso de cada fracción de cada muestra antes del ensayo,

11.1.2 Material de cada fracción de la muestra más fina que el tamiz designado en el punto. 9.1.1 después de la prueba de cribado, expresar como un porcentaje del peso original de la fracción,

11.13 Medio ponderado calculado de conformidad con el método de prueba C 136 del porcentaje de pérdida de cada fracción, sobre la base de la clasificación de la muestra, tal como se recibió para el examen o preferentemente, en la media de la clasificación del material de la parte de la oferta de que la muestra sea representativa salvo que:

11.1.3.1 Para los agregados finos (con menos de un 10% más grueso que el 9,5-mm (3/8-in.) Tamiz), asumir los tamaños más finos que el de 300µm (No.50) a tamiz tiene 0% de pérdida y tamaños más tosca que la 9,5-mm (3/8 -in.) tamiz de tener la misma pérdida que el siguiente de menor tamaño para los que se dispone de datos.

11.1.3.2 Para agregado grueso (con menos de un 10% más fina que la 4,75-mm (No. 4) de tamiz), asumir los tamaños más finos que los 4.75 mm (No. 4) tamiz de tener la misma pérdida que el siguiente de mayor tamaño para los que se dispone de datos.

11.1.3.3 De un agregado que contengan cantidades apreciables de fino y el material grueso, a prueba en dos muestras separadas como se requiere en el punto 6.4, calcular la media ponderada de las pérdidas de por separado para la No.4 menos y fracciones No.4, más basado en

clasificaciones de recalculado teniendo en cuenta la fracción fina como el 100% y la fracción gruesa como el 100%.

Informe de los resultados por separado que el porcentaje de menos No.4 y No.4, más material en la clasificación inicial.

11.1.3.4 Para el cálculo de la media ponderada, considere la posibilidad de cualquier tamaño en 6.2 ó 6.3 que contienen menos del 5% de la muestra que tienen la misma pérdida como la media de los más pequeños el próximo y el siguiente tamaño mayor, o si uno de estos tamaños es ausente, a tener la misma pérdida más grande que el siguiente o el siguiente tamaño menor, el que está presente.

11.1.4 Informe de la pérdida porcentual ponderado al número entero más cercano,

11.1.5 En el caso de las partículas más gruesas que 19.0 mm (3/4 in) antes de la prueba: (1) El número de partículas en cada fracción antes de la prueba, y (2) el número de partículas afectadas, clasificadas como número de desintegración, división, desmoronamiento, grietas, descamación, etc, como se muestra en el cuadro 2, y

11.1.6 tipo de solución (de sodio o sulfato de magnesio) y si la solución recién preparada o utilizadas anteriormente.

Tabla 1 Formulario sugerido para el registro de datos de prueba (Prueba con valores ilustrativo).

Tamaño del Tamiz	Clasificación original de la muestra, %	Peso de las fracciones de ensayo antes del ensayo, en g	Porcentaje que pasa el Tamiz designada después de la prueba	Pérdida de Porcentaje Ponderada
Prueba de Solidez de Agregado Fino				
Menos 150 µm (No. 100)	6	---	---	---
300µm (No.50) a No. 100	11	---	---	---
600µm (No.30) a No. 50	26	100	4.2	1.1
1.18mm (No.16) a No. 30	25	100	4.8	1.2
2.36mm (No.8) a No. 16	17	100	8.0	1.4
4.75mm (No.4) a No. 8	11	100	11.2	1.2
9.5mm (3/8 in.) a No. 4	4	---	11.2 ^A	0.4
Totales	100	---	----	5.0
Prueba Solidez de Agregado Grueso				
63mm (2½ in.) a 50mm (2 in.) 2825g				
50mm (2 in.) to 37.5mm (1½ in.) 1958g} 2½ a 1½ 37.5mm (1½ in.) a 25.0mm (1 in.) 1012g	20	4783	4.8	1.0
25mm (1 in.) a 19.0mm (¾ in.) 513g} 1½ a ¾in 19.0mm (¾ in.) a 12.5 mm (½ in.) 675g	45	1525	8.0	3.6
12.5mm (in.) a 9.5mm (in.) 333g} ¾ a 3/8 in 9.5mm (3/8 in.) a 4.75mm (No. 4) 298g	23 12	1008 298	9.6 11.2	2.2 1.3
Totales	100	---	---	8

^A La pérdida de porcentaje (11.2 %) del siguiente más pequeño tamaño es usada como la pérdida de porcentaje para este tamaño, ya que este tamaño contiene menos del 5 % de la muestra original como recibido. Mirar 11.1.3.4.

Examen Cualitativo de Tamaños Gruesos									
Exponer las partículas de agotamiento									
Tamaño del tamiz	División		Desmoronando		Agrietamiento		Descamación		Número total de partículas antes de los ensayo
	No	%	No	%	No	%	No	%	
63mm (2½ in.) a 37.5mm (1½ in.)	2	7	--	--	2	7	--	--	29
37.5 mm (1½ in.) a 19.0 mm (¾ in.)	5	10	1	2	4	8	--	--	50

NOTA 10-Tabla 1, Muestra de prueba con valores insertados para fines ilustrativos, se sugiere un formulario para el registro de datos de prueba. Los valores de prueba, pueden ser apropiados para bien de sal, dependiendo de la calidad de los agregados.

12. Precisión

12.1 Precisión - Para agregado grueso con sulfato ponderado medio las pérdidas en la solidez están en rangos de 6 a 16% y para el sodio de 9 a 20% para magnesio, la precisión de los índices son los siguientes:

	Coficiente de Variación (1S%),%*	Diferencia entre dos pruebas (D2S%),% de promedio*
Multilaboratorio:		
Sulfato de sodio	41	116
Sulfato de Magnesio	25	71
Operador solo:		
Sulfato de sodio	24	68
Sulfato de Magnesio	11	31

*Estas cifras representan, respectivamente, el (1S%) y (D2S%) los límites que se describen en la Práctica C 670.

12.2 Tendencia

Dado que no existe material de referencia aceptado para determinar la tendencia de este procedimiento, ninguna declaración sobre la tendencia se está realizando.



Designación: C 117-03

Método Estándar de Prueba para Materiales Más Finos de 75 μm (No 200) de Tamiz en Agregados Minerales por Lavado.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 117; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (C) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de la cantidad de material más fino que un 75- μm (No. 200) tamiz en agregado por lavado. Las partículas de arcilla y otras partículas de agregado que son dispersadas por el agua de lavado, así como los materiales solubles en agua, serán removidos del agregado durante la prueba.

1.2 Dos procedimientos se incluyen, usando solamente agua para la operación de lavado, y el otro incluyendo como un agente humectante para ayudar el aflojamiento de los materiales más finos que 75 μm (No. 200) de tamiz desde el material más grueso. A menos que se especifique lo contrario, Procedimiento A (sólo agua) se utilizará.

1.3 Los valores indicados en unidades SI son ser considerados como el estándar.

1.4 Esta estándar no proporciona abordar todos los problemas de preocupaciones, en su caso, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer apropiadas prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 136 Método de Prueba para Análisis del Tamiz de Agregados Finos y Gruesos.²

C 670 Prácticas para la Preparación de Declaraciones de Precisión y Tendencia para los Métodos de Ensayo de Materiales de Construcción.²

C 702 Prácticas para la Reducción de Muestras de Campo de Agregados a Tamaños de Pruebas.²

¹ Este método de la prueba está bajo comité C-9 de ASTM de la jurisdicción sobre el hormigón y los agregados concretos y están la responsabilidad directa del subcomité C09.20 preñado Agregados normales del peso. Edición actual 15 de marzo de 1995 aprobado. Mayo de 1995 publicado. Publicado originalmente como C 117 - 35 T. Edición anterior pasada C 117 - 90

² Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04,02.

D 75 Prácticas para Muestreo de agregados.³

E 11 Especificación para Alambre de Tela y Tamices para Propósitos de Prueba.⁴

2.2 Estándar de AASHTO:

T11 Método de ensayo para la cantidad de material más fino que el tamiz 0.075 mm en agregados.⁵

3. Resumen del método de la prueba

3.1 Una muestra de agregado es lavada en la forma prescrita, utilizando agua cualquiera corriente o agua que contiene un agente humectante, según lo especificado. El decantado, el agua de lavado, que contiene en suspensión y materia disuelta, se pasa por un 75 μm (No. 200) de tamiz. La pérdida de masa resultante del tratamiento de lavado es calculado en masa por ciento de de muestra original y se reporta como el porcentaje de material más fino que un 75- μm (No. 200) tamiz por lavado.

4. Significación y Uso

4.1 Material más fino que el de 75 μm (No.200) de tamiz puede ser separada de partículas más grandes, mucho más eficiente y completamente por tamizado húmedo que a través de la utilización de tamizado en seco. Por lo tanto, cuando la determinación precisa de materiales más finos de 75 micras fino u ordinario agregado se desea, este método de ensayo se utiliza en la muestra antes del tamizado en seco de acuerdo con el Método de Prueba C 136. Los resultados de este método de ensayo se incluyen en el cálculo en el Método de Prueba C 136 y el importe total de los materiales más finos de 75 m por lavamiento, más de obtenida por tamizado en seco con la misma muestra, es reportado con los resultados del Método de Prueba C 136.

³ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04,03.

⁴ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 14,02.

⁵ Disponible de la asociación americana de los funcionarios de la carretera estatal y del transporte, St. de 444 N. Capitol, nanovatio, habitación 225, Washington, dc 20001

Usualmente, la cantidad adicional de material más fino de 75 μm obtenidas en el proceso de tamizado en seco es una pequeña cantidad. Si ello es grande, la eficiencia de la operación de lavado debe estar marcada. También podría ser un indicio de la degradación de los agregados.

4.2 La llanura de agua es adecuada para separar los materiales más finos que el 75 μm desde materiales más gruesos con la mayoría de agregados. En algunos casos, el material más fino se ha adherido a las partículas más grandes, como algunos recubrimientos de arcilla y revestimientos en los agregados que han sido extraídos de las mezclas bituminosas. En estos casos, el material fino se separa más fácilmente con un agente humectante en el agua.

5. Aparato y Materiales

5.1 Balanza - Una balanza o la escala de legible y una precisión de 0,1 g% o el 0,1 de la carga de prueba, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.

5.2 Tamices - Un nido de dos tamices, en la parte inferior que 75 μm -(No. 200) de tamiz y superior un 1.18 mm (No. 16) de tamiz, tanto conforme a los requisitos de la especificación E 11.

5.3 Contenedor-Una cacerola o recipiente de un tamaño suficiente para contener la muestra cubierta de agua y para permitir la agitación vigorosa, sin pérdida de cualquier parte de la muestra o el agua.

5.4 Horno-Un horno de tamaño suficiente, capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

5.5 Agente humectante - Cualquier agente de dispersión, como detergentes líquidos para vajilla que va a promover la separación de materiales finos.

NOTA 1 - El uso de un aparato mecánico para realizar la operación de lavado no puede excluirse, siempre que los resultados sean consistentes con los obtenidos por las operaciones manuales. El uso de algunos equipos de lavado mecánico con algunas muestras puede causar la degradación de la muestra.

6. Muestreo

6.1 Muestree el agregado conformidad con la práctica D 75. Si en la misma muestra de prueba debe ser ensayado para el análisis de tamiz según

con el Método de Prueba C 136 de cumplir con los requisitos aplicables de este método de ensayo.

6.2 A fondo mezcle la muestra de agregados a ser ensayados, y reducir la cantidad de una cantidad adecuada para las pruebas utilizando los métodos aplicables descritos en la Práctica C 702. Si la misma muestra de ensayo debe someterse a ensayo de acuerdo con el método de prueba C 136, el peso mínimo será el que se describe en las secciones aplicables en el método. De lo contrario, la masa de la muestra de prueba, una vez seco, el que se ajustara a lo siguiente:

Tamaño máximo nominal.	Masa mínima, g
4.75 mm (No. 4) o más pequeño	300
9.5 mm (3/8 in.)	1000
19.0 mm (3/4 in.)	2500
37.5 mm (1 1/2 in.) o más grande	5000

Si el tamaño nominal máximo de agregado para ser ensayado no es enumerado anterior, el siguiente tamaño más grande enumerado será usado determinar el tamaño de la muestra.

7. Selección de procedimiento

7.1 El procedimiento A se utilizara, a menos que se especifique lo contrario por la especificación con la que los resultados de prueba deben ser comparados, o cuando se dirige por el organismo para el cual será realizado el trabajo.

8. Procedimiento A - Lavado con agua simple.

8.1 Secar la muestra de prueba a una masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Determine la masa a la más cercana de 0,1% de la masa de la muestra de prueba.

8.2 Si la especificación aplicable exige que la cantidad de pasar el 75- μm (No. 200) de tamiz se determinará sobre una parte de la muestra pasando un tamiz más pequeño que el tamaño máximo nominal de los agregado, separar la muestra en un tamiz señalado y determinar la masa del material que pasa el tamiz designado al 0,1% de la masa de esta parte de la muestra. Utilice esta masa como la masa seca original de la muestra de prueba, en 10.1.

NOTA 2 - Algunas especificaciones de los agregados con un tamaño máximo nominal de 50 mm o superior, por ejemplo, proporcionan un límite para el material que pasa de tamiz 75 μm (No. 200) determinarán sobre esa parte de la muestra de pasar el tamiz de 25.0mm.

Tales procedimientos son necesarios, desde que es práctico para lavar muestras del tamaño requerido, cuando la misma muestra problema se va a utilizar para análisis granulométrico por el Método de Prueba C 136.

8.3 Después del secado y determinar la masa, el lugar de la prueba de muestras en el recipiente y agregar suficiente agua para cubrirlo. No hay detergente, agente de dispersión, u otra sustancia, se va agregar en el agua. Agite la muestra con vigor suficiente para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que el 75µm (No. 200) tamiz de las partículas más gruesas, y para traer el material fino en suspensión. Inmediatamente vierta el agua de lavado que contiene la suspensión y los sólidos disueltos por encima de los tamices anidados, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior. Tener cuidado de evitar, en la medida de lo posible, la decantación de partículas más gruesas de la muestra.

8.4 Añadir una segunda carga de agua a la muestra en el envase, agitar, y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado es clara.

NOTA 3 - Si el equipo de lavado mecánico es usado, el cobrar del agua, agitando, y la decantación puede ser una operación continua.

8.5 Regrese todo el material anidados en el tamiz retenido por enrojecimiento a la muestra lavada. Secar el agregado lavado a una masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9°F) y determinar la masa a la más cercana de 0,1% de la masa original de muestra.

NOTA 4 - Después de lavado de la muestra y enrojecimiento de cualquier material retenido en el 75-µm (No. 200) de tamiz de nuevo en el contenedor, el agua no debe ser decantada del contenedor excepto a través del tamiz de 75-micras, para evitar la pérdida de material. El exceso de agua desde el enrojecimiento debe ser evaporado de la muestra en el proceso de secado.

9. Procedimiento B - Lavado Usando un Agente Humectante.

9.1 Preparar la muestra en la misma manera que para el Procedimiento A.

9.2 Después del secado y determinada la masa, coloque la muestra de prueba en el contenedor. Añadir agua suficiente para cubrir la muestra, y agregar agente humectante para el agua (Nota 5). Agitar la muestra con vigor suficiente para dar lugar a la separación completa de todas las partículas más finas que el 75-µm (No. 200) tamiz de las partículas más gruesas, y para traer el material fino en suspensión. Inmediatamente vierta el agua de lavado que contiene la suspensión y disolución sólidos encima de los tamices anidados, organizado con el tamiz más grueso en la parte superior. Tenga cuidado para evitar, en la medida de lo posible, la decantación de las partículas más gruesas de la muestra.

NOTA 5 - No debería ser suficiente agente humectante para producir una pequeña cantidad de espuma cuando la muestra es agitada. La cantidad depende de la dureza del agua y la calidad de los detergentes. Espuma excesiva puede desbordamiento de los tamices y llevar algún material con ellos.

9.3 Añadir una segunda carga de agua (sin agente humectante) para la muestra en el envase, agitar y decantar como antes. Repetir esta operación hasta que el agua de lavado es clara.

9.4 Completar la prueba como para el Procedimiento A.

10. Cálculo

10.1 Calcular la cantidad de material que pasa 75µm (No. 200) de tamiz lavándose como sigue:

$$A = [(B-C)/B] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

A = porcentaje de material más fino que un 75µm (No. 200) por el tamiz de lavado,

B = masa seca original de la muestra, g, y

C = masa seca de la muestra después del lavado, g.

11. Informe.

11.1 Reporte la información siguiente:

11.1.1 Informe el porcentaje de material más fino que el 75 µm (No. 200) tamiz por el lavado más cercano de 0,1%, reporte del porcentaje al número entero más próximo.

11.1.2 Incluya una declaración a la que se utilizó el procedimiento.

12. Precisión y Tendencia.

12.1 Precisión - Las estimaciones de precisión de este método de ensayo se listan en la tabla 1 se basado en los resultados desde AASHTO Laboratorio de Referencia de Materiales de Capacidad de Programa de Muestra, con los ensayos realizados por este método de ensayo y AASHTO Método T 11. Las diferencias significativas entre los métodos en el tiempo cuando los datos fueron adquiridos en Método T 11 es que requirió, mientras que el método de prueba C 117 de prohibido, el uso del agente humectante. Los datos se basan en el análisis de más de 100 resultados de la prueba pares 40 a 100 laboratorios.

12.1.1 Los valores de precisión para el agregado fino en la Tabla 1 se basan en 500 g nominal de muestras de prueba. La revisión de este método de ensayo en 1994, permite el agregado fino de la muestra a tamaño de prueba a ser 300g mínimo. El análisis de pruebas de resultados de 300g y 500g de muestras de prueba desde Pruebas de

Capacidad de Agregado de Muestra 99 y 100 (99 y 100 eran esencialmente idénticas) produjo los valores de precisión en la Tabla 2, que indica muy ligeras diferencias debido a la prueba de tamaño de la muestra.

NOTA 6 - Los valores de agregado fino en Tabla 1 se revisarán para reflejar el 300-g de prueba de muestra de tamaño cuando un número suficiente de agregado de capacidad de pruebas será realizado utilizando ese tamaño de la muestra para proporcionar datos fiables

12.2 Tendencia

Dado que no hay ningún material de referencia aceptado conveniente para determinar la tendencia para el procedimiento en este método de prueba, ninguna declaración en la tendencia es hecha.

13. Palabras claves

13.1 Agregado; agregado grueso; agregado fino; clasificación; pérdida por lavado; tamiz de 75 μm (No. 200); análisis de tamaño.

Tabla 1 - Precisión

	Desviación estándar (1s) ^A , %	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A , %
Agregado grueso. ^B		
Precisión Solo de operador	0.10	0.28
Precisión de Multilaboratorio	0.22	0.62
Agregado fino ^C		
Precisión Solo de operador	0.15	0.43
Precisión de Multilaboratorio	0.29	0.82

^A Estos números representan la (1s) y (d2s) limita tal como se describe en la Práctica C 670.

^B Estimaciones de precisión se basa en los agregados teniendo un tamaño máximo nominal de 19,0 mm (¾ in) con menos del 1,5% más fino que 75 μm (No. 200) de tamiz.

^C Estimaciones de precisión se basa en agregados finos teniendo 1,0 a 3,0% más finos que 75 μm (No. 200) tamiz.

Tabla 2 - Precisión de datos para 300g y 500g de prueba de muestras.

Muestra de Capacidad de Agregado Fino				Dentro de laboratorio		Entre el laboratorio	
Resultado de la Prueba	Muestra	No de laboratorios	Promedio	1s	d2s	1s	d2s
AASHTO T11/ASTM C117	500 g	270	1.23	0.08	0.24	0.23	0.66
Total del material que pasa el tamiz N ° 200 por lavado (%)	300 g	264	1.20	0.10	0.29	0.24	0.68



Designación: C 123-03

Método de Prueba Estándar para Partículas de Peso Ligero en Agregado.¹

Este estándar es publicado bajo la designación fija C 123; el número inmediatamente después de designación indica el año de la adopción original o, en caso de la revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última nueva aprobación. Una superescritura epsilon (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o nueva aprobación.

1. Alcance

1.1 Este método de prueba cubre la determinación del porcentaje de partículas de peso ligero en el agregado por medio de la separación de flotador del fregadero en un líquido pesado adecuado de gravedad específica.

1.2 Los valores dados en unidades SI deben ser considerados como estándar. Los valores dados en paréntesis son solo para información.

1.3 Este estándar no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si hay alguno asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer apropiadas prácticas de seguridad y salud así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso. Para obtener una declaración de riesgo específicas, ver 6.1.4.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C33 Especificación para Agregados de Concretos²
C 125 Terminología Relacionada de Concreto y Agregados de Concretos.²

C 127 Método de Prueba para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción de Agregado Grueso.²

C 128 Método de Prueba para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción de Agregado Fino.²

C 702 Prácticas para la Reducción de muestras de campo de agregado a tamaño de prueba.²

C 1005 Especificación de Referencia de las masas y de los dispositivos para determinar la masa y volumen para uso en la prueba física de Cementos hidráulicos.³

¹ Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité ASTM C09 en Concreto y Agregados Concretos y es la responsabilidad directa del Subcomité C09.20 en Agregados de Peso Normales. La edición corriente se aprobó el 10 de agosto de 2003. Octubre de 2003 publicado. Al principio aprobado en 1936. Última edición anterior aprobada en 1998 como C 123 - 98.

² Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.02

³ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.01.

D 75 Prácticas para la toma de muestras de agregados.⁴

D 3665 Prácticas para el muestreo aleatorio de Materiales de Construcción.⁴

E 11 Especificación para alambre de tela y tamices para propósitos de prueba.⁵

E100 Especificaciones para los Indicadores de humedad ASTM.⁶

3. Terminología

3.1 Para las definiciones de términos utilizados en este método de ensayo, se refieren a la terminología C 125.

4. Significado y Uso

4.1 Este método se utiliza para determinar en conformidad con disposiciones de especificación C 33 correspondiente a la cantidad de material de peso ligero en los agregados finos y gruesos. Un líquido pesado con una gravedad específica de 2,0 se utiliza para separar las partículas clasificadas la cual pueden ser en carbón o lignito. Los líquidos más pesados que se usan para comprobar los porcentajes de otras partículas de peso ligero, tal como cuarzo y pizarra teniendo una gravedad específica menor que 2,40.

4.2 El método de prueba es útil en la identificación de partículas de agregado porosas en investigación de actividades o análisis petrográfico.

5. Aparato

5.1 Balanza - Para determinar la masa de agregados finos, una balanza teniendo una capacidad no menor que 500 g, sensible a por lo menos 0,1 g; para determinar la masa del agregado grueso, teniendo una balanza de una capacidad no menor que 5000 g, sensible a por lo mínimo de 1 g. Tanto una balanza tendrá que

⁴ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.03.

⁵ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 14.02.

⁶ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 14.03.

conformar a la exactitud del criterio de secciones aplicables de especificación C 1005.

5.2 Contenedores - adecuado para el secado de muestra de agregado, y recipientes adecuados para la celebración del líquido pesado durante el fregadero y flotación de separación.

5.3 Espumadera - Un trozo de 300 μm (No. 50) de tela de tamiz, conformando en especificación E 11, adecuado tamaño y forma para separación de partículas flotantes desde el líquido pesado.

5.4 Placa Caliente u Horno.

5.5 Tamices, 300 μm (No. 50) y 4,75 mm (No. 4) se ajustan a la especificación E 11.

5.6 Medición de Gravedad Específica - Un hidrómetro conformado a el requerimientos físico de secciones para densímetros individuales de especificación E 100, o una adecuada combinación de objetos de vidrio graduado y balanza capaz de medir el líquido de gravedad específica dentro de 60,01.

6. Líquido pesado

6.1 El líquido pesado consistirá en uno de los siguientes (ver 6.1.4):

6.1.1 Una solución de cloruro de zinc en el agua (para una gravedad específica hasta aproximadamente 2.0).

6.1.2 Una mezcla de queroseno con 1,1,2,2-tetrabromoethane, proporcionada para producir gravedades específicas deseadas. (1,1,2,2 - tetrabromoethane tiene una gravedad específica cerca de 2,95) (Ver Nota 1)

6.1.3 Una solución de bromuro de zinc en agua (para una gravedad específica hasta cerca de 2.4).

6.1.4 Advertencia - Los productos químicos enumerados en el punto 6.1.2 son tóxicas, tanto por la absorción a través de la piel y por inhalación. Ellos serán usados solo en una capucha (preferiblemente debajo de tipo preliminar) o al aire libre, y el cuidado debe ser tomado en evitar la inhalación o el contacto con los ojos o la piel. No hay ningún riesgo en particular, de los humos de solución de cloruro de zinc (6.1.1) o la solución zincbromide (6.1.3), pero las gafas y los guantes deben ser usados para prevenir el contacto con los ojos o la piel.

6.2 La gravedad específica de el líquido pesado será mantenido dentro de ± 0.01 del valor especificado en todo momento durante la prueba..

NOTA 1 - Tetrabromoethane es altamente tóxico y extremadamente peligroso para el uso y cuando se calienta emite vapores altamente tóxicos de bromo,

bromuro de hidrógeno, y el bromuro de carbonilo. Estos deberían ser manejados solamente por personal capacitado y calificado en su uso. Su almacenamiento debe estar en una ubicación segura.

7. Prueba

7.1 Asegurar una muestra de agregado de campo de conformidad con las prácticas D 75 y D 3665. Reducir la muestra de tamaño de ensayo a porción en conformidad con la Práctica C 702.

7.2 Secar la porción de muestra hasta masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C (230 ± 9 °F) antes de prueba y el tamiz para eliminar el bajo material de tamaño como especificado en 8.1 y 8.2. El mínimo de tamaño de especímenes de prueba será el siguiente:

Tamaño Máximo Nominal de Agregado (Tamices con aberturas cuadrado)		Masa mínima de Muestra, g
4.75 mm	(No 4)	200
9.5 mm	($\frac{3}{8}$ in.)	1500
19.0 mm	($\frac{3}{4}$ in.)	3000
37.5 mm	(1½ in.)	5000
75 mm	(3 in.)	10000

Si el tamaño máximo nominal del agregado a ser ensayado no está en la lista anterior, el siguiente tamaño mayor será usado para determinar el tamaño de muestra

8. Procedimiento

8.1 Agregado Fino - Permitir secar el espécimen de prueba de agregado fino para enfriar a temperatura de cuarto y luego sobre un tamiz de 300 μm (No 50) tamiz hasta menor que 1% del material retenido pasando el tamiz en 1 min. de tamizado continuo. y llevar este material a saturado superficialmente seco por medio de la condición de el procedimiento especificado en el método de prueba C 128 (véase 8.1.1). Determine la masa del material grueso que el 300- μm (No 50) de tamiz a la 0.1 g mas cercano, luego introducir en el líquido pesado (ver 6.1.4) en un contenedor adecuado. El volumen de líquido será de al menos tres veces el volumen absoluto de los agregados. Verter el líquido, incluidas partículas flotantes, en un segundo contenedor, pasando a través de la espumadera, teniendo cuidado solamente de esas partículas flotantes que se vierten con el líquido y que ninguno de los agregados finos de fregaderos sean decantados en la espumadera. Vuelva al primer contenedor del líquido que se ha recogido en el segundo recipiente y, después de agitación adicional de

muestra por revolviendo, repita el proceso de decantación solamente descrito hasta que el espécimen sea sin partículas flotantes. Lavar el contenido de partículas decantadas en la espumadera en un solvente apropiado para remover el líquido pesado. El alcohol es apropiado para 1,1,2,2-tetrabromoethane y agua para el cloruro de zinc y de soluciones de bromuro zinc. Después de decantar las partículas han sido lavados, permita que se sequen (véase 8.1.2). Cepillar las partículas secas decantada desde la espumadera en equilibrio y determine la masa a 0.1 g mas cercano. Si la determinación más precisa es requerida, las partículas decantadas serán secadas hasta masa constante a 110 ± 5 ° C para determinar el valor de W_1 utilizado para el cálculo de 9,1 (ver 8.1.3).

8.1.1 Si la absorción es determinada de acuerdo con Método de Prueba C128 se sabe, el agregado fino es permitido a ser preparado para la prueba añadiendo una masa conocida de arena seca de cantidad de agua que absorben, mezclando a fondo, y permitiendo a la arena para estar de pie en una cubierta de sartén durante 30 minutos antes de su uso.

8.1.2 El secado ocurrirá en la capucha o al aire libre si es distinto del cloruro de zinc o de bromuro de zinc es utilizado. Una placa de horno o caliente es que se podrá utilizar para acelerar el suministro de secado que esto se hace en la capucha o que el horno este ventilado a aire forzado al exterior del edificio y una temperatura de 115°C no es excedido.

8.1.3 Normalmente, la discrepancia entre el horno de masa saturada superficialmente seca de las partículas decantadas no afectará significativamente el porcentaje calculado de partículas de peso ligero.

8.2 Agregado Grueso - Permitir el secado de espécimen de ensayo de agregado grueso que se enfríe a temperatura de cuarto y tamiz superior a 4.75 mm (No 4) de tamiz. Determinar la masa del material grueso que el de 4.75 m (No. 4) tamiz con una precisión de 1 g, y llevar a su saturado superficialmente seca mediante condición del procedimiento especificado en el Método de Prueba C 127, y luego introducir el líquido pesado en un contenedor adecuado. El volumen de líquido será de al menos tres veces el volumen absoluto del agregado. Usar la espumadera, quitar las partículas flotantes a la superficie, y guardarlos. Agite repetidamente las partículas restantes, y remover las partículas flotantes hasta

que ninguna subida de partículas adicional a la superficie. Lavar las partículas el cual están en la espumadera en un apropiado solvente a remover el líquido pesado (ver 8.1). Después de que el líquido pesado se ha removido, permitir que las partículas se sequen (ver 8.1.2). Determine la masa de partículas decantadas a la aproximación de 1 g. Si se requiere una determinación mas precisa, secar las partículas a masa constante a 110 ± 5 ° C para determinar el valor de W_1 utilizado para el cálculo de 9,1 (ver 8.1.3) 9. Cálculo

9.1 Calcular el porcentaje por masa de las partículas de peso ligero (partículas flotantes en el líquido pesado) de la siguiente manera:

Para Agregado Fino:

$$L = (W_1 / W_2) \times 100 \quad (1)$$

Para agregado grueso:

$$L = (W_1 / W_3) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

L = porcentaje por masa de partículas de peso ligero,

W_1 = masa seca de partículas que flotan,

W_2 = masa seca de la porción del espécimen más gruesa que 300 μ m (No. 50) de tamiz, y

W_3 = masa seca de la porción del espécimen más gruesa que 4.75 mm (No. 4) de tamiz.

10. Informe

10.1 Reporte la información siguiente:

10.1.1 Identificación de el agregado como a la fuente, el tipo y el tamaño máximo nominal,

10.1.2 La masa de la muestra utilizada,

10.1.3 Tipo y la gravedad específica de líquido pesado utilizado para la prueba, y

10.1.4 Porcentaje de la masa de las partículas de peso ligero redondeado a 0,1% más cercano

11. Precisión y Tendencia

11.1 Precisión - No hay estudios entre laboratorios o intralaboratorio han sido conducidos usando este método de prueba de determinar índices de precisión. El comité busca datos pertinentes desde usuarios del método de ensayo.

11.2 Tendencia -

La tendencia del método de prueba puede ser estimada por funcionamiento de la gravedad específica separada y determinación de absorción sobre las partículas individuales del fregadero separado, o fracciones de flotador, o ambos.

12. Palabras clave

12.1 Agregado; líquido pesado; partículas de peso ligero



Designación: C 127-01

Método Estándar de la Prueba para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción de Agregado Grueso.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 127; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación.

Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance

1.1 Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso (no incluyendo el volumen de vacíos entre las partículas), de la densidad relativa (gravedad específica), y de la absorción del agregado grueso. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad (kg/m^3 (lb/ft^3)) se expresa como secado en el horno (OD), saturada superficialmente seca (SSD), o como densidad aparente. Asimismo, la densidad relativa (gravedad específica), una cantidad sin dimensiones, se expresa como OD, SSD, o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad OD y la densidad relativa OD son determinadas después de secar el agregado. La densidad del SSD, la densidad relativa del SSD, y la absorción son determinadas después de sumergir el agregado en el agua para una duración prescrita.

1.2 Este método de la prueba se utiliza para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregados y proporciona un valor promedio que representa la muestra. La distinción se hace entre la densidad de partículas agregados según lo determinado por este método de prueba, y la densidad a bulk de agregados según lo determinado por el método de la prueba C29/ C29M, que incluye el volumen de vacíos entre las partículas de agregados.

1.3 Este método de la prueba no es destinado para ser utilizado con agregados ligeros.

1.4 Los valores indicados en unidades del SI deben ser considerados como el estándar para conducir las pruebas. Los resultados de la prueba para la densidad serán reportados en unidades

del SI o unidades de libra-pulgada, como sea apropiado para que el uso sea hecho de los resultados.

1.5 El texto de las notas de referencias de este método de la prueba y notas a pie de página que proporcionan el material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (excepto en aquellas tablas y figuras) no serán consideradas como requisitos de este método de la prueba.

1.6 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 29/C29M Método de Prueba para la densidad a bulk ("Peso de Unidad") y vacíos en agregado.²

C 125 Terminología referente a los agregados concretos y concretos.²

C 128 Método de Prueba para la densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado fino.²

C 136 Método de Prueba para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.²

C 566 Método de Prueba para el contenido de humedad evaporable total de agregado por secado.²

C 670 Práctica para elaborar la precisión y las declaraciones diagonales para los métodos de prueba para los materiales de construcción.²

C 702 Práctica para la reducción de muestras de agregado al tamaño de prueba.³

D 75 Práctica para muestrear los agregados.³

D 448 Clasificación Uniforme para tamaños de agregado para carretera y la Construcción de puente.⁴

¹ Este método de la prueba es bajo jurisdicción del comité C09 de ASTM sobre Concretos y Agregados concretos y es la responsabilidad directa del subcomité C09.20 en los agregados normales del peso. Edición actual 10 de agosto de 2001 aprobado. Octubre de 2001 publicado. Publicado originalmente como C 127 - 36 T. Edición anterior pasada C 127 - 88 (2001).

² Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04,02.

³ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04,03.

⁴ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 14,02.

E 11 Especificación para Tejido de alambre y tamices para los propósitos de prueba.⁴

2.2 Estándar de AASHTO:

AASHTO No T 85 Gravedad específica y absorción de Agregado grueso.⁵

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 *Absorción*, n - El incremento en masa de agregado debido a la penetración de agua dentro de los poros de las partículas durante un periodo prescrito de tiempo, pero sin incluir agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresada como un porcentaje de la masa seca.

3.1.2 *Secado al horno (OD)*, - Relacionado a las partículas de agregado, la condición en la cual los agregados han sido secados por calentamiento en un horno a $110 \pm 5^\circ\text{C}$ por tiempo suficiente para alcanzar una masa constante.

3.1.3 *Saturada Superficialmente Seca* - Relacionado a las partículas de agregados la condición en la que la permeabilidad de los poros de las partículas agregados se llenan con agua hasta el punto alcanzado por inmersión en agua durante el período establecido de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

3.1.4 *Densidad*, n - la masa por unidad de volumen de un material, expresado como kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico).

3.1.4.1 *Densidad (OD)*, n - la masa de agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los vacíos entre partículas.

3.1.4.2 *Densidad (SSS)*, n - la masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros impermeables y vacíos llenos con agua dentro de las partículas, pero sin incluir los poros dentro de las partículas.

3.1.4.3 *Densidad Aparente*, n - la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.

3.1.5 *Densidad Relativa (Gravedad Específica)*, n - la relación de la densidad de un material a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada; los valores son adimensionales.

3.1.5.1 *Densidad Relativa (Gravedad Específica) (OD)*, n - la relación de la densidad (OD) del agregado a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada.

3.1.5.2 *Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)*, n - la relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada.

3.1.6 Para definiciones de otros términos relacionados a agregados ver Terminología C125.

4. Resumen del método de la prueba

4.1 Una muestra de agregado se sumergida en el agua por 24 ± 4 h esencialmente para llenar los poros. Después es removida del agua, el agua secada de la superficie de las partículas, y la masa es determinada. Posteriormente, el volumen de la muestra es determinado por el método de desplazamiento del agua. Finalmente, la muestra se seca en el horno y se determina la masa. Usando los valores de masa así obtenidos y las fórmulas en este método de prueba, es posible calcular densidad, la densidad relativa (gravedad específica), y absorción.

5. Significación y uso

5.1 La densidad relativa (gravedad específica) es la característica usada generalmente para el cálculo del volumen ocupado por el agregado en las diversas mezclas que contienen el agregado, incluyendo el concreto de Cemento Portland, el concreto bituminoso, y otras mezclas que se proporcionen o se analicen sobre una base del volumen absoluto. La densidad relativa (gravedad específica) también es usada en los cálculos de vacíos en agregado en el método de prueba C29/C29M. Se utiliza la densidad relativa (gravedad específica) (SSD) si el agregado está húmedo, es decir, si la absorción a sido satisfactoria. Inversamente, la densidad relativa (gravedad específica) (OD) se utiliza para los cálculos cuando el agregado es seco o se asume a estar seco.

5.2 La densidad aparente y la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) pertenecen al material sólido que compone las partículas constitutivas sin incluir el espacio de poros dentro de las partículas que es accesible al agua.

5.3 Los valores de la absorción se utilizan para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbente en los espacios de los poros dentro de las partículas constituyentes,

⁵ Disponible de la asociación americana de los funcionarios de la carretera estatal y del transporte, St. del norte N.W., habitación 225, Washington, DC 20001 del capitolio 444.

⁴ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 14.02.

comparadas a la condiciones secas, cuando es estimado que el agregado esta en contacto con el agua lo suficiente para satisfacer la mayor parte de la absorción potencial. El estándar del laboratorio para la absorción es ese obtenido después de sumergir el agregado seco por un periodo de tiempo prescrito. Los agregados extraídos desde abajo del nivel freático tienen comúnmente un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de prueba, si son usados sin oportunidad de secarse antes de uso. Inversamente, algunos agregados que no han sido mantenidos continuamente en condiciones húmedas hasta ser usados son probables a contener una cantidad de humedad absorbente menos que la condición sumergida de 24 h. Para un agregado que ha estado en contacto con el agua y que esta libre de humedad en las superficies de la partícula, el porcentaje de humedad libre es determinado deduciendo la absorción del contenido total de humedad determinado por el método de prueba C 566.

5.4 Los procedimientos generales descritos en este método de prueba son convenientes para determinar la absorción de los agregados que han sido acondicionados diferente del remojo de 24 h, tal como agua hervida o saturación del vacío. Los valores obtenidos para absorción por otros métodos de prueba serán diferentes que los valores obtenidos por el remojo prescrito, al igual que la densidad relativa (gravedad específica) (SSD).

5.5 Los poros en agregado ligero no son necesariamente llenados con agua después de la inmersión por 24 h. De hecho, la absorción potencial de muchos de tales agregados no es satisfecha después inmersión de varios días en agua. Por lo tanto, este método de prueba no es intencionado para el uso con agregado ligero.

6. Aparato

6.1 Balanza - Un dispositivo para determinar la masa que es sensible, legible, y exacto a 0.05% de la masa de la muestra en cualquier momento dentro del rango usado para esta prueba, o 0.5 g, cualquiera que sea mayor. La balanza será equipada con aparato conveniente para suspender el contenedor de muestra en agua desde el centro de la plataforma o cacerola de la balanza.

6.2 Contenedor de muestra - Una cesta de malla de 3.35mm (No. 6) o más de fina, o un balde de aproximadamente de iguales anchura y altura, con una capacidad de 4 a 7 L para agregado de

tamaño máximo nominal de 37.5 mm (1½-in.) o menor, y un contenedor más grande según sea lo necesario para la prueba de tamaño máximo de agregado. El contenedor será construido a fin de prevenir el aire cuando el contenedor es sumergido.

6.3 Tanque de agua - Un tanque a prueba de agua dentro del cual el contenedor de la muestra es colocado mientras se suspende bajo la balanza.

6.4 Tamices - Un tamiz 4.75 mm (No. 4) o de otros tamaños según sea necesario (véanse 7.2 7.4), conforme a especificación de E 11.

7. Muestreo

7.1 Muestrea el agregado de acuerdo con la práctica D 75.

7.2 Mezclen a fondo la muestra de agregado y reduzcanla a la cantidad aproximada necesaria usando los procedimientos aplicables en la práctica C 702. Rechacen todo el material que pasa tamiz 4.75 mm (No 4) por tamizando seco y lave a fondo para quitar el polvo u otras capas de la superficie. Si el agregado grueso contiene una cantidad sustancial de material más fino que el tamiz de 4.75 mm (tal como para los agregados de tamaño No. 8 y 9 en la clasificación D 448), utilicen tamiz 2.36 mm (No 8) en lugar del tamiz de 4.75 milímetros. Alternativamente, separen el más fino material que el tamiz de 4.75 mm y prueba el material más fino según el Método de Prueba C 128.

NOTA 1 - Si agregados menores de 4.75 mm (No.4) se utilizan en la muestra, verifique para asegurarse de que el tamaño de las aberturas en el contenedor de muestra es menor que el mínimo tamaño del agregado.

7.3 La mínima masa de la muestra de prueba a ser usada es dada como sigue. Probar el agregado grueso en varios tamaños de fracciones es permitido. Si la muestra contiene más de 15% retenido en tamiz 37.5 mm (1½-in.), prueben el material mayor de 37.5 mm en una o más fracciones separadamente de las fracciones menores. Cuando un agregado se prueba en fracciones separadas del tamaño, la masa mínima de la muestra de prueba para cada fracción será la diferencia entre las masas prescritas para los tamaños máximos y mínimos de la fracción.

Tamaño máximo Nominal, mm (in.)	Masa mínima de la muestra de prueba, kg (lb)
12.5 (½) o menos	2 (4.4)
19.0 (¾)	3 (6.6)
25.0 (1)	4 (8.8)
37.5 (1½)	5 (11)
50 (2)	8 (18)
63 (2 ½)	12 (26)
75 (3)	18 (40)
90 (3½)	25 (55)
100 (4)	40 (88)
125 (5)	75 (165)

7.4 Si la muestra se prueba en dos o más tamaño de fracción, determine la gradación de la muestra de acuerdo con el método de prueba C 136, incluyendo los tamices usados para separar las fracciones de tamaño para la determinación en este método. En calcular el porcentaje de material mas fino que el tamiz 4.75mm (No.4) (o tamiz 2.36mm (No8) cuando ese tamiz a sido usado en concordancia con 7.2).

NOTA 2 - Cuando prueba el agregado grueso de tamaño máximo nominal grande requiriendo grandes muestras de prueba, debe ser más conveniente realizar la prueba en dos o más submuestras, y los valores obtenidos combinados para los cálculos descritos en la sección 9.

8. Procedimiento

8.1 Secar la muestra de prueba a una masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, enfríe al aire la temperatura del cuarto por 1 a 3 h para muestras de prueba de 37.5 mm (1½-in.) tamaño máximo nominal, o más mayor para tamaños más grandes hasta que el agregado ha sido enfriado a una temperatura que es confortable para manipular (aproximadamente 50°C). Posteriormente sumergir el agregado en agua a una temperatura del cuarto por un período de 24 ± 4 h.

8.2 Donde la absorción y la densidad relativa (específico gravedad) son para ser utilizados en proporcionamiento de mezclas de concreto en las cuales los agregados estarán en su condición natural húmeda, el requisito en 8,1 para el secado inicial es opcional, y, si las superficies de las partículas en la muestra se ha mantenido continuamente húmeda hasta la prueba, el requisito 8.1 para 24 ± 4 h de remojo es también opcional.

NOTA 3 - Los valores para la absorción y la densidad relativa (gravedad específica) (SSD) deben ser significativamente mayores para el agregado no secado al horno antes de remojo que para el mismo agregado tratado de acuerdo con 8.1. Esto es especialmente cierto para partículas mayores de 75 mm puesto que el agua puede no poder penetrar los poros al centro de la partícula en el período de remojo prescrito.

8.3 Quite la muestra de prueba del agua y ruédala en una tela absorbente grande hasta que todas las películas visibles del agua es quitado. Limpíen las partículas más grandes individualmente. Una corriente de aire en movimiento se permite para ayudar a la operación de secado. Tengan cuidado para evitar la evaporación de agua de los poros de agregados durante la operación de secado superficial. Determinar la masa de prueba muestra en las condiciones saturadas superficialmente seca. Registrar estas y todas las masas subsiguientes a la cercanía de 0.5 g o 0.05% de la masa de muestra, el que sea mayor.

8.4 Después de determinar la masa en aire, inmediatamente coloque la muestra saturada superficialmente seca en el contenedor de prueba de la muestra y determinen su masa aparente en agua a $23 \pm 2.0^\circ\text{C}$. Toma cuidado para quitar todo el aire atrapado antes de determinar su masa agitando el contenedor mientras está inmerso.

NOTA 4 La diferencia entre la masa en aire y la masa cuando la muestra esta sumergida en agua es igual a la masa del agua desplazada por la muestra.

NOTA 5 - El contenedor debería ser inmerso a una profundidad suficiente para cubrirlo y la muestra de prueba mientras determinando la masa aparente en agua. El alambre suspendiendo el contenedor debería ser del menor tamaño práctico posible para minimizar algún posible efecto de una longitud variable inmersa.

8.5 Secar la muestra de prueba a la masa constante a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$, se enfría en aire a temperatura del cuarto 1 a 3 h, o hasta que el agregado se ha enfriado a una temperatura que es confortable para manipular (aproximadamente 50°C), y determine la masa.

9. Cálculos

9.1 Densidad relativa (gravedad específica):

9.1.1 Densidad Relativa (Gravedad Específica) (OD) - Calcular la densidad relativa (gravedad específica) en la base a de agregado secado al horno de la siguiente manera:

$$\text{Densidad Relativa (Gravedad Específica)(OD)} = A / (B - C) \quad (1)$$

Donde:

A = Masa de muestra de prueba secada al horno en aire, g,

B = Masa de muestra de prueba saturada superficialmente seca en aire, g, y

C = Masa aparente de la muestra de prueba saturada en el agua, g.

9.1.2 Densidad relativa (Gravedad Específica) (SSD) - Calcular la densidad relativa (gravedad específica) en la base del agregado saturado superficialmente seca como sigue:

$$\text{Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSD)} = B / (B - C) \quad (2)$$

9.1.3 Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente) - Calcular la densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) como sigue:

$$\text{Densidad Relativa Aparente (Gravedad Específica Aparente)} = A / (A - C) \quad (2)$$

9.2 Densidad:

9.2.1 Densidad (OD) - Calcular la densidad en base a agregado secado al horno como sigue

$$\text{Densidad (OD), kg/m}^3 = 997.5A / (B - C) \quad (4)$$

$$\text{Densidad (OD), lb/ft}^3 = 62.27A / (B - C) \quad (5)$$

NOTA 6 - Los valores constantes usados en los cálculos en 9.2.1-9.2.3 (997.5 kg/m³ y 62.27 lb/ft³) son la densidad del agua a 23°C.

9.2.2 Densidad (SSD) - Calcular la densidad en base de agregado saturado superficialmente seco como sigue:

$$\text{Densidad (SSD), kg/m}^3 = 997.5B / (B - C) \quad (6)$$

$$\text{Densidad (SSD), lb/ft}^3 = 62.27B / (B - C) \quad (7)$$

9.2.3 Densidad Aparente - Calcular la densidad aparente como sigue:

$$\text{Densidad Aparente, kg/m}^3 = 997.5A / (A - C) \quad (8)$$

$$\text{Densidad Aparente, lb/ft}^3 = 62.27A / (A - C) \quad (9)$$

9.3 Valores de Densidad Promedio y Densidad Relativa (Gravedad Específica) - Cuando la muestra se prueba en fracciones de tamaños separadas, calcular los valores promedios para la densidad o la densidad relativa (gravedad específica) del tamaño de fracción calculado de acuerdo con 9.1 o 9.2 usando la siguiente ecuación:

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100G_1} + \frac{P_2}{100G_2} + \dots + \frac{P_n}{100G_n}} \quad (10)$$

(Ver Apéndice X.1)

G = Densidad Promedio o Densidad Relativa (Gravedad Específica). Todas las formas de expresión de la densidad o densidad relativa (gravedad específica) pueden ser promediadas de esta forma,

G₁, G₂... G_n = valores apropiados de densidad promedio y densidad relativa (gravedad específica) para cada tamaño de fracción dependiendo en el tipo de densidad o densidad relativa (gravedad específica) siendo promediada, y

P₁, P₂... P_n = porcentajes de masa de cada tamaño de fracción presente en la muestra original (no incluyendo material fino -ver 7.4).

9.4 Absorción - Calcular el porcentaje de absorción, como sigue:

$$\text{Absorción, \%} = [(B - A) / A] \times 100 \quad (11)$$

NOTA 7 - Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4°C (1000 kg/m³ o 1,000 Mg/m³ o 62.43 lb/ft³) siendo suficientemente exacto.

9.5 Valor promedio de absorción - Cuando la muestra se prueba en fracciones de tamaños separadas, el valor promedio de absorción es el promedio de los valores calculados en 9.4, pesados en proporción a los porcentajes de masa de cada fracción presente en el tamaño en la muestra original (no incluyendo material fino ver 7.4) como sigue:

$$A = (P_1A_1 / 100) + (P_2A_2 / 100) + \dots + (P_nA_n / 100) \quad (12)$$

A = absorción promedio, %,

A1, A2... = porcentajes de absorción para cada tamaño de fracción, y

P1, P2,... Pn = porcentajes de masa de cada tamaño fracción presente en la muestra original.

10. Reporte

10.1 Reporten los resultados de densidad a la cercanía de 10 kg/m³, o 0.5 lb/ft³, resultados de la densidad relativa a la cercanía de 0.01, e indiquen la base para densidad o densidad relativa (gravedad específica), como cualquiera (OD), (SSD), o aparente.

10.2 Reporten los resultado de absorción a la cercanía de 0.1%.

10.3 Si los valores de densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción fueron determinados sin secar primero el agregado, según lo permitido en 8.2, anotar ese hecho en el reporte.

11. Precisión y Tendencia

11.1 Las estimaciones de precisión de este método de prueba enumerado en la tabla 1 se basan en resultados desde el programa de muestra de laboratorio para referencia de materiales de AASHTO, con prueba conducida

por este método de prueba y el método T 85 AASHTO. La diferencia significativa entre los métodos es que el método de prueba C 127 requiere un período de saturación a 24 ± 4h, mientras que el método T 85 requiere un período de saturación de 15 h mínimo. Esta diferencia se ha encontrado para tener un efecto significativo sobre los índices de la precisión. Los datos se basan en los análisis de más de 100 pares de resultados de prueba desde 40 a 100 laboratorios. La precisión estimada para densidad fue calculada de los valores determinados para densidad relativa (gravedad específica), usando la densidad de agua a 23°C para a conversión.

11.2 Tendencia - desde que ahí no es aceptado material de referencia para determinar la parcialidad para el procedimiento en este método de prueba, no son echas declaraciones en parcialidad.

12. Palabras claves

12.1 Absorción; agregado; densidad aparente; densidad relativa aparente; agregado grueso; densidad; densidad relativa; gravedad específica.

Tabla 1

	Desviación estándar de precisión (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Precisión de un Solo Operador:		
Densidad (OD), kg/m ³	9	25
Densidad (SSD), kg/m ³	7	20
Densidad aparente, kg/m ³	7	20
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0.009	0.025
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0.007	0.020
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.007	0.020
Precisión de Multilaboratorio:		
Densidad (OD), kg/m ³	13	38
Densidad (SSD), kg/m ³	11	32
Densidad aparente, kg/m ³	11	32
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0.013	0.038
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0.011	0.032
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.011	0.032

^A Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) como en la práctica descrita C 670. La precisión estimada fue obtenida de Combinadas Muestras Capaces de Laboratorio para Referencia de Materiales AASHTO datos de laboratorios usando 15h mínimo de tiempo de saturación y otros laboratorios usando 24h de tiempo de saturación. Las pruebas fueron desempeñadas en agregados de peso normal, e iniciaron con agregados en condición secada al horno.

APÉNDICES
(Información No obligatorio)
X1. DESARROLLO DE ECUACIONES

X1.1 la derivación de la ecuación es de los siguientes casos simplificados usando dos sólidos. Sólido 1 tiene una masa M_1 en gramos y un volumen V_1 en mililitros; esta densidad relativa (gravedad específica) (G_1) es por lo tanto M_1/V_1 . Sólido 2 tiene una masa M_2 y volumen V_2 , y $G_2 = M_2/V_2$. Si los dos sólidos se consideran juntos, la densidad relativa (gravedad específica) de la combinación es la masa total en los gramos divididos por el volumen total en mililitros:

$$G = (M_1 + M_2)/(V_1 + V_2) \quad (X1.1)$$

La manipulación de esta ecuación cede lo siguiente:

$$G = \frac{1}{\frac{V_1 + V_2}{M_1 + M_2}} = \frac{1}{\frac{V_1}{M_1 + M_2} + \frac{V_2}{M_1 + M_2}} \quad (X1.2)$$

$$G = \frac{1}{\frac{M_1}{M_1 + M_2} \left(\frac{V_1}{M_1} \right) + \frac{M_2}{M_1 + M_2} \left(\frac{V_2}{M_2} \right)} \quad (X1.3)$$

Sin embargo, la fracción de masa de los dos sólidos es:

$$M_1/(M_1 + M_2) = P_1/100 \quad \text{y} \quad (X1.4)$$

$$M_2/(M_1 + M_2) = P_2/100$$

$$\text{y,} \\ 1/G_1 = V_1/M_1 \quad \text{y} \quad (X1.5) \\ 1/G_2 = V_2/M_2$$

Por lo tanto,

$$G = \frac{1}{\frac{P_1}{100} \frac{1}{G_1} + \frac{P_2}{100} \frac{1}{G_2}} \quad (X1.6)$$

Un ejemplo del cálculo se da en la tabla

X1.1X2. INTERRELACIONES ENTRE LAS DENSIDADES RELATIVAS (GRAVEDADES ESPECÍFICAS) Y ABSORCIÓN COMO SE DEFINE EN LOS MÉTODOS DE PRUEBA C 127 Y C 128.

X2.1 Donde:

S_d = Densidad relativa (gravedad específica)(OD),

S_s = Densidad relativa (gravedad específica)(SSD),

S_a = Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente),

y

A = Absorción en %.

X2.2 calcular los valores de cada uno como sigue

$$S_s = (1 + A/100)S_d \quad (X2.1)$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (X2.2)$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + A/100}{S_s} - \frac{A}{100}} = \frac{S_s}{1 - \left[\frac{A}{100}(S_s - 1) \right]} \quad (X2.3)$$

$$A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1 \right) 100 \quad (X2.4)$$

$$A = \left(\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)} \right) 100 \quad (X2.5)$$

TABLA X1.1 - Ejemplo del Cálculo de Valores Pesados de Densidad Relativa (Gravedad Específica) y absorción para un Agregado Grueso Probado en Tamaños Separados.

Tamaño Fracción, mm (in.)	% (in) Muestra original	Masa de muestra usada en prueba, g	Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	Absorción, %
4.75 a 12.5 (No. 4 a 1/2)	44	2213.0	2.72	0.4
12.5 a 37.5 (1/2 a 1 1/2)	35	5462.5	2.56	2.5
37.5 a 63 (1 1/2 a 2 1/2)	21	12593.0	2.54	3.0

Densidad relativa específica (gravedad específica) (SSD)

$$G_{SSD} = \frac{1}{\frac{0.44}{2.72} + \frac{0.35}{2.56} + \frac{0.21}{2.54}} = 2.62$$

Absorción promedio

$$A = (0.44)(0.4) + (0.35)(0.25) + (0.21)(0.30) = 1.7\%$$



Designación: C 128-01

Método Estándar de Prueba para Densidad, Densidad Relativa (Gravedad Específica), y Absorción de Agregado Fino.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 128; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación.

Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance

1.1 Este método de prueba cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino (sin incluir el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción de agregado grueso. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad (kg/m^3 (lb/ft^3)) es expresada como secada al horno (OD), saturada superficialmente seca (SSS), o como densidad aparente. Asimismo, densidad relativa (gravedad específica), una cantidad adimensional, es expresada como OD, SSS, o densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad OD y densidad relativa OD son determinadas después de secar el agregado. La densidad SSS, densidad relativa SSS, y absorción son determinadas después de sumergir el agregado en agua por una duración prescrita.

1.2 Este método de prueba es usado para determinar la densidad de la porción esencialmente sólida de un gran número de partículas de agregado y provee un valor promedio representando la muestra. Distinción es hecha entre la densidad de las partículas de agregado como se determina por este método de prueba, y la densidad de masa de agregados como se determina por el método de prueba C29/C29M, el cual incluye en volumen de vacíos entre las partículas de agregado.

1.3 Este método de prueba no es destinado a ser usado para ser usado con agregado ligero.

1.4 Los valores declarados en unidades SI son para ser considerados parte del estándar para conducir la prueba. Los resultados de la prueba ¹

para densidad tendrán que ser reportados en cualquier unidades SI o lb-in, como sea apropiado para el uso a ser echo de los resultados,

1.5 El texto de las notas de referencia de este método de prueba y notas al pie las cuales proporcionan material explicatorio. Estas notas y notas al pie (excluyendo aquellas en tablas y figuras) no tendrán que ser consideradas como requerimientos en este método de prueba.

1.6 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 29/C los 29M Método de Prueba para la densidad a bulk ("peso de unidad ") y los vacíos en agregado.²

C 70 Método de prueba para la humedad superficial en agregado fino.²

C 125 Terminología relativa a las de concreto y agregados.²

C 127 Método de Prueba para la densidad, la densidad relativa (gravedad específica) y la absorción del agregado grueso.²

C 188 Método de Prueba para la densidad del cemento hidráulico.³

C 566 Método De prueba para Contenido Evaporable de Humedad Total de Agregados por Secado.²

C 670 Práctica para elaborar la precisión y las declaraciones diagonales para los métodos de la prueba para los materiales de construcción.²

C 702 Práctica para reducir muestras de agregado a Tamaño de la prueba.²

D 75 Práctica para muestrear los agregados.⁴

¹ Este método de la prueba es bajo jurisdicción del comité C09 de ASTM sobre concretos y agregado de concreto y es la responsabilidad directa del subcomité C09.20 en los agregados normales del peso. Edición actual 10 de agosto de 2001 aprobado. Octubre de 2001 publicado. Publicado originalmente como C 128-36. Edición anterior pasada C 128-97.

² Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.02.

³ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.01.

⁴ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.03.

2.2 Estándar de AASHTO:

AASHTO No T 84 Gravedad específica y absorción de agregados finos.⁵

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 *Absorción*, n - El incremento en masa de agregado debido a la penetración de agua dentro de los poros de las partículas durante un periodo prescrito de tiempo, pero sin incluir agua adherida a la superficie exterior de las partículas, expresada como un porcentaje de la masa seca.

3.1.2 *Secado al horno (OD)*, adj - relacionado a las partículas de agregado, la condición en la cual los agregados han sido secados por calentamiento en un horno a 110±5°C por tiempo suficiente para alcanzar una masa constante.

3.1.3 *Saturada Superficialmente Seca*, adj - Relacionado a las partículas de agregados la condición en la que la permeabilidad de los poros de las partículas agregados se llenan con agua hasta el punto alcanzado por inmersión en agua durante el período establecido de tiempo, pero sin agua libre en la superficie de las partículas.

3.1.4 *Densidad*, n - la masa por unidad de volumen de un material, expresado como kilogramos por metro cúbico (libras por pie cúbico).

3.1.4.1 *Densidad (OD)*, n - la masa de agregado secado al horno por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros permeables e impermeables dentro de las partículas, pero sin incluir los vacíos entre partículas.

3.1.4.2 *Densidad (SSS)*, n - la masa de agregado saturado superficialmente seco por unidad de volumen de partículas de agregado, incluyendo el volumen de poros impermeables y vacíos llenos con agua dentro de las partículas, pero sin incluir los poros dentro de las partículas.

3.1.4.3 *Densidad Aparente*, n - la masa por unidad de volumen de la porción impermeable de las partículas de agregado.

3.1.5 *Densidad Relativa (Gravedad Específica)*, n - la relación de la densidad de un material a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada; los valores son adimensionales.

3.1.5.1 *Densidad Relativa (Gravedad Específica) (OD)*, n - la relación de la densidad (OD) del agregado a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada.

⁵ Disponible de la asociación americana de los funcionarios de la carretera estatal y del transporte, St. del norte N.W., habitación 225, Washington, DC 20001 del capitolio 444

3.1.5.2 *Densidad Relativa (Gravedad Específica) (SSS)*, n - la relación de la densidad (SSS) del agregado a la densidad de agua destilada a una temperatura estipulada.

3.1.6 Para definiciones de otros términos relacionados a agregados ver Terminología C125.

4. Resumen del método de prueba.

4.1 Una muestra de agregado es inmersa en agua por 24±4h hasta esencialmente llenar los poros. Después es removida del agua, el agua secada de la superficie de las partículas, y la masa determinada. Subsecuentemente, la muestra (o una porción de ella) es colocada en un contenedor graduado y el volumen de la muestra es determinado por el método gravimétrico o volumétrico. Finalmente, la muestra es secada al horno y la masa determinada. Usando los valores de masa así obtenidos y formulas en este método de prueba, es posible calcular la densidad, densidad relativa (gravedad específica), y absorción.

5. Significado y uso

5.1 La densidad relativa (gravedad específica) es la característica generalmente usada para cálculos del volumen ocupado por el agregado en varias mezclas conteniendo agregado, incluyendo concreto de cemento portland, concreto bituminoso, y otras muestras que son proporcionadas o analizadas en una base de volumen absoluto. Densidad relativa (gravedad específica) es también usada en los cálculos de vacío en los agregados en el método de prueba C29/C29M. Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada en la determinación de la humedad superficial del agregado fino por desplazamiento de agua en el método de prueba C70. Densidad relativa (gravedad específica) (SSS) es usada si el agregado esta húmedo, que es, si la absorción a sido satisfacia. Viceversa, la densidad relativa (gravedad específica) (OD) es usada para cálculos cuando el agregado es seco o asumido a estar seco.

5.2 La densidad aparente y densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) corresponden al material sólido que compone las partículas constituyentes sin incluir el espacio de poros dentro de las partículas el cual es accesible al agua. Este valor no es ampliamente usado en la tecnología de agregados de construcción.

5.3 Valores de absorción son usados para calcular el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en el espacio de los poros dentro de las partículas constituyentes, comparado a las condiciones secas, cuando es estimado que el agregado esta en contacto con agua lo suficiente para satisfacer la mayoría de la absorción potencial. El estándar de laboratorio para absorción es ese obtenido después de sumergir el agregado seco por un periodo prescrito de tiempo. Agregados extraídos desde abajo del nivel freático comúnmente tienen un contenido de humedad mayor que la absorción determinada por este método de prueba, si son usados sin oportunidad de secar previo al uso. Viceversa, algunos agregados que no han sido mantenidos continuamente en una condición húmeda hasta ser usados son probables a contener una cantidad de humedad absorbida menos que la condición sumergida 24h. Para un agregado que a estado en contacto con el agua y que esta libre de humedad en la superficie de las partículas, el porcentaje de humedad libre es determinado por deducir la absorción del contenido total de humedad determinado por el método de prueba C566.

5.4 Los procedimientos generales descritos en este método de prueba son adaptables para determinar la absorción de agregados que han sido acondicionados diferente del remojo de 24h, tal como agua hervida o saturación de vacío. Los valores obtenidos para absorción por otro método de prueba serán diferentes de los valores obtenidos por el remojo, al igual que la densidad relativa (gravedad específica) (SSS).

5.5 Los poros en el agregado ligero no son necesariamente llenados con agua después de la inmersión por 24h. En efecto, la absorción potencial de muchos de tales agregados no es satisfecha después de varios días de inmersión en agua. Por tanto, este método de prueba no es intencionado para uso con agregado ligero.

6. Aparato

6.1 *Balanza* - Una balanza o escala teniendo una capacidad de 1kg o mas, sensitiva a 0.1g o menos, una exactitud dentro de 0.1% de la carga de prueba en algún punto dentro del rango de uso para este método de prueba. Dentro de algún rango de 100g de carga de prueba, una diferencia entre lecturas tendrá que ser exacta dentro de 0.1g.

6.2 *Picnómetro (para uso con el procedimiento gravimétrico)* - Un matraz u otro contenedor adaptable dentro del cual la muestra de prueba

de agregado fino pueda ser fácilmente introducida y en la cual el volumen contenido

pueda ser reproducido dentro de $\pm 0.1\text{cm}^3$. El volumen del contenedor lleno hasta la marca tendrá que ser al menos el 50% mayor que el espacio requerido para acomodar la mezcla de prueba. Un matraz volumétrico de 500cm³ de capacidad o una jarra de frutas equipada con una tapa de picnómetro es satisfactorio para una muestra de prueba de 500g de la mayoría de agregados finos.

6.3 *Matraz (para uso con el método volumétrico)* - Un matraz de lee Chatelier como es descrito en el método de prueba C188 es satisfactorio para una muestra de prueba de aproximadamente 55g.

6.4 *Molde y Apisonador para Prueba de Humedad Superficial* - El molde de metal tendrá que ser en forma de un tronco de un cono y sus dimensiones son como sigue: 40 \pm 3mm de diámetro interior en la tapa, 90 \pm 3mm de diámetro interior en el fondo, y 75 \pm 3mm en altura, con el metal teniendo una delgadez mínima de 0.8mm. El apisonador de metal tendrá que tener una masa de 340 \pm 15g y una cara apisonadora circular plana de 25 \pm 3mm en diámetro.

7. Muestreo

7.1 Muestrea el agregado en concordancia con la practica D75. Mezcla a fondo la muestra y redúcela para obtener un espécimen de prueba de aproximadamente 1kg usando el procedimiento aplicable descrito en la practica C702.

8. Preparación del Especimen de Prueba.

8.1 Seca la muestra de prueba en una sartén o recipiente adaptable a una masa constante a la temperatura de 110 \pm 5°C. Permítela enfriar a una temperatura para manipular confortablemente, cúbrela con agua, cualquiera por inmersión o adición de al menos 6% de humedad al agregado fino, y permítelo reposar por 24 \pm 4h.

8.2 Donde los valores de absorción y densidad relativa (gravedad específica) son para ser usados en proporcionamiento de mezclas de concreto en la cual los agregados estarán en su condición natural de humedad, el requerimiento en 8.1 para secado inicial es opcional, y, si la superficie de las partículas en la muestra se ha mantenido continuamente húmeda asta la prueba, los requerimientos en 8.1 para 24 \pm 4h de remojo es también opcional

Nota 1 - Los valores para absorción y para densidad relativa (gravedad específica) (SSS) deben ser significativamente mayores para agregado no secado al horno antes del remojo que para el mismo agregado tratado en concordancia con 8.1.

8.2 Decanta el exceso de agua con cuidado de evitar la pérdida de fino, extiende la muestra en una superficie plana no absorbente expuesta a un suave movimiento de corriente de aire caliente, y revuelve frecuentemente para asegurar el secado homogéneo. Emplea ayudas mecánicas tales como un mezclador o agitando para ayudar a alcanzar la condición saturada superficialmente seca, si es deseado. Continúa esta operación asta que el espécimen de prueba alcance una condición libre de fluidez. Sigue el procedimiento en 8.3 para determinar se la humedad superficial esta todavía presente en las partículas de agregado fin constituyentes. Has la primera muestra para humedad superficial cuando todavía allá algo de agua superficial en el espécimen de prueba. Continúa secando con agitación constante y prueba a intervalos frecuentes asta que la prueba indique que el espécimen ha alcanzado una condición superficialmente seca. Si la primera prueba de humedad superficial indica que la humedad no esta presente en la superficie, el secado a pasado la condición saturada superficialmente seca. En este caso, mezclal a fondo unos pocos mililitros de agua con el agregado fino y permite al espécimen reposar en un contenedor cubierto por 30min. Después repite el proceso de secado y probado a intervalos frecuentes para el inicio de la condición saturada superficialmente seca.

8.3 *Prueba para Humedad Superficial* - Sostén el molde firmemente en una superficie no absorbente con el diámetro mayor hacia abajo. Coloca una porción del agregado fino suelto parcialmente secado en el molde llenándolo hasta desbordar y amontonar material adicional en lo alto del molde sosteniéndolo con la copa de los dedos de la mano sosteniendo el molde. Ligeramente apisona el agregado dentro del molde con 25 caídas ligeras del apisonador. Inicia cada caída aproximadamente 5mm sobre la superficie superior del agregado fino. Permite al apisonador caer libremente bajo la atracción gravitacional de cada caída. Ajusta la altura de inicio a la elevación de cada nivel de superficie después de cada caída y distribuye las caídas

sobre la superficie. Remueve la arena suelta desde la base y levanta el molde verticalmente. Si la humedad superficial todavía esta presente, el agregado fino retendrá la forma del molde. Un ligero revenimiento del agregado fino moldeado indica que ha alcanzado una condición superficialmente seca.

8.3.1 Algunos agregados finos con partículas de forma angulosa predominantemente o con una alta proporción de finos que no presentan revenimiento hasta alcanzar la condición superficialmente seca. Prueba dejando caer un puñado de agregado fino desde el cono de prueba sobre una superficie desde una altura de 100 a 150mm, y observa por finos suspendiéndose en el aire; la presencia de finos suspendidos en aire indica este problema. Para estos materiales, considera la condición saturada superficialmente seca como el punto que un lado del agregado fino asienta ligeramente sobre remover el molde.

Nota 2 - Los siguientes criterios han sido también usados en materiales que no asientan fácilmente.

(1) *Cono de Prueba Provisional* - Llena el molde de cono como se describe en 8.3 excepto usando solo 10 caídas del apisonador. Añade mas agregado fino y usa 10 caídas del apisonador otra vez. Después añade material dos veces mas usando 3 y 2 caídas del apisonador, respectivamente. Nivelas el material con la tapa del molde, remueve el material perdido de la base; y levanta el molde verticalmente.

(2) *Prueba Superficial Provisional* - Si son notados finos disueltos en el aire cuando el agregado fino es tal que no asienta cuando esta en condición húmeda, añade mas humedad a la arena, y al inicio de la condición superficialmente seca, ligeramente palmea 100g del material sobre una superficie plana, seca, limpia, oscura u opaca no absorbente tal como una hoja de goma, una superficie desgastada oxidada, galvanizada o de acero, o una superficie de metal pintada de negro. Después de 1 o 3s, remueve el agregado fino. Si es mostrada humedad notable en la superficie de prueba por más de 1 a 2s después la humedad superficial es considerada a estar presente en el agregado fino.

(3) Procedimientos colorimétricos descritos por Kandhal & Lee, Highway Research Record No 307, P44

(4) Para llegar a la condición saturada superficialmente seca en un material de un solo tamaño que asienta cuando esta mojado, pueden

ser usadas toallas de papel ásperas para secar superficialmente el material asta el punto es alcanzado donde el papel toalla no aparenta recoger humedad de la superficie del las partículas de agregado fino.

9. Procedimiento.

9.1 Prueba por cualquier procedimiento gravimétrico en 9.2 o volumétrico en 9.3. Has todas las determinaciones de masa a 0.1g.

9.2 Procedimiento Gravimétrico (Picnómetro):

9.2.1 Llena parcialmente el picnómetro con agua. Introduce dentro del picnómetro 500±10g de agregado fino superficialmente seco preparado como se describe en la sección 8, y llena con agua adicional a aproximadamente 90% de la capacidad. Agita el picnómetro como se describe en 9.2.1.1 (manualmente) o 9.2.1.2 (mecánicamente).

9.2.1.1 Manualmente rota, invierte y agita el picnómetro para eliminar todas las burbujas de aire.

Nota 3 - Alrededor de 15 a 20 minutos son requeridos normalmente para eliminar las burbujas de aire por el método manual, sumergir la punta de un papel toalla dentro del picnómetro a sido encontrado útil para dispersar la espuma que a veces sube cuando eliminan las burbujas de aire. Opcionalmente, una pequeña cantidad de alcohol isopropilico debe ser usada para dispersar la espuma.

9.2.1.2 Mecánicamente agita el picnómetro por vibración externa en una forma que no degrade la muestra. Un nivel de agitación ajustado para acabar de establecer partículas individuales en movimiento es suficiente para promover el desairado sin degradación. Un agitador mecánico tendrá que ser considerado aceptable para uso si pruebas comparativas para cada periodo de seis meses de uso muestra variaciones menores que el rango de dos resultados (d2s) indicado en la tabla 1 desde los resultados de agitación manual en el mismo material.

9.2.2 Después de eliminar todas las burbujas de aire, ajusta la temperatura del picnómetro y su contenido a 23.0±2.0°C si es necesario por inmersión parcial en agua circulando, y lleva el nivel de agua en el picnómetro a su capacidad calibrada. Determina la masa total del picnómetro, espécimen y agua.

9.2.3 Remueve el agregado fino del picnómetro, seca a una masa constante a una temperatura de 110±5°C, enfría en aire a la temperatura del cuarto por 1±1/2h, y determina la masa.

9.2.4 Determina la masa del picnómetro lleno a su capacidad calibrada con agua a 23.0±2.0°C.

9.3 Procedimiento Volumétrico (Matraz de le Chatelier):

9.3.1 Llena el matraz inicialmente con agua a un punto en el cuello entre la marca de 0 y 1mL. Registra esta lectura inicial con matraz y contenido dentro del rango de temperatura de 23.0±2.0°C. Añade 55±5g de agregado fino en la condición saturada superficialmente seca (u otra cantidad medida como sea necesario). Después que todo el agregado fino ha sido introducido, coloca el tapón en el matraz y gira el matraz en una posición inclinada, o suavemente arremolínalo en un círculo horizontal a fin de desalojar todo el aire atrapado, continúa asta que no suban más burbujas a la superficie (Nota 4). Toma una lectura final con el matraz y contenido dentro de 1°C de la temperatura original.

Nota 4 - Una pequeña cantidad medida (no excediendo 1mL) de alcohol isopropilico debe ser usada para eliminar espuma apareciendo en la superficie del agua. El volumen de alcohol usado debe ser abstraído de la lectura final (R2).

9.3.2 Para la determinación de la absorción, utilicen una proporción separada de 500 ± 10g de agregado fino saturado superficialmente seco, seca hasta una masa constante, y determinar la masa seca.

10. Cálculos

10.1 Símbolos:

A = masa del espécimen seco al horno, g

B = masa del picnómetro lleno con agua a la marca de calibración, g

C = masa del picnómetro llenado con el espécimen y agua a la marca de calibración, g
R1 = lectura inicial del nivel de agua en el matraz de Le Chatelier, mL

R2 = lectura final de agua en el matraz de Le Chatelier, mL
S = masa del espécimen saturada superficialmente seca (usada en el procedimiento gravimétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica), o para absorción con ambos procedimientos), g

S1 = masa del espécimen saturado superficialmente seco (usado en el procedimiento gravimétrico para densidad y densidad relativa (gravedad específica)), g

10.2 Densidad Relativa (gravedad específica):

10.2.1 Densidad Relativa (gravedad específica) (OD)
- Calcular la densidad relativa (gravedad específica) en la base de agregado seco al horno como sigue:

10.2.1.1 Procedimiento Gravimétrico:

Densidad relativa (gravedad específica) (OD)
= $A/(B+S-C)$ (1)

10.2.1.2 Procedimiento volumétrico:

Densidad relativa (gravedad específica) (OD)
= $[S_1(A/S)]/[0.9975(R_2 - R_1)]$ (2)

10.2.2 La densidad relativa (gravedad específica) saturado Superficialmente seco - Calcular la densidad relativa (gravedad específica) en base del agregado seco superficial saturado como sigue:

10.2.2.1 Procedimiento Gravimétrico:
Densidad relativa (gravedad específica)
= $S/(B+S-C)$ (3)

10.2.2.2 Procedimiento volumétrico:
Densidad relativa (gravedad específica)
= $S_1/[0.9975(R_2 - R_1)]$ (4)

10.2.3 Densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente) - Calcular la densidad relativa aparente (Gravedad específica aparente) como sigue:

10.2.3.1 Procedimiento Gravimétrico:

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente) = $A/(B+A-C)$ (5)

10.2.3.2 Procedimiento volumétrico:

Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)

$$= \frac{S_1(A/S)}{0.9975(R_2 - R_1) - [(S_1/S)(S-A)]} \quad (6)$$

10.3 Densidad

10.3.1 Densidad (OD) - Calcular la densidad en base de agregado secado al horno como sigue:

10.3.1.1 Procedimiento Gravimétrico:

Densidad (OD), $\text{kg/m}^3 = 997.5A/(B+S-C)$ (7)

Densidad (OD), $\text{lb/ft}^3 = 62.27A/(B+S-C)$ (8)

10.3.1.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad (OD), } \text{kg/m}^3 \\ = 997.5S_1(A/S)/[0.9975(R_2 - R_1)] \quad (9)$$

$$\text{Densidad (OD), } \text{lb/ft}^3 \\ = 62.27S_1(A/S)/[0.9975(R_2 - R_1)] \quad (10)$$

NOTA 5 Los valores constantes usados en los cálculos en 10.3.1-10.3.3 (997.5 kg/m^3 y 62.27 lb/ft^3) son la densidad del agua a 23°C. Algunas autoridades recomiendan usar la densidad del agua a 4°C (1000 kg/m^3 o 1000 Mg/m^3 o 62.43 lb/ft^3) siendo suficientemente exactas.

10.3.2 Densidad (saturado superficialmente seco)
- Calcular la densidad en la base de agregado saturado superficialmente seco como sigue:

10.3.2.1 Procedimiento Gravimétrico:

Densidad (SSD), $\text{kg/m}^3 = 997.5S/(B+S-C)$ (11)

Densidad (SSD), $\text{lb/ft}^3 = 62.27S/(B+S-C)$ (12)

10.3.2.2 Procedimiento volumétrico:

Densidad (SSD), $\text{kg/m}^3 = 997.5S_1/[0.9975(R_2 - R_1)]$ (13)

Densidad (SSD), $\text{lb/ft}^3 = 62.27S_1/[0.9975(R_2 - R_1)]$ (14)

10.3.3 Densidad aparente - Calcular la densidad aparente como sigue:

10.3.3.1 Procedimiento Gravimétrico:

Densidad aparente (SSD), $\text{kg/m}^3 = 997.5A/(B+A-C)$ (15)

Densidad aparente (SSD), $\text{lb/ft}^3 = 62.27A/(B+A-C)$ (16)

10.3.3.2 Procedimiento volumétrico:

$$\text{Densidad aparente (SSD), } \text{kg/m}^3 \\ = \frac{997.5S_1(A/S)}{0.9975(R_2 - R_1) - [(S_1/S)(S-A)]} \quad (17)$$

$$\text{Densidad aparente (SSD), } \text{lb/ft}^3 \\ = \frac{62.27S_1(A/S)}{0.9975(R_2 - R_1) - [(S_1/S)(S-A)]} \quad (18)$$

10.4 Absorción - Calcular el porcentaje de la absorción como sigue:

$$\text{Absorción, } \% = 100[(S-A)/A] \quad (19)$$

11. Reporte

11.1 Reporte los resultados de densidad a la cercanía de 10 kg/m^3 , o 0.5 lb/ft^3 , Resultados de Densidad Relativa (Gravedad Específica) a la

cercanía de 0.01, e indica la base para densidad o densidad relativa (gravedad específica), como cualquiera (OD), Saturada Superficialmente Seca (SSS) o aparente. 11.2 Reporte los resultados de absorción a la cercanía de 0.1%. 11.3 Si los valores de densidad y densidad relativa (gravedad específica) fueron determinados sin secar primero el agregado, como permitido en 8.2, anota ese echo en el reporte.

12 Precisión y Tendencia

12.1 Precisión - La estimación de precisión en este método de prueba (listada en tabla 1) son basados en resultados de el Programa de Competencia de Muestras de Laboratorio para Referencia de Materiales de AASHTO, con pruebas conducidas por este método de prueba y el método AASHTO T84. La diferencia significativa entre ambos métodos es que el

Método C128 requiere un periodo de saturación de 24±4 h, y el Método de Prueba AASHTO T84 requiere un periodo de saturación de 15 a 19 h. esta diferencia se a encontrado tiene un efecto insignificante en los índices de precisión. Los datos están basados en el análisis de más de 100 pares de resultados de pruebas desde 40 a 100 laboratorios. La precisión estimada para densidad fue calculada de valores determinados para densidad relativa (gravedad específica), usando la densidad del agua a 23°C para la conversión.

12.2 Tendencia - Dado que no hay material de referencia aceptado para determinar cuál es el sesgo de este método de prueba, ninguna declaración sobre los prejuicios se está realizando 13. Palabras claves

13.1 Absorción; agregado; densidad aparente; densidad relativa aparente; densidad; agregado fino; densidad relativa; gravedad específica.

Tabla 1 Precisión

	Desviación estándar (1s) ^A	Rango aceptable de dos resultados (d2s) ^A
Sola precisión del operador:		
Densidad (OD), kg/m ³	11	13
Densidad (SSD), kg/m ²	2 9.5	27
Densidad aparente, kg/m ³	3 9.5	27
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0.011	0.032
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0.0095	0.027
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.0095	0.027
Absorción, ^B %	0.11	0.31
Precisión de Multilaboratorio:		
Densidad (OD), kg/m ³	23	64
Densidad (SSD), kg/m ³	20	56
Densidad aparente, kg/m ³	20	56
Densidad relativa (gravedad específica) (OD)	0.023	0.066
Densidad relativa (gravedad específica) (SSD)	0.020	0.056
Densidad relativa aparente (gravedad específica aparente)	0.020	0.056
Absorción ^B , %	0.23	0.66

^A Estos números representan, respectivamente, los límites (1s) y (d2s) como se describe en la práctica C 670. La precisión estimada fue obtenida del análisis de combinaciones de muestras capaces de Laboratorios para Referencia de Materiales AASHTO datos de laboratorios usando periodos de saturación de 15 a 19h y otros laboratorios usando periodos de saturación de 24 ± 4h. Las pruebas fueron desempeñadas en agregados de peso normal, e iniciaron con agregados en condición secada al horno. ^B Precisión estimada esta basada en agregados con absorción menor a 1% y deben diferir para agregados finos manufacturados y agregados teniendo valores de absorción mayores de 1 %.

APÉNDICE

(Información No obligatoria)

X1. INTECORRELACIONES ENTRE LAS DENSIDADES RELATIVAS (GRAVEDADES ESPECÍFICAS) Y LA ABSORCIÓN COMO ES DEFINIDO EN LOS MÉTODOS DE PRUEBA C 127 Y C 128.

X1.1 Este apéndice da intercorrelaciones matemáticas entre los tres tipos de densidades relativas (gravidades específicas) y absorción. Estos deben ser útiles en verificar la consistencia de los datos de reporte o calcular un valor que no fue reportado mediante el uso de otros datos de reporte.

X1.2 Donde:

- S_d = Densidad relativa (gravidad específica) (OD),
- S_s = Densidad relativa (gravidad específica) (SSD),
- S_a = Densidad relativa aparente (gravidad específica aparente), y
- A = Absorción, en %.

$$S_s = \left(1 + \frac{A}{100}\right) S_d \quad (X1.1) \quad = \frac{S_s}{1 + \frac{A}{100}(S_s - 1)}$$

$$S_s = \frac{1}{\frac{1}{S_d} - \frac{A}{100}} = \frac{S_d}{1 - \frac{AS_d}{100}} \quad (X1.2) \quad A = \left(\frac{S_s}{S_d} - 1\right) 100 \quad (X1.4)$$

$$S_a = \frac{1}{\frac{1 + \frac{A}{100}}{S_s} - \frac{A}{100}} \quad (X1.3) \quad A = \left(\frac{S_a - S_s}{S_a(S_s - 1)}\right) 100 \quad (X1.5)$$



Designación: C 131-03

Método Estándar De prueba para Resistencia a Degradación de Tamaño pequeño Agregado Grueso por Abrasión e Impacto en la Máquina de Los Angeles.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 131; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance.

1.1 Este método de la prueba cubre un procedimiento para probar tamaños de agregados gruesos más pequeño de 37,5 mm (1½ in.) para la resistencia a la degradación usando la máquina de prueba de Los Angeles (Nota 1).

NOTA 1 - Un procedimiento para probar en gran parte mas de 19,0 mm (¾ in.) de agregados gruesos se cubre en el método C 535.

1.2 La prueba que los valores indicados en unidades del SI deben ser mirados como estándar. Los valores de libra-pulgada dados entre paréntesis están para información solamente.

1.3 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar de establecer apropiadas prácticas de seguridad y sanidad y determinan la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes del uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

6/A 6M Especificación para los requisitos generales para las barras de acero estructurales, las placas, las formas, y la viruta de hoja rodadas.

C 125 Terminología referente a los agregados concretos y concretos.²

C 136 Método de prueba para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.³

C 535 Método de prueba para la resistencia a la degradación del agregado grueso de gran tamaño por la abrasión y afectan en la máquina de Los Angeles.³

C 670 Práctica para elaborar la precisión y las declaraciones diagonales para los métodos de la prueba para los materiales de construcción.³

C 702 Práctica para reducir muestras de agregado al tamaño de prueba.³

D 75 Práctica para muestrear los agregados.⁴

E 11 Especificación para tejido de alambre y los tamices para los propósitos de prueba.⁵

3. Terminología

3.1 Definiciones - Para las definiciones de los términos usados en este método de la prueba, refieran a la terminología C 125.

4. Resumen del método de la prueba

4.1 Esta prueba es una medida de degradación de los agregados minerales de gradaciones estándar resultando de una combinación de acciones incluyendo la abrasión o agotamiento, impacto, y pulido en un tambor de acero giratorio que contiene un número especificado de esferas de acero, el número depende de la clasificación de la muestra de la prueba. Mientras que el tambor gira, una placa de la plataforma captura la muestra y las esferas de acero, llevándolas alrededor hasta que se caigan al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto de aplastamiento. El contenido entonces rueda dentro del tambor con una abrasión y la acción de pulido hasta la placa de la plataforma captura la muestra y las esferas de acero, y se repite el ciclo. Después de que el número prescrito de revoluciones, el contenido se quite del tambor y la porción de agregados se tamiza para medir la degradación como pérdida del por ciento.

¹ Este método de prueba es bajo la jurisdicción de Comité ASTM C09 sobre el Hormigón y Conjuntos Concretos y es la responsabilidad directa de Subcomité C09.20 sobre Conjuntos de Peso Normales. Edición corriente aprobada el 10 de marzo de 2003. Abril de 2003 publicado. Al principio aprobado en 1937. Última edición anterior aprobada en 2001 como C 131-01

² Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 01.04.

³ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02.

⁴ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.03.

⁵ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 14.02.

5. Significado y uso

5.1 Esta prueba ha sido ampliamente utilizada como indicador de la calidad relativa o de la capacidad de diversas fuentes de agregado que tenía composiciones minerales similares. Los resultados no permiten automáticamente que las

comparaciones válidas sean hechas entre las fuentes distintamente de diferentes origen, la composición, o la estructura. Asignen los límites de especificación con cuidado extremo en la consideración de tipos agregados disponibles y de su historia del funcionamiento de usos finales específico.

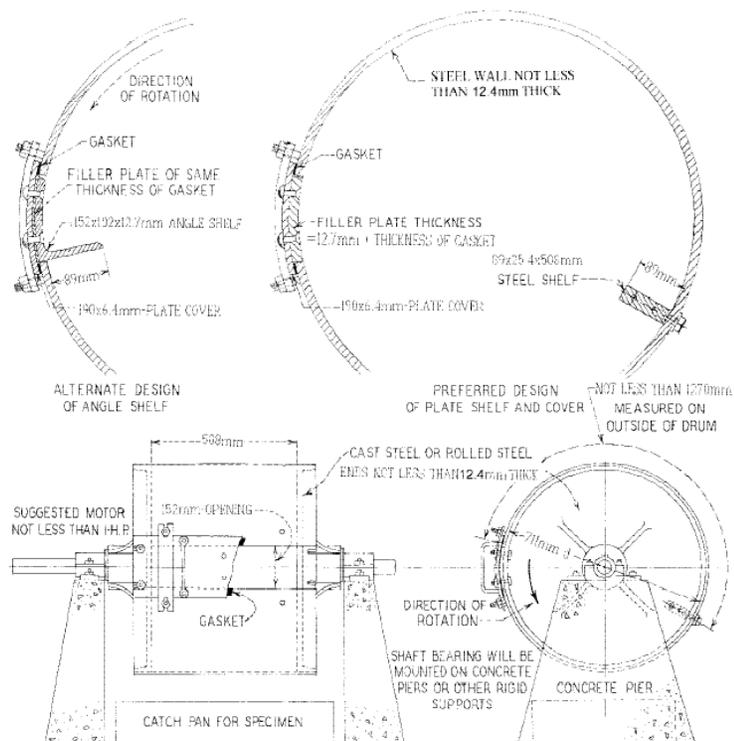


Fig. 1 Máquina de prueba de Los Ángeles

Equivalentes de Pulgada

mm.	6.4	12.7	25.4	89	102	152	190	508	711	1270
in.	1/4	1/2	1	3 1/2	4	6	7 1/2	20	28	50

6. Aparato

6.1 Máquina de Los Angeles - Una máquina de Los Ángeles, conformando en todas las características esenciales al diseño mostrado en fig. 1, será utilizado. La máquina consistirá en un cilindro de acero hueco, con un grueso de pared de no menos que 12.4 mm (Nota 2) serrado en ambos extremos, conforme a las dimensiones mostradas en fig. 1, teniendo un diámetro interior de 711 ± 5 mm (28 ± 0.2 in.), y una longitud interior de 508 ± 5 mm (20 ± 0.2 in.). El cilindro

será montado en los ejes cortos atados a los finales del cilindro pero de no entrarlo, y montado de manera que gire con el eje en una posición horizontal dentro de una tolerancia en la cuesta de 1 en 100. Una abertura en el cilindro será proporcionada para la introducción de la muestra de la prueba. Una cubierta conveniente, hermética al polvo será proporcionada para la abertura los medios para empernar la cubierta en el lugar. La cubierta será así diseñada en cuanto mantengan el contorno cilíndrico de la superficie

interior a menos que la plataforma este localizado de modo que la carga no caerá en la cubierta, ni la entrará en contacto durante la prueba. Una plataforma de acero desprendible que amplía el integral del cilindro y que proyecta el interior 89 ± 2 mm (3.5 ± 0.1 in.) será montado en la superficie cilíndrica interior del cilindro, de una manera tal que un aparato centrado entre las caras grandes coincida con un aparato axial. La plataforma estará de tal grueso y así montado, por los pernos u otros medios convenientes, en cuanto sea firme y rígido. La posición de la plataforma (Nota 3) será de tal manera que la muestra y las esferas de acero no se impacten cerca a la abertura y a su cubierta, y que la distancia de la plataforma a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro en la dirección de la rotación, será no menos de 1270 mm (50 in.). Examinen la plataforma periódicamente para determinar que no está doblado longitudinalmente o de su posición radial normal en cuanto al cilindro. Si se encuentra cualquier condición, reparen o substituyan la plataforma antes de que se conduzcan otras pruebas.

NOTA 2 - Ésta es la tolerancia mínima permitida en la placa de acero rodada de 12,7 mm ($\frac{1}{2}$ in.) según lo descrito en la especificación A 6/A los 6M.

NOTA 3 El uso de una plataforma del acero desgaste-resistente, rectangular en seccionado transversalmente y montado independientemente de la cubierta, que se prefiere. Sin embargo, una plataforma que consiste en una sección del ángulo rodado, montada correctamente en el interior de la tapadera, se puede utilizar proporcionando la dirección de la rotación que la carga es tal que será capturada en la cara exterior del ángulo.

6.1.1 La máquina será tan ambicioso y tan compensado como para mantener una velocidad periférica sustancialmente uniforme (Nota 4). Si se utiliza un ángulo como la plataforma, la dirección de la rotación deberá ser tal que la carga es capturado en el exterior superficie del ángulo.

NOTA 4 El contragolpe o el resbalón en el mecanismo de arrastre es muy probable que

9.1 Pongan la muestra de la prueba y la carga en la máquina de prueba de Los Angeles y giren la

suministre los resultados de la prueba que no son duplicados por otras máquinas de Los Angeles

6.2 Tamices, conforme a la especificación E 11.

6.3 Balanza - Un balanza o una escala exacta dentro del 0.1% de prueba de carga sobre el rango requerido para esta prueba.

6.4 Carga - La carga consistirá en las esferas de acero que hacen un promedio de aproximadamente 46.8 mm ($1\frac{27}{32}$ in.) de diámetro y de cada uno que tiene una masa entre 390 y 445 g.

6.4.1 La carga, (Nota 5) dependiendo de la clasificación de la muestra de la prueba según lo descrito en la sección 8, será como sigue:

Clasificación	Número de esferas	Masa de la carga, g
A	12	5000 \pm 25
B	11	4584 \pm 25
C	8	3330 \pm 20
D	6	2500 \pm 15

NOTA 5 Los rodamientos de acero 46,0 mm ($1\frac{13}{16}$ in.) y 47,6 mm ($1\frac{7}{8}$ in.) de diámetro, teniendo una masa de aproximadamente 400 y 440 g cada uno, respectivamente, son fácilmente disponibles. Las esferas de acero 46.8 mm ($1\frac{27}{32}$ in.) de diámetro que tiene una masa de aproximadamente 420 g pueden también ser obtenibles. La carga puede consistir en una mezcla de estos tamaños conforme a las tolerancias totales de 6.4 y 6.4.1.

7. Muestreo

7.1 Obtengan la muestra del campo de acuerdo con práctica D 75, y reducir la muestra del campo.

8. Prueba de preparación de la muestra.

8.1 Laven la muestra reducida y séquenla en el horno en $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$) a la masa substancialmente constante (véase 9.1.1), se separa en fracciones individuales del tamaño, y recombina a la clasificación del cuadro 1 que corresponde lo más casi posible al rango de tamaños en el agregado según lo suministrado para el trabajo. Registren la masa de muestra antes de la prueba al más cercano a 1g.

máquina en una velocidad de 30 a 33 r/min para 500 revoluciones (Nota 6). Después de que el número prescrito de revoluciones, descargue el

material de la máquina y haga una separación preliminar de la muestra en un tamiz más grueso que el tamiz de 1.70 milímetros (No. 12). Tamicen la porción más fina en un tamiz de 1.70 mm en una forma conforme a el método C 136 de la prueba. Laven el material más grueso que el tamiz de 1,70 mm (No. 12) y séquelo en el horno en $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ ($230 \pm 9^{\circ}\text{F}$) a la masa substancialmente constante (véase 9.1.1), y determine la masa al 1 g más cercano (Nota 7).

9.1.1 Si el agregado está esencialmente libre de capas adherentes y el polvo, el requisito para lavarse después de la prueba es opcional. Sin embargo, en el caso de la prueba del árbitro, el procedimiento de lavado se llevará a cabo.

NOTA 6 - Información valiosa referente a la uniformidad de la muestra bajo prueba puede ser obtenido determinando la pérdida después de 100 revoluciones. La pérdida se debe determinar por tamizando seco el material en el tamiz de 1,70 mm sin lavarse. El coeficiente de la pérdida después de que 100 revoluciones a la pérdida después de que 500 revoluciones no deban exceder grandemente de 0.20 para el material de la dureza uniforme. Cuando se hace esta determinación, tomen el cuidado para evitar perder cualquier parte de la muestra; vuelvan la muestra entera, incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de prueba para las 400 revoluciones finales requeridas para terminar la prueba.

NOTA 7 - Eliminación de lavarse después de que la prueba reduzca raramente la pérdida medida por más que el cerca de 0.2% de la masa de la muestra original.

10.1 Calculen la pérdida (diferencia entre la masa original y la masa final de la muestra de la prueba) como porcentaje de la masa original de la muestra de la prueba. Informe este valor como la pérdida del por ciento (Nota 8).

NOTA 8 - La pérdida del por ciento determinada por este método de la prueba no tiene ninguna

relación constante sabida a la pérdida del por ciento para el mismo material cuando es probada por el método C 535 de la prueba.

11. Informe

11.1 Reporte la información siguiente:

11.1.1 Identificación del agregado en cuanto a fuente, tipo, y tamaño máximo nominal;

11.1.2 Designación de clasificación del cuadro 1 usado para la prueba; y

11.1.3 Pérdida por la abrasión y el impacto de la muestra expresada al 1% más cercano por la masa.

12. Precisión y Tendencia

12.1 Para el nominal no se espera que el agregado grueso del tamaño máximo de 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ -in.) con pérdidas del por ciento en el rango de 10 a el 45%, el coeficiente de variación multi-laboratorio se ha encontrado para ser el 4.5%⁶ por lo tanto, los resultados de dos pruebas correctamente conducidas a partir de dos diversos laboratorios en las muestras de los mismos agregados gruesos diferencian entre si por más que el 12.7%⁶ (probabilidad del 95%) de su media. El coeficiente de un solo operador de variación se ha encontrado para ser 2.0%.⁶ Por lo tanto, los resultados de dos pruebas correctamente conducidas del mismo operador en el mismo agregado grueso diferencian entre si por más de 5.7% (probabilidad del 95%) de su media.

12.2 Tendencia

Puesto que no hay material de referencia aceptado conveniente para determinar la tendencia para este procedimiento, no se está _____ haciendo ninguna declaración sobre tendnecia.

13. Palabras claves

13.1 Abrasión; agregado (grueso; tamaño pequeño); degradación; impacto; Máquina de Los Ángeles.

⁶ Estos números representan, respectivamente, (1s%) y los límites (d2s%) como en la práctica descrita C 670.

APÉNDICE

(Información No Obligatorio)

XI. MANTENIMIENTO DE LA PLATAFORMA

X1.1 La plataforma de la máquina de Los Ángeles está conforme a desgaste e impacto superficiales severos. Con el uso, la superficie de funcionamiento de la plataforma es martillada por las bolas y tiende a desarrollar una cresta del metal paralelo y de cerca de 32 mm (1¼ in.) del empalme de la plataforma y de la superficie interna del cilindro. Si la plataforma es a partir de una sección de ángulo laminado, no sólo puede convertirse en cresta pero la plataforma, por si mismo puede ser doblada longitudinalmente o transversal de su posición correcta.

X1.2 La plataforma se debe examinar periódicamente para determinar que no está doblado longitudinalmente o de su radial normal en cuanto a la colocación del cilindro. Si se encuentra cualquier condición, la plataforma debe ser reparado o ser substituido antes de que se hagan otras pruebas. La influencia sobre el resultado de la prueba de la cresta desarrollado por martilleo de la cara de trabajo de la plataforma no es conocida. Sin embargo, para las condiciones de prueba uniforme, se recomienda que la cresta se baja si fuera su altura superior a 2 mm (0.1 in)

RESUMEN DE CAMBIOS

Esta sección identifica la ubicación de los cambios a este método de la prueba que se han incorporado desde el problema pasado (C 131-01).

- | | |
|---|---|
| <p>(1) 1.2 fue revisado.
 (2) La especificación A 6/A 6M fue añadida a la sección 2.
 (3) 6.1 fue revisado, y la Nota 2 fue añadida.
 (4) Las notas restantes fueron reenumeradas.
 (5) 8.1 fueron revisados.</p> | <p>(6) 9.1 fueron revisados.
 (7) 9.1.1 fueron revisados.
 (8) 12.1 fue revisado.
 (9) La Nota 6 fue revisada.
 (10) La Fig. 1 fue revisada</p> |
|---|---|

Tabla 1
Gradaciones de las muestras de la prueba.

Tamaño del tamiz (aberturas cuadradas)		Masa de tamaños indicados, g			
Pasando	Conservado sobre	Clasificación			
		A	B	C	D
37.5 mm (1½ in.)	25.0 mm (1 in.)	1 250 ± 25	---	---	---
25.0 mm (1 in.)	19.0 mm (¾ in.)	1 250 ± 25	---	---	---
19.0 mm (¾ in.)	12.5 mm (½ in.)	1 250 ± 10	2500 ± 10	---	---
12.5 mm (½ in.)	9.5 mm (⅜ in.)	1 250 ± 10	2500 ± 10	---	---
9.5 mm (⅜ in.)	6.3 mm (¼ in.)	---	---	2500 ± 10	---
6.3 mm (¼ in.)	4.75-mm (No. 4)	---	---	2500 ± 10	---
4.75-mm (No. 4)	2.36-mm (No. 8)	---	---	--	5000 ± 10
Total		5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Designación: C 136-01



Método Estándar de la Prueba para Análisis de Tamiz de Agregados Finos y Gruesos.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 136; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (©) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa

1. Alcance

1.1 Este método de la prueba cubre la determinación de la distribución dimensional de partícula de agregados finos y gruesos por tamizado.

1.2 Algunas especificaciones para los agregados que se refieren a este método contienen requisitos de clasificación incluyendo ambos fracciones gruesos y finas. Las instrucciones son incluidas para el análisis de tamiz de tales agregados.

1.3 Los valores indicados en unidades del SI deben ser mirados como el estándar. Los valores entre paréntesis se proporcionan para los propósitos de la información solamente. La especificación E 11 señala el tamaño de los marcos del tamiz con las unidades de la pulgada como estándar, pero en este método de la prueba el tamaño de marco se señala en equivalente de las unidades del SI exactamente a las unidades de la pulgada.

1.4 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 117 Método de Prueba para materiales más fino de Tamiz 75 μm (No.200) en agregados minerales lavándose.²

C 125 Terminología referente a concreto y al concreto en agregados.²

C 670 Práctica para elaborar la precisión y las declaraciones Diagonales para los métodos de la prueba para los materiales de construcción.²

C 702 Práctica para reducir muestras del campo de agregado al tamaño de prueba.²

D 75 Práctica para muestrear los agregados.³

E 11 Especificación para el tejido metálico de los tamices para los propósitos de prueba.⁴

2.2 Estándar de AASHTO:

AASHTO No T 27 Análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.⁵

3. Terminología

3.1 Definiciones - Para las definiciones de los términos usados en este estándar, referir a terminología C 125.

4. Resumen del método de la prueba

4.1 Una muestra de agregado seco de masa conocida se separa a través de una serie de tamices de aberturas progresivamente más pequeñas para la determinación de la distribución de tamaño de partículas.

5. Significación y uso

5.1 Este método de la prueba se utiliza sobre todo para determinar la clasificación de los materiales propuestos para el uso como los agregados o que son utilizados como agregados. Los resultados se utilizan para determinar la conformidad de la distribución dimensional de partícula con requisitos aplicables de la especificación y para proporcionar los datos necesarios para el control de la producción de diversos productos y las mezclas que contienen los agregados. Los datos también pueden ser útiles en el desarrollo de las relaciones relativas a la porosidad y el embalaje.

5.2 La determinación exacta del material más fino que el tamiz de 75 μm (No. 200) no se puede alcanzar por medio de este método solamente. El método de prueba C 117 para el tamiz 75 μm de material más fino por lavado debe ser empleado.

¹ Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité de ASTM C09 en Hormigón y los áridos de concreto y es responsabilidad directa de la Subcomisión C09.20 sobre los agregados de peso normal. Edición actualizada y aprobada, 10 de junio 2001. Publicado en agosto de 2001. Originalmente publicado como C 136-38 T. Última edición anterior C 136 - 96a.

² Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02.

³ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.03.

⁴ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 14.02.

6. Aparato

6.1 Balanzas - Balanzas o escalas usadas en agregados finos y grueso que tendrá legibilidad y exactitud como sigue:

6.1.1 Para el agregado fino, legible a 0.1 g y exacto a 0.1 g o 0.1% de la carga de la prueba, cualquiera que sea mayor, en cualquier momento dentro de la rango de uso.

6.1.2 Para el agregado grueso, o las mezclas de agregado fino y grueso, legible y exacto a 0.5 g o 0.1% de la carga de la prueba, cualquiera que sea mayor, en cualquier momento dentro de la rango de uso.

6.2 Tamices - El tamiz de tejido será montado substancialmente los marcos construidos de una forma que prevendrán la pérdida de material durante el tamizado. El tejido del tamiz y los marcos estándar del tamiz se ajustarán a los requisitos de la especificación E 11. Marcos del tamiz no estándar se ajustará a los requisitos de Especificación E 11 como aplicables.

NOTA 1 - Se recomienda que los tamices montados en los marcos más grandes que el estándar de diámetro de 203.2 mm (8 in.) se utilice para probar el agregado grueso a reduzcan la posibilidad de sobrecargar los tamices. Vean 8.3.

6.3 Tamizadora Mecánica - Un dispositivo de tamizado mecánico, si se utiliza, creará el movimiento de los tamices para causar partículas a rebotar, a caer, o a dar vuelta de otra manera para presentar diversas orientaciones a la superficie de tamizado. La acción de tamizado deberá ser tal que el criterio para la suficiencia del tamizado descrito en 8.4 se encuentra en un plazo razonable.

NOTA 2 - El uso de una tamizadora mecánica se recomienda cuando el tamaño de la muestra es 20 kilogramos o mayores, y se puede utilizar para muestras más pequeñas, incluyendo el agregado fino. La hora excesiva (más que minuto aproximadamente 10) de alcanzar el tamizado adecuado puede dar lugar a la degradación de la muestra. La misma tamizadora mecánica puede no ser práctica para todos los tamaños de muestras, puesto que el área del tamizado grande necesaria para el tamizado práctico de un agregado grueso del tamaño grande nominal podría dar lugar muy probablemente a pérdida de una porción de la muestra si estuvo utilizada

para una pequeña muestra de agregado grueso o de agregado fino.

6.4 Horno - Un Horno del tamaño apropiado capaz de mantener una temperatura uniforme de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

7. Muestreo

7.1 Muestra el agregado de acuerdo con la práctica D 75. El tamaño de la muestra del campo será la cantidad mostrada en práctica D75 o cuatro veces la cantidad requerida en 7.4 y 7.5 (excepto según lo modificado en 7.6), cualquiera que sea mayor.

7.2 Mezclar a fondo la muestra y redúzcanla a una cantidad conveniente para la muestra usando los procedimientos aplicables descritos en la práctica C 702. La muestra para la prueba será aproximadamente la cantidad deseada cuando es seca y será el resultado final de la reducción. La reducción a una cantidad predeterminada exacta lo va a hacer no ser permitido.

NOTA 3 - Donde el análisis de tamiz, incluyendo la determinación del material más fina que el tamiz de 75 μm , es la única prueba propuesta, el tamaño de la muestra se puede reducir en el campo para evitar enviar cantidades excesivas de material adicional al laboratorio.

7.3 Agregado fino - El tamaño de la muestra de la prueba, después el secado, será de 300g mínimos.

7.4 Agregado grueso - El tamaño de la muestra de la prueba del agregado grueso conformará con el siguiente:

Tamaño máximo nominal, Aberturas Cuadradas, mm (in.)	Prueba de muestra en tamaños, min, kg (lb)
9.5 ($\frac{3}{8}$)	1 (2)
12.5 ($\frac{1}{2}$)	2 (4)
19.0 ($\frac{3}{4}$)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 ($1\frac{1}{2}$)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 ($2\frac{1}{2}$)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 ($3\frac{1}{2}$)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
125 (5)	300 (660)

7.5 Mezclas del agregado grueso y fino - El tamaño de la muestra de la prueba de mezclas del agregado grueso y fino será igual que para el agregado grueso en 7.4.

7.6 Muestras de agregado grueso de gran tamaño.
- El tamaño de la muestra requerido para el agregado con tamaño máximo nominal de 50 mm o más grande es por ejemplo impedir la reducción conveniente y la prueba de la muestra como unidad excepto con grandes divisores mecánicos y agitadores de tamiz. Como una opción cuando el equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar incrementos de la muestra y luego reducir el tamaño de la muestra de campo para la verificación, realizar el análisis de tamiz en un número aproximado de incrementos iguales de muestras tal que la masa total de prueba se ajusta a la exigencia de 7.4.

7.7 En el caso de que la cantidad de material más fino que el tamiz 75 μm (núm. 200) se determinará por el método de prueba C 117, siga de la forma siguiente:

7.7.1 Para los agregados con un tamaño máximo nominal de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ in.) o menos, utilicen la misma muestra de la prueba para ensayar por el método de prueba C 117 y este método. Primero prueben la muestra de acuerdo con el método C 117 de la prueba a través de la operación de sequía final, después del tamiz seco la muestra según lo estipulado en 8.2-8.7 de este método.

7.7.2 Para los agregados con un tamaño máximo nominal mayores de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ in.), una sola muestra de la prueba se puede utilizar según lo descrito en 7.7.1, o las muestras separadas de la prueba se pueden utilizar para el método de la prueba C 117 y este método.

7.7.3 Donde las especificaciones requieren la determinación de la cantidad total de material más fino que el tamiz de 75 μm lavar y secar el tamizado, utilicen el procedimiento descrito en 7.7.1.

8. Procedimiento

8.1 Sequen la muestra a masa constante en una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

NOTA 4 - Para efecto del control, particularmente donde están los resultados rápidos deseados, no es generalmente necesario secar el agregado grueso para la prueba del análisis de tamiz. Los resultados son afectados por el contenido de agua a menos que:

(1) El tamaño máximo nominal es más pequeño que cerca de 12.5 mm ($\frac{1}{2}$ in.); (2) el agregado grueso contiene los más fino de 4.75 mm (No. 4) materiales apreciables; o (3) el agregado grueso es

altamente absorbente (un agregado ligero, por ejemplo). También, las muestras se pueden secar en las temperaturas más altas asociadas al uso de placas calientes sin afectar a resultados, con tal que el vapor se escape sin la generación de las presiones suficientes que fracture las partículas, y las temperaturas no son tan grandes en cuanto a la avería química de la causa del agregado.

8.2 Seleccionen los tamices con aberturas convenientes para suministrar la información requerida por las especificaciones que cubrían el material para la prueba. Utilicen los tamices adicionales según lo deseado o necesario para proporcionar la otra información, tal como módulo de la finura, o regulen la cantidad de material en un tamiz. Encajar los tamices en orden decreciente de tamaño de disminución de la abertura de de arriba a abajo y coloquen la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices a mano o con aparatos mecánicos durante un período suficiente, establecida por el ensayo o controlado por la medición de la muestra problema real, para satisfacer el criterio de adecuación o el tamizado se describe en 8.4.

8.3 Limiten la cantidad de material en un tamiz dado de modo que todas las partículas tienen oportunidad de alcanzar las aberturas del tamiz en un número de tiempo durante la operación de tamizado. Para los tamices con aberturas más pequeño de 4.75 mm (No. 4), la cantidad conservada en cualquier tamiz en la realización de la operación de tamizado no excedan 7 kg/m^2 de la superficie de tamizado (Nota 5). Para los tamices con aberturas 4.75 mm (No. 4) y más grande, la cantidad conservado en el kilogramo no excederá el producto de $2.5 \times$ (abertura de tamiz, mm \times (área de tamizado eficaz, m^2)). Esta cantidad es mostrado en el cuadro 1 para cinco dimensiones del marco del tamizo de uso común. En ningún caso la cantidad que se mantenga será tan grande como para causar una deformación permanente en el tejido de tamiz.

8.3.1 Prevengan una sobrecarga del material en un tamiz individual por uno de los métodos siguientes:

8.3.1.1 Inserten un tamiz adicional con el intermedio del tamaño de la abertura entre el tamiz que puede ser sobrecargado y el tamiz inmediatamente sobre ese tamiz en el sistema original de tamices.

8.3.1.2 Partan la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combinen las masas de varias

porciones conservado un tamiz específico antes de calcular porcentaje de la muestra en el tamiz.

8.3.1.3 Utilicen tamices con un tamaño de marco más amplio y ofrecer una mayor área de tamizado

NOTA 5 - El 7 kg/m² asciende a 200 g para el tamiz usual de diámetro de 203,2 mm (8-in.) (con diámetro de la superficie efectiva de tamizado de 190,5 mm (7,5 in)).

8.4 Continué el tamizado por un suficiente período y de tal manera que, después de la realización, no más del 1% de la masa de las fracciones retenidas en cada tamiz de cualquier tamiz que pase durante 1 min realice manualmente el tamizado continuo como sigue: Sostengan el tamiz individual, con una cacerola y una cubierta de colocación cómoda, en una posición levemente inclinada con la mano. Peguen el lado del tamiz agudamente y con un movimiento ascendente contra el talón de la otra mano al índice de cerca de 150 veces por minuto, dan vuelta al tamiz cerca de una sexta parte de una revolución en los intervalos de cerca de 25 golpes. En la determinación del desahogo del tamizado para los tamaños más grandes que el tamiz 4.75 mm (No 4), limite el material en el tamiz de una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de prueba montados hace el movimiento de tamizado descrito poco práctico, utilicen los tamices del diámetro de 203 mm (8 in.) para verificar el desahogo del tamizado.

8.5 En el caso de las mezclas del agregado grueso y fino, la porción de la muestra más fina de tamiz 4.75 mm (No 4) puede distribuirse entre dos o más sistemas de tamices para prevenir sobrecargar de tamices individuales.

8.5.1 Alternativamente, la porción más fina de tamiz 4.75 mm (No.4) se puede reducir de tamaño usando un divisor mecánico según la práctica C 702. Si se sigue este procedimiento, calcular la masa de cada incremento del tamaño de la muestra original como sigue:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B$$

Donde:

A = Masa del incremento del tamaño sobre base total de la muestra,

W₁ = Masa de la fracción más finos de tamiz 4.75 mm (No 4) adentro muestra total,

W₂ = Masa de la porción reducida de material más fino de tamiz 4.75 mm (No 4), tamizado actualmente, y

B = Masa del incremento del tamaño en la porción reducida tamizada.

8.6 A menos que se utilice un agitador mecánico de tamices, tamiz de mano de partículas mayores de 75 mm (3 in) por la determinación de la apertura más pequeña de tamiz por el que cada partícula pasará Comiencen la prueba en el tamiz más pequeño que se utilizará. Giren las partículas en caso de necesidad, para determinar si pasarán con una abertura particular; sin embargo, no fuercen las partículas para pasar por una abertura.

8.7 Determinen la masa de cada incremento del tamaño en una escala o de la balanza conforme a los requisitos especificados en 5.1 al 0.1% más cercano de la masa seca original total de la muestra. La masa total del material después de tamizar debe comprobar de cerca con la masa original de la muestra puesta en los tamices. Si las cantidades diferencian por más de 0.3%, basado en la masa seca original de la muestra, los resultados no se deben utilizar para los propósitos de la aceptación.

8.8 Si la muestra ha sido probada previamente por el método C 117 de la prueba, añadan el más fino total de tamiz 75 μm (No. 200) determinado por ese método la masa que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) por el tamizado seco de la misma muestra en este método.

9. Cálculo

9.1 Calculen los porcentajes que pasan, porcentajes totales conservados, o los porcentajes en diverso tamaño de fracciones al más cercano de 0.1% en base de la masa total de la muestra seca inicial. Si la misma muestra de la prueba primero fue probada por el método de la prueba C 117, incluyan la masa de más fino material de tamaño μm 75 (No. 200) lavándose en el cálculo del análisis de tamiz; y utilicen la masa seca total de la muestra antes de lavarse en el método de la prueba C 117 como la base para calcular todos los porcentajes.

9.1.1 Cuando los incrementos de la muestra se prueban como está previsto en 7.6, sumen las masas de la porción de los incrementos conservados en cada tamiz, y utilicen estas masas para calcular los porcentajes como en 9.1.

9.2 Calculen el módulo de la finura, cuando así se requiera, añadiendo cerca los porcentajes totales

del material en la muestra que es más gruesa que cada uno de los tamices siguientes (porcentajes acumulativos conservados), y la división de la suma por 100: 150 μm (No. 100), 300 μm (No. 50), 600 μm (No. 30), 1,18 mm (No. 16), 2,36 mm (No. 8), 4,75 mm (No. 4), 9,5 mm ($\frac{3}{8}$ -in.), 19,0 mm ($\frac{3}{4}$ -in.), 37,5 mm ($1\frac{1}{2}$ -in.), y más grandes, aumentando el coeficiente de 2 a 1.

10. Informe

10.1 Dependiendo de la forma de las especificaciones para el uso del material bajo prueba, el informe incluirá el siguiente:

10.1.1 Porcentaje total del material que pasa cada tamiz, o porcentaje total

10.1.2 Material conservado en cada tamiz, o

10.1.3 Porcentaje del material conservado entre los tamices consecutivos.

10.2 Informe los porcentajes al número entero más cercano, a menos que si el porcentaje que pasa el tamiz de 75 μm (No. 200) es menos de 10%, sea informado al 0.1% más cercano.

10.3 Informen el módulo de finura, cuando así se requiera, al 0,01 más cercano.

11. Precisión y Tendencia

11.1 Precisión - Las estimaciones de la precisión para esta prueba de método se enumera en el cuadro 2. Las estimaciones se basan en los resultados del programa de muestra de la habilidad del laboratorio de referencia de los materiales de AASHTO, con la prueba conducida por el método T 27 del método la prueba C 136 de y de la prueba de AASHTO. Los datos se basan en los análisis de los resultados de la prueba a partir del 65 a 233 laboratorios que prueban 18 pares de muestras de agregado gruesos de la prueba de la habilidad y de resultados de la

prueba a partir del 74 a 222 laboratorios que prueban 17 pares de las muestras de la prueba de la habilidad del agregado fino (No. 21 a 90 de las muestras). Los valores en la tabla se dan para diversos rangos de porcentaje total del agregado que pasa un tamiz.

11.1.1 Los valores de la precisión para el agregado fino en el cuadro 2 se basan en muestras de la prueba nominal 500g. Revisión de este método de la prueba en 1994 permisos de tamaño de muestra de la prueba del agregado fino de ser 300g mínimos. El análisis de resultados de la prueba de 300g y 500g de la prueba de muestras y de la habilidad de agregados de prueba las muestras de 99 y 100 (las muestras 99 y 100 eran esencialmente idénticas) produjeron los valores de la precisión en el cuadro 3, que indican solamente las diferencias de menor importancia debido al tamaño de muestra de la prueba.

NOTA 6 - Los valores para el agregado fino en el cuadro 2 serán revisados a reflejar el tamaño de muestra de la prueba de 300 g cuando un suficiente número de pruebas de agregados de la habilidad se ha conducido usando ese tamaño de muestra para proporcionar datos confiables.

11.2 Tendencia.

Puesto que no hay material de referencia aceptado conveniente para determinar la tendencia en este método de la prueba, no se hace la declaración sobre tendencia.

12. Palabras claves

12.1 Agregado; agregado grueso; agregado fino; gradación; clasificación; análisis de tamiz; diferencias del análisis de tamaño debido al tamaño de muestra de la prueba.

Tabla 1 - Cantidad máxima permitida de material conservada en un tamiz, kg

Tamaño de la Abertura del Tamiz	Dimensiones Nominales del Tamiz ^A				
	203.2-mm dia ^B	254-mm dia ^B	304.8-mm dia ^B	350 por 350 mm	372 por 580 mm
	Área de Tamizado m ²				
	0.0285	0.0457	0.0670	0.1225	0.2158
125	c	c	c	c	67.4
100	c	c	c	30.6	53.9
90	c	c	15.1	27.6	48.5
75	c	8.6	12.6	23.0	40.5
63	c	7.2	10.6	19.3	34.0
50	3.6	5.7	8.4	15.3	27.0
37.5	2.7	4.3	6.3	11.5	20.2
25.0	1.8	2.9	4.2	7.7	13.5
19.0	1.4	2.2	3.2	5.8	10.2
12.5	0.89	1.4	2.1	3.8	6.7
9.5	0.67	1.1	1.6	2.9	5.1
4.75	0.33	0.54	0.80	1.5	2.6

^A Dimensiones del marco del tamiz en unidades de pulgadas: 8.0 in diámetro; 10.0 in diámetro, 12.0 in. Diámetro; 13.8 antes de 13.8 in. (14 por 14 in. nominal); 14,6 por 22,8 in. (16 por 24 in. nominal).

^B El área de tamiz para los marcos redondos del tamiz se basa en un diámetro eficaz 12,7 mm (½ in.) menos que el diámetro nominal del marco, porque la especificación E 11 permite que el sellador entre el tejido del tamiz y el marco amplíe 6.35 mm (¼ in.) sobre el tejido del tamiz. Así el diámetro efectivo de tamizado de 203.2 mm (8.0-in.) para un marco del tamiz de diámetro es de 190.5 mm (7.5 in.). Algunos fabricantes de tamices no puede infringir en el paño del tamiz por los 6.35 mm completos (¼ in.).

^C Los tamices indicados tienen menos de cinco aberturas completas y no se deben utilizar para la prueba del tamiz exceptúa como está previsto en 8.6.

Tabla 2 - Precisión

	Porcentaje total del paso material		Desviación estándar (1s), % ^A	Rango aceptable de dos Resultados (d2s), % ^A
Agregado grueso: ^B				
Precisión del Solo-operador	< 100	≥ 95	0.32	0.9
	< 95	≥ 85	0.81	2.3
	< 85	≥ 80	1.34	3.8
	< 80	≥ 60	2.25	6.4
	< 60	≥ 20	1.32	3.7
	< 20	≥ 15	0.96	2.7
	< 15	≥ 10	1.00	2.8
	< 10	≥ 5	0.75	2.1
	< 5	≥ 2	0.53	1.5
	< 2	> 0	0.27	0.8
Precisión de Multilaboratorio	< 100	≥ 95	0.35	1.0
	< 95	≥ 85	1.37	3.9
	< 85	≥ 80	1.92	5.4
	< 80	≥ 60	2.82	8.0
	< 60	≥ 20	1.97	5.6
	< 20	≥ 15	1.60	4.5
	< 15	≥ 10	1.48	4.2
	< 10	≥ 5	1.22	3.4
	< 5	≥ 2	1.04	3.0
	< 2	> 0	0.45	1.3
Agregado fino:				
Precisión del Solo-operador	< 100	≥ 95	0.26	0.7
	< 95	≥ 60	0.55	1.6
	< 60	≥ 20	0.83	2.4
	< 20	≥ 15	0.54	1.5
	< 15	≥ 10	0.36	1.0
	< 10	≥ 2	0.37	1.1
	< 2	> 0	0.14	0.4
Precisión de Multilaboratorio	< 100	≥ 95	0.23	0.6
	< 95	≥ 60	0.77	2.2
	< 60	≥ 20	1.41	4.0
	< 20	≥ 15	1.10	3.1
	< 15	≥ 10	0.73	2.1
	< 10	≥ 2	0.65	1.8
	< 2	> 0	0.31	0.9

^A Estos números representan, respectivamente, (1s) y (d2s) en la práctica C descrita los límites 670.

^B Las estimaciones de la precisión se basan en los agregados con el tamaño máximo nominal de 19.0 mm (¾ in.).



Designación: C 142-97

Método Estándar de Prueba para Grumos de Arcilla y Partículas Desmenuzables en agregados.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija C 142; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance

1.1 Este método de la prueba cubre la determinación aproximada de los terrones de la arcilla y de las partículas desmenuzables en agregados.

1.2 Los valores dados en unidades del SI deben ser mirados como el estándar. Los valores dados entre paréntesis se proporcionan para los propósitos de la información solamente.

1.3 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 33 Especificación para agregados de concretos.²

C 117 Método de Prueba para materiales más fino que 75 μm (No.200) de tamiz en agregados minerales lavándose.²

C 125 Terminología referente el Concreto y a Concreto en Agregados.²

C 1005 Especificación para los pesos de referencia y dispositivos para determinar la masa para el uso en la prueba física de cementos hidráulicos.³

E 11 Especificación para tejido de alambre y los tamices para los propósitos de prueba.⁴

3. Significado y Uso

3.1 Este método de ensayo es de importancia primordial en la determinación de la aceptabilidad de los agregados con respecto a los requisitos de la especificación C 33.

4. Aparato

4.1 Balanza - Una balanza o una escala exacta entre 0.1% de la masa de la muestra de la prueba en cualquier momento dentro del rango de uso. Las balanzas se ajustarán a la exactitud de las secciones aplicables de la especificación C 1005.

4.2 Envases - Envases inoxidables de un tamaño y forma que permitirá la extensión de la muestra en basen en una capa delgada.

4.3 Tamices - Tamices conforme a la especificación E 11.

4.4 Estufa - Un horno que proporcione la circulación libre del aire y capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

5. Muestras

5.1 El agregado para este método de la prueba consistirá en permanecer el material después de la realización de la prueba en acuerdo con el método C 117 de la prueba. Para proporcionar las cantidades señaladas en 5.3 y 5.4 puede ser necesario combinar el material de más de una prueba por el método C 117 de la prueba.

5.2 Secar el agregado de masa substancialmente constante en a temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$).

5.3 Las muestras de prueba de agregado fino consistirá en las partículas más gruesas que un tamiz de 1.18 mm (No. 16) y tendrán una masa no menos que 25 g.

5.4 Separar las muestras de la prueba de agregado grueso en diversos tamaños, usando los

¹ Este método de la prueba es bajo jurisdicción del comité C-9 de ASTM sobre los agregados concretos y concretos y es la responsabilidad directa del subcomité C09.20 en los agregados normales del peso. Edición actual 10 de agosto de 1997 aprobado. Octubre de 1998 publicado. Publicado originalmente como C 142 - 38 T. Edición anterior pasada C 142 - 78 (1990).

² Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.02.

³ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.01.

⁴ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 14.02

tamices siguientes: 4.75 mm (No. 4), 9.5 mm (3/8-in.), 19.0 mm (3/4-in.), y 37.5 mm (1 1/2-in.). La muestra de la prueba tendrá una masa no menos que indicado en la tabla siguiente:

Tamaño de las partículas que componen la muestra de la prueba	Masa de la muestra de la prueba, min, g
4.75 a 9.5-mm (No. 4 a 3/8-in.)	1000
9.5 a 19.0-mm (3/8 a 3/4-in.)	2000
19.0 a 37.5-mm (3/4 a 1 1/2-in.)	3000
Por Encima de 37.5-mm (1 1/2 in.)	5000

5.5 En el caso de las mezclas de agregados finos y gruesos, separar el material en 4.75 mm (No 4) de tamiz, y prepara las muestras de agregados finos y gruesos de acuerdo con 5.3 y 5.4.

6. Procedimiento

6.1 Determinar la masa de la muestra de la prueba a la exactitud especificada en 4.1 y separarla en una capa delgada en la parte inferior del envase, cubrir con agua destilada, y empapar por un período de 24 ± 4h. Rodar y exprimir las partículas individualmente entre el pulgar y el índice para intentar romper las partículas en tamaños más pequeños. No use las uñas para romper partículas, o partículas de prensa contra una superficie difícil o el uno al otro. Clasificar cualquier partícula fina que se pueda romper con los dedos en desprendibles por el tamizado húmedo como grumos de arcilla o partículas desmenuzables. Después de todos los grumos perceptibles y partículas desmenuzables de arcilla han estado quebrados, separar el detrito del resto de la muestra por el tamizado húmedo sobre el tamiz prescrito en la tabla siguiente:

Tamaño de las partículas que componen la muestra	Tamaño del tamiz para quitar los Residuo de Grumos de arcilla y de partículas desmenuzables
Agregado fino (retenido en el tamiz de 1.18 mm (No. 16))	850-µm (No. 20)
4.75 a 9.5-mm (No. 4 a 3/8-in.)	2.36-mm (No. 8)
9.5 a 19.0-mm (3/8 a 3/4-in.)	4.75-mm (No. 4)
19.0 a 37.5-mm (3/4 a 1 1/2-in.)	4.75-mm (No. 4)
Por Encima de 37.5-mm (1 1/2-in.)	4.75-mm (No. 4)

Realizar el tamizado húmedo pasando agua sobre la muestra a través del tamiz mientras que manualmente se agita el tamiz, hasta que se haya quitado todo el material de tamaño insuficiente.

6.2 Quitar las partículas conservadas cuidadosamente del tamiz, secar la masa substancialmente constante en una temperatura de 110 ± 5°C (230 ± 9°F), dejar enfriar, y determina la masa al 0.1% más cercano de la masa de la muestra de la prueba según lo definido en 5.3 o 5.4.

7. Cálculo

7.1 Calcular el por ciento de grumos de la arcilla y de partículas desmenuzables en agregado fino o los tamaños individuales del agregado grueso como sigue:

$$P = [(M - R) / M] \times 100$$

P = Por ciento de Grumos de la arcilla y de partículas desmenuzables,

M = Masa de la muestra de la prueba (para el agregado fino la masa de la porción más gruesa que el tamiz de 1.18 mm (No. 16) según lo descrito en 5.3), y

R = Masa de las partículas conservadas en el tamiz señalado según lo determinado de acuerdo con 6.2.

7.2 Para los agregados gruesos, el por ciento de grumos de la arcilla y las partículas desmenuzables serán una media basada en el por ciento de grumos de la arcilla y de partículas desmenuzables en cada fracción del tamaño del tamiz cargada de acuerdo con la clasificación de la muestra original antes de la separación o, preferiblemente, la clasificación media de la fuente representada por la muestra. Si el agregado contiene menos del 5 % de cualquiera de los tamaños especificados en 6.1, ese tamaño no deberá ser probado, pero, a efectos del cálculo de la media ponderada, se considerará que contienen el mismo por ciento de grumos de arcilla y partículas desmenuzables como el próximo o el siguiente más grande menor tamaño, que está presente.

8. Precisión y Tendencia.

8.1 Precisión ⁵ - La estimación de la precisión de esta prueba del método es provisional y se basa en muestras de agregado fino que fue probado por diez diversos operadores en nueve diversos laboratorios. Para esta muestra, el promedio de "por ciento de los trozos de arcilla y partículas desmenuzables" en el total fue de 1,2%, y la desviación estándar fue de 0,6%.

De acuerdo con esta desviación estándar, el rango aceptable de dos resultados de la prueba en muestras del mismo agregado enviado a diversos laboratorios es el 1.7%.

8.2 Tendencia - Puesto que no hay material de referencia aceptable para determinar la tendencia para el procedimiento en este método de la prueba, no se está haciendo ninguna declaración.

9. Palabras claves

9.1 Agregados; grumos de arcilla; partículas desmenuzables

⁵ Un informe de investigación se encuentra archivada en Headquaters ASTM. RR Solicitud: C09-1016.



Designación: D 448-03a

Clasificación Uniforme para Tamaños de Agregados para Carretera y la Construcción de Puentes.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija D 448; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa

1. Alcance.

1.1 Esta clasificación determina el tamaño total de las denominaciones en mecánica y rangos de tamaños estándar para análisis de agregado grueso y proyecciones para su uso en la construcción y mantenimiento de diversos tipos de carreteras y puentes.

1.2 Con lo que respecta a los tamaños de tamiz y el tamaño de su agregado como determinado por el uso de ensayo de tamices, los valores de unidades se muestran en pulgadas para la conveniencia del usuario; sin embargo, la designación de tamiz estándar mostrada en paréntesis es el valor estándar como declarado en la Especificación E 11.

1.3 El texto de esta norma, las referencias y notas a pie de página señala que proporcionan material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (excluidas las de las tablas y figuras) no se considerarán requisitos de la norma.

2. Documentos de referencia.

2.1 Normas ASTM: ²

C 136 Método de ensayo para el Análisis de Tamiz de agregado fino y gruesos

D 75 Práctica de muestreo para áridos.

E11 Especificación para alambre y tela de tamices para propósitos de ensayo.

3. Importancia y uso.

3.1 Algunos documentos del contrato especifican determinados tamaños de agregados para usos específicos o puede sugerir una o más de estos tamaños, según proceda, para la preparación de diferentes mezclas de producto final. En algunos casos, estrechar los límites de la variabilidad total de la clasificación es obligatorio.

4. Fabricación.

4.1 El total de los tamaños estándar que se describe en esta clasificación están fabricados por medio de cualquier procedimiento adecuado utilizado para separar la materia prima en los rangos de tamaño.

La producción de tamaños estándar por mezcla de dos o más distintos componentes se permite.

5. Tamaños

5.1 Tamaños estándar de agregado grueso deberá cumplir con las dimensiones que figuran en el Tabla 1.

Todos los tamaños serán determinados mediante tamices de laboratorio que tienen aperturas cuadradas y conformándose a la Especificación E 11.

6. Base de la clasificación

6.1 La clasificación está basada sobre el número de tamaño y rangos de tamaño mostrados en la tabla 1 con el agregado de muestreo de conformidad con la práctica D 75 y la prueba de clasificación por Método de prueba C 136.

7. Palabras claves

7.1 Agregado de tamaño estándar, agregado grueso, proyecciones.

¹ Esta clasificación está bajo la jurisdicción del Comité de ASTM D04 en la carretera y materiales de pavimentación y es la responsabilidad directa del Subcomité D04.50 sobre Especificaciones agregados. Edición actualizada y aprobada, 1 de diciembre 2003. Publicado en diciembre de 2003. Originalmente aprobado en 1937. Última edición anterior aprobado en 2003, D 448-03.

TABLA 1. TAMAÑO ESTANDAR DE AGREGADOS PROCESADOS

Numero de Tamaño	Tamaño Nominal, Aperturas Cuadradas	Cantidades finas en Cada Tamiz De laboratorio (Aperturas Cuadradas), por ciento masas														
		100 mm (4in)	90 mm (3½ in)	75 mm (3 in)	63 mm (2½ in)	50 mm (2in)	37.5 mm (1½in)	25 mm (1in)	19 mm (¾ in)	12.5 mm (½ in)	9.5 mm (¾ in)	4.75 mm (No4)	2.36 mm (No8)	1.18 mm (No16)	300µm (No50)	150µm (No100)
1	90 a 37.5-mm (31/2 a 1½-in.)	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---	---
2	63 a 37.5-mm (21/2 a 1½-in.)	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---	---
24	63 a 19.0-mm (21/2 a 3/4-in.)	---	---	100	90 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---	---	---
3	50 a 25.0-mm (2 a 1-in.)	---	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---	---
357	50 a 4.75-mm (2-in. A No. 4)	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	---	0 a 5	---	---	---	---
4	37.5 a 19.0-mm (11/2 a 3/4-in.)	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	---	0 a 5	---	---	---	---	---
467	37.5 a 4.75-mm (11/2-in. a No. 4)	---	---	---	---	100	95 a 100	---	35 a 70	---	10 a 30	0 a 5	---	---	---	---
5	25.0 a 12.5-mm. (1 a 1/2-in.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---	---	---
56	25.0 a 9.5-mm (1 a 3/8-in.)	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	---	---	---	---
57	25.0 to 4.75-mm (1-in. a No. 4)	---	---	---	---	---	100	95 a 100	---	25 a 60	---	0 a 10	0 a 5	---	---	---
6	19.0 a 9.5-mm (3/4 a 3/8-in.)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---	---	---	---
67	19.0 a 4.75-mm (3/4-in. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	20 a 55	0 a 10	0 a 5	---	---	---
68	19.0 a 2.36-mm (3/4-in. a No. 8)	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	30 a 65	0 a 25	0 a 10	0 a 5	---	---
7	12.5 a 4.75-mm (1/2-in. a No. 4)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	---	---	---
78	12.5 a 2.36-mm (1/2-in. a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 75	5 a 25	0 a 10	0 a 5	---	---
8	9.5 a 2.36-mm (3/8-in. a No. 8)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5	---	---
89	9.5 a 1.18-mm (3/8-in. a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	5 a 30	0 a 10	0 a 5	---
9	4.75 a 1.18-mm (No. 4 a No. 16)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 40	0 a 10	0 a 5	---
10	4.75-mm (No. 4 a 0^A)	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	---	---	---	10 a 30



Designación: D 692-00

Especificación Estándar para Agregado Grueso en Mezclas Bituminosas de Pavimentación.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija la D 692; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (E) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance

1.1 Esta especificación cubre la piedra triturada, aplastada concreto hidráulico de cemento, triturado de escoria de altos hornos, grava triturada, aplastada ampliado pizarra, arcilla expandida aplastados, triturados y expandidas de pizarra apropiados para su uso en las mezclas bituminosas de pavimentación, como se describe en especificaciones D 3515 o D 4215.

NOTA 1- Las demás escorias de haber demostrado un buen historial pueden ser utilizados.

1.2 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como estándar. Pulgadas-libra unidades, que se muestra en paréntesis, son sólo a título informativo.

1.3 El texto de esta norma, las referencias y notas a pie de página señala que proporcionan material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (a excepción de aquellos en los cuadros y figuras) no se considerarán requisitos de la norma.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM:

C 29/C 29M Método de Ensayo Estándar para Densidad Bulk (Peso Unitario) y Vacíos en los Agregados.²

C 88 Método de prueba para la solidez de Agregados por uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio²

C 125 Terminología relativa a las de hormigón y agregados²

C 131 Método de ensayo para resistencia a la degradación de los pequeños de tamaño grueso agregados por resistencia a la abrasión e impacto en la máquina de Los Angeles.²

¹ Esta especificación se encuentra bajo la jurisdicción del Comité D04 de ASTM en la carretera y los materiales de pavimentación y es la responsabilidad directa del Subcomité D04.50 sobre agregados Especificaciones. Edición actual aprobado 10 de julio de 2000. Publicado septiembre de 2000. Originalmente publicado como D 692 - 42 T. Última edición anterior D 692-94

² Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02.

C136 Método de ensayo para el análisis de tamiz de agregados fino y grueso.²

C294 Descriptores Constituyentes de la nomenclatura de Agregados Minerales Naturales²
D 8 Terminología relativa a los materiales de Caminos y Pavimentos

D 75 Prácticas para la toma de muestras Agregados³

D 448 Clasificación de tamaños de agregados para la construcción de puentes y carreteras³

D 3319 Método de ensayo para pulido acelerado de Áridos Usando la Rueda británico

D 3515 Especificaciones para mezcla en caliente, construido en caliente las Mezclas de pavimentos bituminosos.³

D 3665 Práctica para el muestreo aleatorio de los Materiales de Construcción.³

D 4215 Especificación para mezclas en frío, construido en frío de mezclas bituminosas de pavimentación.³

D 5821 Método de ensayo para la determinación del porcentaje de partículas Fracturada en agregado grueso.³

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 Para la definición de tipos de agregados, véase Nomenclatura C294 Descriptores de Terminología, D 8 y C 125.

3.1.2 esquisto expandido, n; arcilla expandida, n; expandido pizarra, n-el producto resultante de la expansión de determinados materiales (pizarra, arcilla, o una lista) en un horno rotatorio a temperaturas superiores a 1000 ° C.

4. Información para pedidos

4.1 Los pedidos de materiales en esta especificación deberán incluir la siguiente información:

4.1.1 El pliego de designación y el año de expedición.

² Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02.

³ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.03

4.1.2 El tamaño que deben presentarse (véase 5.2).

4.1.3 La cantidad requerida.

4.1.4 Utilización de los agregados gruesos, ya sea para las mezclas convencionales o abiertos categoría de fricción recorrido en mezclas (ver 5.4), y si la superficie de base de los recorridos o recorridos (véase 5.7),

4.1.5 En el caso del sulfato de pruebas de solidez (5,6), que sal se va a utilizar.

4.1.6 Las necesidades especiales

5. Requisitos físico.

5.1 Generalidades - El agregado grueso estará compuesto en duro, fuerte, duradera piezas, libres de recubrimientos coherentes y conforme a las exigencias de esta especificación.

5.2 Clasificación:

5.2.1 El agregado grueso de la calificación se ajustará a los requisitos de Clasificación D 448 para el tamaño, número designado, o la clasificación a otra como se indica en el orden (véase Nota 2).

NOTA 2-

La clasificación de agregado grueso que se ha proporcionado depende de la composición deseada de la mezcla de pavimentación, y si la clasificación para ser utilizado en la mezcla se realiza con o sin mezcla. Otras clasificaciones de agregado grueso se podrán utilizar, siempre que la combinación de agregado y de relleno, cuando se utiliza, se produce una mezcla de pavimentación que se ofrece las características deseadas.

5.2.2 El tamaño que debe utilizarse depende de la composición deseada de la mezcla de pavimentación, y el tamaño o tamaños, ya sea antes o después de la mezcla, tal como se especifica.

5.3 Densidad:

5.3.1 Escorias-refrigerado por aire en altos hornos-escoria de agregado grueso, durante la prueba de tamaño No.57 o No.8, deberán tener una densidad mínima de 1,120kg/m³ (70lb/ft³) como se indica en conformidad con el Método de prueba C29/C29M, procedimiento de varilla.

5.3.2 Expandida de esquisto, expandida de arcilla, expandida de pizarra-El agregado grueso, durante la prueba de tamaño No.57 o No.8,

deberán tener una densidad mínima de 500 kg/m³ (31 lb/ft³) tal como se determina en conformidad con el Método de prueba C29/C29M.

5.4 Piezas trituradas en agregados-Los pedidos de materiales en virtud de esta especificación se indicarán los requisitos adecuados para piezas aplastadas, (Método de prueba D 5821).

5.4.1 Mezclas convencionales-No menos del 40%, en masa, del total de las piezas conservadas en el 4.75 mm (No. 4) tamiz tendrán al menos una fractura de la cara (véanse las Notas 3 y 4).

5.4.2 Mezclas de Recorrido de Fricción Clasificación Abierta - De los pedazos DE agregados conservados sobre 4.75 mm (No 4) del tamiz, no menos del 90 %, por la masa, tendrán una o varias caras fracturadas y el 75 %, por la masa, dos o más caras fracturadas.

NOTA 3 - Atenciones a la distinción entre convencional (mezclas densas o mezclas abiertas) y mezclas de recorrido de fricción clasificación abiertas en la Especificación D 3515.

NOTA 4- Algunas fuentes contienen agregados de partículas angulares que se realizan de manera similar a un triturado mecánico de partículas. Cuando las pruebas de laboratorio o servicio registros indican que esto es cierto, por ejemplo las partículas de ángulo se puede considerar como aplastados.

5.5 Características Pulido-El agregado grueso, o gruesa fracción de superficie para su uso en recorrido de las mezclas, deberán ser de un tipo conocido por poseer una resistencia adecuada para el pulido de la acción del tráfico previsto. (Véase Nota 5)

NOTA 5- Ningún estándar ASTM del método ha sido reconocido para ser capaz de definir la resistencia adecuada a la acción de pulimento de condiciones de tráfico específicas. El de Método de prueba D3319 ha sido encontrado útil en la evaluación de la resistencia relativa del pulido entre las muestras de agregados diferentes o mezclas que contienen agregados diferentes.

5.6-La solidez de agregado grueso, cuando es sometido a cinco ciclos de prueba de la solidez, se han ponderado pérdida no mayor a 12% cuando

se utiliza sulfato de sodio o el 18% cuando se utiliza sulfato de magnesio. (Véase Nota 6). Si la sal no es designada por el comprador, el total será aceptable si cumple con los límites indicados por la sal que se usa.

5.7-La degradación de agregados (con la excepción de triturado de escoria de altos hornos) cuando se someta a pruebas de conformidad con el Método de prueba C 131 dispondrá de una pérdida no superior al 40% de la superficie de trazados o el 50% de base de los trazados (véase la Nota 6).

NOTA 6- Agregado grueso (que no sean aplastados hidráulica de concreto de cemento) que no cumplen los requisitos de 5.6 o 5.7 pueden ser considerados para su uso siempre que (a) los agregados similares de la misma fuente o formación geológica se ha demostrado por la experiencia de resultado satisfactorio en las aceras y (b) los resultados de otras pruebas sugieren que el rendimiento se puede obtener.

Agregado de una nueva fuente (incluidos los triturados de concreto hidráulico de cemento)

esto falla los requisitos de 5.6 o 5.7 y para los que no existe experiencia, se puede considerar siempre los resultados de las otras pruebas que sugieren que el rendimiento se puede obtener. Triturados de concreto de cemento hidráulico-ser posible en reaccionar químicamente con Na_2SO_4 o MgSO_4 , dando resultados más elevados que pueden no reflejar el total de la congelación y descongelación de propiedades. Pruebas adicionales pueden ser necesarias.

6. Métodos de muestreo y pruebas

6.1 Ejemplo de los agregados y determinar las propiedades enumeradas en esta especificación de acuerdo con los siguientes métodos:

6.1.1 Práctica de muestreo-D 75 y Práctica D 3665

6.1.2 Método de ensayo de clasificación C-136.

6.1.3 Densidad de los agregados-Método de prueba C29/C29M.

6.1.4 Método de prueba solidez C-88.

6.1.5 Método de ensayo de degradación-C 131

7. Palabras clave

7.1 Agregado; pavimento bituminoso; agregado grueso; fricción; mezclas de pavimentación



Designación: D 1073-01

Especificación Estándar para agregado Fino para Mezclas de Pavimento Bituminosas¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija D 1073; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa

1. Alcance.

1.1 Esta especificación cubre el agregado fino para el uso en pavimento de mezclas bituminosas.

1.2 Esta especificación se destina a describir el material solo de un proveedor. Cuando el material es desde dos o más proveedores el mezclado para producir una clasificación, debe encontrarse los requisitos que describe en Especificación D 3515 u otras especificaciones para mezclas de pavimento bituminosas, la clasificación de las exigencias de la Tabla 1 de esta especificación no tiene necesidad de aplicarse.

NOTA 1-Cuando la obtención de materiales es a partir de dos o más proveedores que no cumplan las clasificaciones en la tabla 1, y debe ser mezclado, se recomiendan especificar u ordenar que la agencia especifiquen las clasificaciones alternativas para ser suministrados.

1.3 Los valores establecidos en unidades SI deben ser considerados como estándar.

Las unidades Pulgadas-libra, que se muestra en paréntesis, son sólo informativo.

1.4 El texto de esta especificación, las referencias apuntes y notas a pie de página proporcionan material explicativo. Estas notas y notas a pie de página (a excepción de aquellos en los cuadros y figuras) no se considerarán requisitos de la norma.

2. Documentos de referencia

2.1 Normas ASTM:

C 88 Método de prueba para la solidez de Agregados por uso de sulfato de sodio o sulfato de magnesio⁶

C 125 Terminología relativa a las de concreto y agregados²

C 117 Método de prueba para los materiales más finos que 75 µm (No. 200) de Tamiz00 en minerales agregados por lavado²

C 136 Método de ensayo para el análisis de agregados fino y grueso.²

C 294 Nomenclatura Descriptiva constituyente para agregados de Concretos²

D 8 Terminología relativa a los materiales de Caminos y Pavimentos⁷

D 75 Prácticas para la toma de muestras de agregados³

D 3515 Especificaciones para mezcla en caliente, construido en caliente las Mezclas de pavimentos bituminosos.³

D 3665 Práctica para el muestreo aleatorio de los Materiales de Construcción.³

D 4318 Método de ensayo para el límite líquido, límite plástico, y el índice de plasticidad de suelos.⁴

E 29 Práctica para el uso de dígitos significativos en los datos de ensayo para Determinar Conformidad con Datos específicos.⁵

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 Para definición de los tipos de agregados, véase C294 Nomenclatura Descriptiva y Terminología D8 y C125.

3.1.2 Esquisto expandida, n; arcilla expandida, n; pizarra expandida, n, el producto resultante de la expansión de seleccionar materiales (esquisto, arcilla, o pizarra) en un horno rotatorio a temperaturas por encima de 1000 °C.

4. Información para pedidos

4.1 Pedidos por material bajo en esta especificación tendrá que incluir los siguientes:

⁵ Esta especificación se encuentra bajo la jurisdicción del Comité D 04 de ASTM en la carretera y los materiales de pavimentación y es la responsabilidad directa del Subcomité D 04.50 sobre Especificaciones de agregados. Edición actual aprobado 10 de agosto de 2001. Publicado en octubre de 2001. Originalmente publicado como D 1073 - 1949 T Última edición anterior. D 1073 - 99

⁶ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02.

⁷ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.03

- 4.1.1 Esta especificación con designación de año
- 4.1.2 Clasificación (6.2 y Cuadro 1), o alternativas de clasificación designada por el comprador,
- 4.1.3 Exigencia complementaria de solvencia por sulfato, si es requerida, incluida la sal que se utilice (véase S1), y
- 4.1.4 Algunas excepciones o adiciones a esta especificación

5. Características generales.

5.1 Agregado fino es el agregado pasando la 9,5-mm (3/8-in.) de tamiz y casi en su totalidad pasando por el 4,75-mm (No. 4) de tamiz. Se compondrá de arena natural, o bien agregado fino de manufacturas desde piedra triturada, aplastada la escoria en altos hornos, o grava triturada; triturados o un aplastado ampliado de pizarra, arcilla expandida, o expansión de pizarra, o combinaciones de los mismos. Se compondrá duro, granos duros, libre de cantidades perjudiciales de arcilla, marga, u otras sustancias deletéreo.

6. Propiedades Físicas

6.1 Para determinar la conformidad hacia esta especificación, cada valor de clasificación (y sulfato de solidez, cuando sea requerido) se

incluido

redondeará a la centena más próxima al 1%, y cada uno de los valores para el índice de plasticidad se redondeará a la aproximación de 0,1 unidades, tanto en conformidad con el método de redondeo de la práctica E 29

6.2- Clasificación

La clasificación de agregados finos se conformara a la clasificación en la Tabla 1 para el número de clasificación especificado en orden, u otra clasificación designada por el comprador.

6.3 Clasificación de Variabilidad Límites

Para continuación de envíos de agregado fino dado desde de una fuente, la fineza de módulo no variará más de 0.25 desde la base del modulo de fineza. La base del módulo de fineza será aquel valor que es típico de la fuente, y será determinado desde pruebas anteriores, o si no existen pruebas anteriores, desde promedio de los valores de módulo de fineza para las diez primeras muestras (o todas las muestras precedentes si menos de diez) sobre el orden. La base del módulo de fineza no será cambiado excepto cuando sea aprobado por el comprador.

Tabla 1 Clasificación de Exigencias para agregados Finos

Tamaño de Tamiz	Cantidades Más fino que Cada Tamiz De laboratorio (Aperturas Cuadradas), de masas %				
	Clasificación No1	Clasificación No2	Clasificación No3	Clasificación No4	Clasificación No5
9.5-mm (3/8-in.)	100	---	---	100	100
4.75-mm (No. 4)	95 a 100	100	100	80 a 100	80 a 100
2.36-mm (No. 8)	70 a 100	75 a 100	95 a 100	65 a 100	65 a 100
1.18-mm (No. 16)	40 a 80	50 a 74	85 a 100	40 a 80	40 a 80
600-µm (No. 30)	20 a 65	28 a 52	65 a 90	20 a 65	20 a 65
300-µm (No. 50)	7 a 40	8 a 30	30 a 60	7 a 40	7 a 46
150-µm (No. 100)	2 a 20	0 a 12	5 a 25	2 a 20	2 a 30
75-µm (No. 200)	0 a 10	0 a 5	0 a 5	0 a 10	---

NOTA 2-La proporción de una mezcla bituminosa puede depender de la base del módulo de fineza de agregado fino que se utilizará. Por lo tanto, cuando parece que la base del módulo de fineza es considerablemente diferente del valor utilizado en la mezcla bituminosa, un ajuste en la mezcla puede ser necesario.

6.4 El índice de plasticidad,

Índice de plasticidad de la fracción que pasa el 425-µm (No 40) de tamiz, no deberá exceder de 4.0.

7. Métodos de muestreo y pruebas

7.1 En el agregado se tomarán muestras y las propiedades enumeradas en esta especificación se

determinará de acuerdo con los siguientes métodos ASTM:

- 7.1.1 Toma de Muestras - Práctica D-75,
- 7.1.2 Tomas de Muestras Aleatorio - Práctica D-3665,
- 7.1.3 Clasificación - Método de prueba de C-136 y Método de prueba C 117 de Procedimiento A,

- 7.1.4 Módulo de fineza - Método de prueba C-136.
- 7.1.5 Índice de plasticidad - Método de prueba D-4318.

8. Palabras clave

- 8.1 Agregado; agregado fino; pavimento bituminoso; mezclas de pavimentación.

REQUISITOS SUPLEMENTARIOS

El siguiente requisito suplementario se aplicará sólo cuando el aparato esté especificado por el comprador en el contrato o pedido.

S1. Solidez de sulfato

- S1.1 El agregado fino, cuando se someta a 5 ciclos de la prueba de solidez de conformidad con el

Método de prueba C 88, tendrá un ponderado de pérdida de no más de 15% cuando se utiliza sulfato de sodio o el 20% cuando se utiliza sulfato de magnesio. Si la sal que se utiliza no es declarada por el comprador, el agregado fino será aceptable si cumple con los requisitos durante la prueba, ya sea con sal.



Designación: D 2419-02.

Método de Ensayo Estándar para Valor Equivalente de Arena de Suelos y Agregado Fino.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija D 2419; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (€) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación.

Alcance

1.1 Este método de ensayo pretende servir como un ensayo rápido de correlación en el campo. El propósito de este método de ensayo es indicar, bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos y polvo en suelos granulares y agregado fino que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4). El término "equivalente de arena" expresa el concepto que la mayoría de suelos granulares y agregado fino son mezclas deseables de partículas gruesas, arena y generalmente no deseables arcillas, finos plásticos y polvo.

NOTA 1 - Algunos laboratorios desarrollan el ensayo en material con un tamaño menor que la malla No. 4 (4.75 mm). Esto es hecho para evitar atrapar la arcilla, finos plásticos y polvo bajo formas escamosas con tamaños de partículas de 4.75 a 2.36 mm (No. 4 a No. 8). Ensayando material de tamaño pequeño puede bajar el resultado numérico del ensayo.

1.2 Unidades de Medida:

1.2.1 Los valores establecidos en unidades del Sistema Internacional (SI) son considerados como las estándar, con la excepción de las dimensiones del aparato especial de ensayo para equivalente de arena descrito en la Fig. 1, en el cual las dimensiones en pulgadas son estándar. Los valores en paréntesis son para información únicamente.

1.3 Este estándar no pretende dar lineamientos de todos los problemas de seguridad, si hay alguno, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer la seguridad apropiada y prácticas saludables así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras previas a su uso.

¹ Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité de ASTM D04 en la carretera y materiales de pavimentación y es la responsabilidad directa del Subcomité D04.51 sobre la Pruebas de agregados. Edición actual aprobado en julio 10, 2002. Publicado en septiembre de 2002. Originalmente publicado como D 2419-65 T. Última edición anterior D 2419-96.

Documentos de Referencia

Estándares ASTM

C 670 Práctica para Preparación de los Términos Precisión y Tendencia en Métodos de Ensayo para Materiales de Construcción.

C 702 Práctica para Reducción de Muestras de Agregado a Tamaños de Ensayo.²

D 8 Terminología Relativa a Materiales para Carreteras y Pavimentos.²

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados.³

D 653 Terminología Relativa a Suelo, Roca y Fluidos Contenidos.⁴

E 11 Especificación para Mallas de Alambre Tejido para Propósitos de Ensayo.⁵

Estándares AASHTO:

T 176 Método de Ensayo Estándar para Finos Plásticos en Agregados Graduados y Suelos mediante el Uso del Ensayo Equivalente de Arena.⁶

Terminología

Definiciones:

3.1.1 *agregado fino* - agregado que pasa la malla de 9.5 mm (3/8 pulg.) y casi totalmente pasando la malla de 4.75 mm (No. 4) y predominantemente retenido en la malla de 75 mm (No. 200) (ver Terminología D 8).

3.1.2 *equivalente de arena*- una medida de la cantidad de contaminación de limo o arcilla en el agregado fino (o suelo) como es determinado por el ensayo (ver Terminología D 653). (Para mayor explicación, ver Resumen del Método de Ensayo y Significado y Uso).

3.1.3 *suelo*- sedimentos u otras acumulaciones de partículas sólidas no consolidadas producidas por la desintegración física o química de rocas las cuales pueden o no contener materia orgánica (ver Terminología D 653).

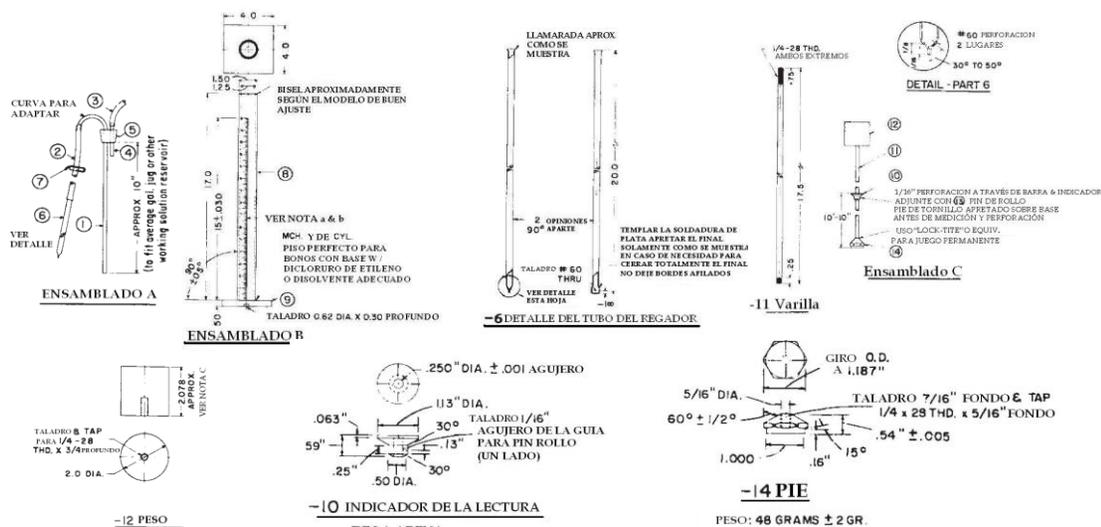
² Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.02.

³ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.03.

⁴ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 04.08.

⁵ Libro Anual de Normas ASTM, Vol. 14.02.

⁶ Disponible en la American Association of State Highway and Transportation Funcionarios, 444 N. Capitol St., NW, Suite 225, Washington, DC 20001



Lista de Materiales

Ensamblaje	Parte N°	Descripción	Material
A	1	Ensamblaje de sifón	
	2	Tubo de sifón	tubo de cobre (puede ser plateado)
	3	Manguera de sifón	tubo de caucho, goma pura o equivalente,
	4	Manguera de purga	tubo de caucho, goma pura o equivalente,
	5	Tubo de purga	tubo de cobre (puede ser plateado)
	6	Tapón con dos agujeros N°6	caucho
	7	Tubo irrigador	
B ^{AB}	8	Probeta graduada	Plástico acrílico transparente
	9	Tubo	Plástico acrílico transparente
C ^C	10	Ensamblaje para lectura de arena	Nylon 101 tipo 66 templado
	11	Indicador para lectura de arena Barra	Bronce, (puede ser plateado)
	12	Pesa	Acero, (puede ser plateado)
	13	Pasador	Metal resistente a la corrosión
	14	Pie	Bronce (puede ser plateado)
15	Tapón sólido	Caucho.	

^A Ensamblado A - La exactitud de escala debería ser ± 0.010 in por décimo de una pulgada. El error en cualquier punto por la escala debería ser ± 0.030 in de distancia verdadera para poner a cero.

^B Ensamblado B - Las graduaciones sobre el graduado deberían estar en los diezmillos de una pulgada. Las señales de pulgada numéricamente deberían ser designadas como mostrado. La pulgada y líneas de división de media pulgada deberían ser aproximadamente $\frac{1}{4}$ in de largo. Todas las líneas de división deberían ser 0.015 in profundamente con anchura a través de 0.030 in.

^C Ensamblado C - El ensamblaje de pie ponderada debería pesar 1000 ± 5 g.

Equivalentes Métricos.

in.	mm	in.	mm	in.	mm	in.	mm
0.001	0.025	0.13	3.30	0.62	15.75	2	50.80
0.005	0.127	3/16	4.76	0.63	16.00	2.078	52.78
0.010	0.254	0.25	6.35	0.75	19.05	4	101.60
0.015	0.381	1/4	6.35	3/4	19.05	10.10	256.54
0.020	0.508	0.30	7.62	1	25.4	15	381.00
0.030	0.762	5/16	7.94	1 1/16	26.99	16	406.40
0.035	0.889	3/8	9.51	1.24	31.50	17	431.80
1/16	1.59	0.50	12.70	1 1/4	31.75	17.5	444.50
0.100	2.54	0.54	13.72	1.50	38.10	20	508.00
1/8	3.17	0.59	14.99	1 1/2	38.10	48	1219.2

NOTA 1- El indicador de lectura de arena y pie especificado por Método ASTM D 2419 -69. Fig. 1, puede utilizarse cuando este equipo está previamente disponible.

Fig. 1 Prueba de Aparato de Equivalente de Arena.

Resumen del Método de Ensayo

4.1 Un volumen medido de suelo o agregado fino y una pequeña cantidad de solución floculante son colocados dentro de un cilindro plástico graduado y es agitado para aflojar los revestimientos de arcilla en las partículas de arena en el espécimen de ensayo. Entonces el espécimen es "irrigado" usando solución floculante adicional forzando al material de arcilla entrar en suspensión sobre la arena. Después de un período de sedimentación prescrito, la altura de arcilla floculada es leída y la altura de arena en el cilindro es determinada. El equivalente de arena es la relación de la altura de arena a la altura de arcilla por 100.

Significado y Uso

5.1 Este método de ensayo asigna un valor empírico a la cantidad relativa, finura y carácter de material de arcilla presente en el espécimen de ensayo.

5.2 Un valor mínimo de equivalente de arena puede ser especificado para limitar la cantidad permisible de finos arcillosos en un agregado.

5.3 Este método de ensayo provee un método de campo rápido para determinar cambio en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

Interferencias

6.1 Mantenga la temperatura de la solución de trabajo en $22 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($72 \pm 5^{\circ}\text{F}$) durante el desarrollo de este ensayo.

NOTA 2— Si las condiciones de campo evitan el mantenimiento del rango de temperatura, muestras árbitro frecuente deben ser suministradas a un laboratorio donde sea posible el control de la propia temperatura. También es posible establecer curvas de corrección de temperatura para cada material siendo ensayado donde el control de la propia temperatura no es llevado. Sin embargo, ninguna corrección general debe ser utilizada para algunos materiales con un rango angosto de valores de equivalente de arena. Las muestras que reúnan los requerimientos mínimos para equivalentes de arena en una solución de trabajo con temperatura abajo del rango recomendado no necesitan ser sometida a ensayo de arbitraje.

6.2 Desarrolle el ensayo en un lugar libre de vibración. La vibración excesiva puede causar la suspensión del material con asentamiento a una razón mayor que la normal.

6.3 No expongas los cilindros plásticos a los rayos del sol, a menos que sea necesario.

6.4 Ocasionalmente puede ser necesario remover el desarrollo de un hongo del recipiente que contiene la solución de trabajo cloruro de calcio y del lado interno del tubo flexible o tubo irrigador. Este hongo puede fácilmente ser visto como una sustancia viscosa en la solución, o como un crecimiento del molde en el lado interno del mismo.

6.4.1 Para remover este hongo, prepare un solvente limpio diluyendo solución de hipoclorito de sodio (blanqueador de cloro casero) con una cantidad igual de agua.

6.4.2 Después de descartar la solución contaminada, llene el recipiente con el solvente limpio preparado: deje alrededor de 1 Litro del solvente limpio para flujo a través del sifón ensamblado y tubo irrigador, entonces coloque la abrazadera apretada en el final del tubo para cortar el flujo de solvente y para sostener el solvente en el tubo. Rellene el recipiente y permítale mantenerse toda la noche.

6.4.3 Después del remojo, deje que el solvente limpie por flujo a través del sifón ensamblado y del tubo irrigador.

6.4.4 Remueva el sifón ensamblado del recipiente con la solución y enjuague ambos con agua limpia. El tubo irrigador y el sifón ensamblado pueden ser enjuagados fácilmente adhiriendo una manguera entre la punta del tubo irrigador y el grifo del agua y regresar el lavado de agua fresca a través del tubo.

6.5 Ocasionalmente los agujeros en la punta del tubo irrigador pueden ser obstruidos por una partícula de arena. Si la obstrucción no puede ser liberada por ningún otro método, use un alfiler u otro objeto puntiagudo para forzarlo a salir teniendo extremo cuidado de no agrandar el tamaño de la abertura.

6.6 La solución de trabajo que tenga más de dos semanas debe ser descartada.

6.7 El mezclado y almacenamiento del recipiente para la solución debe ser completamente lavado antes de mezclar una solución fresca.

6.8 La solución fresca no deberá ser adicionada a la solución vieja, a pesar de todo.

Aparatos

7.1 Un cilindro graduado de plástico acrílico transparente, tapones de hule, tubo irrigador, pesa de pie ensamblado y sifón ensamblado, todo

conforme a la respectiva especificación y dimensiones mostradas en la Fig. 1. Ver anexo A1 para aparato alternativo.

7.2 *Molde de medida*—Un molde cilíndrico de aproximadamente 57 mm (2 ¼ pulg.) de diámetro teniendo una capacidad de 85 ± 5 ml.

7.3 *Malla 4.75 mm (No. 4)*, conforme a los requerimientos de la Especificación E 11.

7.4 *Embudo*, boca ancha, para transferir la muestra dentro del cilindro graduado.

7.5 *Botellas*, 2 de 3.8 L (1.0 gal) para almacenar la solución de existencia y de trabajo.

7.6 *Recipientes planos*, para mezclado.

7.7 *Reloj o cronómetro*, con lecturas en minutos y segundos.

7.8 *Agitador Mecánico para Equivalente de Arena*, designado para sostener el cilindro plástico graduado requerido en una posición horizontal aunque esta sujeto a un movimiento recíproco paralelo a su longitud y teniendo una carrera de 203.2 ± 1.0 mm (8 ± 0.04 pulg.), operando a 175 ± 2 cpm. Un aparato típico se muestra en la Fig. 2. El agitador debe estar seguramente sostenido a una base firme y nivelada.

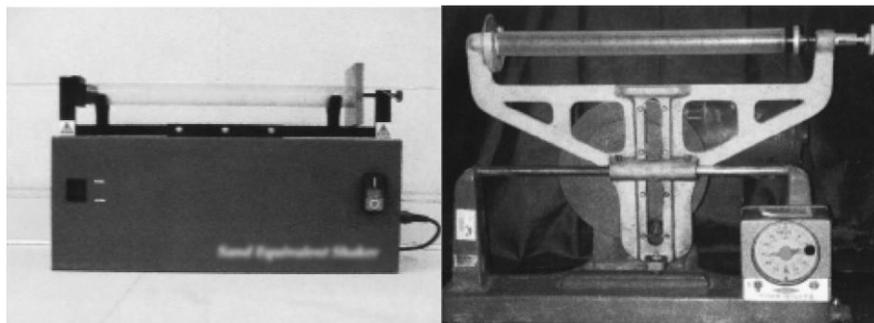


Fig. 2 Recipiente manejado Manualmente

NOTA 3— El movimiento de las partes del agitador mecánico debe ser provisto con defensas de seguridad para protección del operador.

7.9 *Agitador Equivalente de Arena Operado Manualmente*— (opcional), como se muestra en la Fig. 3, o equivalente, capaz de producir un movimiento oscilatorio a una razón de 100 ciclos completos en 45 ± 5 segundos, con una asistencia manual medio golpe, longitud de 12.7 ± 0.5 cm (5 ± 0.2 pulg.). El dispositivo será designado para sostener el cilindro graduado requerido en una posición horizontal y pasar sujeto a un movimiento recíproco paralelo a su longitud. El agitador debe estar sostenido seguramente a una base firme y nivelada. Si solamente unos pocos ensayos serán corridos el agitado puede ser sostenido con las manos en una base firme y nivelada.

7.10 *Horno*, de suficiente tamaño y capaz de mantener una temperatura de $110 \pm 5^\circ$ C.

7.11 *Papel Filtro*, Watman No. 2V o equivalente.

8. Reactivos y Materiales

8.1 *Solución Stock*— El material listado en 8.1.1, 8.1.2 y 8.1.3 puede ser usado para preparar la solución stock. Si el uso de formaldehído como el biocida es de preocupar, el material en 8.1.2 o

8.1.3 puede ser usado. Una cuarta alternativa es no usar cualquier biocida estipulando que el tiempo de almacenamiento de la solución stock no es suficiente para fomentar el crecimiento de hongos.

8.1.1 Solución stock (en existencia) con formaldehído.

8.1.1.1 *Cloruro de Calcio Anhidro*, 454 g (1.0 lb) de grado técnico.

8.1.1.2 *Glicerina USP*, 2050 g (1640 mL).

8.1.1.3 *Formaldehído*, (solución al 40% en volumen) 47 g (45 mL).

8.1.1.4 Disuelva 454 g (1.0 lb) de cloruro de calcio en 1.89 L (1/2 gal) de agua destilada. Enfríe y filtre a través de papel filtro plegado rápido y listo. Adicione los 2050 g de glicerina y 47 g de formaldehído a la solución filtrada, mezcle bien y diluya para 3.78 L (1 gal.)

8.1.2 Solución stock con glutaraldehído.

8.1.2.1 *Cloruro de Calcio Dihidratado*, 577 g (1.27 lb) de grado A.C.S.

Nota 4—El grado ACS de cloruro de calcio dihidratado es especificado para la solución stock preparada con glutaraldehído porque los ensayos indican que las impurezas en el grado técnico del cloruro de calcio anhidro pueden reaccionar con

el glutaraldehído resultando en un precipitado desconocido.

8.1.2.2 *Glicerina USP*, 2050 g (1640 mL).

8.1.2.3 *1,5-Pentanedial (Glutaraldehído)* solución al 50% en agua 59 g (53 mL).

8.1.2.4 Disuelva los 577 g (1.27 lb) de cloruro de calcio dihidratado en 1.89 L (1/2 gal) de agua destilada. Enfríe y adicione los 2050 g de glicerina y los 59 g de glutaraldehído a la solución, mezcle bien y diluya para 3.78 L (1 gal).

Nota 5 - 1,5-pentanedial, también conocido como glutaraldehído, glutaricidialdehído, y nombre de marca UCARCIDE 250, puede ser obtenido como "Solución de Glutaraldehído al 50%"

8.1.3 Solución stock con *Kathon CG/ICP*.

8.1.3.1 *Cloruro de calcio Dihidratado*, 577 g (1.27 lb) de grado A.C.S.

8.1.3.2 *Glicerina USP*, 2050 g (1640 mL).

8.1.3.3 *Kathon CG/ICP*, 63 g (53 mL).

8.1.3.4 Disuelva los 577 g (1.27 lb) de cloruro de calcio dihidratado en 1.89 L (1/2 gal) de agua destilada. Enfríe y adicione los 2050 g de glicerina y los 63 g de *Kathon CG/ICP* a la solución, mezcle bien y diluya para 3.78 L (1 gal).

8.2 *Solución de Trabajo de Cloruro de Calcio*— Prepare la solución de trabajo de cloruro de calcio diluyendo una medida de lata (85 ± 5 mL) lleno de la solución stock cloruro de calcio para 3.8 L (1.0 gal) con agua. Use agua destilada o desmineralizada para la preparación normal de la solución de trabajo. Sin embargo, si se determina que el agua local es de semejante pureza que no afecta los resultados del ensayo, se permite el uso en lugar de agua destilada o desmineralizada, excepto en casos de disputa.

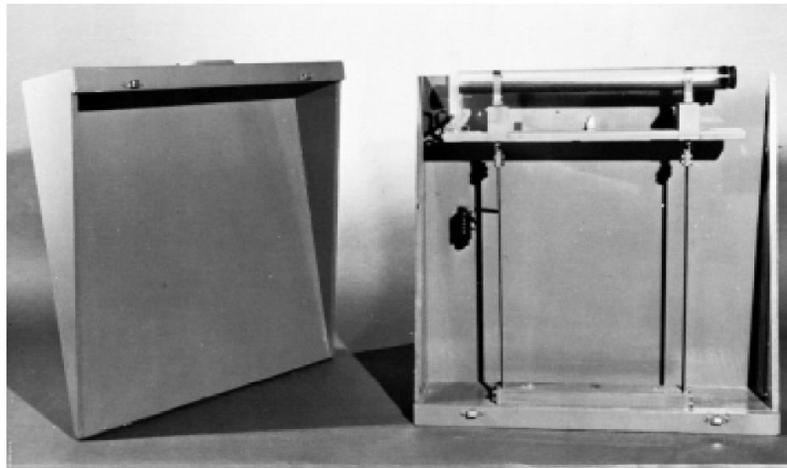


Fig. 3 Criba Vibratoria Operado Manualmente

NOTA 6 - El efecto del agua local en el resultado del ensayo equivalente de arena puede ser determinado comparando los resultados de tres ensayos equivalentes de arena usando agua destilada con el resultado de otros tres ensayos usando agua local. Los seis especímenes de ensayos requeridos para esta comparación deben ser preparados de la muestra del material y secados al horno como se prescribe en este método de ensayo.

Preparación de la Muestra

9.1 Muestreo del material a ser ensayado de acuerdo con la Práctica D 75.

9.2 Mezclar completamente la muestra y reducirla si es necesario, usando los procedimientos aplicables de la Práctica C 702.

9.3 Obtener al menos 1500 g de material que pasa la malla 4.75 mm (No. 4) de la siguiente manera:

9.3.1 Separe la muestra en la malla de 4.75 mm (No. 4) por medio de un movimiento lateral y vertical de la malla acompañado de una acción de golpeteo como para mantener la muestra moviéndose continuamente sobre la superficie de la malla. Continúe el tamizado hasta no más de 1 % en peso del residuo que pasa la malla durante 1 minuto. Ejecute la operación de tamizado a mano o por un aparato mecánico. Cuando la totalidad del tamizado mecánico esta siendo determinado, ensaye por el método manual descrito arriba

usando una capa simple de material sobre la malla.

9.3.2 Fracture algunos grumos de material en la fracción gruesa que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4). Use un mortero y un pistilo cubierto de hule o cualquier otro medio que no cause degradación apreciable del agregado.

9.3.3 Remueva algún revestimiento de finos adheridos al agregado grueso. Estos finos pueden ser removidos por secado superficial del agregado grueso, entonces frote entre las manos sobre un recipiente plano.

9.3.4 Adicione el material pasando la malla obtenida en 9.3.2 y 9.3.3 a la porción de finos separados de la muestra.

9.4 Prepare los especímenes de ensayo del material que pasa la malla de 4.75 mm (No. 4) como porción de la muestra obtenida por el procedimiento descrito en 9.4.1 o 9.4.2.

NOTA 7 - Los experimentos muestran que como la cantidad de material siendo reducido por partidura o cuarteo esta en decremento, la precisión de proporcionar porciones representativas es disminuida. Por esta razón, es imperativo que cuidados extremos sean practicados cuando prepare los especímenes de ensayo.

9.4.1 *Preparación de Especímenes de Ensayo, Procedimiento A:*

9.4.1.1 Si parece necesario, humedezca el material para evitar segregación o pérdida de finos durante la operación de partición o cuarteo. Tenga cuidado al adicionar humedad a la muestra para mantener una condición de flujo libre del material.

9.4.1.2 Usando el medidor de lata, sumerja cuatro de esas medidas de la muestra. Cada vez una medida llena de material es sumergida de la muestra, golpee el borde del fondo del medidor en una mesa de trabajo u otra superficie dura al menos cuatro veces y empujarla escasamente para producir una medida del material consolidado a nivel completo o escasamente redondeado por encima del borde.

9.4.1.3 Determine y registre la cantidad de material contenida en estos cuatro medidores ya sea por peso o por volumen en un cilindro plástico seco.

9.4.1.4 Regrese este material a la muestra y proceda a partir o cuartear la muestra, usando los procedimientos aplicables de la Práctica C 702 y haciendo los ajustes necesarios para obtener el peso o volumen predeterminado. Cuando este

peso o volumen es obtenido, serán hechas dos sucesivas operaciones de partidura o cuarteo sin ajuste proveyendo la cantidad adecuada de material para llenar el recipiente y entonces proporcionar un espécimen de ensayo. Secar el espécimen de ensayo a peso constante de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{C}$) y enfríe a temperatura del cuarto antes del ensayo.

NOTA 8 - Los resultados de equivalente de arena en los especímenes ensayados que no han sido secados generalmente serán más bajos que los resultados obtenidos en especímenes de ensayo idénticos que han sido secados. Como un expediente de seguridad, es permisible ensayar mayor cantidad de material sin secado cuando el valor del equivalente de arena es usado para determinar confianza con una especificación dando un mínimo aceptable de valores ensayados. Si el valor del ensayo resultante es más bajo que el especificado, sin embargo, necesariamente será repetido el ensayo en un espécimen de ensayo seco. Si el equivalente de arena determinado de un ensayo en un espécimen de ensayo seco, esta más debajo del límite del mínimo especificado, será necesario desarrollar dos ensayos adicionales en especímenes de ensayo secos de la misma muestra. El equivalente de arena para una muestra será determinado de acuerdo con la sección de cálculo.

9.4.2 *Preparación del Especimen de Ensayo, Procedimiento B:*

9.4.2.1 Manteniendo una condición libre de flujo, humedezca suficientemente el material para prevenir segregación o pérdida de finos.

Parta o cuarteo 1000 a 1500 g de material. Mezcle completamente con un enrasador de mano en un recipiente circular mediante cucharadas alrededor de la mitad del recipiente mientras se esta rotando horizontalmente. El mezclado o remezclado deberá ser continuado por 1 minuto para lograr uniformidad. Verifique el material para la condición de humedad necesaria mediante apretando herméticamente una pequeña porción de la muestra mezclada completamente en la palma de la mano. Si se forma un moldeado que permita manejarla cuidadosamente sin que se corte, el rango de humedad correcta ha sido obtenido. Si el material esta también seco, el moldeado será desmigajado y le será necesariamente adicionada agua y remezclado y reensayado hasta que el material forme un moldeado. Si el material muestra alguna

agua libre esto es también humedad para el ensayo y puede ser drenada y secada con aire, mezclando frecuentemente para asegurar uniformidad. Este material sobre mojado formara un buen moldeado cuando sea verificado inicialmente, como el proceso de secado puede continuar hasta una verificación hermética en el material secándose proporciona un moldeado el cual es más frágil y delicado de manejar que el original. Si el contenido de humedad "como recibido" esta dentro de los límites descritos arriba, la muestra puede ser corrida inmediatamente. Si el contenido de humedad es alterado para reunir esos limites, la muestra deberá ser puesta en el recipiente, cubierta con una tapa o con un paño húmedo que no toque el material, y permitir mantenerse así por un mínimo de 15 minutos.

9.4.2.3 Después del tiempo de curado mínimo, remezcle por un minuto sin agua. Cuando se haya mezclado completamente, coloque el material formando un cono con una espátula.

9.4.2.4 Tome el medidor en una mano y empújelo directamente a través de la base de la pila mientras que sostiene firmemente con la mano libre en contra de la pila opuesta al medidor.

9.4.2.5 Como el recipiente viaja a través de la pila y emerge, presione con la mano para causar que el material llene el recipiente hasta sobrellenarlo. Presione firmemente con la palma de la mano, compactando el material hasta que se consolide en el recipiente. El exceso de material debe ser retirado, nivelado con el borde del recipiente, moviendo el filo del enrasador en un movimiento zigzageante a través del tope.

9.4.2.6 Para obtener especímenes de ensayo adicional, repita el procedimiento descrito en 9.4.2.3 a 9.4.2.5.

Preparación del Aparato.

10.1 Ajuste el sifón ensamblado a una botella de trabajo con 3.8 L (1.0 gal.) solución de cloruro de calcio. Coloque la botella en un estante a 90 ± 5 cm (36 ± 2 pulg.) por encima de la superficie de trabajo, (ver Fig. 4).

NOTA 9 - En lugar de la botella de 3.8 L (1.0 gal), una cubeta de vidrio o plástico teniendo una capacidad suficiente puede ser usada proporcionando que el nivel del liquido de la solución de trabajo sea mantenida entre 90 y 120 cm (36 y 48 pulg.) por encima de la superficie de trabajo.

10.2 Inicie el sifoneado mediante soplado en la boca de la botella de solución a través de una

pieza corta de tubo mientras la abrazadera apretada esta abierta.

Procedimiento

11.1 Sifonee 4 ± 0.1 pulg. (102 ± 3 mm) (Indicado en el cilindro graduado) de la solución de trabajo de cloruro de calcio en un cilindro plástico.

11.2 Vierta uno de los especímenes de ensayo en el cilindro plástico usando el embudo para evitar derrames (ver Fig. 5).

11.3 Golpee suavemente el fondo del cilindro sobre la palma de la mano algunas veces para liberar las burbujas de aire y para promover humedecer completamente el espécimen.

11.4 Permita que el espécimen humedecido y cilindro permanezcan inalterados por 10 ± 1 minutos.

11.5 Al final de los 10 min del período de humedecimiento, tape el cilindro, entonces afloje el material del fondo mediante la inversión parcial del cilindro y agítelo simultáneamente.

11.6 Después de aflojar el material desde el fondo del cilindro, agite el cilindro y su contenido por uno de los siguientes tres métodos:

11.6.1 *Método del Agitador Mecánico* - Coloque el cilindro tapado en el agitador mecánico de equivalente de arena, fijar el tiempo, y permita a la maquina agitar el cilindro y el contenido por 45 ± 1 s.



Fig 4. Cilindro Graduado, Tubo de Regador, Ensamblado de Pie Ponderada, y Sifón



Fig. 5 Transferencia de Muestras de Medir Lata a Cilindro

11.6.2 *Método del Agitador Manual:*

11.6.2.1 Asegure el tapón del cilindro en las tres abrazaderas elásticas del transportador del agitador equivalente de arena operado manualmente y ajuste el contador a cero.

Nota 10 - Para prevenir derrame, asegurarse que el tapón esta firmemente asentado en el cilindro antes de colocarlo en el agitador manual.

11.6.2.2 Mantenerse directamente frente al agitador y fuerce el puntero a limitar el golpe de la marca pintada en el reverso mediante la aplicación de un movimiento horizontal brusco a la porción superior de la banda de acero elástica manual derecha. Entonces remueva la mano de la correa y permita la acción elástica de la banda para mover el transportador y el cilindro en la dirección opuesta sin asistencia o impedimento.

11.6.2.3 Aplique la fuerza necesaria a la banda de acero elástica manual derecha durante la porción brusca de cada golpe para mover el puntero al limite del marcador de golpes para empujar en contra de la banda, con los extremos de los dedos para mantener un movimiento oscilante liso (ver Fig. 6). El centro del golpe límite marcado es posicionado para proporcionar la longitud del golpe propio y su ancho proporcionando el máximo limite de variación permisible. La propia acción de agitado puede ser mejor mantenida mediante el uso solamente del antebrazo y la acción de la muñeca para propulsar el agitado.

11.6.2.4 Continúe la acción de agitado durante 100 golpes.

11.6.3 *Método manual:*

11.6.3.1 Sostenga el cilindro en una posición horizontal como se ilustra en la fig. 7 y agite vigorosamente con un movimiento lineal horizontal de extremo a extremo.

11.6.3.2 Agite el cilindro 90 ciclos en aproximadamente 30 s usando un lanzamiento de 23 ± 3 cm (9 ± 1 pulg.). Un ciclo es definido como un movimiento completo de ida y regreso. Para agitar el cilindro a esta velocidad apropiada será necesario para el operador agitar con el antebrazo solamente, relajando el cuerpo y los hombros.



Fig. 6 Uso manual de Criba Vibratoria



Fig. 7 Uso manual de Método de Agitación.

11.7 Siguiendo la operación de agitado, coloque el cilindro sobre la mesa de trabajo y remueva el tapón.

11.8 Procedimiento de Irrigación:

11.8.1 Durante el procedimiento de irrigación, mantenga el cilindro vertical y la base en contacto con la superficie de trabajo. Inserte el tubo irrigador en la boca del cilindro, remueva la abrazadera elástica de la manguera, y lave el material de las paredes del cilindro cuando el irrigador es bajado. Force el irrigador a través del material al fondo del cilindro mediante la aplicación de una acción suave de enchufado y dar vueltas mientras que la solución de trabajo fluye de la punta del irrigador. En este flujo abundante el material fino entra en suspensión por encima de las partículas de arena gruesa (ver Fig. 8).

11.8.2 Continúe aplicando una acción de insertar y dar vueltas mientras los finos siguen fluyendo y ascendiendo hasta que el cilindro es llenado a la graduación de 15 pulg. (38.0 cm). Entonces levante el tubo irrigador lentamente sin cerrar el flujo como para que el nivel del líquido sea mantenido en la graduación alrededor de 15 pulg. (38.0 cm) mientras que el tubo irrigador esta siendo sacado. Regule el flujo justo antes de que el tubo irrigador sea completamente sacado y ajuste el nivel final a la graduación de 15 pulg. (38.0 cm).

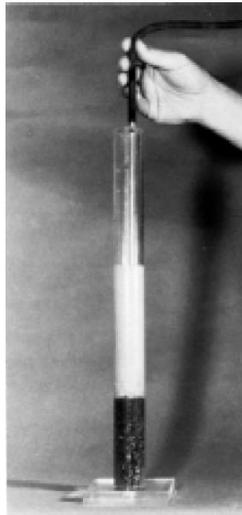


Fig.8 Irrigación

11.9 Permita que el cilindro y su contenido permanezcan inalterados por 20 min \pm 15 s. Inicie la regulación del tiempo inmediatamente después de sacar el tubo irrigador.

11.10 Al final de los 20 min del período de sedimentación, lea y registre el nivel de la arcilla en suspensión como se describe en 11.12. Esta se referirá como la "lectura de arcilla". Si no es clara

la línea de demarcación que se ha formado al final de los 20 min del período de sedimentación, permita que la muestra permanezca inalterada hasta que una lectura pueda ser obtenida; entonces inmediatamente lea y registre el nivel del borde de la arcilla en suspensión y el tiempo de sedimentación total. Si el tiempo de sedimentación total excede de 30 min, repita el ensayo usando tres especímenes individuales del mismo material. Registre la altura de la columna de arcilla para la muestra requerida del periodo de sedimentación corto como la lectura de arcilla.

11.11 Determinación de la Lectura de Arena:

11.11.1 Después de que la lectura de arcilla ha sido tomada, coloque el pie de la pesa ensamblada sobre el cilindro y suavemente baje el ensamblado hasta que descansa en la arena. No permita que el indicador golpee la boca del cilindro cuando el ensamble esta siendo bajado.

11.11.2 Como el pie de la pesa viene a descansar en la arena, la punta del ensamble esta próximo a las graduaciones en el cilindro hasta que el indicador toque el lado interno del cilindro. Reste 10 pulg (25.4 cm) del nivel indicado por el extremo del borde superior del indicador y registre este valor como la "lectura de arena" (ver Fig. 9).

Nota 11 - Vea el anexo A1 para el uso de aparatos de pie alternativos y procedimiento de medida.

11.11.3 Cuando tome la lectura de arena, tenga cuidado para no presionar hacia abajo en el pie de la pesa ensamblada ya que esto dará una lectura errónea.

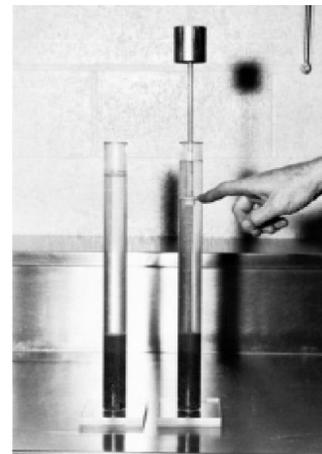


Fig. 9 Lectura de Arena.

11.12 Si las lecturas de arcilla o arena caen entre 0.1 pulg. (2.5 mm) de la graduación, registre el nivel de graduación mayor como la lectura.

Cálculos y Reporte

Calcule el equivalente de arena al más cercano 0.1 % como sigue:

$$SE = (\text{lectura de arena} / \text{lectura de arcilla}) \times 100$$

Donde: SE = equivalente de arena

12.2 Si el equivalente de arena calculado no es un número redondo, reporte este como el siguiente número entero superior. Por ejemplo, si el nivel de arcilla es 8.0 y el nivel de arena 3.3, el equivalente de arena calculado será: $(3.3/8.0) \times 100 = 41.2$

Entonces este equivalente de arena calculado no es un número entero este puede ser reportado como el siguiente número entero mayor el cual es 42.

12.3 Si se desea promediar una serie de valores de equivalente de arena, promedie los valores de números enteros determinados como se describe en 12.2. Si el promedio de estos valores no es un número entero, aumentarlo al siguiente número entero mayor como se muestra en el siguiente ejemplo:

12.3.1 Calcule SE de los valores: 41.2, 43.8, 40.9

12.3.2 Después de aumentar cada uno al siguiente número entero mayor tenemos 42, 44, 41.

12.3.3 Determine el promedio de estos valores como sigue: $(42+44+41)/3 = 42.3$

12.3.4 Entonces el valor promedio no es un número entero, este es aumentado al siguiente número entero mayor, y el valor del equivalente de arena es reportado como 43.

Precisión y Tendencia

13.1 Precisión - Los siguientes estimados de precisión para este método de ensayo están basados en resultados de AASHTO Materiales de Referencia para Laboratorio (AMRL) programa de Muestras de Referencia, con ensayos dirigidos usando este método de ensayo y el Método

AASHTO T 476. No hay diferencias significativas entre los dos métodos. La información esta basada en el análisis de ocho pares de resultados

de 50 a 80 laboratorios, con el rango promedio de valores equivalente de arena para las muestras variando entre aproximadamente 60 a 90.

13.1.1 *Precisión de un solo Operador* - La desviación estándar de un solo operador ha sido encontrada a ser 1.5 para valores de equivalente de arena mayores que 80 y 2.9 para valores menores de 80 (1s).

Entonces, los resultados de dos ensayos dirigidos adecuadamente por el mismo operador en material similar no debe diferir por más de 4.2 y 8.2 respectivamente (d2s).

13.1.2 *Precisión MultiLaboratorio* - La desviación estándar para multilaboratorio ha sido encontrada a ser 4.4 para valores de equivalente de arena mayores que 80 y 8.0 para valores menores que 80 (1s). Entonces, los resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente por diferentes laboratorios en materiales similares no deben diferir por más de 12.5 y 22.6 respectivamente (d2s)

13.1.3 Información adicional sobre precisión esta disponible de un estudio hecho por una agencia estatal involucrando la circulación de pares de muestras sobre 20 laboratorios en tres ocasiones separadas. El rango del promedio de los valores equivalente de arena para estas muestras varió de aproximadamente 30 a 50; estos fueron materiales conteniendo mucho más finos que las muestras AMRL reportadas en 13.1.1 y 13.1.2.

13.1.3.1 La desviación estándar Multilaboratorio de estos ensayos de agencia simples fue encontrado a ser 3.2 (1s). Entonces, con los laboratorios de estas agencias, los resultados de dos ensayos dirigidos adecuadamente en laboratorios diferentes en materiales similares no deben diferir por más de 9.1 (d2s).

13.2 *Tendencia* - El procedimiento en este método de ensayo no tiene tendencia porque el valor de equivalente de arena esta definido solamente en términos del método de ensayo.



Designación: D 3744-03

Método de Prueba Estándar para Índice de Durabilidad de Agregado.¹

Este estándar es publicado bajo la designación fija D 3744; el número inmediatamente después de designación indica el año de la adopción original o, en caso de la revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última nueva aprobación. Una superescritura epsilon (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o nueva aprobación

1. Alcance

1.1 Este método de prueba cubre la determinación de un índice de durabilidad de un agregado. El índice de durabilidad deliberado es un valor que indica la resistencia relativa de un agregado a la producción con fines parecido a una arcilla perjudicial cuando esta sujetado a los métodos mecánicos prescritos de la degradación.

1.2 Los valores declarados en unidades de SI deben ser considerados como el estándar. Los valores dados en paréntesis son para uso solo de información.

1.3 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 136 Método de Prueba para Análisis de Tamiz de Agregado Finos y Grueso.²

D 75 Práctica para Prueba de Agregado.³

D 2419 Método Estándar para Valor Equivalente de Arena de Suelo y Agregado Fino.³

D 4753 Guía para Evaluación, Selección, y Especificación de Equilibrios y Balanzas para Uso en Suelo, Roca, y Construcción de Pruebas de Materiales.⁴

E 11 Especificación para Tejido de Alambre y Tamices para Propósitos de Prueba.⁵

¹ Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité ASTM D04 en Materiales de Pavimento y Camino y es la responsabilidad directa del Subcomité D04.51 en Pruebas Agregadas. La edición corriente se aprobó el 10 de julio de 2003. Septiembre de 2003 publicado. Al principio aprobado en 1979. Última edición anterior aprobada en 1997 como D 3744 - 97.

² Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.02.

³ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.03.

⁴ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.08.

⁵ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 14.02.

3. Resumen de Método de Prueba

3.1 Este método de prueba fue desarrollado para permitir precalificación de agregados propuestos para el uso en la construcción de instalaciones de transporte. Básicamente, la prueba establece la resistencia de un agregado a la generación de finos cuando es agitado en la presencia del agua. Los procedimientos de diferentes pruebas separados son usados para evaluar las partes gruesas y finas de un material.

3.2 Una muestra de agregado grueso está preparado a una clasificación específica y luego lavada en un recipiente de lavado mecánico para un tiempo de agitación de 2 minutos. Después de desechar el menos material de 4.75 mm (No 4), seque la muestra de la prueba lavada.

3.3 La muestra de prueba de agregado grueso es agitada entonces en el recipiente de lavado mecánico para el periodo de 10 minutos. Una parte representativa del agua de lavado resultante y menos 75- μ m (No 200) del tamaño fino es coleccionado y mezclado con una solución de cloruro de calcio de reserva y colocado en un cilindro plástico. Después un tiempo de sedimentación de 20 minutos, el nivel de la columna de sedimento se lee. La altura del valor de sedimento se utiliza para calcular el índice de durabilidad del agregado grueso (Dc).

3.4 La muestra de agregado fino es preparada lavándose a una cantidad específica del material en un recipiente de lavado mecánico durante un período de agitación de 2 minutos. Todos menos 75- μ m (No 200) de material de tamaño es lavado de la muestra por tamiz 75- μ m (No 200) y desechado. El más de 75- μ m (No 200) de fracción es secado.

3.5 La muestra de agregado fino se prueba por el Método de Estándar de Equivalente de Arena (Método de Prueba D2419) a excepción de las modificaciones a la preparación de la muestra de prueba y la duración de tiempo de agitado. El método de tamizado mecánico es requerido. Un tiempo agitado de 10 minutos en vez de 45s es usado.

3.6 Este método de prueba incluye procedimientos de pruebas para agregados que exponen una amplio rango de gravedad específica, incluso agregados gruesos ligeros y porosos, y también procedimientos para pruebas de agregado pequeño de tamaño máximo que es demasiado fino para prueba como un agregado grueso y demasiado grueso para considerar como un agregado fino, como una grava de guisante o una arena muy gruesa.

3.7 El índice de durabilidad para el agregado grueso (D_c) o para el agregado fino (D_f) es calculado, como aplicable, por ecuaciones apropiadas presentadas en el método. El índice de durabilidad de un agregado bien clasificado que contiene tanto fracciones gruesas como finas es definido como los más bajos de los dos valores, D_c o D_f , obtenido por la prueba. Se recomienda que este valor sea el valor de control para objetivos de especificación.

4. Significado y Uso

4.1 Este método de prueba adjudica un valor empírico a la cantidad relativa, finura, y carácter del material parecido a una arcilla que puede ser generado en un agregado cuando es sometido a la degradación mecánica.

4.2 El procedimiento ha sido usado en áreas geográficas limitadas de los Estados Unidos y los resultados han sido correlacionados con la interpretación agregada en varias aplicaciones de construcción, incluso: base de agregados, material permeable para relleno, agregado de concreto fino, y escollera para la protección de taludes de roca.^{6,7}

4.3 Se permite que un índice de durabilidad mínimo sea especificado para prohibir el uso de un agregado en varias aplicaciones de construcción que es propenso a la degradación, causando generación de fines parecido a una arcilla.

4.4 Este método de prueba proporciona una prueba rápida para la evaluación de la calidad de una nueva fuente de agregado. La investigación ha indicado también que puede ser conveniente para el uso en vez de la prueba de solidez de

sulfato de sodio para evaluar las características de durabilidad de agregado fino por el uso en el concreto de cemento portland, reduciendo así la necesidad de tiempo y dinero solidez de pruebas.⁶

4.5 Aunque la aplicación de este método haya sido limitada con agregados para usos de construcción específicos, la posibilidad que existe para ampliar la aplicación de este método de controlar la calidad de agregados usados en otras áreas de la construcción, como agregados para el uso en mezclas de pavimento bituminosas, agregado grueso para el uso en el concreto de cemento portland, y agregado para el uso como el lastre de ferrocarril.

5. Aparato

5.1 En un recipiente de Lavado mecánico -Un fondo plano, de lados rectos del recipiente cilíndrico conforme a las especificaciones y las dimensiones de la figura. 1.

5.2 Colección de cazuela - Una cazuela redonda (al menos 230 mm (9 in.) en diámetro y aproximadamente 100 mm (4 in. profundamente), adecuados para recoger el agua de lavado de la muestra de lavado. La cazuela tendrá lados verticales o casi verticales y será equipada si es necesario para sostener el tejido metálica del tamiz 203 mm (8 - in) de diámetro al menos 75 mm (3 in.) encima del fondo. Un adaptador que no permitirá la pérdida de finos o lavado del agua puede ser usado para anidar el tamiz con el contenedor, o el tamiz puede ser anidado con un marco de tamiz en blanco que descansa en el fondo de la cazuela.

5.3 El agitador- Un dispositivo mecánico designado para sostener el recipiente de lavado en una posición derecha sujetándolo a un movimiento lateral que corresponde en un ritmo de 285 ± 10 ciclos completos por minuto. El movimiento que corresponde será producido por medio de un excéntrico en la base del portador y la longitud del golpe será 44.5 ± 0.6 mm (1.75 ± 0.025 in.). El espacio libre entre la leva y seguidor del excéntrico será 0.25 a 1.02 mm (0.001 a 0.004 en.). La Fig.2 muestra el tamizado Tyler portátil modificado para cumplir con estos requerimientos.

5.4 Todo el equipo necesario para realizar la Prueba del valor equivalente de arena de suelos y agregado fino (Método de prueba D 2419).

5.5 Tamices - los tamices se conformarán a Especificación E 11

⁶ Hamilton, R. D., Smith, R. E., y Sherman, G. B., "Factores que Influyen en la Durabilidad de Agregados," Informe 633476 de Investigación, Estado de California, División de Carreteras, Materiales y Departamento de Investigación, junio de 1971.

⁷ Hveem, F. N., y Smith, T. N., "Durabilidad de Agregado," Informe de Investigación, Estado de California, División de Carreteras, Materiales y Departamento de Investigación, enero de 1964.

NOTA 1 – La junta será 1/8 in en caucho de neoprene, teniendo un diámetro interior de 7 27/32 ± 1/64 in y un diámetro exterior de 8 33/64 ± 1/64 in.

NOTA 2 – El recipiente será un fondo plano, de lados rectos, cilíndrico con una capacidad de aproximadamente 2 galón. El borde superior se extendió hacia el exterior para formar un asiento para la junta y tapa.

NOTA 3 Tres abrazaderas de tronco son requeridas y serán colocadas en tercetos intervalos. Las abrazaderas serán atadas al recipiente por remaches o se suelden de modo que el recipiente permanece hermético. Cuando encajado con 1/8-in la junta y sujetado con abrazaderas en el lugar, la tapa formará un sello hermético con el borde acampanado del recipiente.

NOTA 4 – El recipiente será de acero inoxidable de 20 pruebas, a menos que se indique lo contrario. Todas las dimensiones serán dentro de 61/32 in., a menos que se indique lo contrario.

9.5.2 Si menos del 10 % del agregado es grueso que el tamiz 4.75 mm (No 4), pruebe el agregado fino (Procedimiento B) solamente.

9.5.3 Cuando las dos fracciones de agregados gruesos y finos son cada uno presentados en cantidades iguales o superiores al 10% y si el por ciento que pasa el tamiz 1.18 mm (el No 16) es mayor que el 10 %, use ambos Procedimientos A y B sobre el tamaños de los agregados apropiados. Si el por ciento que pasa el tamiz 1.18 mm (No 16) es menos que o igual al 10 %, se usa Procedimiento A o Procedimiento C.

9.5.4 Si la mayor parte del agregado (75 a 80 %) es retenido entre los tamices 9.5 y 1.18 mm (3/8-in. y No 16), use el Procedimiento C solamente.

PROCEDIMIENTO A - AGREGADO GRUESO.

10. Prueba de Preparación de la Muestra.

10.1 Prepárese un 2550 ± 25g (secado al aire) la muestra de prueba preliminar usando la clasificación a continuación:

Tamaño de Agregado	Masa Seca al Aire,g
19.0 a 12.5 mm (3/4 a 1/2 in)	1070 ± 10
12.5 a 9.5 mm (1/2 a 3/8 in)	570 ± 10
9.5 a 4.75 mm (3/8 in a No 4)	910 ± 5
	2550 ± 25

Para materiales con menos del 10 % en cualquiera de las fracciones de tamaño dadas en 10.1, prepare la muestra de prueba usando el porcentaje actual para la fracción deficiente y aumentar proporcionalmente la masa de las fracciones restantes para obtener los 2550g muestra de prueba. Dos ejemplos siguen.

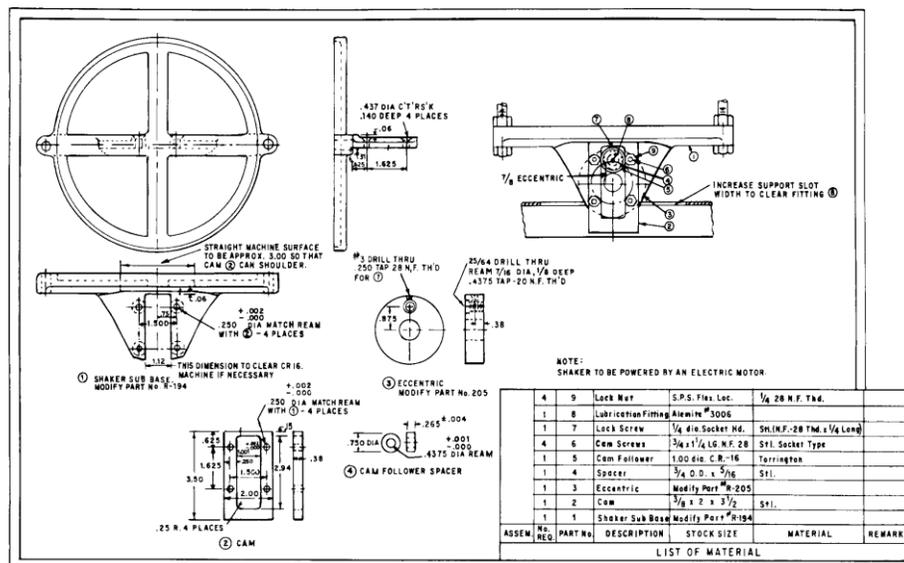


Fig 2 Modificación de tamizadota Portátil Tyler

Ejemplo 1 – menos del 10 % en fracción 19.0 a 12.5 mm (¾ a ½ in)

Tamaño de Agregado	Porcentaje	Calculo	Masa Seca al Aire,g
19.0 a 12.5 mm (¾ a ½ in)	6	0.06x2550	153 ± 10
12.5 a 9.5 mm (½ a ⅜ in)	26	[570(2550-153)]/(570+910)	923 ± 10
9.5 a 4.75 mm (⅜ in a No 4)	68	910(2550-153)/(570+910)	1474 ± 5
Totales	100		2550 ± 25

Ejemplo 2 – menos del 10 % en dos fracciones

Tamaño de Agregado	Porcentaje	Calculo	Masa Seca al Aire,g
19.0 a 12.5 mm (¾ a ½ in)	4	0.04x2550	102 ± 10
12.5 a 9.5 mm (½ a ⅜ in)	7	0.07x2550	179 ± 10
9.5 a 4.75 mm (⅜ in a No 4)	89	2550-(102+179)	2269 ± 5
Totales	100		2550 ± 25

10.2 Coloque la muestra de prueba preliminar en el recipiente de lavado mecánico y añada 1000 ± 5 ml de destilado o desmineralizado de agua.

10.3 Debido a la gravedad específica baja o alta absorción de tasa, o ambos, de algunos agregados, las proporciones del agregado al agua no proporcionarán la abrasión de interpartícula intencionada. Las pruebas de estos materiales requerirán el ajuste de la masa de espécimen de prueba o el volumen tanto de lavado como prueba del agua, o ambos.

10.3.1 Lave todos los materiales que no son completamente inundados cuando 1000 ml del agua son añadidos a la muestra de prueba y pruebe con masas de muestra ajustadas y volúmenes de agua.

10.3.2 Determine el bulk, gravedad específica seca por el horno, y porcentaje de absorción del agregado de acuerdo con Método de Prueba C 127.

10.3.3 Ajuste la masa total de la muestra de prueba usando la ecuación siguiente:

$$\text{Masa de muestra ajustada, g} = \frac{\text{gravedad específica de agregado}}{2.65} \times W \quad (1)$$

Donde:

W: masa de muestra de prueba secada por el horno, g.

Ajuste de la masa de material en cada fracción de tamaño proporcionalmente a las masas especificado en 10.1

10.3.4 Ajuste el volumen de agua de prueba usando la ecuación siguiente:

$$\text{Agua ajustada} = 1000 + (A \times W) - 50$$

Donde:

A = absorción de agregado, % (expresado como un decimal fracción), y

W = masa de muestra de prueba secada por el horno, g.

10.4 Sujete con abrazaderas la tapa de recipiente en el lugar, y asegure el recipiente en el tamizador. Comience la agitación dentro de un tiempo de 60 ± 10s contado a partir de la introducción del lavado. Agite el recipiente en el tamizador para 120 ± 5 s.

10.5 Después de que el tiempo de agitación de 2 minutos es completado, quitar el recipiente del tamizador, no sujetar con abrazaderas la tapa y verter los contenidos en el tamiz 4.75 mm (No 4). Enjuague todos los finos permaneciendo en la embarcación en el tamiz y dirija el agua (de manguera flexible atada a un grifo) en el agregado hasta el agua que pasa por el tamiz salga clara.

10.6 Seque la fracción retenida en tamiz 4.75 mm (el No 4) a masa constante en una temperatura de 110 ± 5°C (230 ± 9°F) y pese. Si la pérdida en la masa debido al lavado de acuerdo con 10.2, 10.3, 10.4, y 10.5 es igual a o menos que 75 g, una muestra de prueba conveniente para pruebas adicionales ha estado preparadas y los procedimientos en 10.7-10.12 son omitidos. Si la pérdida en la masa excede 75 g, se permite que la muestra de prueba preliminar sea retenida y usada si una segunda muestra es lavada por el mismo procedimiento y las dos muestras son combinadas según las masas especificadas para proporcionar la muestra de prueba deseada.

10.7 Determine la clasificación para ser usada en la preparación de la muestra de prueba preliminar como sigue:

10.7.1 Si cada uno de los tamaños de agregados puestos en una lista en la tabla siguiente representa el 10 % o más de 19.0 mm a 4.75 mm ($\frac{3}{4}$ -in. al No 4) porción, como determinado de las masas registradas en 9.4, se usan las masas secas por el horno del material especificado como siguen para preparar la muestra de prueba preliminar.

Tamaño de Agregado	Masa Seca al Aire,g
19.0 a 12.5 mm ($\frac{3}{4}$ a $\frac{1}{2}$ in)	1050 \pm 10
12.5 a 9.5 mm ($\frac{1}{2}$ a $\frac{3}{8}$ in)	550 \pm 10
9.5 a 4.75 mm ($\frac{3}{8}$ in a No 4)	900 \pm 5
	2500 \pm 25

10.8 Prepare una muestra de prueba preliminar 2500-g usando la clasificación prescrita. Seque la muestra de prueba a la masa constante en una temperatura de 110 \pm 5°C (230 \pm 9°F).

10.9 Mecánicamente lave la muestra preliminar en la misma manera que prescrita en 10.2, 10.3, 10.4, y 10.5.

10.10 Repetición 10.8 y 10.9, si es necesario, para obtener material suficiente para ceder una muestra de prueba lavada de 2500 \pm 25 g y contener cada fracción de tamaño en la cantidad especificada en 10.7.1.

10.11 Después de permitir el secado por el horno enfriar el material, los separar el agregado grueso lavado en los 12.5, 9.5, y tamices 4.75 mm (1/2, 3/8-in., y el No 4) . Deseche el material que pasa el tamiz 4.75 mm (No 4).

10.12 Preparen la muestra de prueba lavada usando las masas especificadas en 10.7.1 en porciones representativas de cada tamaño del material lavado. De vez en cuando una tercera muestra de prueba preliminar es necesaria para obtener la masa requerida del material de un específico tamaño.

11. Procedimiento para Agregado Grueso

11.1 Coloque el cilindro plástico (equivalente de arena cilindros de ensayo como se requiere en el método de prueba D 2419) en una tabla de trabajo que no será sujeta a vibraciones durante la interpretación de la fase de sedimentación de la prueba. Vierta 7 ml (0.24 onz.) de la solución de cloruro de calcio de reserva en el cilindro. Coloque tamices 4.75 mm y 75 μ el m (No. 4 y 200) en la cazuela o recipiente proporcionado para recoger el agua lavada con el tamiz encima 4.75 mm (No 4). El tamiz 4.75 mm (No 4) sirve sólo para proteger el tamiz 75 μ m (No 200).

11.2 Coloque la muestra de prueba lavada (como se preparo en la Sección 10) en el recipiente de lavado mecánico. Entonces añada la cantidad de agua destilada o demineralizada como se determinado en 10.3, sujete con abrazaderas la tapa en el lugar, y asegure el recipiente en el tamizador. Comience la agitación después de que un tiempo de 60s han pasado para la introducción del agua lavada. Agite el recipiente para 600 \pm 15s.

11.3 Inmediatamente después de período de agitación, tome el recipiente del tamizador y quite la tapa. Agite los contenidos del recipiente moviendo el recipiente levantado enérgicamente en un movimiento circular horizontal cinco o seis veces a fin de traer los finos en la suspensión. Inmediatamente vierta los contenido del recipiente en 4.75 mm y anidados tamices 75- μ m (No. 4 y 200) colocados en la cazuela proporcionada para recoger el agua de lavado. Deseche el material retenido en tamiz 4.75 mm (No 4). Recoger todo el agua lavada y pasando 75- μ m (No 200) de material en la cazuela que se recoge. Asegurar que todo el material más fino que tamiz 75- μ el m (No 200) es lavado por el tamiz, tomar las medidas siguientes:

11.3.1 Como el agua de lavado es drenada a través de tamiz 75 μ m (No. 200), aplique una acción discordante al tamiz ligeramente dándole un golpe en el lado del marco de tamiz con el talón de la mano.

11.3.2 Cuando una concentración del material es retenida en el tamz 75 μ m (No 200), aclare de nuevo el material fino por verter el lavado de agua por el tamiz otra vez. Aclarar de nuevo el material:

11.3.2.1 Deje el agua de lavado en reposo en el recipiente recolector por unos momentos para permitir que el más pesado las partículas se depositan en el fondo

11.3.2.2 Vierta la parte superior del agua de lavado en otro recipiente

11.3.2.3 Vierta el agua lavada atrás por el tamiz 75 μ m (No 200) y otra vez reúna toda el agua lavada y paso de material de 75- μ m (No 200) en la cazuela de recolección.

11.3.2.4 Repita el procedimiento de enjuague si es necesario hasta todo al menos por el tamiz 75- μ m (No 200) de material que ha sido lavado.

11.4 Añada el agua destilada o demineralizada para traer el volumen de lo sucio del agua lavada a 1000 \pm 5 ml. Entonces transferir el agua lavada a un recipiente conveniente para moverse y verter.

11.5 Coloque un embudo en el cilindro plástico graduado. Movimiento el agua lavada a mano para traer los finos en suspensión. Mientras el agua es todavía turbulenta, verter bastante del agua lavada en el cilindro para traer el nivel del líquido a 380 mm (15 - in.) marca.

11.6 Quite el embudo, coloque el tapón al final del cilindro, y dispóngase a mezclar los contenidos inmediatamente.

11.7 Mezcle los contenido del cilindro por alternativamente poniendo el cilindro de arriba abajo y levantada, permitiendo a la burbuja cruzar completamente la longitud del cilindro 20 veces en aproximadamente 35 s.

11.8 En la finalización del proceso de mezcla, coloque el cilindro en la tabla de trabajo y quite el tapón. Permitir que el cilindro este en reposo durante 1200 ± 15 s. Inmediatamente después, leer y registrar la altura de la columna de sedimentos a la más cercano de 2.5 mm (0.1 in)

NOTA 1 – Hay dos condiciones inusuales que pueden encontrarse en de esta fase del procedimiento de prueba. Uno es una línea que esta claramente definida de la demarcación puede no formarse entre el sedimento y el líquido de encima de ello en el período de 20 minutos especificado. Si esto debería ocurrir en una prueba en la cual el agua destilada o desmineralizada es usada, permitir que el cilindro esté en reposo hasta que la línea de demarcación clara se forme realmente; entonces inmediatamente lea y registre la altura de la columna de sedimento y el tiempo de sedimentación total. Si este debería ocurrir en una prueba en la cual el agua del grifo es usada, suspender la prueba y ensayar de nuevo el uso de una parte no ensayada de la la muestra con agua destilada o desmineralizada.

La segunda condición inusual es que el líquido inmediatamente por encima de la línea de demarcación todavía puede ser oscuro nublado al final de 20 minutos, y la línea de demarcación, aunque distinta, puede parecer estar en la columna de sedimento en sí mismo. En cuanto al primer caso, si el agua del grifo fuera usada, vuelva a ejecutar la prueba usando una nueva muestra con agua destilada o de agua desmineralizada, de lo contrario lea y registre esta línea de demarcación a final del período de sedimentación de 20 minutos especificado como de costumbre.

PROCEDIMIENTO B - AGREGADO FINO

12. Prueba de Preparación de la Muestra

12.1 Partir o cuarto partes representativa del material que pasa el tamiz 4.75 mm (No 4) de masa suficiente para obtener una masa seca por el horno de 500 ± 25 g.

12.2 Seque la muestra de prueba preliminar a masa constante en una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Enfriar a temperatura ambiente.

12.3 Coloque la muestra de prueba preliminar en el recipiente de lavado mecánico, añada 1000 ± 5 ml de agua destilada o desmineralizada, y sujete con abrazaderas la tapa de recipiente en el lugar. Asegure el recipiente en el tamizador el tiempo suficiente para comenzar la agitación después 600 ± 30 s que han pasado de la introducción del agua lavada. Agite el recipiente para el periodo de 120 ± 5 s.

12.4 Después de que el período de agitación de 2 minutos es completado, quitar el recipiente del tamizador, no sujetar con abrazaderas la tapa, y con cuidado verter los contenidos en el tamiz $75\text{-}\mu\text{m}$ (No.200) protegidos en lo descrito en 11.1. Enjuague todos los agregados pendientes de la embarcación en el tamiz. Dirigir el agua (de un tubo flexible conectado a un grifo) en el agregado hasta que el agua que pasa por el tamiz salga clara.

12.5 Si fuera necesario, inunde muestras arcillosas o cenagosas antes de verterlos sobre el tamiz para prevenir la obstrucción de tamiz $75\text{-}\mu\text{m}$ (No 200). Inundar por adición de agua al recipiente después de período de agitación. El uso repetido de inundación si es necesario antes de que todos los contenidos del recipiente puedan ser vertidos sobre el tamiz.

12.6 Después de enjuague, transfiera el material del tamiz a una cazuela secado, y seco a masa constante en una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ ($230 \pm 9^\circ\text{F}$). Es necesario lavar el material del tamiz $75\mu\text{m}$ (No 200) a fin de transferir el material retenido a una cazuela secado. Deje la cazuela en una posición inclinada hasta que el agua libre que drena al lado inferior se hace claro; entonces vacíe esta agua clara. Use cazuelas grandes poco profundas y extienda la muestra tan delgada como sea posible para acelerar el secado.

12.7 Partir o cuarto del material lavado y secado para proporcionar una muestra de prueba de tamaño suficiente para llenar 85 mL (3 onz.) de lata a nivel completo. Predetermine la cantidad exacta del material para ser partido usando los procedimientos siguientes.

12.7.1 Llene la lata de medición a rebosar con el preparado material.

12.7.2 Consolide el material en la lata tocando el borde inferior con un objeto duro.

12.7.3 Golpear frente al nivel completo usando un borde recto y determinar el peso del material.

NOTA 2 – El uso de una muestra del separador de cumplimiento de los requisitos de la práctica C 702 se considera preferible.

13. Procedimiento para Agregado Fino

13.1 Llevar a cabo un ensayo equivalente de arena, de conformidad con el método de prueba D 2419, exceptuando el usar un agitador mecánico para agitar continuamente el cilindro y el contenido de 600 ± 15 s.

PROCEDIMIENTO C - AGREGADO DEMASIADO FINO PARA SER ENSAYADO COMO AGREGADO GRUESO Y DEMASIADO GRUESO PARA SER ENSAYADO COMO AGREGADO FINO

14. Prueba de Preparación de Muestra

14.1 El procedimiento C ha sido desarrollado para probar agregados, como la grava de guisante, y otros agregados contenidos principalmente entre los tamices de 9.5 y 1.18 mm ($\frac{3}{8}$ in. Y No 16). Tales agregados son demasiado finos para ser ensayado como el agregado grueso y demasiado gruesos para ser ensayado como la arena.

14.2 Prepare una muestra de prueba utilizando el procedimiento en la Sección 12, excepto eliminar el procedimiento de tamizado y recombinación de el material seco como se requiere en 12,7.

15. Procedimiento

15.1 Llene el cilindro plástico a 102 ± 2.5 mm \pm (4 \pm 0.1 in.) de nivel con agua destilada o desmineralizada. Vierta el espécimen de prueba preparado en el cilindro usando un embudo para evitar el derramamiento. Dé un golpe al fondo del cilindro bruscamente con el talón de la mano, si es necesario, para liberar las burbujas de aire y promover la humedad a fondo. Deje en reposo durante 10 ± 1 minuto.

15.2 Tape el cilindro, aflojar el material del fondo,

y coloque el cilindro en equivalente de arena tamizado mecánico. Comience el temporizador y permita que la máquina zarandee el cilindro y contenido para 30 ± 1 minuto.

15.3 Al final de período vibratorio, quite el cilindro del tamizador y transfiera el agua y paso de material 75- μ m (de No 200) a otro cilindro que contiene 7 mL (0.24 onz.) de solución de cloruro de calcio de reserva, como sigue:

15.3.1 Anide tamices 2.36 mm y 75- μ m (No.8 y 200) en un embudo que se vacía en el segundo cilindro. Sostenga la boca del cilindro invertido sobre los tamices anidados y quite el tapon, permitiendo a la muestra y agua manar en los tamices. Aclare los finos restantes del cilindro invertido en los tamices con una pequeña cantidad de agua dulce. Aclare el material retenido en los tamices con el agua dulce adicional para asegurar que todo menos 75 μ m (del No 200) el material pasa por el tamiz. Tenga cuidado para no llenar el cilindro encima de 380 mm (15 in) marca. Permita un tiempo para el agua drene por los tamices y luego añadir bastante agua destilada fresca para traer el nivel del líquido de 380 mm (15 in) marca. Tape el cilindro y mezcla los contenido invirtiendo 20 veces en 35s.

15.4 Permita que el cilindro esté en reposo para 1200 ± 15 s a partir del tiempo de finalización de la mezcla, luego lea la parte superior de la suspensión de arcilla al más cercano 2.5 mm (0.1 in.).

CÁLCULO

16. Procedimiento A - Agregado grueso

16.1 Calcule el índice de durabilidad del agregado grueso al número entero más cercano usando la ecuación siguiente:

$$D_c = 30.3 + 20.8 \cot(0.29 + 0.15H) \quad (3)$$

Donde:

D_c = índice de durabilidad,

H = altura de sedimento, in, y la cantidad (0.29 + 0.15H) está en radianes.

16.2 Las soluciones de Ecuación 3 son dadas en la Tabla 1.

Tabla 1- Índice de Durabilidad de Agregado Grueso

NOTA 1 - $D_c = 30.3 + 20.8 \cot(0.29 + 0.15H)$

Altura de Sedimentos		Dc	Altura de Sedimentos		Dc	Altura de Sedimentos		Dc	Altura de Sedimentos		Dc	Altura de Sedimentos		Dc
in	mm		in	mm		in	mm		in	mm		in	mm	
0.0	0.0	100	3.0	76.2	53	6.0	152.4	39	9.0	228.6	29	12.0	304.8	18
0.1	2.5	96	3.1	78.7	52	6.1	154.9	38	9.1	231.1	29	12.1	307.3	18
0.2	5.1	93	3.2	81.3	52	6.2	157.5	38	9.2	233.7	28	12.2	309.9	18
0.3	7.6	90	3.3	83.8	51	6.3	160.0	38	9.3	236.2	28	12.3	312.4	17
0.4	10.2	87	3.4	86.4	51	6.4	162.6	37	9.4	238.8	28	12.4	315.0	17
0.5	12.7	85	3.5	88.9	50	6.5	165.1	37	9.5	241.3	27	12.5	317.5	16
0.6	15.2	82	3.6	91.4	49	6.6	167.6	37	9.6	243.8	27	12.6	320.0	16
0.7	17.8	80	3.7	94.0	49	6.7	170.2	36	9.7	246.4	27	12.7	322.6	15
0.8	20.3	78	3.8	96.5	48	6.8	172.7	36	9.8	248.9	26	12.8	325.1	15
0.9	22.9	76	3.9	99.1	48	6.9	175.3	36	9.9	251.5	26	12.9	327.7	14
1.0	25.4	74	4.0	101.6	47	7.0	177.8	35	10.0	254.0	26	13.0	330.2	14
1.1	27.9	73	4.1	104.1	47	7.1	180.3	35	10.1	256.5	25	13.1	332.7	13
1.2	30.5	71	4.2	106.7	46	7.2	182.9	35	10.2	259.1	25	13.2	335.3	13
1.3	33.0	70	4.3	109.2	46	7.3	185.4	34	10.3	261.6	25	13.3	337.8	12
1.4	35.6	68	4.4	111.8	45	7.4	188.0	34	10.4	264.2	24	13.4	340.4	12
1.5	38.1	67	4.5	114.3	45	7.5	190.5	34	10.5	266.7	24	13.5	342.9	11
1.6	40.6	66	4.6	116.8	44	7.6	193.0	33	10.6	269.2	24	13.6	345.4	11
1.7	43.2	65	4.7	119.4	44	7.7	195.6	33	10.7	271.8	23	13.7	348.0	10
1.8	45.7	63	4.8	121.9	43	7.8	198.1	33	10.8	274.3	23	13.8	350.5	9
1.9	48.3	62	4.9	124.5	43	7.9	200.7	32	10.9	276.9	23	13.9	353.1	9
2.0	50.8	61	5.0	127.0	43	8.0	203.2	32	11.0	279.4	22	14.0	355.6	8
2.1	55.4	60	5.1	129.5	42	8.1	205.7	32	11.1	281.9	22	14.1	358.1	7
2.2	55.9	59	5.2	132.1	42	8.2	208.3	31	11.2	284.5	22	14.2	360.7	7
2.3	58.4	59	5.3	134.6	41	8.3	210.8	31	11.3	287.0	21	14.3	363.2	6
2.4	61.0	58	5.4	137.2	41	8.4	213.4	31	11.4	289.6	21	14.4	365.8	5
2.5	63.5	57	5.5	139.7	40	8.5	215.9	30	11.5	292.1	20	14.5	368.3	4
2.6	66.0	56	5.6	142.2	40	8.6	218.4	30	11.6	294.6	20	14.6	370.8	4
2.7	68.6	55	5.7	144.8	40	8.7	221.0	30	11.7	297.2	20	14.7	373.4	3
2.8	71.1	54	5.8	147.3	39	8.8	223.5	29	11.8	299.7	19	14.8	375.9	2
2.9	73.7	54	5.9	149.9	39	8.9	226.1	29	11.9	302.3	19	14.9	378.5	1
												15.0	381.0	0

17. Procedimiento B - Agregado Fino.

17.1 Calcule el índice de durabilidad del agregado fino a la 0.1 utilización más cercana de la ecuación siguiente:

$$D_f = \frac{\text{Lectura de Arena}}{\text{Lectura de Arcilla}} \times 100 \quad (4)$$

17.2 Si el índice de durabilidad deliberado no es un número entero, informe ello como el siguiente número más alto entero. Por ejemplo, si la lectura de arcilla fuera registrada como 3.3, el índice de durabilidad deliberado sería: $D_f = (3.3/8.0) \times 100 = 41.25$ o 41.2; haga un informe como 42.

17.3 Si se desea hacer un promedio de una serie de valores, haga un promedio de los valores de

número enteros como determinado en 17.2. Si el promedio de estos valores no es un número entero, alrededor de ello al siguiente número más alto entero como mostrado en el ejemplo siguiente: los valores de D_f deliberados por el ejemplo son 41.2, 43.8, y 40.9 que, cuando doblado al siguiente número más alto entero, hecho 42, 44, y 41. El promedio de estos valores es determinado entonces: $(42 + 44 + 41)/3 = 42.3$; haciendo un informe como 43.

18. Procedimiento C - Agregado Demasiado Fino para ser Ensayado como Agregado Grueso y Demasiado Grueso para ser Ensayado como Agregado Fino

18.1 Calcule el índice de durabilidad de acuerdo con la sección 16.

19. Precauciones

19.1 Realice la prueba en una posición sin vibraciones, porque las vibraciones pueden hacer que el material suspendido coloque en una mayor tasa que lo normal.

19.2 No exponga los cilindros plásticos para dirigir la luz del sol más tiempo que lo necesario.

19.3 Con frecuencia compruebe el juego entre la leva y excentrico el tamizador portátil Tyler modificado agarrando una de las varas de suspensión e intentando mover la base de tamiz. Si el juego es notado, sustituya la leva o porte, o ambos.

19.4 Lubrique la tamizadora al menos cada 3 meses.

20. Informe

20.1 Informe de la "como se recibe" análisis granulométrico de los agregados sometido a pruebas, el análisis de la muestra de tamiz grueso utilizado, y el análisis granulométrico de la muestra fina que se usa. Informe del índice de resistencia calculada (D_c o D_f) con una indicación de si se empleó el procedimiento A, B, o C.

20.2 Incluya una declaración en cuanto a si realmente el control estricto de temperaturas fue mantenido, y si la llave, destilado o agua desmineralizada fue usada.

21. Precisión y Tendencia.

21.1 Los criterios para juzgar la admisibilidad de los valores de índice de durabilidad determinados por este método de prueba son muy limitados. Los datos que son tabulados aquí fueron desarrollados por una agencia estatal en los Estados Unidos occidentales en materiales comunes a aquella área geográfica. Los criterios fueron establecidos por formación de 48 pruebas

individuales sobre cada uno de seis agregados diferentes, dos de los cuales eran agregados gruesos y cuatro de los cuales eran agregados finos. Dos pruebas por dos operadores en doce laboratorios conservadores realizadas en cada material.

21.2 Una indicación de la precisión de este método de prueba es presentada en la Tabla 2. La desviación estándar de operador solo y la desviación estándar multilaboratorio tanto para el índice de durabilidad del agregado grueso (D_c) como para el índice de durabilidad del agregado fino (D_f) aumentan como las disminuciones de índice.

21.3 La desviación de estándar de operador solo máxima ha sido encontrada para ser 3.58. Por lo tanto, no se espera que los resultados de dos pruebas correctamente conducidas por el mismo operador en el mismo material se diferencien por más de 10.1.

21.4 La desviación estándar multilaboratorio máxima ha sido encontrada para ser 5.11. Por lo tanto, no se espera que los resultados de dos pruebas correctamente conducidas de dos laboratorios diferentes en muestras del mismo agregado se diferencien por más que 14.4.

21.5 Tendencia — Ninguna información es presentada en la tendencia del procedimiento en este método de prueba para medir el índice de durabilidad, porque ningún material que tenga un valor de referencia aceptado está disponible.

22. Palabras clave

22.1 Degradación agregada; durabilidad de agregado.

Tabla 2 Presición ^A

Durabilidad	Indice de Desviación Estandar	Diferencia Dos-Sigma Limites
Agregado grueso: ^B		
Un solo operador de precisión:		
60	3.58	10.1
65	3.07	8.7
70	2.56	7.2
75	2.04	5.8
80	1.53	4.3
85	1.01	2.9
Multilaboratory de precisión:		
60	4.35	12.3
65	3.72	10.5
70	3.10	8.8
75	2.47	7.0
80	1.85	5.2
85	1.22	3.5
Agregado fino: ^C		
Un solo operador de precisión:		
50	2.40	6.8
55	2.24	6.3
60	2.08	5.9
65	1.92	5.4
70	1.76	5.0
75	1.61	4.5
Multilaboratory de precisión:		
50	5.11	14.4
55	4.77	13.5
60	4.43	12.5
65	4.10	11.6
70	3.76	10.6
75	3.42	9.7

^A Los análisis preliminares de los datos de estudio de Laboratorio de Transporte de California "Precisión de los métodos de ensayo seleccionados agregado," 48 pruebas individuales por cada material, 2 las pruebas por 2 operadores en 12 laboratorios.

^B Datos de dos materiales.

^C Los datos para cuatro materiales.



Designación: D 4318-00

Método de Ensayo Estándar para Límite Líquido, Límite Plástico e Índice Plástico de Suelos.¹

Este estándar es publicado bajo la designación fija D 4318; el número inmediatamente después de designación indica el año de la adopción original o, en caso de la revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última nueva aprobación. Una superescritura epsilon (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o nueva aprobación.

1. Alcance

1.1 Estos métodos de ensayo cubren la determinación del límite líquido, límite plástico e índice plástico de suelos como se definen en la Sección 3 sobre Terminología.

1.2 Dos métodos para preparar los especímenes de ensayo son proporcionados como sigue: Método de preparación húmeda, como se describe en 10.1. Método de preparación seca, como se describe en 10.2. El método a ser usado será especificado por la autoridad que lo requiera. Si ningún método es especificado, use el método de preparación húmeda.

1.2.1 Los límites líquido y plástico de muchos suelos a los que se les ha permitido secar antes del ensayo puede ser considerablemente diferente de valores obtenidos en muestras no secadas. Si los límites líquido y plástico de suelos son usados para correlacionar o estimar las propiedades ingenieriles de los suelos en su estado de humedad natural, no debe ser permitido a las muestras secar antes del ensayo, a menos que información o muestras secas sean específicamente deseadas.

1.3 Dos métodos para determinar el límite líquido son proporcionados como sigue: Método A, Ensayo multipuntos, como se describe en las Secciones 11 y 12. Método B, Ensayo de un punto como se describe en las Secciones 13 y 14. El método a ser usado deberá ser especificado por la autoridad solicitante. Si ningún método es especificado, use el Método A.

1.3.1 El método de límite líquido multipuntos es generalmente más preciso que el método de un punto. Es recomendado que el método multipuntos sea usado en casos donde los resultados del ensayo pueden ser sujetos de disputa, o donde mayor precisión sea requerida.

1.3.2 Por que el método de un punto requiere que el operador juzgue cuando el espécimen de ensayo esta aproximadamente en su límite líquido, particularmente no se recomienda para ser usado por operadores sin experiencia.

1.3.3 La correlación en la cual están basados los cálculos del método de un punto puede no ser valido para algunos suelos, tales como suelos orgánicos o suelos de un ambiente marino. Es ampliamente recomendado que el límite líquido de estos suelos sea determinado por el método multipuntos.

1.4 El ensayo de límite plástico es efectuado con materiales preparados para el ensayo de límite líquido.

1.5 El límite líquido y límite plástico de suelos (junto con el límite de contracción) están frecuentemente colectivamente referidos como los límites de Atterberg. Estos límites se distinguen las fronteras de algunos estados de consistencia de suelos plásticos.

1.6 La composición y concentración de sales solubles en un suelo afecta los valores del límite líquido y plástico tan bien como el valor del contenido de agua en los suelos (ver Método D 2216). Consideraciones especiales deben ser dadas para suelos de un ambiente marino u otra fuente donde altas concentraciones de sal soluble pueden estar presentes. El grado para el cual las sales presentes en esos suelos esta diluida o concentrada puede ser dado en consideraciones cuidadosas.

1.7 Los métodos descritos aquí son efectuados solamente en la porción de suelo que pasa la malla de 425 mm (No. 40). Por lo tanto la contribución relativa de esta porción de suelo a las propiedades de la muestra como un todo puede ser considerado cuando se usen estos ensayos para evaluar las propiedades de un suelo.

1.8 Los valores declarados en unidades métricas aceptables serán considerados como el estándar, excepto como se anota abajo. Los valores dados en paréntesis son para información solamente.

¹ Este estándar está bajo la jurisdicción del Comité ASTM D18 en el Suelo y Mésase y es la responsabilidad directa del Subcomité D18.03 en la Textura, las Características de Densidad y Plasticidad de Manchan. La edición corriente se aprobó el 10 de junio de 2000. Septiembre de 2000 publicado. Al principio publicado como D 4318 - 83. Última edición anterior D 4318 - 98.

1.8.1 Las unidades estándar para el ensayo de resiliencia cubierto en el Anexo A1 esta en lb-in, no métrico. Los valores métricos dados son para información solamente.

1.9 Este estándar no pretende señalar todos los problemas de seguridad, si hay alguno asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma, establecer la seguridad apropiada y prácticas saludables así como determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

2. Documentos Referenciados

2.1 Estándares ASTM:

C702 Práctica para Reducir Muestras de Agregado de Campo a Tamaños de Ensayo.²

D75 Práctica para Muestreo de Agregados.³

D420 Guía para Caracterización del Sitio para Propósitos de Ingeniería, Diseño y Construcción.⁴

D653 Terminología Relativa a Suelos, Rocas y Fluidos Contenidos.⁴

D1241 Especificación de Materiales para Suelo-Agregado, Sub-base, Base y Capas Superficiales.⁴

D2216 Método de Ensayo para Determinación en el Laboratorio del Contenido de Humedad de Suelos y Rocas por Masa.⁴

D2487 Práctica para Clasificación de Suelos para Propósitos de Ingeniería (Sistema Unificado de Clasificación de Suelos).⁴

D3282 Práctica para Clasificación de Suelos y Mezclas Suelo-Agregado para propósitos de construcción de carreteras.⁴

D 3740 Práctica de Requerimientos Mínimos para Instituciones Responsables del Ensayo e Inspección de Suelos y Rocas para Uso en Ingeniería, Diseño y Construcción.⁴

D 4753 Especificación para Evaluación, Selección y Especificación de Balanzas y Básculas para uso en Suelos, Rocas y Ensayo de Materiales de Construcción.⁴

D6026 Práctica para Uso de Dígitos Significativos en Información Geotécnica.⁵

E 11 Especificación para Mallas de Alambre Tejido para Propósitos de Ensayo.⁶

E 177 Práctica para Uso de los Términos Precisión y Tendencia en Métodos de Ensayo ASTM.⁶

E 691 Práctica para Conducción de un Estudio Inter-laboratorio para Determinar la Precisión de un Método de Ensayo.⁶

² Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.02.

³ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.03.

⁴ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.08.

⁵ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.09.

⁶ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 14.02.

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 La definición de términos en este estándar es conforme con Terminología D 653.

3.2 Descripción de Términos Específicos a este Estándar:

3.2.1 Límites de Atterberg – Originalmente, seis “límites de consistencia” en suelos de grano fino fueron definidos por Albert Atterberg: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite pegajoso, el límite de cohesión, el límite plástico y el límite de con-tracción. El uso en corrientes de ingeniería, el término usualmente se refiere solamente al límite líquido, límite plástico y en algunas referencias, al límite de contracción.

3.2.2 consistencia – La relativa facilidad con la cual un suelo puede ser deformado.

3.2.3 límite líquido (LL, w_L) – el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo es el arbitrariamente definido como frontera entre el estado semilíquido y plástico.

3.2.3.1 Discusión –el esfuerzo cortante no drenado del suelo en el límite líquido es considerada a ser aproximadamente 2 kPa (0.28 psi).

3.2.4 límite plástico (LP, w_p) – el contenido de agua, en porcentaje, de un suelo en la frontera entre el estado plástico y semisólido.

3.2.5 suelo plástico – un suelo el cual tiene un rango de contenido de agua sobre el cual este exhibe plasticidad y el cual retrae su forma al secarse.

3.2.6 índice de plasticidad (IP) – el rango de contenido de agua sobre el cual un suelo se comporta plásticamente. Numéricamente, es la diferencia entre el LL y el LP.

3.2.7 índice de liquidez – la relación, expresada como un porcentaje de (1) el contenido de agua de un suelo menos su límite plástico, a (2) su índice de plasticidad.

3.2.8 número de actividad (A) – la relación (1) índice de plasticidad de un suelo a (2) el porcentaje por masa de partículas que tienen un diámetro equivalente menor que 2 mm

4. Resumen del Método de Ensayo

4.1 El espécimen es procesado para remover algún material retenido en la malla 425 mm (No. 40). El límite líquido es determinado mediante la ejecución de pruebas en la cual una porción de espécimen es extendida en una copa de bronce, dividida en dos por una herramienta de ranurado, y entonces permitir fluir juntos desde el choque causado por el golpeteo repetidamente

de la copa en un dispositivo mecánico estándar. El límite líquido multipuntos, Método A, requiere tres o más pruebas sobre un rango de contenido de agua a ser ejecutado y la información de las pruebas ploteadas o calculadas para hacer una relación de la cual el límite líquido es determinado. El límite líquido de un punto, Método B, usa la información de dos ensayos a un contenido de agua multiplicado por un factor de corrección para determinar el límite líquido.

4.2 El límite plástico es determinado mediante presión alternadamente junta y rodillada dentro de un diámetro de 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in.) hile una pequeña porción de suelo plástico hasta que su contenido de agua es reducido a un punto en el cual el hilo se desmigaja y puede no alargarse al ser presionado junto y re-rodillada. El contenido de agua del suelo en este punto es reportado como el límite plástico.

4.3 El índice de plasticidad es calculado como la diferencia entre el LL y el LP.

5. Significado y Uso

5.1 Estos métodos de Ensayo son usados como parte integral de algunos sistemas de clasificación de ingeniería para caracterizar las fracciones de suelos de grano fino (ver Prácticas D 2487 y D 3282) y para especificar la fracción de grano fino de materiales de construcción (ver Especificación D1241). El límite líquido, límite plástico e índice plástico de suelos son usados extensamente, individualmente o juntos, con otras propiedades del suelo para correlacionar el comportamiento ingenieril tales como compresibilidad, permeabilidad, compactabilidad, contracción-hinchamiento y esfuerzo cortante.

5.2 Los límites líquido y plástico de un suelo y su contenido de agua pueden ser usados para expresar su consistencia relativa o índice de liquidez. En adición, el índice de plasticidad y el porcentaje más fino que tamaño de partícula de 2 mm puede ser usado para determinar su número de actividad.

5.3 Estos métodos son usados algunas veces para evaluar las características de intemperismo de materiales como arcilla esquistosa. Cuando son sometidos a ciclo repetido de humedecimiento y secado, los límites líquidos de estos materiales tienden a incrementarse. La cantidad de incremento es considerada para ser una medida de un esquistoso susceptible al intemperismo.

5.4 El límite líquido de un suelo conteniendo cantidades sustanciales de materia orgánica decrece dramáticamente cuando el suelo es

secado al horno antes del ensayo. La comparación del límite líquido de una muestra antes y después de secada al horno puede entonces ser usada como una medida cualitativa de contenido de materia orgánica de un suelo (ver Práctica D 2487).

Nota 1 - La calidad del resultado producido por este estándar depende de la competencia del personal ejecutándolo y del equipo conveniente y facilidades usadas. Las agencias que reúnan el criterio de la Práctica D 3740, generalmente, son consideradas capaces de competencia y objetivos para ensayo/ muestreo/ inspección/ etc. Los usuarios de este estándar son prevenidos que la confianza con la Práctica D 3740 no asegura en sí, resultados confiables. Los resultados confiables dependen de muchos factores; la Práctica D 3740 proporciona un medio de evaluar algunos de estos factores.

6. Aparatos

6.1 Dispositivo de Límite Líquido - Un dispositivo mecánico consistiendo de una copa de bronce suspendida de un pivote diseñado para controlar sus golpes sobre una base de hule duro. La Fig. 1 muestra las características esenciales y dimensiones críticas del dispositivo. El dispositivo puede ser operado en forma manual o con motor eléctrico.

6.1.1 Base - Una base de hule duro teniendo un Tipo D Durómetro, dureza de 80 a 90, y resiliencia de rebote de al menos 77 % pero no más de 90 %. Conducir ensayos de resiliencia sobre la base terminada con el pie adherido. Detalles para medir la resiliencia de la base son dados en el Anexo A1.

6.1.2 Pie de hule, soportando la base, diseñada para proporcionar aislamiento de la base de la superficie de trabajo, y teniendo un Durómetro Tipo A de dureza no mayor de 60 como medido en el pie acabado adherido a la base.

6.1.3 Copa, de bronce, con una masa, incluyendo la manivela, de 185 a 215 g.

6.1.4 Excéntrica - Diseñado para elevar la copa suavemente y continuamente para su máxima altura, sobre una distancia de al menos 180° de rotación excéntrica, sin desarrollar una velocidad ascendente o descendente de la copa cuando en la excéntrica el casquillo deja la excéntrica. (El movimiento excéntrico preferido es una curva que sube uniformemente acelerada).

Nota 2 - El diseño de la excéntrica y el casquillo en la Fig. 1 es para un movimiento uniformemente acelerado (parabólico) después del contacto y asegura que la copa no tiene velocidad en golpe apagado. Otros diseños de excéntrica también proporcionan esta característica y pueden ser usados. Sin embargo si la excéntrica-casquillo levantada en el patrón no es conocido, cero velocidad en el golpe apagado puede ser asegurado mediante un relleno cuidadoso o maquinando la excéntrica y el casquillo para que la altura de la copa se mantenga constante sobre al menos 20 a 45° de rotación de la excéntrica.

6.1.5 Acarreador, construido en el sentido que permita un conveniente pero seguro ajuste de la altura de caída de la copa a 10 mm (0.394 in.) y diseñado para que la copa y su maneral ensamblado sea solamente adherido al acarreador por medio de un pin removible Ver fig. 2 para definición y determinación de la altura de caída de la copa.

6.1.6 Motor (Opcional) - Como una alternativa a la manivela mostrada en la Fig. 1, el dispositivo puede ser equipado con un motor para girar la excéntrica. Tal que un motor puede girar la excéntrica en 2 ± 0.1 revoluciones por segundo y puede ser aislado del resto del dispositivo por hules montados o por alguna otra vía que prevenga la vibración del motor siendo transmitido al resto del aparato. Este puede ser equipado con un interruptor de apagado-encendido y un medio conveniente de dar posición a la excéntrica para ajustar la altura de caída. Los resultados obtenidos usando un dispositivo con motor no deben diferir de aquellos obtenidos usando un dispositivo de operación manual.

6.2 Herramienta de Ranurado Plana - Una herramienta hecha de plástico o metal no corrosivo, teniendo las dimensiones mostradas en la Fig. 3. El diseño de la herramienta puede variar tanto como las dimensiones esenciales sean mantenidas. La herramienta puede, pero no necesita, incorporar el medidor para ajustar la altura de caída del dispositivo de límite líquido.

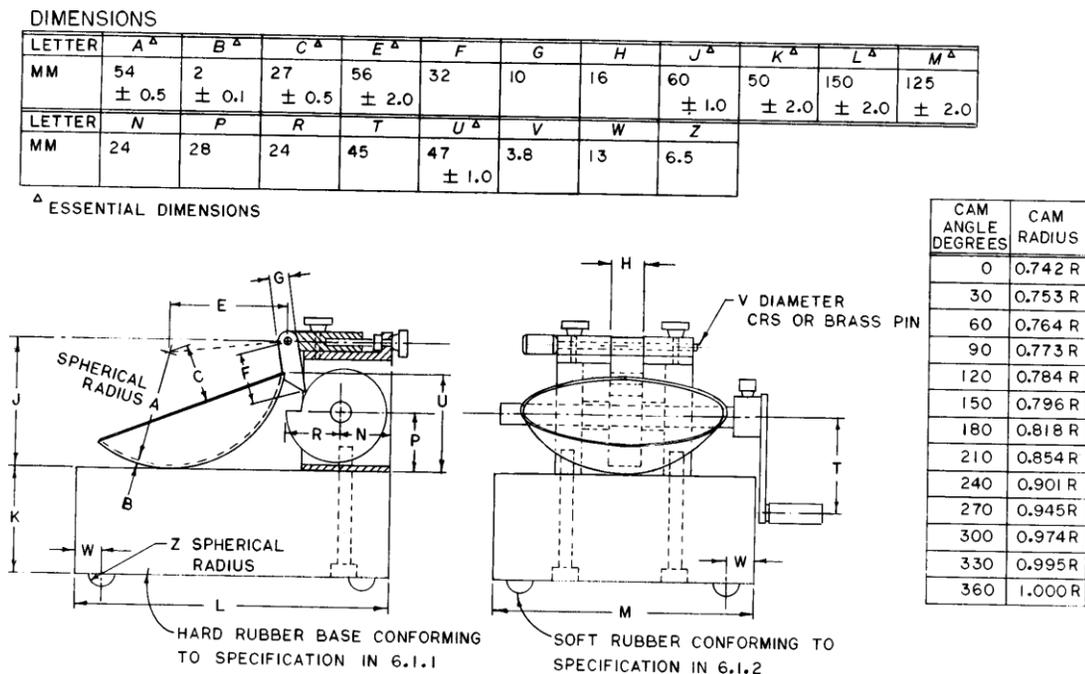


Fig 1. Operado a Mano Limite Líquido en Dispositivo

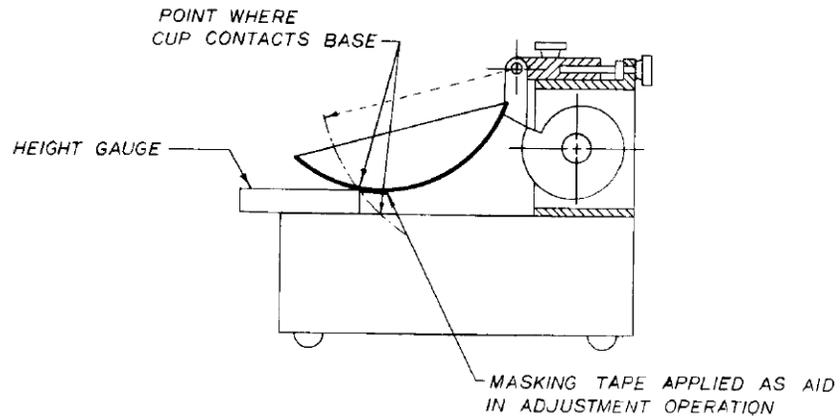


Fig. 2 Calibración de altura de caída

DIMENSIONS

LETTER	A ^Δ	B ^Δ	C ^Δ	D ^Δ	E ^Δ	F ^Δ
MM	2 ± 0.1	11 ± 0.2	40 ± 0.5	8 ± 0.1	50 ± 0.5	2 ± 0.1
LETTER	G	H	J	K ^Δ	L ^Δ	N
MM	10 MINIMUM	13	60	10 ± 0.05	60 DEG ± 1 DEG	20

^Δ ESSENTIAL DIMENSIONS

[□] BACK AT LEAST 15 MM FROM TIP

NOTE: DIMENSION A SHOULD BE 1.9-2.0 AND DIMENSION D SHOULD BE 8.0-8.1 WHEN NEW TO ALLOW FOR ADEQUATE SERVICE LIFE

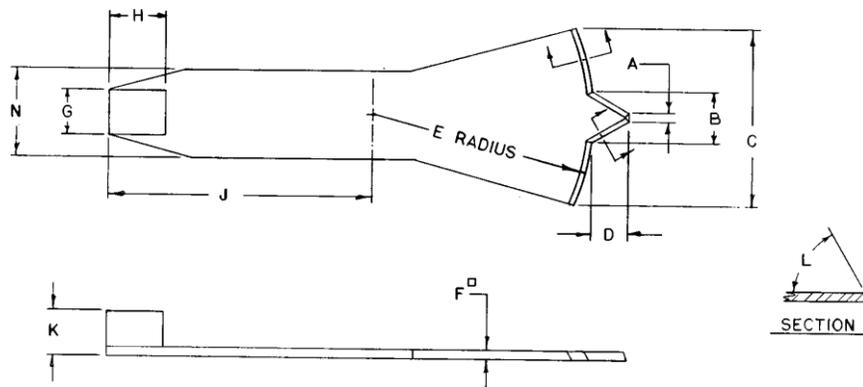


Fig 3 Instrumento que Acanala (Prenda de Altura de gota Opcional Adjunta)

Nota 3 - Previo a la adopción de este método de ensayo, una herramienta de ranurado curva fue especificada como parte del aparato para efectuar el ensayo de límite líquido. La herramienta curvada se considera que no es tan adecuada como la herramienta plana descrita en 6.2 ya que este no controla la altura del suelo en la copa del límite líquido. Sin embargo, hay alguna información la cual indica que típicamente el límite líquido es ligeramente incrementado cuando la herramienta plana es usada en lugar de la herramienta curvada.

6.3 Calibrador - Un bloque medidor metálico para ajustar la altura de caída de la copa, teniendo las dimensiones mostradas en la Fig. 4. El diseño de la herramienta puede variar proporcionando el medidor descansa seguramente sobre la base sin ser susceptible de balanceo, y el borde el cual hace contacto con la copa durante el ajuste es recto, al menos 10 mm ($\frac{3}{8}$ in.) de ancho, y sin bisel o radios de curvatura.

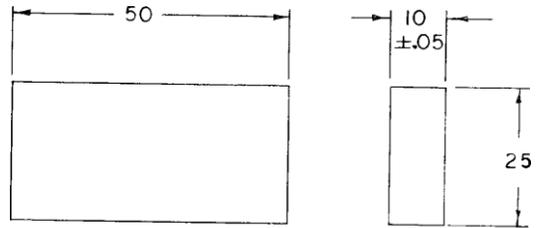
6.4 Recipientes Contenedores de Agua - Contenedores pequeños resistentes a la corrosión con topes de ajuste sin holgura para el contenido de agua de los especímenes. Recipientes de aluminio o acero inoxidable de altura 2.5 cm (1 in.) por 5 cm (2 in.) de diámetro son apropiados.

6.5 Balanza, conforme a la especificación D 4753, Clase GP1 (precisión de 0.01 g).

6.6 Contenedor de Almacenamiento y Mezclado - Un contenedor para mezclar el espécimen de suelo (material) y almacenar el material preparado. Durante el mezclado y almacenamiento, el contenedor no contaminará el material de alguna manera, y prevendrá pérdida de humedad durante el almacenamiento. Es adecuado un plato de porcelana, vidrio o plástico, de diámetro alrededor de 11.4 cm (4 $\frac{1}{2}$ in.) y una bolsa plástica grande suficiente para encerrar el plato y ser doblado al terminar.

6.7 Límite Plástico.

6.7.1 Placa de vidrio base: Una placa de vidrio base cuadrada de al menos 30 cm (12 in.) por 1 cm ($\frac{3}{8}$ in.) de espesor para rodillar el hilo de límite plástico.



DIMENSIONS IN MILLIMETRES

Fig 4 Prenda de Altura de gota

6.7.2 Dispositivo para Rodado de Límite Plástico (opcional) - Un dispositivo hecho de acrílico conforme a las dimensiones mostradas en la Fig. 5. El tipo de accesorio de papel no vidriado, para el borde superior y el fondo de la placa (ver 16.2.2) será tal que este no adicione materia extraña (fibras, fragmentos de papel, etc.) al suelo durante el proceso de rodillado.

6.8 Espátula - Una espátula o cuchillo teniendo una hoja de alrededor 2 cm ($\frac{3}{4}$ in.) de ancho, y alrededor de 10 a 13 cm (4 a 5 in.) de longitud.

6.9 Malla(s) - Una malla de 200 mm (8 in.) de diámetro y 425 mm (No. 40) de abertura, conforme a los requerimientos de la especificación E 11 y teniendo un aro de al menos 5 cm (2 in.) por encima del tejido. Una malla de 2.00 mm (No. 10) reuniendo los mismos requerimientos pueden también ser necesarios.

6.10 Botella de lavado - o contenedor similar para adicionar cantidades controladas de agua al suelo y lavar los finos de las partículas gruesas.

6.11 Horno de secado - termostáticamente controlado, preferiblemente del tipo aspiración mecánica, capaz de mantener continuamente una temperatura de $110 \pm 5^\circ \text{C}$ ($230 \pm 9^\circ \text{F}$) por toda la cámara de secado.

6.12 Recipiente de lavado - redondo, de fondo plano, profundidad de al menos 7.6 cm (3 in.) y ligeramente mayor en el fondo que una malla de 20.3 cm (8 in.) diámetro.

7. Reactivos y Materiales

7.1 Pureza del agua - Donde agua destilada es referida en este método de ensayo, ambas, agua destilada o desmineralizada pueden ser usadas. Ver Nota 7 cubriendo el uso de agua de grifo.

8. Muestreo y Espécimen

8.1 las muestras pueden ser tomadas de algún lugar que satisfaga las necesidades del ensayo.

Sin embargo, las Practicas C 702, D 75 y D 420 pueden ser usadas como guía para seleccionar y preservar muestras de varios tipos de operaciones de muestreo.

Las muestras en las cuales los especímenes serán preparados usando el método de preparación húmeda (10.1) puede ser mantenida a su contenido de agua como muestreadas previo a la preparación.

8.1.1 Donde las operaciones de muestreo tienen preservadas la estratificación natural de la muestra, los estratos varios pueden ser mantenidos separados y ejecutar los ensayos en el estrato de interés particular con tan poca contaminación como sea posible de otro estrato. Donde una mezcla de materiales sea usada en la construcción, combine los componentes varios en tal proporción que la muestra resultante representa el caso de la construcción actual.

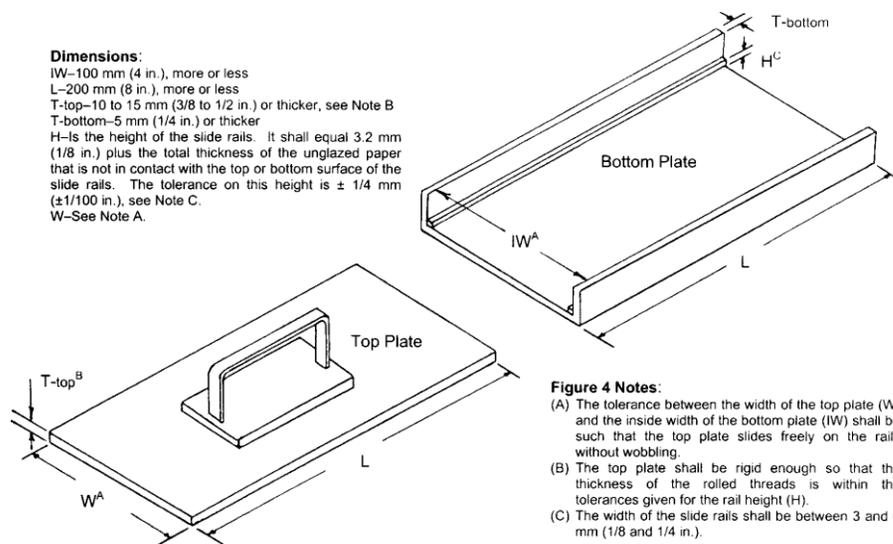


Fig. 5 Limite Plástico - Dispositivo que Hace rodar

8.1.2 Donde la información de estos métodos de ensayo es para ser usada en correlación con otros laboratorios o información de ensayos de campo, use el mismo material como el usado para aquellos ensayos donde es posible.

8.2 Espécimen - Obtenga una porción representativa de la muestra total, suficiente para proporcionar 150 a 200 g de material pasando la malla de 425 mm (No. 40). Las muestras de flujo libre (materiales) pueden ser reducidas por el método de cuarteo o partidura. Los materiales sin flujo libre o cohesivo serán mezclados completamente en un recipiente con una espátula o cuchara y una porción representativa tomada de la masa total por la toma de uno o más pasadas rápidas con una cuchara a través de la masa mezclada.

9. Calibración de Aparatos

9.1 Inspección de Uso:

9.1.1 Dispositivo de limite liquido - Determine que el dispositivo de limite liquido esta limpio y

en buenas condiciones de trabajo. Chequee los siguientes puntos específicos:

9.1.1.1 Desgaste de la Base - El lugar en la base donde la copa hace contacto puede ser desgastada no más de 10 mm ($3/8$ in.) de diámetro. Si el lugar desgastado es mayor que esto, la base puede ser pulida para remover el lugar desgastado proporcionando una nueva superficie no hecha manteniendo la base delgada como fue especificado en 6.1 y la otra relación dimensional.

9.1.1.2 Desgaste de la Copa - Reemplace la copa cuando la herramienta de ranurado produce un desgaste con una depresión en la copa de 0.1 mm (0.004 in.) de profundidad o cuando la orilla de la copa ha sido reducida a la mitad de su espesor original. Verifique que la copa esta firmemente adherida al colgadero.

9.1.1.3 Desgaste del maneral de la Copa - Verifique que el pivote del maneral de la copa no está apretado y no esta gastado a una extensión

que permita más de 3 mm ($\frac{1}{8}$ in) movimiento lado a lado del punto bajo en el borde.

9.1.1.4 Desgaste del Rotor - El rotor no estará gastado a una extensión que la copa golpee antes de que el maneral de la copa (parte del rotor) pierda contacto con el rotor.

9.1.2 Herramientas de Ranurado - Inspeccione las herramientas de ranurado para desgastar en una base regular y frecuente. La rapidez de desgaste depende del material del cual la herramienta es hecha, y el tipo de suelo siendo ensayado. Suelos conteniendo una proporción grande de partículas de arena fina pueden causar rápido desgaste de la herramienta de ranurado; por lo tanto, cuando ensaye estos materiales, las herramientas deben ser inspeccionadas con mas frecuencia que para otros suelos.

Nota 4 - El ancho de la punta de la herramienta de ranurado es convenientemente verificada, usando un medidor de bolsillo magnificado equipado con una escala milimétrica. Magnificadores de este tipo están disponibles en muchas compañías que suministran a los laboratorios. La altura de la punta de la herramienta de ranurado puede ser verificada usando el medidor de altura característico del calibrador vernier.

9.2 Ajuste de la altura de caída - Ajuste la altura de caída para que el punto de la copa en contacto con la base tenga una altura de 10 ± 0.2 mm. Ver la Fig. 2 para la localización propia del medidor relativo a la copa durante el ajuste.

Nota 5 - Un procedimiento conveniente para ajustar la altura de caída es el siguiente: coloque una pieza de cinta adhesiva alrededor del fondo externo de la copa, paralelo con el eje del maneral pivote de la copa. El borde de la cinta lejos del maneral de la copa debe bisectar la mancha en la base de la copa que hace contacto. Para copas nuevas, colocar una pieza de papel carbón en la base y permita que la copa golpee algunas veces marcando la mancha de contacto. Sujetar la copa al dispositivo y gire la manivela hasta que la copa este levantada a su máxima altura. Deslice el medidor de altura bajo la copa desde el frente y observe si el medidor contacta la copa o la cinta (Ver Fig. 2). Si la cinta y la copa están simultáneamente contactados, la altura de caída esta lista para ser verificada. Si no, ajuste la copa hasta que el contacto simultaneo sea hecho. Verifique el ajuste girando la manivela a 2

revoluciones por seg. , sostener un rato el medidor en posición contra la cinta y la copa. Si un sonido débil (apagado) o ruido seco es oído sin que la copa ascienda desde el medidor, el ajuste es correcto. Si ningún sonido es oído o si la copa levantada desde el medidor, reajuste la altura de caída. Si la copa se balancea en el medidor durante esta operación de chequeo, el pivote partidario del rotor esta excesivamente gastado y la pieza gastada puede ser reemplazada. Siempre remueva la cinta después de completar la operación de ajuste.

10. Preparación del Espécimen de Ensayo

10.1 Método de Preparación Húmeda - Excepto donde el método seco de preparación de especimenes sea especificado (10.2), prepare el espécimen para ensayo como se describe en las siguientes secciones:

10.1.1 Material pasando la malla de 425 mm (No. 40):

10.1.1.1 Determine por métodos visual y manual que el espécimen de 8.2 tiene poco o ningún material retenido en la malla de 425 mm (No. 40). Si este es el caso, prepare 150 a 200 g de material mediante mezclado completo con agua destilada o desmineralizada en la placa de vidrio o cápsula de mezclado usando la espátula. Si se desea, empapar el material en una mezcla almacenada en una cápsula con una pequeña cantidad de agua para ablandar el material antes del inicio del mezclado. Si el Método A es usado, ajuste el contenido de agua del material para llevarlo a una consistencia que pueda requerir alrededor de 25 a 35 golpes del dispositivo de límite liquido para cerrar la ranura (Nota 6). Para el Método B, el numero de golpes puede ser entre alrededor de 20 y 30 golpes.

10.1.1.2 Si, durante el mezclado, un pequeño porcentaje de material es encontrado que puede ser retenido en una malla de 425 mm (No. 40), remueva esas partículas con la mano (sí es posible). Si esto es impráctico para remover el material grueso con la mano, remueva pequeños porcentajes (menores que alrededor del 15%) de material grueso mediante trabajar el material (teniendo la consistencia alta) a través de una malla de 425 mm. Durante este procedimiento, use una pieza de hule laminado, tapón de hule u otro dispositivo conveniente que proporcione el procedimiento que no distorsione la malla o degrade el material que puede ser retenido si el método de lavado descrito en 10.1.2 fuese usado. Si porcentajes grandes de material grueso son

encontrados durante el mezclado, o es considerado impracticable remover el material grueso por el procedimiento arriba descrito, lave la muestra como se describe en 10.1.2. Cuando las partículas gruesas encontradas durante el mezclado son concreciones, conchas u otras partículas frágiles, no triture estas partículas para hacerlas pasar por la malla de 425 mm, pero remuévalas manualmente o mediante lavado.

10.1.1.3 Coloque el material preparado en el plato de almacenamiento/mezclado, verifique su consistencia (ajuste si es requerido), cubra para prevenir pérdida de humedad, y permita curado por al menos 16 h (por la noche). Después del periodo de curado e inmediatamente antes de iniciar el ensayo, remezcle completamente el suelo.

10.1.2 Material Conteniendo Partículas retenidas en una Malla de 425 mm (No. 40):

10.1.2.1 Coloque el espécimen (ver 8.2) en una bandeja o plato y agregue suficiente agua para cubrir el material. Permita al material saturarse hasta que todos los grumos tengan suavidad y los finos no se adhieran a las superficies de las partículas gruesas (Nota 7).

Nota 6 - El tiempo tomado para mezclar adecuadamente un suelo variará grandemente, dependiendo de la plasticidad y contenido de agua inicial. Un tiempo de mezclado inicial de más de 30 minutos puede ser necesario para arcillas magras o duras.

Nota 7 - En algunos casos, los cationes de la sal presentes en el agua de grifo reaccionan con los cationes naturales en el suelo y significativamente altera los resultados del ensayo si agua de grifo es usada en la saturación y operaciones de lavado. A menos que esto sea conocido que tales cationes no están presentes en el agua de grifo, agua destilada o desmineralizada deberá ser usada. Como una regla general, agua conteniendo más de 100 mg/L de sólidos disueltos no debe ser usada para operaciones de saturación y lavado.

10.1.2.2 Cuando el material contiene un porcentaje grande de partículas retenidas en la malla de 425 mm (No. 40), desarrolle la siguiente operación de lavado en incrementos, lavando no más de 0.5 kg (1 lb) de material a una vez.

Coloque la malla de 425 mm en el fondo del recipiente limpio. Transfiera sin alguna pérdida de material, la mezcla suelo-agua sobre la malla. Si grava o partículas de arena gruesa están presentes, enjuague muchas de esas como sea posible con pequeñas cantidades de agua de un

frasco de lavado y descarte. Alternativamente, transfiera la mezcla suelo-agua sobre una malla de 2.00 mm (No. 10) encajando el borde superior de la malla de 425 mm, enjuague el material fino a través y remueva la malla de 2.00 mm. Después del lavado y removiendo mucho del material grueso como sea posible, adicione suficiente agua al recipiente para alcanzar el nivel de alrededor 13 mm (½ in) arriba de la superficie de la malla de 425 mm. Agite la lechada o pasta aguada mediante revolver con los dedos durante un tiempo, subiendo y bajando la malla en el recipiente y arremolinando la suspensión como que el material fino es lavado de las partículas gruesas. Desagregar los grumos de suelo fino que no se desmenuzan por una frotación suave sobre la malla con la punta de los dedos. Complete la operación de lavado levantando la malla arriba de la superficie de agua y retire el material retenido con una pequeña cantidad de agua limpia. Descarte el material retenido en la malla de 425 mm.

10.1.2.3 Reduzca el contenido de agua del material pasando la malla de 425 mm (No. 40) hasta que este se aproxime al límite líquido. Reducción del contenido de agua puede ser acompañado por uno o una combinación de los siguientes métodos: (a) exponer a una corriente de aire a la temperatura del cuarto, (b) exponer a una corriente de aire de una fuente tal como un secador de pelo eléctrico, (c) decantar el agua limpia de la superficie de la suspensión, (d) Filtrando en un embudo Büchner o usando filtros candela, o (e) drenando en un colador o plato de yeso de París alineado con alta retentividad, papel filtro de resistencia húmeda alta. Si un plato de yeso de París es usado, tenga cuidado de que la cápsula nunca se vuelva suficientemente saturada que esta falle por absorber agua en su superficie. Seque completamente la cápsula entre usos. Durante la evaporación y enfriamiento, remover el material lo suficiente para prevenir sobresecado de las franjas y suelos con pináculos en la superficie de la mezcla. Para materiales conteniendo sales solubles, use un método de reducción de agua (a o b) que no eliminará las sales solubles del espécimen de ensayo.

10.1.2.4 Si es aplicable, remueva el material retenido en papel filtro. Mezcle completamente este material o el material de arriba en la placa de vidrio o en la cápsula de mezclado usando la espátula. Ajuste el contenido de agua de la mezcla, si es necesario, adicionando pequeños incrementos de agua destilada o desmineralizada

o permitiendo a la mezcla secar a la temperatura del cuarto aunque mezclando en la placa de vidrio. Si se usa el Método A, el material será con un contenido de agua que puede requerir alrededor de 25 a 35 golpes del dispositivo de limite liquido para cerrar la ranura. Para el método B, el número de golpes puede ser entre 20 y 30. Ponga, si es necesario, el material mezclado en el plato de almacenamiento, cubra para prevenir perdida de humedad, y permita reposar (curado) por al menos 16 horas. Después del período de reposo e inmediatamente antes de iniciar el ensayo, remezcle completa-mente el espécimen.

10.2 Método de Preparación Seca:

10.2.1 Sequé el espécimen de 8.2 a la temperatura del cuarto o en un horno a una temperatura que no exceda 60° C hasta que los terrones de suelo estén listos para pulverizar. La disgregación es expedita si al material no se le permite secar completamente. Sin embargo, el material puede tener una apariencia seca cuando esta pulverizado.

10.2.2 Pulverice el material en un mortero con pistilo de hule o de alguna otra manera que no cause ruptura de las partículas individuales. Cuando las partículas gruesas encontradas durante la pulverización son concreciones, conchas, u otra partícula frágil, no triture esas partículas para hacer que pasen la malla de 425 mm (No. 40) pero remueva con la mano u otro medio adecuado, tal como lavado. Si el procedimiento de lavado es usado, siga los pasos 10.1.2.1 a 10.1.2.4.

10.2.3 Separe el material en una malla de 425 mm (No. 40), agitando la malla con la mano para asegurar separación completa de la fracción fina. Regrese el material rete-nido en la malla de 425 mm al aparato de pulverizar y repita las operaciones de tamiza-do y pulverizado. Pare este proceso cuando más del material fino ha sido desagregado y material retenido en la malla de 425 mm consiste de partículas individuales.

10.2.4 Coloque el material retenido en la malla de 425 mm (No. 40) después de la operación de pulverizado final, en un plato y humidéscala con una pequeña cantidad de agua. Revuelva esta mezcla y transfírala a una malla de 425 mm, atrape el agua y algunos finos suspendidos en el

recipiente de lavado. Vierta esta suspensión en un plato conteniendo el suelo seco previamente tamizado por la malla de 425 mm. Descarte el material retenido en la malla de 425 mm.

10.2.5 Proceda como se describe en 10.1.2.3 y 10.1.2.4.

LIMITE LIQUIDO MULTI PUNTOS - METODO A

11. Procedimiento

11.1 Remezcle completamente el espécimen (suelo) en su recipiente de mezclado, y si es necesario, ajuste su contenido de agua hasta la consistencia requerida alrededor de 25 a 30 golpes del dispositivo de limite liquido para cerrar la ranura. Usando una espátula, coloque una porción del suelo preparado en la copa del dispositivo de limite liquido en el punto donde la copa descansa sobre la base, apriete este hacia abajo, y extiéndala en la copa a una profundidad de alrededor 10 mm en su punto de mayor profundidad franjeando para formar una superficie aproximadamente horizontal. Tenga cuidado de eliminar las burbujas de aire del suelo preparado, pero forme el preparado con tan pocos golpes como sea posible. Mantenga el suelo no usado en el plato de almacenamiento/mezclado. Cubra el plato con una toalla húmeda (o use otros medios) para retener la humedad en el suelo.

11.2 Forme una ranura en el suelo preparado mediante introducir la herramienta con el filo biselado hacia delante a través del suelo en una línea que une el punto alto al punto bajo en el aro de la copa. Cuando corte la ranura, sostener la herramienta de ranurado contra la superficie de la copa y en un arco, manteniendo la herramienta perpendicular a la superficie de la copa durante todo su movimiento. Ver Fig. 6. En suelos donde una ranura no puede ser hecha en un recorrido sin desgarrar el suelo, corte la ranura con algunos recorridos de la herramienta de ranurado. Alternativamente, corte con una espátula la ranura para adelgazar, menos que las dimensiones requeridas y use la herramienta de ranurado para llevar la ranura a las dimensiones finales. Ejercite con extremo cuidado para prevenir deslizamiento del suelo preparado relativo a la superficie de la copa.



Fig. 6 Dar Palmadita a Suelo Acanalado en Dispositivo de Límite Líquido

11.3 Verifique que ninguna migaja de suelo este presente en la base o en la parte de abajo de la copa. Suba y golpee la copa girando el maneral a una razón de 1.9 a 2.1 golpes por segundo hasta que las dos partes del suelo preparado están en contacto en el fondo de la ranura a lo largo de una distancia de 13 mm ($\frac{1}{2}$ in). Ver fig. 7.

Nota 8 - El uso de una escala es recomendado para verificar que la ranura ha cerrado 13 mm ($\frac{1}{2}$ ”).

11.4 Verifique que una burbuja de aire no causa un cierre prematuro de la abertura mediante observación de ambos lados de la ranura teniendo un flujo todo junto con aproximadamente la misma forma. Si una

burbuja ha causado un cierre prematuro de la ranura, reforme el suelo en la copa, adicionando una pequeña cantidad de suelo para hacer subir por la perdida en la operación de ranurado y repita 11.1 - 11.3. Si el suelo desliza en la superficie de la copa, repita 11.1 - 11.3 con un alto contenido de agua. Si, después de algunos ensayos con contenidos de humedad sucesivamente altos, el suelo preparado continua deslizando en la copa o si el numero de golpes requerido para cerrar la ranura es siempre menor que 25, registre que el limite liquido no puede ser determinado, y reporte el suelo como no plástico sin desarrollar el ensayo de limite plástico.



Fig 7 Después de dar Palmaditas al suelo el surco se ha cerrado.

11.5 Registre el número de golpes, N, requerido para cerrar la ranura. Remueva una lasca de suelo de aproximadamente el ancho de la espátula, extendiendo de borde a borde del pastel de suelo en ángulo recto a la ranura e incluyendo la porción de la ranura en la cual el suelo fluye junto, colóquelo en un contenedor de masa conocida y cúbralo.

11.6 Regrese el suelo mantenido en la copa a la cápsula. Lave y seque la copa y la herramienta de ranurado y sujete la copa al acarreador para preparar la próxima prueba.

11.7 Remezcle el espécimen de suelo completo en la copa adicionando agua destilada para incrementar el contenido de humedad del suelo y disminuir el número de golpes requeridos para cerrar la ranura. Repita 11.1 a 11.6 para al menos dos ensayos adicionales produciendo sucesivamente número de golpes bajos para cerrar la ranura. Uno de los ensayos será para un cierre requerido entre 25 y 35 golpes, uno para cierre entre 20 y 30 golpes y un ensayo para un cierre requerido entre 15 a 25 golpes.

11.8 Determine el contenido de agua, W^n , del espécimen de suelo para cada prueba de acuerdo con el Método de Ensayo D 2216.

11.8.1 Determinación de masas iniciales (recipiente mas suelo húmedo) puede ser efectuada inmediatamente después de completar el ensayo. Si el ensayo es interrumpido por más de 15 minutos, determine la masa del agua contenida en el espécimen ya, obtenida en el tiempo de la interrupción.

12. Cálculos

12.1 Grafique la relación entre el contenido de agua, W, y el correspondiente numero de golpes, N, de la copa en un gráfica semilogaritmica con el contenido de agua como ordenada en la escala aritmética, y el numero de golpes como abscisa en una escala logarítmica. Dibuje la mejor línea recta a través de los tres o más puntos ploteados.

12.2 Tome el contenido de agua correspondiente a la intersección de la línea con 25 golpes y la abscisa, como el límite liquido del suelo y redondee al número entero más cercano. Métodos computacionales pueden ser sustituidos por el método gráfico para obtener una línea recta y determinar el resultado del límite líquido.

LIMITE LÍQUIDO DE UN PUNTO - METODO B

13. Procedimiento

13.1 Proceda como se describe en 11.1 -11.5 excepto que el numero de golpes requeridos para cerrar la ranura será de 20 a 30. Si menos de 20 o más de 30 golpes son requeridos, ajuste el contenido de agua del suelo y repita el procedimiento.

13.2 Inmediatamente después de remover el contenido de agua del espécimen como se describió en 11.5, moldee el suelo en la copa, adicionando una pequeña cantidad de suelo para reponer la perdida en el ranurado y orientaciones de muestreo en contenido de agua. Repita 11.2 - 11.5, y si el segundo cierre de la ranura requiere el mismo numero de golpes, o no más de dos golpes de diferencia, asegure otro espécimen para contenido de humedad. En caso contrario, remezcle el espécimen entero y repita.

13.3 Determine el contenido de agua de los especimenes de acuerdo con 11.8.

Nota 9 - Secado excesivo o mezclado inadecuado causará que el número de golpes varíe.

14. Cálculos

14.1 Determine el límite líquido para cada contenido de agua del espécimen usando una de las siguientes ecuaciones:

$$LL^n = W^n (N/25)^{0.121} \quad \text{o} \quad LL^n = k W^n$$

Donde:

LL = límite liquido de un punto para la prueba dada, %

N = Numero de golpes que causan el cierre de la ranura para la prueba dada

W^n = contenido de agua para la prueba dada, %

K = factor dado en la Tabla 1

14.1.1 El límite líquido, LL, es el promedio de las dos pruebas o valores de límite liquido, al más cercano numero entero (sin la designación de porcentaje)

14.2 Si la diferencia entre las dos pruebas o valores de límite liquido es mayor que un punto porcentual, repita el ensayo como se describe en 13.1 hasta 14.1.1.

LIMITE PLASTICO

15. Preparación del Especimen de Ensayo

15.1 Seleccione unos 20 g o más de una porción de suelo del material preparado para el ensayo de limite liquido; cualquiera de los dos, después del

segundo mezclado antes del ensayo, o del suelo remanente después de completar el ensayo de límite líquido. Reduzca el contenido de agua del suelo a una consistencia a la cual pueda ser rodada sin pegarse a las manos por extendido o mezclando continuamente en la placa de vidrio o en el plato de almacenamiento/secado. El proceso de secado puede ser acelerado mediante la exposición del suelo a una corriente de aire de un ventilador eléctrico, o por secar con papel, que no adicione ninguna fibra al suelo. Papel adecuado tal como papel de superficie dura, papel toalla o papel filtro de alta resistencia húmeda.

16. Procedimiento

16.1 De este espécimen de límite plástico, seleccione una porción de 1.5 a 2.0 g. Forme la porción seleccionada en una masa elipsoidal.

Tabla 1 . Factores para Obtener Límite Líquido de Contenido De agua y Número de Golpess que Causan Cierre de Surco

N (Número de Gotas)	K Factor para Límite Líquido
20	0.973
21	0.979
22	0.985
23	0.990
24	0.995
25	1.000
26	1.005
27	1.009
28	1.014
29	1.018
30	1.022

16.2 Ruede la masa de suelo por uno de los siguientes métodos:

16.2.1 Método Manual - Ruede la masa entre la palma o dedos y la placa de vidrio con suficiente presión para enrollar la masa en un hilo de diámetro uniforme por toda su longitud (ver Nota 10). El hilo será alejado deformado en cada trazo así que su diámetro alcance 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in), tomando no más de 2 min (ver nota 11). La cantidad de presión manual o con los dedos requerida variará grandemente de acuerdo al suelo siendo ensayado, que es, la presión requerida típicamente, incrementándose al incrementar la plasticidad. Suelos frágiles de baja plasticidad son mejor rodados bajo el borde externo de la palma o en la base del pulgar.

Nota 10 - Una relación normal de rodado para muchos suelos puede ser de 80 a 90 recorridos por minuto, considerando como un recorrido el movimiento completo de la mano hacia delante y hacia atrás de la posición inicial. Esta relación de rodado puede decrecer para muchos suelos frágiles.

Nota 11 - Una barra o tubo de 3.2 mm ($\frac{1}{8}$ in) de diámetro es usado para frecuentes comparaciones con el suelo hilado para determinar cuando el hilo ha alcanzado el diámetro apropiado.

16.2.2 Método con Dispositivo de Rodado - Sujetar el papel liso no barnizado en las placas superior y de fondo del dispositivo de rolado para límite plástico. Ponga la masa de suelo en la placa de fondo, en el punto medio entre los rieles de deslizamiento. Coloque la placa superior en contacto con la masa de suelo. Simultáneamente aplique una fuerza deslizada descendente y regrese y adelante movimiento a la placa superior de tal manera que la placa superior llegue a hacer contacto con el lado del riel dentro de 2 minutos (ver notas 10 y 12). Durante este proceso de rolado, los extremos de los hilos de suelo no deben entrar en contacto con los lados del riel. Si esto ocurre, ruede una masa pequeña de suelo (aún si es menor que la mencionada en la sección 16.1).

Nota 12 - En muchos casos, dos masas de suelos (hilados) pueden ser rodados simultáneamente en el dispositivo de rodado de límite plástico.

16.3 Cuando el diámetro del hilo alcanza 3.2 mm, corte el hilo en varias piezas. Extraer las piezas juntas, amasar entre el pulgar y el primer dedo de cada mano, reforme en una masa elipsoidal y re-ruede. Continúe con este rolado alternado en un hilo de 3.2 mm de diámetro, reúna juntándolas, amasándolas y re-rolado, hasta que el hilo se desmigaje bajo la presión requerida para el rolado y el suelo ya no pueda alargarse siendo rolado hasta 3.2 mm de diámetro del hilo. Esto no tiene significado si el hilo rompe en hilos de corta longitud. Role cada uno de estos hilos cortos a 3.2 mm de diámetro. El único requerimiento para continuar el ensayo es que estos hilos pueden ser reformados en una masa elipsoidal y rodada de nuevo fuera. El operador no tendrá tiempo de intentar producir la falla en exactamente 3.2 mm de diámetro por permitir al hilo alcanzar 3.2 mm, entonces reduciendo la razón de rodado o la

presión de la mano, o ambas, continuando el rodado sin deformación alejada hasta que el hilo falle aparte. Esto es permisible, sin embargo, para reducir la cantidad total de deformación para suelos plásticos débiles, mediante la elaboración del diámetro inicial de la masa elipsoidal cercana al requerido 3.2 mm de diámetro final. Si el desmigajamiento ocurre cuando el hilo tiene un diámetro mayor de 3.2 mm, esto será considerado un punto final satisfactorio, proporcionando que el suelo ha sido previamente rodado en un hilo de 3.2 mm de diámetro.

El desmigajamiento del hilo manifestará por si mismo diferentemente con varios tipos de suelo.

Algunos suelos caen aparte en numerosas agregaciones pequeñas de partículas, otras pueden formar una capa tubular por el lado exterior que inicia partido en ambos extremos. La partidura progresa hacia la mitad, y finalmente, el hilo se parte en muchas partículas pequeñas. Los suelos arcillosos magros requieren mucha presión para deformar el hilo, particularmente cuando se aproximan al límite plástico. Con estos suelos, el hilo quiebra en una serie de segmentos en forma de barras alrededor de 3.2 a 9.5 mm ($\frac{1}{8}$ a $\frac{3}{8}$ in) en longitud.

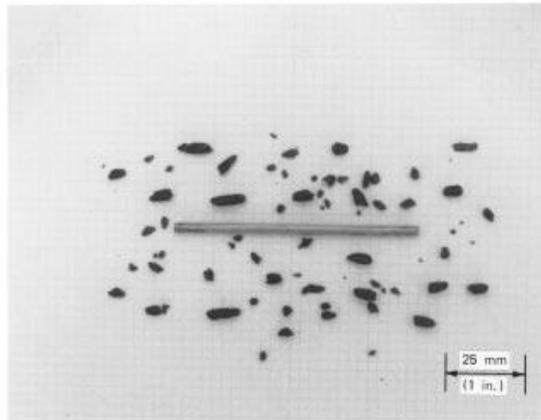


Fig 8 Suelo de Arcilla Delgado en el Límite Plástico

16.4 Reunir las porciones del hilo desmigajado junto y colóquelo en un recipiente de masa conocida. Inmediatamente cubra el recipiente.

16.5 Seleccione otra porción de 1.5 a 2.0 g de suelo del espécimen de límite plástico y repita las operaciones descritas en 16.1 y 16.2 hasta que el contenedor tenga al menos 6 g de suelo.

16.6 Repita 16.1 - 16.5 para hacer otro contenedor al menos 6 g de suelo. Determine el contenido de agua del suelo contenido en el recipiente de acuerdo con el Método de Ensayo D 2216. Ver sección 11.8.1.

17. Cálculos

17.1 Calcule el promedio de dos contenidos de agua (prueba de límite plástico) y redondee al número entero más cercano. Este valor es el límite plástico, LP. Repita el ensayo si la diferencia entre las dos pruebas de límite plástico es mayor que el rango aceptable para dos resultados listados en Tabla 2 para precisión de un solo operador, esto es, 1.4 puntos porcentaje; por ejemplo (2.8x 0.5).

INDICE DE PLASTICIDAD

18. Cálculos

18.1 Calcule el índice plástico como sigue:

$$IP = LL - LP$$

Donde:

LL = límite líquido (numero entero)

PL = límite plástico (numero entero)

18.1.1 Ambos, el LL y el LP son números enteros. Si el límite líquido o el límite plástico no pueden ser determinados, o si el límite plástico es igual o mayor que el límite líquido, reporte el suelo como no plástico, NP.

19. Reporte

19.1 Reporte la siguiente información:

19.1.1 Información sobre identificación de la muestra

19.1.2 Algún proceso de selección de especimenes especiales usado, tal como remoción de lentes de arena de la muestra inalterada.

19.1.3 Reporte la muestra como secada al aire si la muestra fue secada al aire antes o durante la preparación.

19.1.4 Limite líquido, limite plástico, e índice plástico al número entero más cercano, omitiendo la designación del porcentaje. Si el ensayo de limite líquido o limite plástico no puede ser efectuado, o si el limite plástico es igual o mayor que el limite líquido, reporte el suelo como no plástico, NP.

19.1.5 Estime el porcentaje de muestra retenido en la malla de 425 mm (No. 40)

19.1.6 El procedimiento mediante el cual el límite líquido fue desarrollado, si este difiere del método multipuntos.

20. Precisión y Tendencia

20.1 Precisión - Los criterios para juzgar la aceptabilidad de los resultados del ensayo obtenidos por estos métodos de ensayo en un rango de tipos de suelo están dados en las Tablas 2 y 3. En el desarrollo de estos métodos de

ensayo, fueron usados el Método A y el Método de Preparación Húmeda (excepto suelos secados al aire).

20.1.1 Estos estimados de precisión están basados en los resultados del programa interlaboratorios dirigidos por el ASTM "Referencia de Suelos y Programa de Pruebas". En este programa, algunos laboratorios desarrollaron tres ensayos replica por suelo tipo (ensayos de laboratorio triplicados), donde otros laboratorios desarrollaron un ensayo sencillo por suelo tipo (ensayo de laboratorio simple). Una descripción de los suelos ensayados es dada en 20.1.5. Los estimados de precisión varían con el tipo de suelo y métodos usados. Juicio es requerido cuando se aplican estos estimados a otro suelo y método usado (Métodos A o B, o Método de Preparación Húmedo o Seco).

TABLA 2 Resumen de resultados de ensayo de Ensayos triplicados de laboratorio

Suelo Tipo	No. Ensayos Laboratorio			Valor promedio ^A (Porcentaje de puntos)			Desviación Estándar ^B (Porcentaje de puntos)			Rango Aceptable de dos Resultados ^C (% de puntos)		
	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
Resultados de un solo operador (con repetibilidad de laboratorio)												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	0.7	0.5	0.8	2	1	2
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	0.3	0.4	0.5	1	1	1
ML	12	11	11	27.4	23.4 ^D	4.1 ^D	0.5	0.3	0.6	2	1	2
Resultados Multilaboratorio reproducibilidad entre laboratorios)												
CH	13	13	13	59.8	20.6	39.2	1.3	2.0	2.5	4	6	7
CL	14	13	13	33.4	19.9	13.6	1.0	1.2	1.7	3	3	5
ML	12	11	11	27.4	23.4 ^D	4.1 ^D	1.3	0.9	1.9	4	3	5

^A El número de dígitos significativos y sitios decimales presentados es representativo de los datos de entrada. Conforme a la Práctica D6026, la desviación estándar y la gama aceptable de resultados no pueden tener más sitios decimales que los datos de entrada.

^B La desviación estándar es calculada conforme a la Práctica E691 y se menciona como el 1s el límite.

^C El rango aceptable de dos resultados se menciona como el límite de d2s. Es calculado como $1.960\sqrt{2} * 1s$, como definido por la E de Práctica 177. La diferencia entre dos pruebas correctamente conducidas no debería exceder este límite. El número de sitios de dígitos/decimal significativos presentados es igual a esto prescrito por este método de prueba o la D de Práctica 6026.

Además, el valor presentado puede tener el mismo número de sitios decimales que la desviación estándar, incluso si aquel resultado tiene dígitos más significativos que la desviación estándar.

^D Para el suelo ML, 2 de 14 laboratorios de prueba de triplicado hizo un informe el suelo como el no plástico.

TABLA 3 Resumen de Resultados de Ensayos Simple de cada Laboratorio

Suelo Tipo	No. Ensayos Laboratorio	Valor promedio (Porcentaje de puntos)			Desviación Estándar (Porcentaje de puntos)			Rango Aceptable de dos Resultados (% de puntos)		
		LL	LP	IP	LL	LP	IP	LL	LP	IP
CH	24	59.9	20.4	39.5	2.1	2.7	3.1	6	7	9
CL	24	33.3	19.9	13.4	0.8	1.3	1.6	2	4	4
ML	18	27.1	23.2	3.9	1.3	1.2	1.8	4	3	5

20.1.2 La información de la Tabla 2 esta basada en ensayos replicados desarrollados por cada laboratorio de ensayo por triplicado en cada tipo de suelo. La desviación estándar para un solo operador y multilaboratorio mostradas en la Tabla 2, columna 4, fueron obtenidas de acuerdo con la práctica E 691, la cual recomienda cada ensayo de laboratorio desarrolle un mínimo de tres ensayos replica. Los resultados de dos ensayos adecuadamente conducidos desarrollados por el mismo operador en el mismo material, usando el mismo equipo, y en el corto periodo de tiempo no deben diferir por mas de los limites de un solo operador d2s, mostrados en la Tabla 2, columna 5,. Para la definición de d2s vea pie de nota C en la Tabla 2. Los resultados de dos ensayos conducidos adecuadamente desarrollados por diferentes operadores y en diferentes días no deben diferir por más de los límites multilaboratorio d2s, mostrados en la Tabla 2, columna 5.

20.1.3 En el ASTM “Referencia de Suelos y Programa de Pruebas”, muchos de los laboratorios desarrollaron solamente un ensayo simple en cada tipo de suelo. Esta es una práctica común en la industria del diseño y construcción. La información para cada tipo de suelo en la Tabla 3 esta basada sobre los primeros resultados de los ensayos triplicados de laboratorio y de los resultados de los ensayos simples de otros laboratorios. Los resultados de dos ensayos adecuadamente conducidos ejecutados por dos

diferentes laboratorios con diferentes operadores usando diferentes equipos y en diferentes días no deben variar por más de d2s, límites mostrados en la Tabla 3, columna 5. Los resultados en la Tabla 2 y Tabla 3 son diferentes porque los conjuntos de información son diferentes.

20.1.4 La Tabla 2 Presenta una rigurosa interpretación de información de ensayos triplicados de acuerdo con la Práctica E 691 de laboratorios precalificados. La Tabla 3 es derivada de información de ensayos que representan la práctica común.

20.1.5 Tipos de Suelo –Basado en resultados de ensayos multilaboratorio, el suelo usado en el programa es descrito debajo de acuerdo con la Práctica D 2487. En adición, son dados los nombres locales de los suelos.

CH – Arcilla magra, CH, 99% de finos, LL = 60, IP = 39,

CL – Arcilla lean, CL, 89% de finos, LL = 33, IP = 13, gris, el suelo ha sido secado al aire y pulverizado. Nombre local Arcilla de Annapolis
ML – Limo, ML, 9*9% de finos, LL =27, IP = 4, café claro, el suelo ha sido secado al aire y pulverizado. Nombre local – Limo de Vickburg

20.2 Tendencia - No hay valores de referencia aceptable para estos métodos de ensayo; por lo tanto, la tendencia no puede ser determinada.

21. Palabras Clave

21.1 actividad, límites de Atterberg; limite liquido; índice plástico; limite plástico.



Designación: D 4791-99

Método de Prueba Estándar para Partículas Planas, Partículas Alargadas, o Partículas Planas y Alargadas en Agregado Grueso.¹

Este estándar es publicado bajo la designación fija D 4791; el número inmediatamente después de designación indica el año de la adopción original o, en caso de la revisión, el año de la última revisión. Un número en paréntesis indica el año de la última nueva aprobación. Una superescritura epsilon (e) indica un cambio editorial desde la última revisión o nueva aprobación.

Este estándar ha sido aprobado para el uso por agencias del Ministerio de defensa.

1. Alcance

1.1 Este método de ensayo cubre la determinación de los porcentajes de partículas planas, partículas alargadas o planas y partículas alargadas en los agregados gruesos.

1.2 Los valores indicados en unidades pulgada-libra deben ser considerados como el estándar, salvo en lo que respecta a tamiz de tamaño y el tamaño de los áridos, que se dan en unidades del SI, de conformidad con la especificación E 11. Las unidades de SI entre paréntesis son para fines informativos únicamente.

1.3 Esta estándar no proporciona abordar todos los problemas de preocupaciones, en su caso, asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de este estándar establecer apropiadas prácticas de seguridad y salud y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reglamentarias antes de su uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 125 Terminología Acerca de Concreto y Agregado de Concretos.²

C 136 Método de Prueba para Análisis de Tamiz de Agregados Fino y Gruesos.²

C 702 Prácticas para la Reducción de Muestras de Campo de Agregados a Tamaños de Pruebas²

D 75 Práctica para Muestreo de Agregados.³

E 11 Especificación para Alambre de Tela y Tamices para Propósitos de Prueba.⁴

¹ Este método de prueba está bajo la jurisdicción del Comité ASTM D-4 en Materiales de Pavimento y Camino y es la responsabilidad directa del Subcomité D04.51 en Pruebas Agregadas. La edición corriente se aprobó el 10 de julio de 1999. Septiembre de 1999 publicado. Al principio publicado como D 4791 - 89. Última edición anterior D 4791 - 95.

² Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.02.

³ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 04.03.

⁴ Libro Anual de Estándares ASTM, Vol 14.02.

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 *Partículas Planas o Alargadas del Agregado* - Aquellas partículas de agregados teniendo una proporción de anchura a grosor o la longitud de anchura mayor a un valor determinado (véase la terminología C 125).

3.1.2 *Partículas Planas y Alargadas del Agregado* - Aquellas partículas teniendo una razón de longitud a grosor mayor a un valor especificado.

3.1.3 *Longitud* - Dimensión máxima de la partícula.

3.1.4 *Anchura* - Dimensión máxima en el plano perpendicular a la longitud

3.1.5 *Espesor* - Dimensión máxima perpendicular a la longitud y anchura.

4. Resumen de Método de Prueba

4.1 Las partículas individuales de agregados de tamaño de tamiz específicos son medidas para determinar relación de anchura a grosor, longitud a la anchura, o la longitud al grosor.

5. Significado y Uso

5.1 Las partículas planas o alargadas de agregados, para algunos usos de construcción, pueden interferir con la consolidación y resultado en áspero, difícil de colocar materiales.

5.2 Este método de prueba proporciona el medio para el control del cumplimiento con las especificaciones que limitan tales partículas o para determinar la forma relativa características de los agregados gruesos.

6. Aparato

6.1 El aparato usado será el equipo conveniente para pruebas de partículas de agregado para el cumplimiento con las definiciones en 3.1, en las relaciones dimensionales deseada.

6.1.1 *Dispositivo de Calibrador Proporcional* - Los dispositivos de la zapata proporcional ilustra en la figura. 1, fig. 2, y la figura. 3 son ejemplos adecuados de dispositivos para este método de ensayo. El dispositivo que aparece en la figura. 1 y fig. 2 consiste en una base de placa con dos puestos fijos y un brazo giratorio montado entre ellos de modo que las aberturas entre los brazos y el mantener los puestos en una relación constante. La posición del eje puede ser ajustado para proporcionar la relación deseada de la apertura de las dimensiones.

Fig. 1. Ilustración de un dispositivo en el que relaciones de 1:2, 1:3, 1, 4, y 1:5 se puede establecer. El dispositivo que aparece en la figura. 3 contiene varios puestos fijos y tiene capacidad de mediciones de diversas relaciones de forma simultánea.

6.1.1.1 *Verificación de Relación* - La configuración de relación en el dispositivo de la zapata proporcional será verificado por el uso de un bloque de mecanizado, micrómetro, u otro dispositivo apropiado.

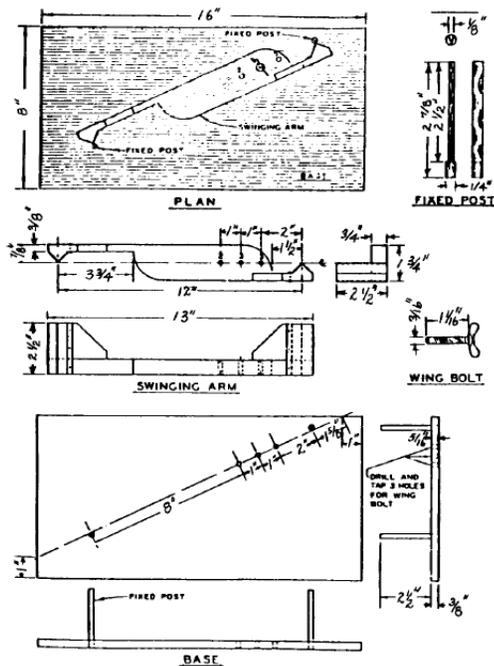
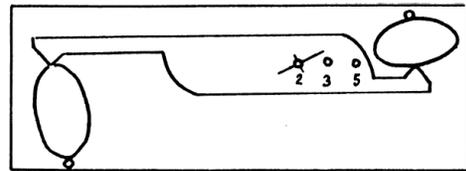
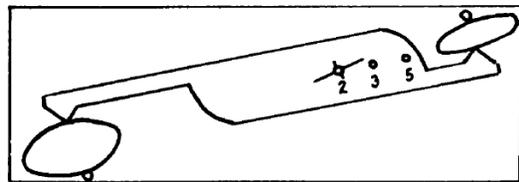


Figura 1 - Calibrador Proporcional.

a. Prueba para elongación



b. Prueba para el aplanamiento



Equivalente métrico

In	mm	in	mm	in	mm
1/8	3.2	7/8	21.2	2 1/2	64.0
3/16	4.8	1	25.4	2 7/8	72.0
1/4	6.3	1 1/16	27.0	3 3/4	96.0
5/16	7.9	1 1/2	38.0	8	207.0
3/8	9.5	1 5/8	41.0	16	414.0

Figura 2 - Uso de Calibrador Proporcional.

6.1.2 *Balanza* - La balanza o escalas utilizadas deberán tener una precisión de 0,5% de la masa de la muestra.

7. Muestreo.

7.1 *Muestra el agregado grueso*, de conformidad con la práctica D 75. La masa de la muestra del campo será la masa de muestra que se muestra en la práctica D 75.

7.2 *A fondo mezcle la muestra y reducir a una cantidad conveniente para ensayar* utilizando los aplicables procedimientos descritos en la práctica C 702. La muestra para la prueba será aproximadamente la masa deseada cuando seca y será el resultado final de la reducción. Reducción a una masa predeterminada exacta no será permitida. La masa de muestra de prueba será conforme a los siguientes:

Tamaño Máximo Nominal Aperturas Cuadradas, mm (in).	Masa mínima de Muestra de Prueba, kg. (lb)
9.5 (3/8)	1 (2)
12.5 (1/2)	2 (4)
19.0 (3/4)	5 (11)
25.0 (1)	10 (22)
37.5 (1 1/2)	15 (33)
50 (2)	20 (44)
63 (2 1/2)	35 (77)
75 (3)	60 (130)
90 (3 1/2)	100 (220)
100 (4)	150 (330)
112 (4 1/2)	200 (440)
125 (5)	300 (660)
150 (6)	500 (1100)

8. Procedimiento

8.1 Si la determinación es requerida por masa, secar al horno la muestra hasta masa constante a una temperatura de $230 \pm 9^\circ\text{F}$ ($110 \pm 5^\circ\text{C}$). Si la determinación es por el recuento de partícula, el secado no es necesario.

8.2 Tamizar la muestra para ser ensayada de acuerdo con Método de Prueba C 136. Usando del material retenido en el 9.5 mm ($3/8$ in.) o 4.75 mm (No 4), como requerido por la especificación siendo usada, reduzca cada fracción de tamaño en cantidad actual del 10 % o más de la muestra original de acuerdo con Práctica C 702 hasta que aproximadamente 100 partículas sean obtenidas para cada una fracción de tamaño requerida.

8.3 *Prueba de Partícula Plana y Prueba de Partícula Alargada* - Ensaye cada una de las partículas en cada fracción de tamaño, y colocar en uno de tres grupos: (1) plana, (2) alargada, (3), ni planas, ni alargada.

8.3.1 Use el dispositivo de calibrador proporcional, colocar en la proporción apropiada, mostrada en la Fig. 2, como sigue:

8.3.1.1 *Prueba de Partícula Planas* - Establezca la apertura mas grande igual a la anchura de las partículas. La partícula es plano si el espesor puede ser coloca en la abertura más pequeña.

8.3.1.2 *Prueba de Partícula Alargada* - Establezca la apertura más grande igual a longitud de las partícula. La partícula es alargada si el ancho se puede colocar dentro de la abertura más pequeña.

8.3.2 Después de que las partículas han sido clasificadas en el grupo descrito en 8.3, determine la proporción de la muestra en cada grupo cualquiera por recuento o por masa, como requerido.

8.4 *Prueba de Partícula Plana y Alargada* - Pruebe cada una de las partículas en cada fracción de tamaño y coloque en uno de dos grupos:

- (1) Plana y alargada
- (2) No plana y alargada.

8.4.1 Use el dispositivo de calibrador proporcional, fijado en la proporción deseada.

8.4.2 Medición:

8.4.2.1 En dispositivos de calibrador proporcionales similares a los dispositivos mostrados en el Fig. 1 y Fig. 2, establecer apertura más grande igual a la longitud de la partícula. La partícula es plana y alargada si la partícula, cuando orientado para medir su grosor, puede pasar completamente por la apertura más pequeña del calibrador.

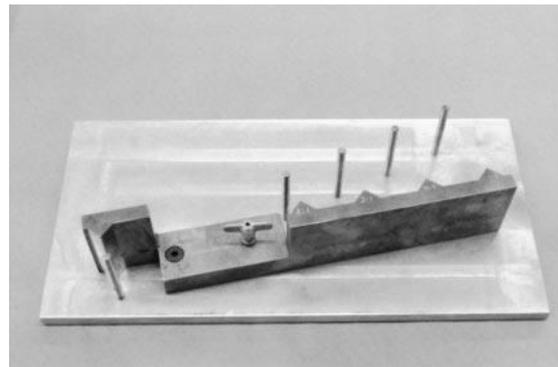


Figura 3 - Calibrador Proporcional

8.4.2.2 En calibrador similares a la descrito en la Fig 3, establecer las dimensiones mínima de dispositivo de calibrador proporcional tal que la partícula, cuando orientado para medir su grosor, pasa cómodamente entre el puesto y brazo de oscilación. La partícula es plana y alargada si la partícula, cuando orientado para medir su longitud, deja de pasar la apertura grande deseada del dispositivo de calibrador proporcional.

8.4.3 Después de que las partículas han sido clasificadas en los grupos descritos en 8.4,

determinar la proporción de la muestra en cada grupo por recuento o masa, como requerido.

9. Cálculo

9.1 Calcule el porcentaje de partículas planas y alargadas al 1 % más cercano para cada tamaño de tamiz mayor que 9.5 mm ($\frac{3}{8}$ in.) o 4.75 (No 4), como requerido.

10. Informe

10.1 Incluya la información siguiente en el informe:

10.1.1 Identificación del agregado grueso ensayado, y

10.1.2 Clasificación de la muestra agregada, mostrando porcentaje retenido en cada tamiz.

10.1.3 Para prueba de partícula planas y prueba de partícula alargadas:

10.1.3.1 Número de partículas en cada tamaño de tamiz ensayado,

10.1.3.2 Porcentajes, calculados por número o por masa, o ambos, para:

(1) partículas planas,

(2) partículas alargadas,

(3) partículas planas totales y partículas alargadas para cada tamaño de tamiz ensayado, y

10.1.3.3 Las relaciones dimensionales usadas en las pruebas.

10.1.3.3 Las relaciones dimensionales usadas en

las pruebas.

10.1.4 Para pruebas de partícula planas y alargadas:

10.1.4.1 Número de partículas en cada tamaño de tamiz ensayado,

10.1.4.2 Porcentajes, calculados por número o por masa, o ambos, para partículas planas y alargadas para cada tamaño de tamiz ensayado,

10.1.4.3 Las relaciones dimensionales usada en las pruebas, y

10.1.5 Cuando es requerido, porcentajes medios ponderados basados en las proporciones actuales o asumidas de varios tamaños de tamiz ensayados. Reporte la clasificación usada para el promedio ponderado si es diferente de que en 10.1.2

11. Precisión y Tendencia

11.1 Precisión — La precisión de este método de prueba está siendo determinada.

11.2 Tendencia — ya que no hay ningún material de referencia aceptado conveniente para determinar la tendencia para este método de prueba, ninguna declaración en la tendencia está siendo hecha.

12. Palabras clave

12.1 Agregados; agregados gruesos; forma de la partícula



Designación: D 5821-01

Método estándar de la Prueba para Determinación del Porcentaje de Partículas Fracturadas en Agregado Grueso.¹

Este estándar es emitido bajo la designación fija D 5821; el número inmediatamente después de la designación indica el año de adopción original o, en el caso de revisión, el año de última revisión. Un número en paréntesis indica el año de última nueva aprobación. Un epsilon de superescritura (©) indica un cambio editorial desde la última revisión o la nueva aprobación. Este estándar ha sido aprobado para el empleo por las agencias del Departamento de defensa.

1. Alcance

1.1 Este método de la prueba cubre la determinación del porcentaje, por la masa o por corte, de una muestra de agregado grueso que consista en las partículas fracturadas que cumplen requisitos especificados.

1.2 Los valores indicados en unidades del SI deben ser mirados como el estándar. Los valores entre paréntesis se proporcionan para la información solamente.

1.3 Este estándar no pretende dirigir todas las preocupaciones de la seguridad, eventualmente, asociadas a su uso. Es la responsabilidad del usuario de este estándar establecer prácticas de seguridad y sanidad apropiadas y determinar la aplicabilidad de limitaciones reguladoras antes de uso.

2. Documentos referidos

2.1 Estándares de ASTM:

C 136 Método de Prueba para el análisis de tamiz de agregados finos y gruesos.²

C 702 Práctica para reducir muestras del campo de agregado al tamaño de prueba.²

D 8 Terminología referente a los materiales para los caminos y los pavimentos.³

D 75 Práctica para muestrear los agregados.³

E 11 Especificación para tejido de alambre y los tamices para los propósitos de prueba.⁴

3. Terminología

3.1 Definiciones:

3.1.1 Cara fracturada, n - una superficie angular, áspera, o rota de una partícula del agregado creada por trituración, por otros medios

¹ Este método de la prueba es bajo jurisdicción del comité D04 de ASTM sobre el camino y los materiales de pavimentación y es la responsabilidad directa del subcomité D04.51 en pruebas de agregados. Edición actual 10 de agosto de 2001 aprobado. Octubre de 2001 publicado. Publicado originalmente como D 5821 - 95. Edición anterior pasada D 5821 - 95.

² Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.02

³ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 04.03.

⁴ Libro anual de los estándares de ASTM, Vol. 14.02.

artificiales, o por la naturaleza (véase la terminología D 8).

3.1.1.1 Discusión - para este estándar, una cara será considerada "fractura de cara" solamente si tiene un área proyectada por lo menos tan grande como un cuarto del área proyectada del máximo (superficie transversal máxima) de la partícula (esto excluye las pequeñas mellas, ver la fig. 1) los bordes y la cara se ha afilado o ligeramente embotado.

3.1.2 Partícula fracturada, n - una partícula del agregado que hace por lo menos el número mínimo de caras fracturadas especificada (generalmente uno o dos).

4. Significación y uso

4.1 Algunas especificaciones contienen requisitos referentes al porcentaje de partículas fracturadas en agregados gruesos. Un propósito de tales requisitos es maximizar fuerza de esquirole aumentando la fricción interpartículas en límite o mezclas de agregados desatadas. Otro propósito es proporcionar la estabilidad para los agregados del tratamiento superficial y proporcionar la fricción y la textura crecientes para los agregados usados en los cursos superficiales del pavimento. Este método de la prueba proporciona un procedimiento estándar para determinar la aceptación del agregado grueso en cuanto a tales requisitos.

4.2 Las especificaciones diferencian en cuanto al número de caras fracturadas requeridas en una partícula fracturada, y también diferencian si el porcentaje por la masa o el porcentaje por corte de partícula será utilizado. Si la especificación no especifica, utilicen el criterio por lo menos de una cara fracturada y calculen el porcentaje en masa.

5. Aparato

5.1 Balanza

Una balanza o una escala exacta y legible entre el 0.1% de la masa de la muestra de la prueba en cualquier momento dentro del rango de uso.

5.2 Tamices - Tamices conforme a la especificación E 11.

5.3 Divisor - Un divisor de la muestra conveniente para dividir el campo de muestras en tamaños de la porción para ensayo de acuerdo con la práctica C 702.

5.4 Espátula - Una espátula o una herramienta similar para ayudar en la clasificación de partículas de agregados.

6. Muestreo

6.1 Muestrear el agregado de acuerdo con la práctica D 75.

7. Preparación de Muestra.

7.1 Secar la muestra suficientemente para obtener una separación limpia de material fino y grueso en la operación de tamizado. Tamizar la muestra sobre el 4,75 mm (No 4) de tamiz, o el otro tamiz especificado para conservar el material para esta prueba, de acuerdo con el método C 136 de la prueba y entonces reduce la porción conservada en el tamiz usando un divisor de acuerdo con la práctica C 702 al tamaño apropiado para la prueba.

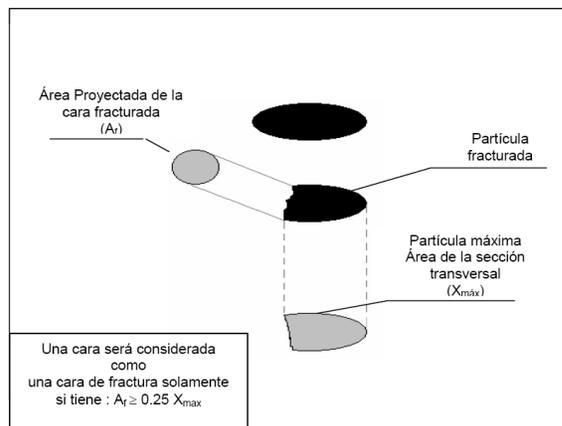


Fig.1 Esquema de una partícula fracturada con una cara fracturada.

7.2 La masa de la muestra de la prueba será por lo menos bastante grande de modo que no sea la partícula más grande más del 1% de la masa de la muestra; o la muestra de la prueba será por lo menos tan grande como indicado abajo, lo que sea menor:

Tamaño máximo Nominal Abertura cuadrada (mm, in)	Prueba de muestra mínima Masa g, (Aprox, lb)
9.5 (3/8)	200 (0.5)
12.5 (1/2)	500 (1)
19.0 (3/4)	1500 (3)
25.0 (1)	3000 (6.5)
37.5 (1 1/2)	7500 (16.5)
50.0 (2)	15000 (33)
63.0 (2 1/2)	30000 (66)
75.0 (3)	60000 (132)
90.0 (3 1/2)	90000 (198)

7.3 Para el agregado con un tamaño máximo nominal de 19,0 mm (3/4 in.) o más grande, donde este determinada el contenido de la partícula de la fractura para el material conservado en el 4,75 mm (No. 4) o un tamiz más pequeño, la muestra de la prueba se puede separar en el tamiz de 9,5 mm (3/8-in.). La porción que pasa el tamiz de 9,5

mm (3/8-in.) se puede entonces reducir más a fondo, de acuerdo con práctica C 702, a un mínimo de 200 g (0.5 libras). Esto reducirá el número de partículas que se separarán durante el procedimiento. En este caso, las partículas se determina por ciento de fractura en cada porción, y un porcentaje medio ponderado de las partículas de fractura se calcula en función del peso de cada una de las partes para reflejar el porcentaje total de partículas fracturadas en toda la muestra.

8. Procedimiento

8.1 Lavar la muestra sobre el tamiz señalado para la determinación de las partículas fracturadas para eliminar cualquier resto de material fino, y se seca la masa constante. Determine la masa de la muestra de prueba, y cualquier determinación subsiguiente de la masa, a lo más cerca posible al 0.1% de la masa seca original de la muestra.

8.2 Separar la muestra secada de la prueba en una superficie plana y limpia bastante grande para permitir la inspección cuidadosa de cada partícula. Para verificar que una partícula cumple

los criterios de la fractura, mantenga el agregado de partícula de modo que la cara se vea directamente. Si la cara constituye por lo menos un cuarto del máximo seccionado transversalmente el área de la partícula de la roca, se considera una cara fracturada.

8.3 Usando la espátula o la herramienta similar separar en dos categorías: (1) partículas fracturadas en función si la partícula tiene el número requerido de caras fracturadas, y (2)

partículas que no cumplen los criterios especificados. Utilicen las figuras. 2-7 para ayudar en esta determinación. Sean conscientes que algunas de las partículas en las figuras. 2-4 muestran más de una cara fracturada. Si el número requerido de caras fracturadas no se da en las especificaciones aplicables, la determinación será hecha en base de un mínimo de una cara fracturada.

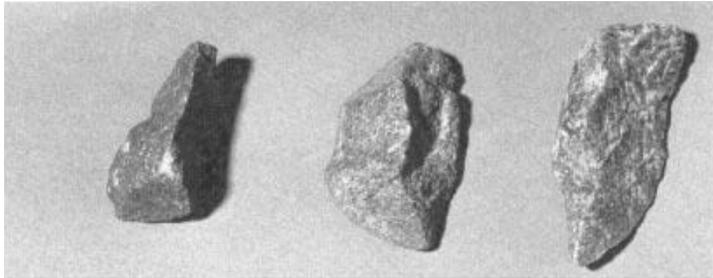


Fig. 2 Partícula Fracturada (Bordes Agudos, Superficies rugosas).

8.4 Determinar la masa o el corte de partículas en la categoría fracturada de la partícula y la masa o el corte de las partículas que no cumplen los criterios especificados de la fractura. Utilizar la masa para calcular partículas fracturadas el por ciento a menos que el porcentaje por corte de partícula se especifique.

8.5 Si más de un número de caras fracturadas se especifica (por ejemplo, el 70% con una o más caras fracturadas y el 40% con dos o más caras fracturadas), repetir el procedimiento en la misma muestra para cada requisito.

9. Informe

9.1 Informe el porcentaje total o el porcentaje de corte de partículas con los números especificados de caras fracturadas al 1% más cercano de acuerdo con lo siguiente:

$$P = [F/(F+N)] \times 100 \quad (1)$$

Donde:

P = porcentaje de partículas con el número especificado de caras fracturadas,

F = masa o corte de partículas fracturadas con por lo menos el número especificado de caras fracturadas, y

N = masa o corte de partículas en la categoría no-fracturada que no cumple los criterios fracturados de la partícula.

9.2 Informe los criterios especificados de la fractura contra los cuales la muestra fue evaluada.

9.3 Informe la masa total en gramos de la muestra de agregado grueso probada.

9.4 Informe el tamiz en el cual la muestra de la prueba fue conservada al principio de la prueba.

9.5 Informe si el porcentaje de partículas fracturadas fue determinado por la masa o por corte de partícula.

10. Precisión y Tendencia

10.1 Precisión - El Ministerio de Transporte de Ontario informó de que en un estudio formal de 34 observadores bien entrenados de dos muestras de tierra parcialmente fracturado (proporción de partículas fracturadas = 76%) la desviación estándar media que fueron encontradas son el 5.2%. Por lo tanto, la diferencia en resultados entre dos observadores bien entrenados, en muestras del mismo material debe no exceda del 14.7% de su media, diecinueve veces en veinte.

NOTA 1 - Cuando una mezcla de observadores entrenados y no entrenados a cabo de esta prueba, la desviación estándar para varios operadores media aumentó cerca de 7.6%.



Fig. 3 Partícula Fracturada (Borde Agudos, Superficies Lisas)



Fig.4 Partícula Fracturada (Bordes redondos, Superficies ásperas)

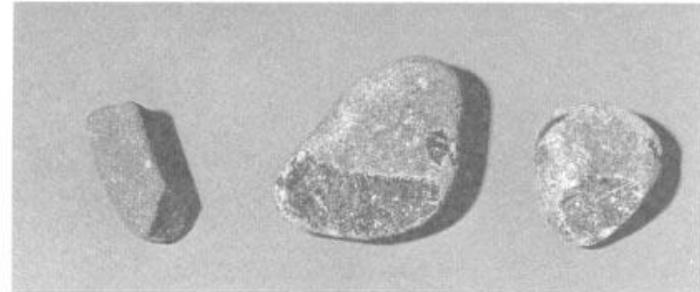


Fig. 5 Partícula fracturada (Centro)
Flanqueado por dos no Fracturada Partículas (Solamente astillas)

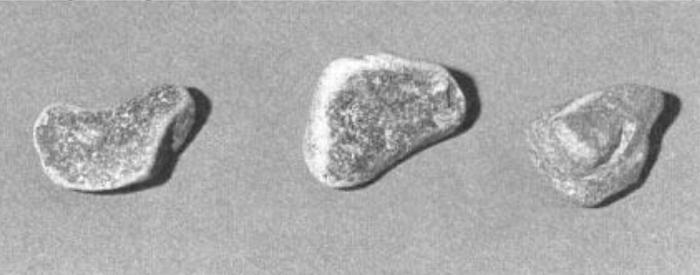


Fig. 6 No-Fracturada Partícula (Bordes Redondos, Superficies Lisas)

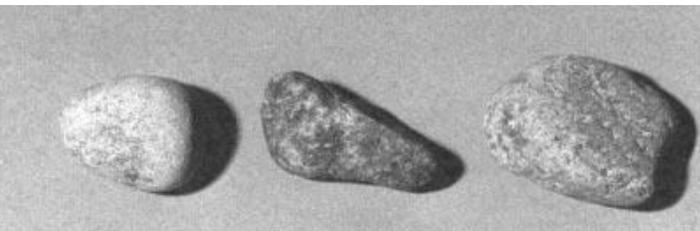


Fig. 7 No-Fracturada Partícula (Partículas redondeadas, Superficies Lisas)