UNIVERSIDAD INTERNACIONAL DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

Disertación previa a la obtención del título de Ingeniero Civil

DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA CASHAPAMBA CON METODOLOGÍA MARSHALL

Autor: Luis Alberto Terán Molina

Director: Ing. Msc. Byron Morales Muñoz

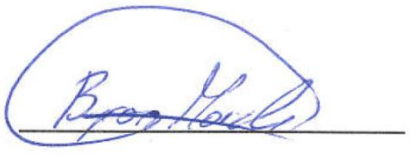
Quito, Septiembre de 2015

APROBACIÓN DEL TUTOR

Yo, Ingeniero Byron Morales Muñoz, tutor designado por la Universidad Internacional del Ecuador UIDE para revisar el proyecto de investigación científica con el tema: "**Diseño de mezclas asfálticas en caliente utilizando agregados de la mina Cashapamba con metodología Marshall"** del estudiante **Luis Alberto Terán Molina**, considero que dicho informe investigativo reúne los requisitos de fondo y los méritos suficientes para ser sometido a la evaluación del Comité Examinador designado por la Universidad.

Quito, Septiembre del 2015

EL TUTOR



Ing. Msc. Byron Morales Muñoz

C.C. 171256590-0

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Yo, Luis Alberto Terán Molina, declaro que el trabajo de investigación denominado: "**DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EN CALIENTE UTILIZANDO AGREGADOS DE LA MINA CASHAPAMBA CON METODOLOGÍA MARSHALL"** es original, de mi autoría y exclusiva responsabilidad legal y académica, habiéndose citado las fuentes correspondientes y en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes.

Quito, Septiembre del 2015.

EL AUTOR

Luis Alberto Terán Molina

C.C. 171193898-3

DEDICATORIA

A Dios quien me regalo la gracia de la vida, quien supo guiarme por el buen camino para seguir adelante y no desmayar en los obstáculos que la vida presenta.

A mis padres Jorge y Sara por todo su apoyo incondicional, esfuerzo y ayuda en todos los momentos de mi vida.

Mis hermanos Jorge Esteban y José Andrés por estar siempre a mi lado en todo este proceso de aprendizaje.

Mi novia Paulina quien estuvo desde el inicio apoyándome en esta etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Internacional del Ecuador, a la Facultad de Ingeniería Civil, a las Autoridades, al Personal Administrativo y en especial a los Docentes, que con su vocación como maestros han sabido impartir y compartir los conocimientos científicos necesarios para mi formación como profesional, además que, con sus experiencias y consejos me han ayudado a enfrentar los retos de mi vida estudiantil y prepararme para los desafíos de mi vida laboral. Al Ing. Byron Morales, tutor de tesis, por su apoyo voluntario y desinteresado, quien me ha ayudado para que este proyecto sea haga realidad. A mis compañeros que estuvimos en las buenas y en las malas para poder lograr pasar cada nivel satisfactoriamente.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I 1

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA. 1

1.2 JUSTIFICACIÓN 3

1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO 4

1.3.1 OBJETIVO GENERAL 4

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 5

CAPÍTULO II 5

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO 5

2.1 MARCO CONCEPTUAL 5

2.2 MARCO TEÓRICO 8

2.2.1 CARACTERÍSTICA DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO 9

2.2.1.1 LA SUB-RASANTE 9

2.2.1.2 LA SUB-BASE 9

2.2.1.2.1.1 CONTROL DE PRODUCCIÓN 10

2.2.1.3 BASES DE AGREGADOS 11

2.2.1.3.1 CLASES DE BASE 11

2.2.1.3.2 CONTROL DE PRODUCCIÓN 13

2.2.1.4 RIEGO DE IMPRIMACIÓN 14
2.2.1.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS FLEXIBLES 15
2.2.1.5.1 MATERIAL BITUMINOSO 15
2.2.1.5.2 AGREGADOS PÉTREOS 15
2.2.1.5.3 CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS 15
2.2.2 ASFALTO 17
2.2.2.1 TIPOS DE ASFALTOS 17
2.2.2.1.1 CEMENTO ASFÁLTICO 18
2.2.2.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO ASFALTO 18
2.2.2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO 19
2.2.2.1.3.1 DURABILIDAD 20
2.2.2.1.3.2 ADHESIÓN Y COHESIÓN 20
2.2.2.1.3.3 SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA 20
2.2.2.1.4 ENDURECIMIENTO Y ENVEJECIMIENTO 21
2.2.2.2 ENSAYOS DEL CEMENTO ASFÁLTICO 21
2.2.2.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN 21
2.2.2.2.2 ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO 22
2.2.2.2.3 ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN 23
2.2.2.2.4 ENSAYO DE DUCTILIDAD 23
2.2.2.2.5 ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA 24

2.2.2.3 VALORES PERMITIDOS PARA CADA ENSAYO DEL CEMENTO ASFALTICO 24
2.2.3 AGREGADOS 25
2.2.3.1 IMPORTANCIA DEL AGREGADO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA 25
2.2.3.2 TIPOS DE AGREGADOS 25
2.2.3.2.1 DEFINICIÓN DE AGREGADOS 25
2.2.3.2.2 TIPOS DE AGREGADOS 26
2.2.3.3 CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS 27
2.2.3.3.1 AGREGADO NATURAL 28
2.2.3.3.2 AGREGADOS PROCESADOS 28
2.2.3.3.3 AGREGADOS SINTÉTICOS 29
2.2.3.4 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS 29
2.2.3.5 PRUEBAS REALIZADAS A LOS AGREGADOS 30
2.2.3.5.1 PRUEBA DE ABRASIÓN 30
2.2.3.5.2 ÍNDICE DE PLASTICIDAD 31
2.2.3.5.3 DESGASTE POR SULFATOS 31
2.2.3.5.4 RELLENO MINERAL 32
2.2.3.5.5 ANGULARIDA DEL AGREGADO GRUESO 33
2.2.3.5.7 PARTÍCULAS ALARGADAS Y ACHATADAS 34
2.2.3.5.8 EQUIVALENTE DE ARENA 35
2.2.3.5.9 MATERIALES DELETÉREOS 36

2.2.3.5.10 RESISTENCIA A LA PELADURA 36

2.2.3.5.11 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO. 37

2.2.3.6 VALORES PERMITIDOS PARA CADA ENSAYO DE LOS AGREGADOS 37

2.2.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS 37

2.2.4.1 MÉTODOS DE DISEÑO 38

2.2.4.1.1 MÉTODO HVEEN 38

2.2.4.1.2 MÉTODO MARSHALL 38

2.2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA. 39

2.2.4.2.1 DENSIDAD DE LA MEZCLA 40

2.2.4.2.2 VACÍOS DE AIRE 40

2.2.4.2.3 VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VAM) 41

2.2.4.2.4 CONTENIDO DE ASFALTO 41

2.2.4.3 PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA 42

2.2.4.3.1 ESTABILIDAD 43

2.2.4.3.2 DURABILIDAD 44

2.2.4.3.3 IMPERMEABILIDAD 45

2.2.4.3.4 TRABAJABILIDAD 45

2.2.4.3.5 FLEXIBILIDAD 46

2.2.4.3.6 RESISTENCIA A LA FATIGA 46

2.2.4.3.7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO 47

2.2.5 GRANULOMETRÍA 48

CAPÍTULO III 49

3.0 METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN 49

3.1 ENSAYOS DE AGREGADOS PARA REALIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS 49

3.1.1 ENSAYO ABRASIÓN 50

3.1.2 RESISTENCIA A LOS SULFATOS 56

3.1.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD 61

3.1.4 RESISTENCIA A LA PELADURA 65

Norma AASHTO T182-84 & ASTM 1664-80 65

3.1.5 PARTÍCULAS ALARGADAS 68

3.1.6 CARAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO 72

3.1.7 EQUIVALENTE DE ARENA 75

3.2 ENSAYOS PARA EL CEMENTO ASFALTICO 81

3.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN MATERIALES BITUMINOSOS 81

3.2.2 ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN 84

3.2.3 ENSAYO DEL PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO 86

3.3 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS 88

3.3.1 GRANULOMETRÍA ÁRIDO GRUESO (AASHTO T88 ASTM D422) 90

3.3.2 GRANULOMETRÍA ÁRIDO FINO 91

3.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES 93

3.3.3.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO GRUESO..... 93

3.3.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO FINO 96

3.4 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS CON DISTINTOS PORCENTAJES DE ASFALTO..... 102

3.4.1 MEZCLA DE AGREGADOS GENERAL..... 102

3.4.2 ELABORACIÓN DE BRIQUETAS CON DISTINTOS PORCENTAJES DE ASFALTO..... 103

3.4.3 ELABORACIÓN DE ENSAYOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE 107

3.4.3.1 ENSAYO DE LA DENSIDAD BULK DE LA BRIQUETA..... 108

3.4.3.2 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO..... 110

3.4.3.3 GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA SUELTA" ENSAYO RICE "..... 112

3.4.3.4 CALCULO DE VACÍOS DE LA MEZCLA..... 114

3.4.3.4.1 PORCENTAJE TOTAL DE VACÍOS 114

3.4.3.4.2 PORCENTAJE DE VACÍOS EN LOS AGREGADOS MINERALES 114

3.4.3.4.3 VOLUMEN EFECTIVO DE ASFALTO 114

CAPÍTULO 4 115

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS 115

4.1.1 FORMULA MAESTRA 115

4.1.2 DESARROLLO DE LA FORMULA MAESTRA 122

.....122

CAPÍTULO V 123

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....123

5.1.1 CONCLUSIONES 123

5.1.2 RECOMENDACIONES 125

5.2 BIBLIOGRAFÍA.....126

5.3 ANEXOS.....128

ÍNDICE DE FOTOGRÁFICO

FOTOGRAFÍA 1: AGREGADOS CARAS FRACTURADAS 33

FOTOGRAFÍA 2: AGREGADO SIN CARAS FRACTURADAS 34

FOTOGRAFÍA 3: AGREGADO ALARGADO Y ACHATADO 35

FOTOGRAFÍA 4: MINA CASHAPAMBA 50

FOTOGRAFÍA 5: JUEGO DE TAMICES 52

FOTOGRAFÍA 6: PESO DE LA MUESTRA PARA ENSAYO 52

FOTOGRAFÍA 7: SEPARACIÓN DE AGREGADOS Y PESADOS 53

FOTOGRAFÍA 8: MÁQUINA DE LOS ÁNGELES 54

FOTOGRAFÍA 9: MATERIAL SALIENTE DESPUÉS DEL ENSAYO 54

FOTOGRAFÍA 10: PESO OBTENIDO DEL TAMIZ RETENIDO EN EL NO 12 55

FOTOGRAFÍA 11: PESO DE SOLUCIÓN CLORURO DE SODIO 57

FOTOGRAFÍA 12: PESO DE AGUA PARA LA MEZCLA 57

FOTOGRAFÍA 13: MEZCLA DEL CLORURO DE SODIO CON AGUA 58

FOTOGRAFÍA 14: PREPARACIÓN DEL MATERIAL A ENSAYAR 59

FOTOGRAFÍA 15: SUMERSIÓN DEL AGREGADO EN EL CLORURO DE SODIO 59

FOTOGRAFÍA 16: COLOCACIÓN DE LAS MUESTRAS AL HORNO 60

FOTOGRAFÍA 17: COLOCACIÓN DE LAS MUESTRAS AL HORNO 62

FOTOGRAFÍA 18: MATERIAL PARA EL ENSAYO 100 GR 62

FOTOGRAFÍA 19: PREPARACIÓN DE MATERIAL CON 10ML DE AGUA 63

FOTOGRAFÍA 20: MESCLAMOS EL MATERIAL 63

FOTOGRAFÍA 21: COPA CASA GRANDE 64

FOTOGRAFÍA 22: MATERIAL TRIZADO 64

FOTOGRAFÍA 23: ENSAYO LIMITE PLÁSTICO 65

FOTOGRAFÍA 24: PREPARACIÓN DEL AGREGADO 66

FOTOGRAFÍA 25: MEZCLA DE AGREGADO Y CEMENTO ASFÁLTICO (AC-20) 66
FOTOGRAFÍA 26: MEZCLA CEMENTO ASFÁLTICO Y AGREGADO 67
FOTOGRAFÍA 27: COLOCACIÓN DE LA MEZCLA EN AGUA DESTILADA 67
FOTOGRAFÍA 28: VISUALIZAMOS LA MEZCLA 68
FOTOGRAFÍA 29: CUARTEO PARA MUESTRA REPRESENTATIVA 69
FOTOGRAFÍA 30: MUESTRA CUARTEADA 70
FOTOGRAFÍA 31: TAMIZADO DE MATERIAL 70
FOTOGRAFÍA 32: SEPARACIÓN DE MATERIALES SEGÚN TAMIZ 71
FOTOGRAFÍA 33: CALIBRADOR DE PARTÍCULAS 71
FOTOGRAFÍA 34: CUARTEAMOS EL MATERIAL 73
FOTOGRAFÍA 35: MATERIAL RETENIDO EL TAMIZ NO 4 74
FOTOGRAFÍA 36: SEPARACIÓN VISUAL DE CARAS FRACTURADAS 74
FOTOGRAFÍA 37: PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE CLORURO DE CALCIO 76
FOTOGRAFÍA 38: MATERIAL MÍNIMO 1500G QUE PASA EL TAMIZ NO 4 PARA NUESTRO ENSAYO 77
FOTOGRAFÍA 39: COLOCACIÓN DE SOLUCIÓN EN PROBETA 4 PULGADAS DE ALTURA 77
FOTOGRAFÍA 40: COLOCACIÓN DEL MATERIAL CON LA SOLUCIÓN 78
FOTOGRAFÍA 41: REPOSAR DURANTE 10 MINUTOS 78
FOTOGRAFÍA 42: AGITACIÓN DE LA MUESTRA. 79
FOTOGRAFÍA 43: LIMPIEZA DE LAS PAREDES INTERNAS DE LA PROBETA 79
FOTOGRAFÍA 44: REPOSAR POR 20 MINUTOS 80
FOTOGRAFÍA 45: MEDICIÓN DE ALTURAS 80
FOTOGRAFÍA 46: COLOCACIÓN DEL AC-20 EN EL RECIPIENTE METÁLICO 82
FOTOGRAFÍA 47: COLOCACIÓN LOS RECIPIENTES EN BAÑO MARÍA 82
FOTOGRAFÍA 48: MUESTRAS SUMERGIDAS A BAÑO MARÍA 83
FOTOGRAFÍA 49: EQUIPO PARA MEDIR LA PENETRACIÓN DEL AC-20 83
FOTOGRAFÍA 50: OBTENCIÓN DE MEDICIÓN EN 5 SEGUNDOS. 84
FOTOGRAFÍA 51: CALENTAR EL MATERIAL BITUMINOSO 85
FOTOGRAFÍA 52: MEDICIÓN DE TEMPERATURA CUANDO EXISTEN CENTELLAS DE LUZ 86

FOTOGRAFÍA 53: COLOCACIÓN DEL AC-20 HASTA LLEGAR AL AFORO DEL PICNÓMETRO 87
FOTOGRAFÍA 54: PESO DEL PICNÓMETRO CON AC-20 88
FOTOGRAFÍA 55: LÍMITES PARA GRANULOMETRÍA FAJA 3/4 90
FOTOGRAFÍA 56: TAMIZADO AGREGADO GRUESO 90
FOTOGRAFÍA 57: CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO GRUESO 91
FOTOGRAFÍA 58TAMIZADO AGREGADO FINO 92
FOTOGRAFÍA 59: CURVA GRANULOMÉTRICA AGREGADO FINO 93
FOTOGRAFÍA 60: MUESTRA SECA SATURADA 94
FOTOGRAFÍA 61: PESAMOS 5.000GR DE MUESTRA 95
FOTOGRAFÍA 62: PESO SUMERGIDO EN AGUA 95
FOTOGRAFÍA 63: PESO SECO EN HORNO 96
FOTOGRAFÍA 64: AGREGADO FINO SUMERGIDO EN AGUA 98
FOTOGRAFÍA 65: COLOCACIÓN DEL MATERIAL HÚMEDO EN EL CONO 98
FOTOGRAFÍA 66: CONO DE MATERIAL HÚMEDO ELABORADO 99
FOTOGRAFÍA 67: MATERIAL SECO SATURADO 99
FOTOGRAFÍA 68: PESO DEL MATERIAL EN ESTADO DE SUPERFICIE SECA SATURADA 100
FOTOGRAFÍA 69 : COLOCACIÓN DEL MATERIAL EN EL MATRAZ AFORADO 100
FOTOGRAFÍA 70: ELIMINACIÓN DE BURBUJAS 101
FOTOGRAFÍA 713.3.3.2.7: PESO SECO 101
FOTOGRAFÍA 72: AGREGADOS A 140ºC 104
FOTOGRAFÍA 73: PESO DEL CEMENTO ASFALTICO (AC-20) 105
FOTOGRAFÍA 74: HOMOGENIZACIÓN DE LA MEZCLA A 150ºC 105
FOTOGRAFÍA 75: MEZCLA HOMOGENIZADA A 150ºC 106
FOTOGRAFÍA 76: PREPARACIÓN DE MOLDE DE BRIQUETAS 110ºC 106
FOTOGRAFÍA 77: COLOCACIÓN DE LA MEZCLA PARA ELABORAR LA BRIQUETA A 140ºC 106
FOTOGRAFÍA 78: COMPACTACIÓN DE MAC 75 GOLPES POR LADO 107
FOTOGRAFÍA 79: BRIQUETAS CON LOS DISTINTOS PORCENTAJES DE ASFALTO PROPUESTOS 107
FOTOGRAFÍA 80: PESO BRIQUETA EN AIRE 108

FOTOGRAFÍA 81: PESO BRIQUETA SECO SATURADO 109

FOTOGRAFÍA 82: PESO BRIQUETA SUMERGIDO EN AGUA 109

FOTOGRAFÍA 83: INMERSIÓN DE BRIQUETAS EN BAÑO MARÍA..... 111

FOTOGRAFÍA 84: COLOCACIÓN DE BRIQUETA EN LA MORDAZA..... 112

FOTOGRAFÍA 85: LECTURA DE ESTABILIDAD Y FLUJO 112

FOTOGRAFÍA 86: EXTRACCIÓN DE VACÍOS DE LA MAC 113

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: PORCENTAJE DE PAVIMENTOS A NIVEL NACIONAL 3

TABLA 2: GRANULOMETRÍAS PARA SUB BASE 10

TABLA 3: VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE CALIDAD PARA SUB BASE 11

TABLA 4: GRANULOMETRÍA BASE CLASE 1 12

TABLA 5: GRANULOMETRÍA BASE CLASE 2 12

TABLA 6: GRANULOMETRÍA BASE CLASE 3 13

TABLA 7: GRANULOMETRÍA BASE CLASE 4 13

TABLA 8: VERIFICACIÓN PERIÓDICA DE CALIDAD PARA BASES CLASE 14

TABLA 9: PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO ASFALTICO (AC-20) 19

TABLA 10: VALORES PERMITIDOS PARA LA UTILIZACIÓN DEL CEMENTO ASFÁLTICO PARA DISEÑO DE MEZCLAS 24

TABLA 11: LIMITES PARA EL RELLENO MINERAL 33

TABLA 12: VALORES PERMITIDOS PARA LA UTILIZACIÓN DE AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS 37

TABLA 13: CAUSA-EFECTO BAJA ESTABILIDAD 43

TABLA 14: CAUSA-EFECTO POCA DURABILIDAD 44

TABLA 15 CAUSA-EFECTO MEZCLAS DEMASIADAS PERMEABLES 45

TABLA 16: CAUSA-EFECTO MEZCLAS MALA TRABAJABILIDAD 46

TABLA 17: CAUSA-EFECTO RESISTENCIA A LA FATIGA 47

TABLA 18: CAUSA-EFECTO RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO 47

TABLA 19: TAMICES PARA AGREGADO GRUESO 48

TABLA 20: TAMICES PARA AGREGADO FINOS 48

TABLA 21: MASAS Y GRANULOMETRÍA PARA ENSAYO DE ABRASIÓN 51

TABLA 22: ESPECIFICACIONES PARA LA CARGA 53

TABLA 23: CÁLCULOS ENSAYO DE SULFATOS 61
TABLA 24: MASA MÍNIMA PARA ENSAYO 69
TABLA 25: CÁLCULO DE ENSAYO PARTÍCULAS ALARGADAS 72
TABLA 26: CANTIDAD DE MUESTRA SEGÚN TAMAÑO 73
TABLA 27: CÁLCULO EQUIVALENTE DE ARENA 80
TABLA 28: CÁLCULO ENSAYO DEL PENETROMETRO 84
TABLA 29: GRANULOMETRÍAS PARA DISEÑOS DE MEZCLAS ASFÁLTICAS 89
TABLA 30: GRANULOMETRÍA AGREGADO GRUESO 91
TABLA 31GRANULOMETRÍA AGREGADO FINO 92
TABLA 32: MASA MÍNIMA DE MUESTRAS PARA ENSAYO 94
TABLA 33: CÁLCULO GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO GRUESO 96
TABLA 34: CÁLCULO GRAVEDAD ESPECIFICA AGREGADO FINO 102
TABLA 35: MEZCLA DE AGREGADOS PROPUESTO PARA EL DISEÑO DE MAC 103
TABLA 36: DENSIDAD BULK 110
TABLA 37: RICE 113

CAPÍTULO I

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La importancia de las carreteras radica en que es la columna vertebral del transporte, su construcción y mantenimiento se vuelven estratégicos en el desarrollo de un país.

La durabilidad de una carpeta de rodadura en el caso del concreto asfaltico va a depender de ciertos factores como el diseño de la mezcla asfáltica en caliente

La adecuada selección de materiales para la realización de la estructura de pavimento como la sub-rasante, la sub-base y base para garantizar un adecuado soporte de las cargas que va a recibir.

La selección de los materiales pétreos utilizados en la elaboración de las mezclas

El conocimiento de las propiedades y características de los asfaltos para la realización de mezclas asfálticas

Todos estos factores contribuyen a que una carpeta asfáltica tenga un buen o un mal desempeño a lo largo de su vida útil.

Los diferentes tipos de patologías que presentan las mezclas asfálticas son:

Ondulaciones superficiales

Las ondulaciones se producen por un exceso de asfalto, en especial en aquellas mezclas con elevado porcentaje de agregados, esto puede originar la formación de ondulaciones en la superficie de rodadura.

Agrietamiento o desintegración de la capa superficial

Los agrietamientos o desintegración del material pueden deberse a un contenido insuficiente de asfalto en la mezcla.

Pavimento quebradizo

El agrietamiento por fatiga puede deberse a una deflexión excesiva del pavimento o que la mezcla sea quebradiza.

El pavimento quebradizo puede aparecer cuando el asfalto se ha endurecido excesivamente por cualquier causa o porque el contenido del asfalto ha sido insuficiente.

Acción del agua

Una de las principales causas de averías en la estructura de un pavimento es el agua.

Los pavimentos asfálticos pueden averiarse por defecto de la resistencia de la cimentación debido con frecuencia a un mal drenaje.

El drenaje longitudinal y el diseño de las cunetas para interceptar el agua que escurre de la corona, del talud de corte y del terreno adyacente cumple una función importante.

Es difícil conocer las relaciones entre precipitación, velocidad de la precipitación y escurrimiento de agua por los drenes, duración del escurrimiento y caudal, etc.

La capacidad de drenaje estará en función de la precipitación sobre el área del proyecto. La falta de registros sobre precipitaciones, y en el caso que existieran, no son del todo confiables; dificulta una adecuada estimación del parámetro principal para el diseño de un drenaje vial.

¿Cuáles son los procesos más adecuados y óptimos para el diseño de mezclas asfálticas en caliente?

1.2 JUSTIFICACIÓN

En nuestro país las carreteras constituyen el medio más importante de comunicación y contribuyen al desarrollo económico y social de nuestro país.

EL Ministerio de Transporte y Obras Publicas de la red vial estatal, tiene a su cargo 8.653,6 kilómetros de carreteras, de las cuales 6.741 son administradas de forma directa, 1.350 km están concesionadas y 562 km delegadas a los consejos provinciales.

ESTADO ACTUAL	TIPO DE PAVIMENTO	LONGITUD KM.	PORCENTAJE %
INTERVENIDAS	Pavimento Flexible	3.382	50.2
	Pavimento Rigido	1.118	16.6
	Doble Tratamiento Superficial Bituminoso	180	2.7
	Mantenimiento	2.061	30.5
TOTAL		6.741	100.00

Tabla 1: Porcentaje de Pavimentos a Nivel Nacional
Fuente: Ministerio de Transporte y Obras Públicas

Por lo tanto estas deben construirse de tal manera que cumplan con los requisitos establecidos de diseño, para la capa de rodadura, mezclas asfálticas en caliente existen ensayos que son necesarios para la calidad de los materiales y su proporción óptimo, para esto hay que regirse en normas que nos permitan comprobar si los agregados y el asfalto presentan las características óptimas para la obtención de un buen diseño de mezclas asfálticas en caliente.

Los procedimientos que se realizan en los ensayos de laboratorio deben ser de acuerdo a lo especificado en las normas AASHTO correspondientes.

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.

Este método puede ser usado para el diseño de mezclas en laboratorio como para el control de campo de mezclas asfálticas.

1.3 OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECÍFICO

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar una granulometría de los agregados y la adecuada proporción de cemento asfaltico en laboratorio para el diseño óptimo de las mezclas asfálticas en caliente.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer parámetros para el diseño de mezclas asfálticas.
- Realizar los ensayos de control de calidad de los agregados, asfaltos y mezclas asfálticas en caliente utilizando las normas vigentes de nuestro país.
- Elaborar el diseño de una mezcla asfáltica en caliente utilizando el Método Marshall y establecer su fórmula maestra.

CAPÍTULO II

2. MARCO CONCEPTUAL Y TEÓRICO

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Agregado: También conocido como roca, material granular, o agregado mineral, es cualquier material mineral duro e inerte usado, en forma de partículas graduadas o fragmentadas, como parte de un pavimento de mezcla asfáltica. Los agregados típicos incluyen arena, grava, piedra triturada, escoria y polvo de roca. El agregado constituye entre el 90 y 95% en peso, y entre el 75 y 85% en volumen, de la mayoría de las estructuras de pavimento, motivo por el cual su adecuada selección influenciará directamente al comportamiento de un pavimento.

Agregado fino: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y queda retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200).

Agregado grueso: Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

Granulometría: Determinar cuantitativamente, los tamaños de las partículas de agregados gruesos y finos de un material, por medio de tamices de abertura cuadrada.

Capa base granular: Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-base y la capa de rodadura.

Capa de rodadura: Es la construida en la parte superior del pavimento, debe resistir las presiones verticales de contacto aplicadas por los neumáticos, las tensiones tangenciales de frenado, las succiones debidas al comportamiento de los neumáticos, etc. La calidad de los materiales que constituyen la capa de rodadura, deben estar en consonancia con la gran importancia de las solicitaciones a que se ve sometida.

Capa de sub-base granular: Capa constituida por un material de calidad y espesor determinados y que se coloca entre la sub-rasante y la base.

Carpeta: La carpeta asfáltica es la parte superior del pavimento flexible que proporciona la superficie de rodamiento, es elaborada con material pétreo seleccionado y un producto asfáltico dependiendo del tipo de camino que se va a construir.

Cemento Asfaltico: En una mezcla de numerosos hidrocarburos parafinicos, aromáticos y compuestos heterocíclicos que contienen azufre, nitrógeno y oxígeno, casi en su totalidad solubles en sulfuro de carbono. Es un material aglomerado, resistente, muy adhesivo, altamente impermeable y duradero, capaz de resistir altos esfuerzos instantáneos y fluir bajo la acción del calor o cargas permanentes.

Briquetas: Las briquetas se preparan con diferentes contenidos de asfalto; estos contenidos tienen una variación de 0,5 %. Se deben preparar al menos tres briquetas para cada combinación de agregados con cemento asfáltico.

Densidad: Es su peso unitario, es decir el peso de un volumen especifico de mezcla compactada

Vacíos de aire: Están presente entre los agregados revestidos de asfalto en la mezcla compactada y son pequeños espacios de aire. Es de mucha importancia que las mezclas contengan un determinado porcentaje de vacíos, Ya que estos permiten que el asfalto fluya durante la compactación adicional debido al tráfico.

Vacíos en el Agregado Mineral (V.M.A): Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregados y los espacios que están llenos de asfalto en una mezcla. Es decir el VMA es el espacio disponible para acomodar el volumen efectivo de asfalto y el volumen de vacíos necesarios en la mezcla

Contenido de Asfalto: Cantidad de asfalto que debe ser adicionado a la mezcla para producir las propiedades deseadas en la mezcla.

Estabilidad: Es la capacidad de una mezclas asfáltica de resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas impuestas por el tránsito.

Durabilidad: Es la propiedad de una mezcla asfáltica para resistir los efectos causados por el agua, aire y temperatura. Estos efectos provocan cambios en las propiedades de los agregados y del cemento asfaltico.

Flexibilidad: Es la capacidad de la carpeta asfáltica para acomodarse ligeramente sin sufrir agrietamiento. La flexibilidad de las mezclas asfálticas es incrementada agregando mayor contenido de asfalto, hasta llegar al contenido optimo, si se aumenta en exceso el contenido de asfalto la carpeta tiende a ser demasiada flexible y provocar mezclas con baja estabilidad.

Impermeabilidad: Es la resistencia de una carpeta asfáltica al paso del aire y agua hacia su interior. El contenido de vacíos puede ser una indicación a la susceptibilidad de una mezcla compactada al paso del agua y aire.

2.2 MARCO TEÓRICO

Según el Instituto de asfalto (2009), una mezcla asfáltica es una combinación de asfaltos y agregados minerales pétreos en proporciones exactas que se utiliza para construir firmes.

El concepto del método Marshall para diseño de mezclas asfálticas fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfalto del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi. El cuerpo de ingenieros de EEUU a través de una extensa investigación y estudios de correlación mejoro y adiciono ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall y desarrollo un criterio de diseño de mezclas asfálticas.

Este método solo es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimento que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm o menor.

El método Marshall utiliza una muestra de prueba estándar de una altura de (2 ½") y de 4" de diámetro. Se preparan mediante un procedimiento específico para calentar, mezclar y compactar mezclas de asfalto–agregado esta norma es (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método de diseño son la densidad-análisis de vacíos y la prueba de estabilidad y flujo de las muestras compactadas.

La estabilidad de la muestra de prueba es la máxima resistencia en lb que la muestra estándar desarrolla a 60ºC cuando es analizada. El valor de flujo es el movimiento total o deformación de la muestra, en unidades de 0.25 mm que ocurre en la muestra entre esta sin carga y el punto máximo de carga durante la prueba de estabilidad.

2.2.1 CARACTERÍSTICA DE LA ESTRUCTURA DE UN PAVIMENTO

Las Normas NEVI en su manual de especificaciones nos dice que un pavimento está constituido por varias capas, el nombre de las capas se encuentra en orden descendente, la carpeta, base, sub-base. La cimentación del pavimento se encuentra constituida por la sub-rasante; esta última capa se encuentra apoyada sobre otras dos en el orden siguiente, sub-rasante, subyacente, cuerpo del pavimento.

2.2.1.1 LA SUB-RASANTE

De acuerdo a las Normas Ecuatorianas Viales la sub-rasante es una superficie terminada de la carretera a nivel de movimiento de tierras sobre el cual se coloca la estructura del pavimento.

Si esta capa de suelo es de buena calidad el espesor de la estructura de pavimento va a ser menor.

2.2.1.2 LA SUB-BASE

Se denomina sub-base según el Manual de Especificaciones Generales Para La Construcción de Caminos Y Puentes MOP-001-F-2002 la capa granular localizada entre la sub-rasante y la base granular en los pavimentos flexibles y la capa que normalmente debe colocarse inmediatamente debajo de un pavimento rígido.

Los agregados que se empleen deberán tener un coeficiente de desgaste de máximo 50% de acuerdo con el ensayo de abrasión, debe tener un índice de plasticidad menor a 6 y un límite liquido máximo de 25.

- **Clase 1:** Son sub-bases construidas con agregados obtenidos por trituración de roca o grava y graduados dentro de su granulometría su tamaño máximo es de 1″1/2 y por lo menos el 30% del agregado preparado deberá obtenerse por proceso de trituración

- **Clase 2:** Son sub-bases construidas con agregados obtenidos mediante trituración o cribado en yacimiento de piedra fragmentadas naturales o de grava con un tamaño máximo es de 2” y al menos el 30% del agregado preparado debe ser triturado.

- **Clase 3:** Son sub-bases construidas con agregados naturales su tamaño máximo es de 3” y pueden ser solamente cribadas.

TAMIZ		SUB-BASE CLASE 1		SUB-BASE CLASE 2		SUB-BASE CLASE 3	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
3"	76.2 mm						100
2"	50.4 mm				100		
1 ½ "	38.1 mm		100	70	100		
N° 4	4.75 mm	30	70	30	70	30	70
N° 40	0.425 mm	10	35	15	40		
N° 200	0.075 mm	0	15	0	20	0	20

Tabla 2: Granulometrías para Sub base
Fuente Tabla 403-1.1 MTOP-001F-2002

2.2.1.2.1.1 CONTROL DE PRODUCCIÓN

Se realizara verificaciones periódicas de la calidad de los agregados según la tabla de frecuencias establecidas por las normas NEVI-12.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	FRECUENCIA
Granulometría	INEN 696	1 VEZ POR JORNADA
Límite Líquido	ASTM D 4318	1 VEZ POR JORNADA
Índice de Plasticidad	ASTM D 4318	1 VEZ POR JORNADA
Equivalente de Arena	ASTM D 1998	1 VEZ POR JORNADA
Densidad seca máxima	ASTM D 698 Y 1557	1 VEZ POR JORNADA

Tabla 3: Verificación Periódica de Calidad para Sub Base
Fuente: Tabla 403.2.1 MTOP-001F-2002

2.2.1.3 BASES DE AGREGADOS

En el Manual de Especificaciones Generales Para La Construcción de Caminos y Puentes MOP-001-F-2002 las bases de agregados son capas de base compuestas por agregados triturados total o parcialmente o cribados, Esta capa se coloca sobre una capa de sub-base terminada y aprobada. El límite líquido no debe ser menor a 25 y el índice de plasticidad menor a 6, el porcentaje de desgaste por abrasión será menor al 40%.

2.2.1.3.1 CLASES DE BASE

- **Base clase 1:** Son bases constituidas por agregado grueso y fino triturado en un 100%, graduado uniformemente de los límites granulométricos.

TAMIZ		BASE CLASE 1 TIPO A		BASE CLASE 1 TIPO B	
		Min	Max	Min	Max
2"	50 mm		100		100
1 ½ "	37,5 mm	70	100	70	100
1"	25 mm	55	85	60	90
3/4 "	19 mm	50	80	45	75
3/8"	9,5 mm	35	60	30	60
N°4	4,75 mm	25	50	20	50
N°10	2 mm	20	40	10	25
N°40	0,425 mm	10	25	2	12
N°200	0,075 mm	20	12		

Tabla 4: Granulometría Base Clase 1
Fuente: Tabla 404-1.1 MTOP-001F-2002

- **Base clase 2:** Son bases constituidas por agregado gruesos y finos triturados al menos 50% en peso , graduados uniformemente de los limites granulométricos.

TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA	
	Min	Max
1"		100
3/4 "	70	100
3/8"	50	80
N°4	35	65
N°10	25	50
N°4	15	30
N°10	3	15

Tabla 5: Granulometría Base Clase 2
Fuente: Tabla 404-1.2 MTOP-001F-2002

- **Base clase 3:** Son bases constituidas por agregado gruesos y finos triturados al menos 25% en peso, graduados uniformemente de los limites granulométricos.

TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA	
	Min	Max
3/4"		100
N°4	45	80
N°10	30	60
N°40	20	35
N°200	3	15

Tabla 6: Granulometría Base Clase 3
Fuente: Tabla 404-1.3 MTOP-001F-2002

- **Base clase 4:** Son bases constituidas por agregado gruesos y finos triturados o cribados, graduados uniformemente de los límites granulométricos.

TAMIZ	PORCENTAJE EN PESO QUE PASA A TRAVÉS DE LOS TAMICES DE MALLA CUADRADA	
	Min	Max
2"		100
1"	60	90
N°4	20	50
N°200	0	15

Tabla 7: Granulometría Base Clase 4
Fuente: Tabla 404-1.3 MTOP-001F-2002

2.2.1.3.2 CONTROL DE PRODUCCIÓN

Se realizara verificaciones periódicas de la calidad de los agregados según la tabla de frecuencias establecidas por las normas NEVI-12.

ENSAYO	NORMA DE ENSAYO	FRECUENCIA
Granulometría	INEN 696	1 VEZ POR JORNADA
Límite Líquido	ASTM D 4318	1 VEZ POR JORNADA
Índice de Plasticidad	ASTM D 4318	1 VEZ POR JORNADA
Equivalente de Arena	ASTM D 1998	1 VEZ POR JORNADA
Densidad seca máxima	ASTM D 698 Y 1557	1 VEZ POR JORNADA

Tabla 8: Verificación Periódica de Calidad para Bases Clase
Fuente: Tabla 404-1.6 MTOP-001F-2002

2.2.1.4 RIEGO DE IMPRIMACIÓN

Es la aplicación de un ligante hidrocarbonado sobre una capa granular previamente tendida y compactada. En ningún caso este riego de imprimación aporta poder estructural a las capas de pavimento.

La cantidad de asfalto por aplicarse es aproximadamente de 1lt/m2 a 2.25lt/m2 de acuerdo al Manual de Especificaciones Generales Para La Construcción de Caminos Y Puentes MOP-001-F-2002

2.2.1.4.1 FUNCIONES

- Impermeabilizar la superficie
- Cerrar los espacios capilares
- Endurecer la superficie
- Facilitar el mantenimiento.

- Promover la adherencia entre la superficie sobre la cual se coloca la primera capa de mezcla asfáltica.

2.2.1.5 MEZCLAS ASFÁLTICAS FLEXIBLES

De acuerdo a Manuel Velázquez se denomina pavimentos flexibles a aquellos cuya estructura total se flexiona dependiendo de las cargas que transitan sobre él. Estructuralmente absorbe los esfuerzos horizontales y trasmite los verticales hacia las capas de su estructura.

2.2.1.5.1 MATERIAL BITUMINOSO

El material bituminoso para la fabricación de la mezcla, será una emulsión asfáltica o asfalto rebajado seleccionado de acuerdo al tipo de agregados que se pretenda utilizar, cumpliendo con ASSHTO M-140 y M-208.

2.2.1.5.2 AGREGADOS PÉTREOS

Los agregados pétreos serán rocas o gravas trituradas siendo materiales limpios, densos y durables, libre de polvo, terrones de arcilla u otras materias indeseables, que puedan impedir la adhesión completa del asfalto a los agregados sueltos.

2.2.1.5.3 CLASIFICACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Según Maldonado Merino & Alfonso Montejo las mezclas se clasifican por:

Fracción del agregado pétreo en la mezcla

- Masilla asfáltica: Polvo mineral más el ligante.
- Mortero asfáltico: Agregado fino más masilla.
- Concreto asfáltico: Agregado grueso más mortero.

Temperatura de la Mezcla

- **Mezclas Asfálticas en caliente**: Fabricadas con la mezclas de cemento asfalto y agregados a temperaturas elevada, en un rango de 150ºC. La puesta en obra se realiza a temperaturas de 140ºC pues caso contrario no se puede extender estos materiales en la obra.
- **Mezclas en Frio**: Es la mezcla de ligantes asfalticos y agregados, y la puesta en obra es a temperatura ambiente.

Proporción De Vacíos en la Mezcla Asfálticas.

- **Mezclas Cerradas o Densas**: Con un porcentaje de vacíos no mayor al 6%.
- **Mezclas Semi-Cerradas**: Con un porcentaje de vacíos entre el 6% y 10%.
- **Mezclas Abiertas**: Con porcentajes de vacíos mayor a 12%
- **Mezclas Porosas o Drenantes**: Con un porcentaje de vacíos superior al 20%.

Tamaño Máximo del Agregado Pétreo.

- **Mezclas Gruesas**: Tamaño máximo del agregado es de 10mm.
- **Mezclas Finas**: Son micro aglomerados o morteros asfalticos, estas son mezclas formadas básicamente por un árido y un ligante asfáltico.

Por la Granulometría.

- **Mezclas Continuas**: Una cantidad muy distribuida de diferentes tamaños de agregado pétreo que debe estar entre dos curvas granulométricas.
- **Mezclas Discontinuas**: Una cantidad muy limitada de tamaño de agregado pétreo en el huso granulométrico.

2.2.2 ASFALTO

Es un residuo del proceso de destilación del petróleo de consistencia y calidad apropiada para el uso directo en la fabricación de pavimentos flexibles.

Según el Ministerio de Transporte y Obras Públicas, al asfalto se lo define como: "Material aglomerante de color entre negro a pardo oscuro, cuyos constituyentes predominantes son betunes que se encuentra en la naturaleza o son obtenidos por destilación del petróleo".

Se trata de un material cementante que cuando se calienta lo suficiente se ablanda y se vuelve líquido lo cual permite cubrir las partículas de agregado durante la elaboración de la mezcla asfáltica en caliente.

2.2.2.1 TIPOS DE ASFALTOS

- **Cemento Asfaltico:** Asfalto de consistencia y calidad apropiada para uso directo de la fabricación de pavimentos flexibles.
- **Asfalto diluidos:** Asfaltos mezclados con destilados del petróleo para obtener propiedades específicas.

- **Emulsión Asfáltica:** Material bituminoso mezclado uniformemente con agua y un agente emulsificante.

- **Emulsificante:** Componente de las emulsiones cuyas moléculas envuelven por completo a las partículas del asfalto.

2.2.2.1.1 CEMENTO ASFÁLTICO

Son residuos de la destilación de petróleo y se caracteriza por permanecer en estado semisólido a la temperatura del ambiente.

Este tipo de asfalto es aquel que se utiliza para la elaboración de pavimentos flexibles y se lo conoce como AC-20.

El cemento asfaltico que se debe emplear para la elaboración de mezclas asfálticas en calientes es aquel que tenga una penetración 60-70 como se estipula en las normas Nevi 12 para vías que serán sometidas a un alto tráfico y para vías con un tráfico liviano se utilizara el cemento asfaltico que tenga una penetración de 85-100.

2.2.2.1.2 PROPIEDADES QUÍMICAS DEL CEMENTO ASFALTO

- **Aceites**: Hidrocarburos de alto peso molecular, mas resinas protectoras absorbidas

- **Máltenos**: Aceites resinosos de alto peso molecular

- **Insolubles Orgánicos**: Hidrocarburos de alto peso moléculas con pequeñas cantidades de resinas absorbidas.

- Las cantidades de elementos constitutivos del asfalto varían dependiendo del origen del crudo

COMPUESTO	DESDE	HASTA
% DE CARBONO	70	90
% DE HIDRÓGENO	7.3	10.1
% DE AZUFRE	0.56	9.5
% DE CENIZA	0.06	1.25
% DE NITRÓGENO	0.05	7

Tabla 9: Propiedades Químicas del Cemento Asfaltico (AC-20)
Fuente: Refinería de Esmeraldas

La refinería de Esmeraldas tiene la responsabilidad de proveer el asfalto destinado a todo el país, se trata de asfaltos de penetración Grado II (60- 70) y de Grado III (85-100), que se obtiene directamente como residuo de la torre de destilación al vacío.

El asfalto grado I (curado rápido), se lo prepara en los tanques de almacenamiento a partir de asfalto base, al que se le agrega nafta pesada en cantidades cercanas al 25% hasta ajustar la viscosidad de 60ºC.

2.2.2.1.3 PROPIEDADES FÍSICAS DEL ASFALTO

Las propiedades físicas del asfalto, de mayor importancia para el diseño, construcción y mantenimiento de carreteras según el Institute, A. (1989). Manual del Asfalto . Estados Unidos: Adventure Words, Manuel Velázquez & González Escobar (2007) son:

- Durabilidad
- Adhesión

- Susceptibilidad a la Temperatura
- Envejecimiento y Endurecimiento.

2.2.2.1.3.1 DURABILIDAD

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 durabilidad del asfalto. Sin embargo, existen pruebas rutinarias usadas para evaluar la durabilidad del asfalto

2.2.2.1.3.2 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.

2.2.2.1.3.3 SUSCEPTIBILIDAD A LA TEMPERATURA

Todos los asfaltos son termoplásticos; esto es, se vuelven más duros (mas 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 valiosa en un asfalto. La susceptibilidad a la temperatura varía entre asfaltos de petróleo de diferente origen, aun si los asfaltos tienen el mismo grado de consistencia.

2.2.2.1.4 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).

El asfalto se encuentra a altas temperaturas y en películas delgadas mientras esta revistiendo las partículas de agregado durante el mezclado. Esto hace que la oxidación y el endurecimiento más severo ocurran en esta etapa del mezclado.

2.2.2.2 ENSAYOS DEL CEMENTO ASFÁLTICO

2.2.2.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN

Norma AASHTO T-49 & ASTM D-5.

Sirve para determinar la dureza de un material bituminoso, además la penetración se emplea para determinar la capacidad de fluencia del cemento asfaltico cuando el rozamiento entre las capas del fluido se incrementa y el material se aproxima en sus propiedades de consistencia a un semisólido; esto sucede cuando se encuentra a temperatura ambiente.

Consiste en la distancia, expresada en milímetros, que penetra verticalmente en el material una aguja normalizada, en condiciones de carga tiempo y temperatura.

Consiste en calentar un recipiente con cemento asfaltico hasta llegar a 25ºC, en un baño de agua con temperatura controlada, se apoya una aguja normaliza de 100g de peso sobre la superficie del cemento asfaltico durante 5 segundos.

2.2.2.2.2 ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO

Normas ASTM D-3104.

El objetivo de este ensayo es la determinación del punto de ablandamiento de materiales bituminosos, también se le conoce con el nombre de ensayo de anillo de bola, ese ensayo nos da como un resultado en ºC.

El punto de ablandamiento anillo y bola se determina colocando en un recipiente de agua, y a una determinada temperatura altura sobre el fondo, un anillo de latón de dimensiones fijas que se ha rellenado previamente con asfalto fundido y se ha dejado enfriar a temperatura ambiente durante cuatro horas. Sobre el tapón de asfalto se coloca una bola de acero de 9,53mm De diámetro, y después se calienta el baño de forma que la temperatura del agua suba a velocidad constante. Por efecto del calor del asfalto se va ablandando y la bola desciende gradualmente envuelta en una bolsa de asfalto hasta tocar el fondo del baño que se encuentra a 2.4cm. La temperatura del baño en este momento se denomina punto de ablandamiento.

2.2.2.2.3 ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN

Norma ASTM D92

El punto de inflamación es la temperatura a la que puede calentarse el asfalto con seguridad, sin el peligro de inflamación instantánea de los vapores liberales, cuando se ponen en contacto con una llama libre.

El ensayo de punto de inflamación consiste en calentar la muestra contenido en el vaso CLEVELAND aumentando entre 14ºC a 17ºC por minuto hasta alcanzar una temperatura de 222ºC bajo el punto de inflamación probable; a continuación disminuir el calor hasta conseguir que el rango de elevación se encuentre entre 5ºC y 6ºC por minuto. Aplicar llama de ensayo localizado mínimo 2mm del vaso CLEVELAND, con un movimiento armonioso y continúo aproximadamente un segundo por parada; finalmente se registra la temperatura en la cual en dos paradas consecutivas se enciende parte de la superficie de la muestra; siendo esta la temperatura que corresponde al punto de inflamación.

2.2.2.2.4 ENSAYO DE DUCTILIDAD

Norma: ASTM D 113

El ensayo de ductilidad consiste en realizar una probeta de cemento asfáltico de dimensiones con formas determinadas y someterlas al alargamiento. La sección transversal mínima de la muestra es de 1cm2. Este ensayo determina la distancia en centímetros que la muestra puede alargarse antes de romperse, cuando los dos extremos de la briqueta del material son estirados a una velocidad de 5 cm. / minutos y a temperatura de 25 ± 0,5ºC.

Normalmente los asfaltos dúctiles tienen mejores propiedades aglomerantes pero son susceptibles a las variaciones de temperatura.

2.2.2.2.5 ENSAYO DE DENSIDAD RELATIVA

Norma ASTM D70.

La densidad relativa se define como la relación entre la masa de un volumen dado del material a la temperatura t 1, y la masa de un volumen igual de agua pura a la temperatura t 2, o lo que es lo mismo, la relación entre la densidad del material a t 1 y la densidad del agua a t 2. La temperatura normalizada de ensayo es la 25ºC aunque puede emplearse otras temperaturas, siempre que se determine las calibraciones y correcciones correspondientes.

El procedimiento general de ensayo, aplica a los materiales líquidos, semilíquidos y sólidos, está basado en la determinación de la densidad relativa mediante el picnómetro, obtenida comparando las masas de volúmenes iguales de material y agua a la misma temperatura; ésta no específica, se entenderá la temperatura normalizada de 25ºC.

2.2.2.3 VALORES PERMITIDOS PARA CADA ENSAYO DEL CEMENTO ASFALTICO

ENSAYOS	60-70		85-100	
	Min	Max	Min	Max
Penetración mm/10	60	70	85	100
Punto de ablandamiento °C	48	57	45	53
Punto de inflamación °C	232		232	

Tabla 10: Valores Permitidos para la utilización del Cemento asfáltico para diseño de Mezclas
Fuente: Nevi 12

2.2.3 AGREGADOS

2.2.3.1 IMPORTANCIA DEL AGREGADO EN UNA MEZCLA ASFÁLTICA

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente intervienen dos materiales indispensables que son los agregados pétreos y el asfalto que para nuestro caso se usara asfalto normal o sea sin aditivos; los agregados por su parte son de una gran importancia ya que en una mezcla asfáltica constituyen entre el 90 y el 95 por ciento en peso, y entre el 75 y 85 por ciento en volumen, es de mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales constituyentes y la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica, específicamente en lo que se refiere a una buena distribución granulométrica.

Una pequeña variación en el porcentaje de un determinado tamaño de agregado o en las propiedades de este puede causar cambios significativos en las propiedades de la mezcla asfáltica por lo que es de suma importancia tener el control del agregado que se produce para la producción de mezclas asfálticas.

2.2.3.2 TIPOS DE AGREGADOS

2.2.3.2.1 DEFINICIÓN DE AGREGADOS

Valero, Frederick S. Merrit, Juarez Badillo & MTOP-001-F-2002 define.

Agregado, es un material granular duro de composición mineralógica, usado para ser mezclado en diferentes tamaños de partículas graduadas, como parte de una mezcla asfáltica en caliente. Los agregados típicos incluyen la arena, la grava, la roca triturada y polvo de

roca. 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 soportante.

2.2.3.2.2 TIPOS DE AGREGADOS

- **Agregado Grueso**: Agregado retenido en el tamiz de 4.75 mm (No. 4).

- **Agregado Fino**: Agregado que pasa el tamiz de 4.75 mm (No.4) y queda retenido en el tamiz de 75 μm (No. 200).

- **Polvo Mineral**: La porción de agregado fino que pasa el tamiz No. 200.

- **Relleno Mineral**: Producto mineral finamente dividido en donde más del 70% pasa el tamiz de 75 μm (No. 200).

- **Agregado de Graduación Gruesa**: Agregado cuya graduación es continua desde tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños gruesos.

- **Agregado de Graduación Fina** : Agregado cuya graduación es continua desde Tamaños gruesos hasta tamaños finos, y donde predominan los tamaños finos.

- **Agregado Densamente Graduado**: Agregado con una distribución de tamaños de partícula tal que cuando es compactado, los vacíos que resultan entre las partículas, expresados como un porcentaje del espacio total ocupado, son relativamente pequeños.

- **Agregado de Graduación Abierta**: Agregado que contiene poco o ningún llenante mineral, y donde los espacios de vacíos en el agregado compactado son relativamente grandes.

- **Agregado Bien Graduado**: Agregado cuya graduación va desde el tamaño máximo hasta el de un llenante mineral con el objeto de obtener una mezcla bituminosa con un contenido de vacíos controlado y alta estabilidad.

2.2.3.3 CLASIFICACIÓN DE AGREGADOS

Los agregados usados en pavimentos asfalticos se clasifican de acuerdo a su origen y son:

- Agregado Natural
- Agregado procesado
- Agregado Sintético

2.2.3.3.1 AGREGADO NATURAL

Están formados mediante procesos naturales de erosión y degradación, como la acción de viento y agua. La forma de las partículas de estos agregados es un producto de los agentes que actúan sobre ellos.

2.2.3.3.2 AGREGADOS PROCESADOS

Son gravas naturales los cuales son procesados esto quiere decir que cambian su forma original, a esta trasformación se denomina trituración, esto se lo realiza para que el agregado tengan las propiedades adecuadas para ser utilizados en la mezclas asfálticas en caliente.

Los agregados son triturados por tres razones:

- Para cambiar la textura superficial de las partículas de lisa a rugosa
- Para cambiar la forma de la partícula de redonda a angular
- Para reducir y mejorar la distribución y la graduación de los tamaños de las partículas.

Una vez triturados los agregados estos deben pasar un sistema de zarandeado o tamizado la cual nos da como resultado las diferentes tamaños de agregados que voy a producir, y esto resulta ser mi granulometría.

Un control adecuado de las operaciones de triturado determina si la graduación resultante del agregado cumple, o no, con las especificaciones establecidas de granulometría.

2.2.3.3.3 AGREGADOS SINTÉTICOS

Estos agregados no existen en la naturaleza. Ellos son el producto del procesamiento físico o químico de materiales. El agregado sintético más comúnmente usado es la escoria de alto horno. Es una sustancia no metálica que brota a la superficie del hierro fundido durante el proceso de reducción. Esta escoria es transformada en pequeñas partículas al templarla inmediatamente en agua, o al triturarla una vez que se ha enfriado.

2.2.3.4 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Los agregados deben cumplir con las siguientes propiedades para ser considerados apropiados para la elaboración de mezclas asfálticas según las Normas Nevi12.

- Tamaño máximo del agregado
- Limpieza
- Dureza
- Forma del agregado
- Textura de la superficie
- Absorción
- Afinidad con el cemento asfaltico

Tamaño máximo del agregado: Se requiere que los agregados estén dentro en margen de tamaño y que cada tamaño esté presente en ciertas proporciones. Las propiedades físicas y mecánicas de los agregados son funciones directas de su granulometría y es fundamental para establecer su comportamiento mecánico cuando se someta a cargas directas.

Limpieza: En los agregados existen materiales indeseables que le restan propiedades y afectan al comportamiento de las mezclas asfálticas, dentro de estos se tiene vegetación, arcilla, esquistosa, terrones de arcilla, material orgánico.

Dureza: Los agregados deben ser capaces de resistir la abrasión y degradación durante la producción, colocación y compactación de las mezclas asfálticas y durante la vida del pavimento.

Textura de la superficie: Es un factor que determina la trabajabilidad, la resistencia final de la mezcla y las características de resistencia al deslizamiento en la superficie del pavimento, según sus texturas estas pueden ser lisos o rugosos.

Absorción: La capacidad de un agregado de absorber agua o asfalto es un elemento importante de información ya que un agregado poroso requiere mayores cantidades de asfalto que las que requiera un agregado menos poroso.

Afinidad con el cemento asfaltico: Es la tendencia del agregado a aceptar y retener una capa de cemento asfaltico.

2.2.3.5 PRUEBAS REALIZADAS A LOS AGREGADOS

2.2.3.5.1 PRUEBA DE ABRASIÓN

INEN 860 & AASHTO-T96

Esta norma establece el método de ensayo para determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37.5 mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de Los Ángeles.

Este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo. A medida que el tambor gira, una plataforma recoge la muestra y las esferas de acero, elevándolas hasta que caigan al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. El contenido gira conjuntamente con el tambor, en una acción de molido, hasta que la plataforma recoja nuevamente la muestra y las esferas de acero y se repite el ciclo. Luego de un número especificado de revoluciones, se retiran los contenidos del tambor y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida.

2.2.3.5.2 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Norma INEN 691, 692 & ASTMD- 4318

Esta norma nos sirve para estables el limite plástico de un suelo.

Este método de ensayo consiste en determinar el contenido de agua de un suelo en el límite entre su comportamiento plástico y sólido, para lo cual se utiliza el proceso de rolado para evaporar gradualmente el agua que comienza a fisurarse o disgregarse.

2.2.3.5.3 DESGASTE POR SULFATOS

Norma INEN 863& ASTM C88

Este método de prueba cubre las pruebas de los agregados para estimar su estabilidad cuando están expuestas a la acción del medio ambienten el concreto u otras aplicaciones.

Esto está acompañado de una inmersión repetida en solución saturada de sodio o sulfato de magnesio seguido de un secado en el horno para deshidratar parcial o totalmente la sal precipitada en espacios porosos permeables. La fuerza interna expansiva, derivada de la rehidratación de la sal debido a la re-inmersión, simula la expansión del agua en el congelamiento. Este método de prueba proporciona información útil para juzgar la solidez de los agregados.

Los valores para el porcentaje de la perdida por este método de prueba son usualmente diferentes para agregados finos y grueso.

2.2.3.5.4 RELLENO MINERAL

Norma AASHTO M17

El relleno mineral y el polvo mineral están presentes en los agregados naturales y procesados, 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 de menos, de relleno o polvo mineral, puede causar que la mezcla parezca excesivamente seca o excesivamente rica (o sea, la mezcla de pavimentación parecerá 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 limites para el relleno mineral:

TAMIZ	PORCENTAJE QUE PASA
600µm	100
300µm	95-100
75µm	70-100

Tabla 11: Limites para el Relleno Mineral
Fuente: Nevi 12

2.2.3.5.5 ANGULARIDA DEL AGREGADO GRUESO

Norma ASTM D5821

Este ensayo se realiza en materiales retenidos en la malla No 4. Normalmente desarrollada en gravas que necesitan triturarse para obtener caras fracturadas. Una cara fracturada es una cara que expone el interior de la partícula de grava.

El propósito de esta ensayo es maximizar la resistencia al corte mediante el incremento de la fricción entre partículas de la mezclas de agregado.

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.

Fotografía 1: Agregados caras Fracturadas

Fotografía 2: Agregado sin caras Fracturadas

2.2.3.5.7 PARTÍCULAS ALARGADAS Y ACHATADAS

Norma ASTM D-4791

Este ensayo determina el máximo porcentaje en peso de partículas alargadas y achatadas retenidas en el tamiz 4.77mm**.**

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. Este ensayo se relaciona con la degradación o rompimiento de las partículas de agregado durante la producción y compactación de la mezcla.

Se usa un dispositivo calibrado. 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

Fotografía 3: Agregado Alargado y Achatado

2.2.3.5.8 EQUIVALENTE DE ARENA

Norma ASTM D-2419

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.

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.

2.2.3.5.9 MATERIALES DELETÉREOS

Norma ASTM C-142.

La presencia de materiales deletéreos se mide con el ensayo de determinación de terrones de arcilla y el de partículas friables, los agregados para este ensayo estarán constituidos por el material que quede después de la conclusión del ensayo para determinación de materiales más finos que el tamiz No200.

La adhesión entre el asfalto y el agregado puede ser inhibido por la presencia de polvo y arcilla que cubre al agregado grueso o fino, el cual resulta en un desprendimiento de la mezcla. En la presencia del agua, algunos finos muy arcillosos podrían causar desprendimiento por la debilitación del ligante asfáltico.

Los materiales deletéreos, que impiden el cubrimiento de asfalto en las partículas de agregado, reaccionan con el ambiente, ya que no consisten de materia mineral son también perjudiciales en la mezcla.

2.2.3.5.10 RESISTENCIA A LA PELADURA

Norma AASHTO T182-84 & ASTM 1664-80.

Este ensayo, describe el procedimiento de recubrimiento e inmersión estática para medir la retención de una película bituminosa por un agregado en presencia de agua.

El procedimiento para realizar este ensayo es con el agregado que pase el 100% por el tamiz 9.5mm y sea retenido en el tamiz 6.3mmn luego este se lo mezclara con cemento asfaltico, para luego dejarlo en agua destilada en un tiempo de 16 a 18 horas. Para luego estimar el porcentaje del área total visible del agregado.

2.2.3.5.11 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL ÁRIDO FINO.

Norma ASTM C-127 & INEN 856.

Determinar la densidad relativa aparente, densidad real y porcentaje de absorción de los áridos finos utilizados en la construcción de obras civiles.

Es utilizado para establecer la densidad promedio de una muestra de árido fino (sin incluir el volumen de vacíos entre partículas), así como la absorción después de 24 horas sumergidos en agua de áridos con tamaño inferior 4.75 mm utilizados en construcción de carreteras.

2.2.3.6 VALORES PERMITIDOS PARA CADA ENSAYO DE LOS AGREGADOS

ENSAYO	VALORES	
	MIN	MAX
Abrasión de los Ángeles		40%
Plasticidad	IP<40	
Desgaste sulfatos		12%
Resistencia a la Peladura	95%	
Piedras lajas		10%
Piedras angulosas	45%	
Equivalente de Arena	60%	

Tabla 12: Valores Permitidos Para la Utilización de Agregados en el diseño de Mezclas
Fuente: Nevi 12

2.2.4 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

En una mezcla asfáltica en caliente de pavimentación, el asfalto y el agregado son combinaciones en proporciones exactas. La proporción de estos dos materiales determinan las propiedades físicas de la mezcla, el desempeño de la misma como pavimento terminado.

2.2.4.1 MÉTODOS DE DISEÑO

2.2.4.1.1 MÉTODO HVEEN

Desarrollado en el Departamento de Carreteras de California un método de diseño de espesores de pavimentos flexibles que se fundamenta en un conjunto de pruebas de laboratorio. El método de diseño es de requerimiento múltiple, en el sentido que se exige que el pavimento finalmente aceptado cumpla condiciones en relación a la presión de expansión, presión de exudación, valor de estabilidad, obtenido en el estabilómetro y a la resistencia a la tensión por flexión, medida en las capas superiores del pavimento, por medio del cohesiómetro.

La desventaja del procedimiento Hveen es que el equipo de ensayo, en particular el compactador por amasado y el estabilómetro de Hveen es mucho más costoso que el equipo de Marshall y además no es para nada 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 una mezcla no muy durable y con poco asfalto.

2.2.4.1.2 MÉTODO MARSHALL

El método Marshall fue desarrollado inicialmente por Bruce Marshall ingeniero en mezclas asfálticas en el Mississippi State Highway Department, luego el Amy Corps of Engineers de los Estados Unidos lo mejoró y añadió ciertas características al procedimiento de ensayo Marshall durante la segunda guerra mundial y finalmente lo hizo suyo el Asphalt Institute, alcanzando la mayor difusión para la dosificación de mezclas.

El método Marshall en principio fue aplicable solo a mezclas en caliente empleando cemento asfaltico y agregados cuyo máximo sea igual a 25 mm (1 pulgada) o menor.

Previo a la ejecución de este método se deben tener en cuenta los siguientes aspectos.

- Los materiales a utilizarse deben cumplir con las especificaciones.
- La mezcla de agregados debe cumplir con las especificaciones granulométricas.
- Se deben determinar los parámetros de todos los agregados y del asfalto para ser usados y poder establecer la relación de vacíos.

Los objetivos principales del Método Marshall son un análisis entre las relaciones entre densidad y volumen de vacíos y un ensayo para la determinación de la estabilidad y flujo de las briquetas compactadas

El método puede utilizarse tanto para el diseño en laboratorio como in situ. Los resultados del ensayo, realizado sobre la mezcla a su salida de la planta y correspondientes al contenido de cemento asfáltico finalmente empleado, se utilizan como patrón de control en obra. . Por lo tanto utilizaremos este método para el desarrollo de diseño de carpetas asfálticas en caliente.

2.2.4.2 CARACTERÍSTICAS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA.

Una muestra de mezcla asfáltica preparada en laboratorio puede ser analizada para determinar su desempeño en la estructura del pavimento.

Según Herbert Abraham Estas características son:

- Densidad de la mezcla

- Vacíos de aire
- Vacíos del agregado mineral
- Contenido de asfalto

2.2.4.2.1 DENSIDAD DE LA MEZCLA

La densidad de la mezcla compactada está definida como su peso unitario y se expresa en kg/m3 o lb/ft3, este valor lo obtenemos al multiplicar la gravedad específica total de la mezcla por la densidad del agua.

Esta densidad obtenida en laboratorio se convierte en nuestra densidad de referencia para determinar si la mescla asfáltica en caliente colocada en la vía es la adecuada según lo obtenido en laboratorio.

2.2.4.2.2 VACÍOS DE AIRE

Los vacíos de aire son espacio de aire que se encuentran en las mezclas asfálticas.

Todas las mezclas asfálticas en caliente deben contener cierto porcentaje de vacíos para permitir alguna compactación adicional bajo el tráfico y proporcionar espacios en donde pueda fluir el asfalto durante esta compactación adicional, caso de tener vacíos menores al 3% estas mezclas se transforman en mezclas rígidas las cuales en poco tiempo estos pavimentos producirán fisuramiento, y si se obtiene porcentaje de vacíos mayores al 10% estas mezclas se vuelven permeables por lo que ingresa el agua y el aire causando un deterioro en los pavimentos.

La durabilidad de un pavimento asfaltico está en 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.

Entre más alta la densidad, menor el porcentaje de vacíos en la mezcla y viceversa.

2.2.4.2.3 VACÍOS DEL AGREGADO MINERAL (VAM)

Son los espacios de aire que existen entre las partículas de agregado en una mezcla compactada incluyendo los espacios que están llenos de asfalto.

Cuando mayor se al VAM más espacio disponibles habrá para que el cemento asfaltico recubra el agregado, por lo tanto mientras más cemento asfaltico recubra el agregado más durable será la mezclas asfálticas.

Si el VAM es menor el cemento asfaltico que recubre el agregado va a ser muy fino por lo que se produciría una mezcla con baja durabilidad.

2.2.4.2.4 CONTENIDO DE ASFALTO

El contenido de asfalto es la cantidad de cemento asfaltico optimo que se debe utilizar para la elaboración de la mezcla asfáltica con la que cumplan todos sus funciones.

La cantidad de asfalto en la mezcla es importante y debe ser determinada exactamente en el laboratorio, para luego ser controlada en producción de mesclas asfálticas en caliente.

El contenido óptimo de asfalto para una mezcla va a depender en gran parte de las características de tipos de mesclas que elaboremos ya que tenemos mezclas abiertas, semi-

abiertas y cerradas, entre más cerrada sea la mezcla mayor cantidad de cemento asfaltico se va a utilizar, la granulometría y la capacidad de absorción del agregado.

El contenido efectivo de asfalto se obtiene al restar la cantidad absorbida de asfalto del contenido total de asfalto.

2.2.4.3 PROPIEDADES DE LA MEZCLA ASFÁLTICA

Las mezclas asfálticas en caliente trabajan bien debido a que son diseñadas producidas y colocadas de tal manera que se logra obtener las propiedades deseadas.

Existen varias propiedades que contribuyen a la buena calidad del pavimento de mezclas en caliente de acuerdo al Instituto de Asfalto (2009) son:

- Estabilidad
- Durabilidad
- Impermeabilidad
- Trabajabilidad
- Flexibilidad
- Resistencia a la fatiga
- Resistencia al deslizamiento.

2.2.4.3.1 ESTABILIDAD

Es la capacidad para resistir desplazamiento y deformación bajo las cargas del tránsito. Las especificaciones de estabilidad deben ser lo suficiente altas para soportar adecuadamente el transito esperado.

Valores muy altos de estabilidad producen un pavimento demasiado rígido y por lo tanto menos durable.

La estabilidad de una mezcla depende de la fricción y la cohesión interna, la fricción interna en las partículas de agregado está relacionada con las características del agregado tales como forma y textura superficial. La cohesión resulta de la capacidad ligante del asfalto.

Teniendo una buena estabilidad de la mezcla, previene que las partículas de agregado se desplacen una respecto a otra debido a las fuerzas ejercida por el tráfico.

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.

Efectos de la Baja Estabilidad

Causas	Efecto
Exceso de asfalto en la mezcla	Ondulaciones, Ahuellamientos y exudaciones
Exceso de arena de tamaño Medio den la mezcla	Baja resistencia durante la compactación
Agregado Redondeado con pocas caras trituradas	Ahuellamiento y canalización

Tabla 13: Causa-Efecto Baja Estabilidad
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

2.2.4.3.2 DURABILIDAD

La durabilidad de un pavimento asfaltico son las propiedades que tiene para evitar la oxidación del asfalto y la separación del agregado, esas propiedades son debidas a la acción del clima que produce la oxidación del cemento asfaltico y la carga del tránsito que genera las separación de la películas del cemento asfaltico con los agregados.

La durabilidad de una mezcla puede ser mejorada por algunos factores.

Estos son:

- Tener una película gruesa de cemento asfaltico.
- Utilizar una granulometría cerrada para que sea una mezcla impermeable y evitar el paso del agua y aire.

Efectos de la poca Durabilidad de un Pavimento

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Endurecimiento rápido del asfalto y desintegración por perdida de agregado
Alto contenido de vacíos debido al diseño o la falla de compactación	Endurecimiento temprano del asfalto seguido por agrietamiento o desintegración
Agregados susceptibles al agua	Películas de asfalto se desprenden del agregado dejando un pavimento desgastado

Tabla 14: Causa-Efecto Poca Durabilidad
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

2.2.4.3.3 IMPERMEABILIDAD

La impermeabilidad de un pavimento asfaltico es la resistencia al paso del aire y agua hacia su interior. Esta característica está relacionada con el contenido de vacíos de la mezcla compactada estos porcentajes de vacíos tiene que estar en un rango de 3 – 8 porciento para que cumplan con esta característica.

Efectos mezclas Demasiadas Permeables

Causas	Efectos
Bajo contenido de asfalto	Las películas delgadas de asfalto causaran tempranamente un envejecimiento y una desintegraciones de las mezclas
Alto contenido de vacíos en la mezcla	El agua y el aire pueden entrar fácilmente en el pavimento, causando oxidación y desintegración de la mezcla
Compactación Inadecuada	Resultará en vacíos altos en el pavimento lo cual conducirá a infiltración de agua y poca estabilidad

Tabla 15 Causa-Efecto Mezclas Demasiadas Permeables
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

2.2.4.3.4 TRABAJABILIDAD

Esta característica de las mezclas asfálticas esta descrita con su manejo en obra para la colocación y compactación de la misma.

La trabajabilidad depende mucho de la granulometría si es bien gradada es una mezcla muy manejable, pero si no es bien gradada es una mezcla difícil de ser colocada en obra

Se conoce como mesclas tiernas aquellas que son echan con granulometrías muy finas y tiene poco relleno mineral estas son utilizadas por ejemplo alrededor de tapas de alcantarilla, pozos y curvas pronunciadas.

Efectos Mala Trabajabilidad

Causas	Efectos
Tamaño máximo de partícula grande	Superficie áspera, difícil de colocar
Demasiado agregado grueso	Difícil de compactar
Temperatura muy baja	Agregado con poca cantidad de asfalto, mezcla poco durable
Demasiada arena de tamaño medio	La mezcla se desplaza bajo la compactadora y permanece tierna y blanda
Bajo contenido de relleno mineral	Mezcla tiernamente permeable

Tabla 16: Causa-Efecto Mezclas Mala Trabajabilidad
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

2.2.4.3.5 FLEXIBILIDAD

Es la capacidad de un pavimento asfaltico para acomodarse sin que este produzcas fisuras ni asentamientos en el pavimento. La flexibilidad es una característica deseable en todo pavimento asfaltico debido a que todas las sub-rasantes se asientan bajo cargas o se expanden por expansión del suelo.

Una mezcla granulométrica abierta con alto contenido de asfalto es generalmente más flexible que unas mezclas densamente graduadas de bajo contenido de asfalto.

2.2.4.3.6 RESISTENCIA A LA FATIGA

La resistencia a la fatiga de un pavimento es la resistencia a la flexión repetida bajo las carga del tránsito.

Además si las mezclas contienen porcentajes de vacíos bajos esta resistencia a la fatiga disminuye, al igual que cuando tenemos asfaltos envejecidos u oxidados.

Los pavimentos de gran espesor sobre sub-rasantes resistentes no se flexionan tanto bajo las cargas, como los pavimentos delgados que se encuentran sobre sub-rasantes débiles.

Efectos 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
Falla de compactación	Envejecimiento temprano de asfalto

Tabla 17: Causa-Efecto Resistencia a la Fatiga
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

2.2.4.3.7 RESISTENCIA AL DESLIZAMIENTO

Es la resistencia que tienen las ruedas de los vehículos para evitar deslizamiento sobre el pavimento, particularmente cuando la superficie esta mojada. Para obtener buena resistencia al deslizamiento, el neumático debe ser capaz de mantener contacto con las partículas de agregado de pavimento en vez de rodar sobre una película de agua.

Por lo tanto el agregado que se debe utilizar en la pavimento tiene que ser rugoso y fracturado, con lo cual tendrá mayor resistencia al deslizamiento.

Efecto poca resistencia al Deslizamiento

Causa	Efecto
Exceso de asfalto	Exudación, poca resistencia al deslizamiento
Agregado con mala textura	Pavimento liso

Tabla 18: Causa-Efecto Resistencia al Deslizamiento
Fuente: Instituto Mexicano del Transporte

2.2.5 GRANULOMETRÍA

Norma INEN 696 & ASTM C-136

Esta norma establece el método de ensayó para determinar la distribución granulométrico de las partículas de áridos, finos y gruesos por tamizado.

Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones necesarias para el control de producción de áridos y mezclas que contengan áridos.

Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de abertura ordenada en forma descendente.

Los tamices a usarse para este ensayo son:

Sistema Métrico	Sistema Norteamericano
63 mm	2 ½ pulg
50 mm	2 pulg
37.5 mm	1½ pulg
25.0 mm	1pulg
19 mm	¾ pulg
12.5 mm	1/2 pulg
9.5 mm	3/8 pulg
4.75 mm	No. 4

Tabla 19: Tamices para Agregado Grueso
Fuente: AASHTO M-92

Sistema Métrico	Sistema Norteamericano
2.36 mm	No 8
1.18 mm	No 16
0.60 mm	No 30
0.30 mm	No 50
0.15 mm	No 100
0.075 mm	No 200

Tabla 20: Tamices para Agregado Finos
Fuente: AASHTO M92

CAPÍTULO III

3.0 METODOLOGÍA Y TIPO DE INVESTIGACIÓN

Las mezclas asfálticas en caliente son mezclas entre agregados calificados y un óptimo porcentaje de cemento asfaltico la cual debe cumplir especificaciones.

Por tal motivo, los métodos de investigación que se va a seguir para poder alcanzar los objetivos planteados son: de nivel exploratorio y de nivel descriptivo. Teniendo en cuenta que para el diseño de la mezcla, los porcentajes de asfalto y de agregados tienen que ser los óptimos para que las mezclas cumplan sus especificaciones.

A continuación se detalla una explicación del desarrollo de los ensayos del laboratorio presentando la metodología de elaboración de mezclas asfálticas en caliente

Se reduce en los métodos de investigación y observación.

Después de obtener los datos de laboratorio, se desarrolla el análisis de los resultados obtenidos, se efectúan las diferentes comparaciones con la relación de vacíos, porcentaje de asfalto, estabilidad y flujo para poder determinar la tendencia en el comportamiento mecánico de las mesclas asfálticas en caliente.

3.1 ENSAYOS DE AGREGADOS PARA REALIZACIÓN DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Para la realización de las mezclas asfálticas se ha tomado los materiales provenientes de la cantera de Cashapamba que está ubicada en el sector de Barriotienta Parroquia Pintag, Coordenadas Quito WGS84 Norte: 9967474,73 Este: 515074,29 Altura: 2635,4

Fotografía 4: Mina Cashapamba

3.1.1 ENSAYO ABRASIÓN

Norma INEN 860

Equipo

- Máquina de los Ángeles: Cilindro de acero hueco, montado horizontalmente sobre puntas de ejes acoplados a los extremos del cilindro, provisto de una abertura en el cilindro para la introducción de la muestra de árido y las esferas.

- Balanza capacidad 20Kg con apreciación ± 1g

- Horno de secado que mantenga una temperatura constante de 110 ± 5°C.

- Tamices según norma INEN 154

- Esferas de acero con diámetro aproximado de 46.8 mm y de masa 390 g

Preparación de la muestra

Se empieza este ensayo lavando el agregado para sacar todas las impurezas luego se seca al horno a 110°C durante 24 horas hasta obtener masa constante.

Se separa el material según los tamaños recomendados para realizar este ensayo que en el caso nuestro vamos a trabajar con el tipo B adjunto cuadro de especificación para este ensayo.

Carga abrasiva para áridos con tamaño de 1 ½" y Nº 8

Tamaño del Tamiz				Masas y Granulometrías de la muestra para ensayo (gramos)			
Pasa		Retiene					
mm	pulg.	mm	pulg.	A	B	C	D
37.5	1 ½	25	1	1250 ± 25	-	-	-
25	1	19	¾	1250 ± 25	-	-	-
19	¾	12.5	½	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
12.5	½	9.5	3/8	1250 ± 10	2500 ± 10	-	-
9.5	3/8	6.3	¼	-	-	2500 ± 10	-
6.3	¼	4.75	Nº 4	-	-	2500 ± 10	-
4.75	Nº 4	2.36	Nº 8	-	-	-	5000 ± 10
Totales				5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10	5000 ± 10

Tabla 21: Masas y Granulometría para ensayo de Abrasión
Fuente: Tabla 2 INEN 860

Obteniendo los pesos recomendados para nuestro ensayo de 2500 g pasante de 3/4 y retenido en 1/2; obtengo el material pasante de 1/2 retenido en 3/8 en la misma cantidad.

Fotografía 5: Juego de tamices

Fotografía 6: Peso de la Muestra Para Ensayo

Fotografía 7: Separación de agregados y Pesados

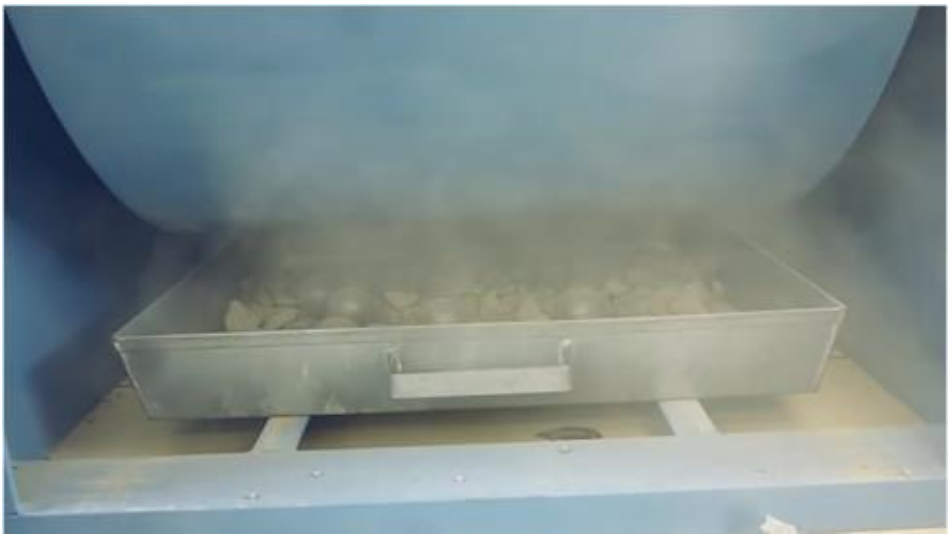
A continuación combino los dos materiales y coloco en la máquina de los Ángeles la cual gira a 30 r/min y se efectúa 500 rotaciones.

Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas
A	12
B	11
C	8
D	6

Tabla 22: Especificaciones para la carga
Fuente: Tabla 1 INEN 860

Fotografía 8: Máquina de los Ángeles



Fotografía 9: Material saliente después del ensayo

Terminado el ciclo obtengo todo el material y lo tamizo por el tamiz No 12, el retenido en este tamiz es el material que queda luego de cumplir el ciclo; con estos valores calculo el valor de la abrasión según la norma INEN 860.

Fotografía 10: Peso obtenido del tamiz retenido en el No 12

Cálculo

$$D = \frac{A-B}{A} \text{X}100$$

Resultado obtenido

$$D = \frac{5000-3510}{5000} \text{X}100$$

D= 29.8%

Dónde:

D=Valor obtenido del ensayo

A=Peso Inicial de la muestra

B=Peso final de la muestra

3.1.2 RESISTENCIA A LOS SULFATOS

Norma INEN 863.

Equipo

- Tamices de malla cuadrada como indica la norma.
- Recipientes metálicos para sumergir la muestra, constará de una malla con abertura apropiada que permita sumergir en la solución y el drenaje de la misma.
- Balanza con capacidad 500 g y precisión ± 0.1 g para árido fino; balanza con capacidad 5 kg ± 1 g para árido grueso.
- Horno con temperatura constante 110 ± 5ºC.
- Termómetro ASTM 15ºC (de -2ºC a 80ºC).

Procedimiento De Ensayo.

Se preparar la solución de magnesio de sodio o sulfato de calcio, las mismas que se elabora en una relación de 3 a 1 esto quiere decir 3 de agua y 1 de sulfato, haciendo diluir el sulfato en el agua hasta que quede totalmente disuelto.

Fotografía 11: Peso de solución Cloruro de Sodio

Fotografía 12: Peso de Agua para la mezcla

Fotografía 13: Mezcla del Cloruro de Sodio con Agua

Preparación De Materiales

Procediendo primero a lavarlos y sacar todas las impurezas

Efectuó

la granulometría general, para este caso coloco todo nuestro agregado por el tamiz de 1 pulga hasta el No 200 de esta manera consigo una granulometría original del agregado.

Elaboración del agregado para el ensayo de sulfato: a partir de la granulometría adquiero material pasante del 3/4 retenido en 3/8 en una cantidad de 300g , luego preparo material pasante del 3/8 retenido en el No 4 en una cantidad de 300g, a continuación obtengo el material pasante del No 4 y retenido en el No 8; Pasante del No 8 y retenido en el No16, pasante del No 16 Retenido en el No 30 y termino con el pasante en el No 30 y retenido en el No 50. De todos estos consigo muestras de 100g para realizar el ensayo.

Fotografía 14: Preparación del material a ensayar

Añado cada fracción obtenida en los recipientes para este ensayo y coloco la solución preparada hasta dejar al material totalmente sumergido con la solución.

Fotografía 15: Sumersión del agregado en el Cloruro de Sodio

Estos recipientes con el agregado deben estar a una temperatura d 21ºC dejando las muestras durante 16 horas hasta un máximo de 18 horas.

Cumplido el período del ensayo se les lava totalmente el agregado tamiz por tamiz para luego secarlo al horno a 110ºC y repetir el procedimiento durante cinco ciclos.

Pasados los 5 ciclos se lava tamiz por tamiz y se coloca al horno a 110ºC durante 24 horas.

Fotografía 16: Colocación de las Muestras al Horno

Cálculo

El resultado que se reporta es el promedio de la sumatoria de toda la serie que se ha utilizado para este ensayo, obtenido un resultado de la fracción gruesa y otra de la fracción fina con sus pesos antes y después de los 5 ciclos.

TAMAÑO		Nº DE PARTÍCULAS		PÉRDIDA
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ	ANTES DEL ENSAYO	DESPUÉS DEL ENSAYO	
2½"	1½"	0	0	0%
1½"	3/4"	0	0	0%

TAMAÑO		Gran.original %	Peso antes ciclo	Peso después ciclo	Peso perdido por la inmersión	% desgaste	Pérdida mues. Original
PASA TAMIZ	RETIENE TAMIZ						
CONSISTENCIA (GRUESA)							
2½"	1½"	0,00%	0	0	0	0%	0%
1½"	3/4"	0,00%	0	0	0	0%	0%
3/4"	3/8"	78,50%	300	285,4	14,6	5%	0%
3/8"	N°4	54,30%	300	278,6	21,4	7%	0%
CONSISTENCIA (FINO)							
3/8"	N°4	9,94%	100	97,5	2,5	3%	0%
N°4	N°8	22,69%	100	97,1	2,9	3%	1%
N°8	N°16	50,72%	100	96,8	3,2	3%	2%
N°16	N°30	58,60%	100	95,9	4,1	4%	2%
N°30	N°50	69,34%	100	94,3	5,7	6%	4%

OBSERVACIONES :

En las especificaciones MOP 001-F-2002 Tabla 803-2,2. Indica que con sulfato de sodio máximo debe existir un 12% de perdida al desgaste en 5 ciclos de inmersión que en nuestro caso estamos dentro de lo especificado.

Resultado Obtenido 4,3%

Tabla 23: Cálculos Ensayo de Sulfatos
Fuente: Luis Alberto Terán

3.1.3 ÍNDICE DE PLASTICIDAD

Norma INEN 691, 692 & ASTMD 4318

Equipo

- Balanza apreciación de 0.01g
- Recipiente para humedades
- Probeta de capacidad de 200ml
- Tamiz No 40
- Horno de secado que mantenga una temperatura a 110 ºC
- Plato de evaporación
- Equipo casa grande
- Vidrio

Procedimiento De Ensayo

Se prepara una muestra de material pasado por el tamiz No 40 y se obtiene la cantidad mínimo de 100g.

Fotografía 17: Colocación de las Muestras al Horno

Fotografía 18: Material para el Ensayo 100 gr

Esta material se coloca en el plato de evaporación y se va añadiendo agua de 10 ml en adelante viendo que el material vaya obteniendo consistencia para ir realizando el ensayo.

Fotografía 19: Preparación de material con 10ml de agua

Fotografía 20: Mesclamos el material

Una vez obtenido el material lo colocamos en la copa de casa grande hasta llenar la copa con una altura de 1 cm.

Fotografía 21: Copa casa Grande

Como observamos no podemos llenar la copa de Casa Grande con el material debido a que el material comienza a trisarse.

Fotografía 22: Material Trizado

A continuación produzco una muestra de material que tenga una consistencia ni muy seca ni muy húmeda para proceder a realizar el límite plástico si el material lo permite, caso contrario de no ser posible realizar este ensayo se reportaría como no plástico ya que no se llega a obtener el 1/8 de grosor al rato de moldear el material.

Fotografía 23: Ensayo Limite Plástico

Resultado

Es un material NO PLÁSTICO (NP) en vista de que luego de realizar el ensayo no fue posible ni moldear en casa grande ni moldear en el vidrio.

3.1.4 RESISTENCIA A LA PELADURA

NORMA AASHTO T182-84 & ASTM 1664-80

Equipo

- Recipientes para mezclas unos 500ml
- Balanzas con una capacidad de 200g y exactitud de 0.1g
- Espátula de acero
- Horno que mantenga temperatura constante de 110ºC +- 5 ºC
- Tamices de 3/8 y ¼

Preparación

El agregado debe pasar el 100 % por el tamiz 3/8 y sea retenido sobre el tamiz 1/4.

Fotografía 24: Preparación del Agregado

Lavar el agredo retenido para quitar todo los finos.

Secar a una temperatura de 13ºC a 149ºC hasta mantener un peso constante.

Se pesa 100g a temperatura ambiente de agredo secado en horno dentro del recipiente de mezcla, luego añadimos 5.5 g de material bituminoso.

Fotografía 25: Mezcla de Agregado y Cemento Asfáltico (AC-20)

Mezclo vigorosamente el material con el agregado durante 2 minutos

Fotografía 26: Mezcla Cemento Asfáltico y Agregado

Se cura en el horno a 60ºC durante 2 horas para luego enfriarla a temperatura ambiente.

Toda esta mezcla la sumerjo en agua dentro de un recipiente de vidrio cubriendo totalmente con 400ml de agua destilada a 25ºC el agregado lo dejo inmerso entre 16 y 18 horas.

Fotografía 27: Colocación de la Mezcla En Agua Destilada

Sumersión de la mezcla en el agua, después de este periodo elimino cualquier película que este flotando. Luego se observa que no exista ningún tipo de brillo o reflejo en la superficie del agua y estimo visualmente si el agregado sigue recubierto de asfalto o no.

Fotografía 28: Visualizamos la Mezcla

Unas vez cuantificado visualmente las partículas recubiertas de asfalto con las no recubiertas cuantificamos su porcentaje que es de un 98%.

3.1.5 PARTÍCULAS ALARGADAS

Norma ASTM D4791

Equipo

- Calibrador de grosores
- Balanza apreciación 0.1g
- Cuarteador
- Horno capaz de mantener 110 ºC constante
- Tamices

Preparación De La Muestra

Separar por cuarteo una muestra representativa según la tabla

Fotografía 29: Cuarteo para muestra representativa

Tamices mm		Calibradores		Masa Mínima Kg	
Pasa	Retiene	Grosor	Longitud		
		mm	mm		
63	50	33.9		50	
50	40	27.0	81.0	35	
40	25	19.5	58.5	15	
25	20	13.5	40.5	5	
20	12.5	9.7	29.2	2	
12.5	10	6.7	20.2	1	
10	6.3	4.9	14.7	0.5	

Tabla 24: Masa Mínima para Ensayo
Fuente: Tabla Astm D4791

Una vez separada la muestra secar el horno a 110ºC hasta conseguir masa constante y dejar enfriar a temperatura ambiente.

Fotografía 30: Muestra Cuarteada

Se efectúa la granulometría por los tamices desde 1 pulgada a retenido en 3/8.

Fotografía 31: Tamizado de Material

Clasifico los materiales pasante 1 pulgada retenido en 3/4, pasante 3/4 retenido a 1/2, y por último de 1/2 a 3/8. Peso por separado cada retenido y coloco en diferentes recipientes.

Fotografía 32: Separación de materiales según tamiz

Este material se le pasa mecánicamente por la ranuras del calibrador para ir clasificando por tamaños.

Fotografía 33: Calibrador de partículas

Cálculo

De la masa total obtenida para el ensayo se la relaciona con las masas parciales de cada abertura del calibrador. El resultado se lo expresa en porcentajes.

$$\% \, de \, lajas = \frac{\text{Masa retenido en la abertura}}{\text{m}asa \, total \, de \, la \, muestra}$$

Tabla de cálculo

Tamices (mm)				
PASA	RETIENE	PESO INICIAL Kg	PESO DESPUÉS DEL ENSAYO Kg	% OBTENIDO
1	3/4	5	0,36	7,2
3/4	1/2	1	0,07	7
1/2	3/8	0,5	0,025	5
			PROMEDIO	**6,4%**

Tabla 25: Cálculo de Ensayo Partículas Alargadas
Fuente: Luis Terán Molina

3.1.6 CARAS FRACTURADAS DEL AGREGADO GRUESO

Norma ASTM D5821

Equipo

- Balanza apreciación 0.1g
- Cuarteador apropiado por tamaño de la muestra
- Tamices
- Espátula

Preparación de la muestra

La cantidad de muestra para cada fracción se obtendrá previo cuarteo, por tamizado a partir de muestras representativas.

Fracciones según Tamices mm	Muestra de Áridos de Cada Fracción en Gramos
100-90	50.000
90-80	30.000
80-63	18.000
63-50	10.000
50-40	6.000
40-25	3.000
25-20	1.500
20-12.5	1.000
12.5-10	500
10-5	350
5-2.5	100

Tabla 26: Cantidad de Muestra Según Tamaño
Fuente: Tabla Astm D5821

Procedimiento

Del material adquirido se procede a cuartear para obtener una muestra representativa del agregado grueso según Tabla No 3.6.1 se toma aproximadamente 1.950 gr.

Fotografía 34: Cuarteamos el Material

A continuación paso por el tamiz 1 pulgada y que sea retenido en el tamiz No 4, la misma que procedo a pesar.

Fotografía 35: Material retenido el tamiz No 4

Donde visualmente se observa las partículas que tengan por lo menos una cara fracturada que debe ser mínimo 85% y el 80% de estas particular deberá tener por lo menos dos caras fracturadas.

Fotografía 36: Separación visual de Caras Fracturadas

Calculo

Tamiz Retenido No 4 (gr)	Mínimo una cara Fracturada (gr)	Dos o Más caras Fracturadas (gr)
1925	1815,85	1640,2
A	**B**	**C**

$$\textbf{\% Mínimo una cara Fracturada } = \frac{B}{A}\ X\ 100 = 94.33\%$$

$$\textbf{\% Dos o más caras Fracturadas} = \frac{C}{B}\ X\ 100 = 90.33\%$$

Donde

A=Peso de material retenido en el tamiz No 4

B= Peso de las partículas de mínimo una cara fracturada

C= Peso de las partículas de dos o más caras fracturadas

3.1.7 EQUIVALENTE DE ARENA

Norma ASTM D2419

Equipo

- Cilindro graduado de aproximándome 430 mm

- Embudo
- Recipiente
- Reloj o cronometro
- Solución
- Tamiz No 4
- Varilla de aforamiento
- Balanza
- Botellas para la solución de mezcla
- Horno con temperatura contaste de 110ºC

Preparación de la Muestra

Mezclo la solución disolviendo 85 ml de cloruro de calcio en 3.8 litros de agua destilada.

Fotografía 37: Preparación de la solución de Cloruro de Calcio

.

Fotografía 38: Material mínimo 1500g que pasa el tamiz No 4 para nuestro ensayo

Secar la muestra a una temperatura 110ºC hasta obtener masa constante, dejar enfriar a temperatura ambiente.

Fotografía 39: Colocación de solución en probeta 4 pulgadas de altura

Fotografía 40: Colocación del Material con la Solución

Fotografía 41: Reposar durante 10 minutos

Una vez que reposo los 10 minutos se procede a tapar nuestra probeta y agitar 90 veces en aproximadamente 30 segundo con un recorrido de 20 a 30 cm.

Fotografía 42: Agitación de la Muestra.

Una vez agitada la muestra se procede a limpiar las paredes interiores de la probeta con la solución para que no quede residuos del material.

Fotografía 43: Limpieza de las paredes internas de la Probeta

Procedo a varillar la mezcla y a llenar nuestra probeta con 380 mm de solución y dejar reposar durante 20 minutos.

Fotografía 44: Reposar por 20 minutos

Para luego colocar la varilla hasta que repose sobre el sedimento de arena y proceder a medir la altura y luego medir la altura total de la muestra.

Fotografía 45: Medición de alturas

Cálculo

MUESTRA	LECTURA ARCILLA	LECTURA ARENA	EQUIVALENTE DE ARENA
1	4,2	4,1	98%
2	4,8	4,6	96%
		PROMEDIO	97%

Tabla 27: Cálculo Equivalente de Arena

Fuente: Luis Terán

3.2 ENSAYOS PARA EL CEMENTO ASFALTICO

3.2.1 ENSAYO DE PENETRACIÓN MATERIALES BITUMINOSOS

Norma AASHTO T-49, ASTM D-5 & INEN 0917:83

Equipo:

- Penetrómetro, constituido por un mecanismo que permita el movimiento vertical sin rozamiento apreciable, de un vástago o soporte móvil al que se fija firmemente en su parte inferior la aguja de penetración; la masa del vástago será de 47.5 ± 0.05 g y en conjunto con la aguja 50 ± 0.05 g. Se debe disponer de masas suplementarias de 50 y 100 ± 0.05 g para realizar los diversos ensayos.
- Aguja de penetración, de acero inoxidable templado, grado 440 C o similar, de dureza Rockwell C54 a C60, de 50 mm de longitud y entre 1.00 y 1.02 mm de diámetro.
- Baño de agua, capacidad no menor de 10 litros, capaz de mantener temperatura especificada para el ensayo con variación de ± 0.1ºC. El tamaño del baño debe ser tal que la muestra pueda estar sumergida a una profundidad no menor de 10 mm y colocada en un anaquel perforado a una distancia no menor de 50 mm desde el fondo. El recipiente debe estar libre de impurezas.
- Contador de tiempo o cronómetro.
- Termómetro de mercurio con varilla
- Recipiente metálico o de vidrio cilíndrico

Procedimiento.

Preparar dos moldes por cada muestra de material bituminoso, calentar el material que no me produzca burbujeo de aire.

Fotografía 46: Colocación del AC-20 en el recipiente metálico

Se coloca el material bituminoso (AC-20) en los moldes metálicos la cantidad de 400g a 500g de material cubrir de polvo y dejar enfriar a temperatura ambiente durante 1 hora.

Sumerjo los recipientes en baño maría a 25ºC durante 1 hora.

Fotografía 47: Colocación los recipientes en Baño María

Las muestras deben estar sumergidas a una profundidad no menor a 10mm, el recipiente debe estar libre de impurezas.

Fotografía 48: Muestras sumergidas a Baño María

Se prepara el equipo como se puede apreciar en al siguiente foto se procede a colocar la aguja sobre la superficie de nuestro material el peso total entre la ajuga y el vástago es de 100g.

Fotografía 49: Equipo para medir la Penetración del AC-20

Una vez teniendo listo el equipo y la muestra se realiza el ensayo el mismo que se debe efectuar 3 ensayos en cada muestra como mínimo para de tal manera obtener una media

aritmética. Este ensayo debe ser realizado en el lapso de 5 segundos para cada penetración. Tomando las lecturas que el penetrometro indica.

Fotografía 50: Obtención de medición en 5 segundos.

Cálculo

No Ensayo	Lectura del Penetrometro
1	63.2
2	69.8
3	68.2

Tabla 28: Cálculo Ensayo del Penetrometro
Fuente: Luis Terán

Resultado Obtenido 67.03

Resultado Reporte 67

3.2.2 ENSAYO PUNTO DE INFLAMACIÓN

Norma ASTM D92-12B & INEN 0808:87

Equipo

- Mechero
- Envase de calentamiento
- Termómetro
- Flama para comprobar el punto de inflamación.

Colocar el material bituminoso en el envase de calentamiento, y procedemos a calentar.

Fotografía 51: Calentar el material Bituminoso

Realizo algunas pasadas de la flama sobre el material bituminoso a una altura aproximada de 4 mm, hasta observar que el asfalto se encienda con una llama de color azul, este es el punto de inflamación del asfalto el mismo que esta medido en grados centígrados.

Fotografía 52: Medición de temperatura cuando existen centellas de luz

Como punto de inflamación reporto la temperatura a la cual el asfalto da sus primeras centellas para encenderse.

En nuestro caso la temperatura que provoca estos destellos es de 240ºC.

3.2.3 ENSAYO DEL PESO ESPECÍFICO DEL ASFALTO

Norma ASTM D70-09 & INEN 0923:84

Equipo:

- Picnómetro en forma cónica
- Baño de agua capaz de mantener temperatura constante a 25 ºC
- Termómetro
- Vaso de vidrio

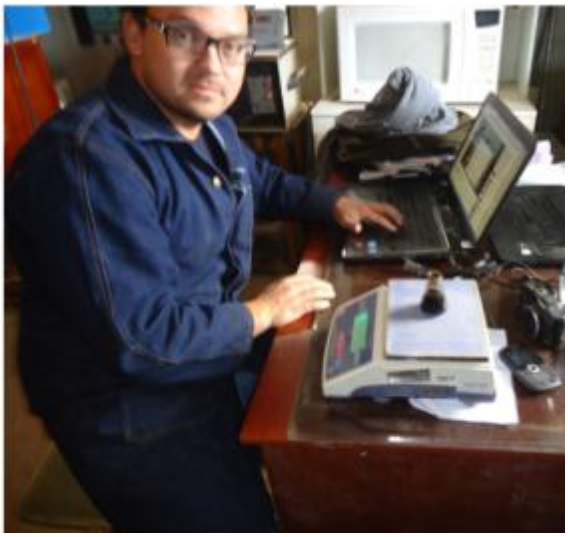
- Agua destilada
- Balanza apreciación +- 0.1g

Aforo el picnómetro, luego coloco el material bituminoso hasta la línea de aforo del picnómetro

Fotografía 53: Colocación del AC-20 Hasta llegar al aforo del picnómetro

Dejo enfriar durante no menos de 30 minutos temperatura ambiente a 25ºC y compruebo que este en el nivel de aforo.

Sumergirle en el baño de maría manteniéndole a 25ºC por el tiempo de 20 minutos para luego ser pesado.



Fotografía 54: Peso del picnómetro con AC-20

Cálculo

$$Peso\ especifico\ del\ asfalto = \frac{\text{masa del asfalto}}{\text{volumen del picnometro aforado}}$$

Masa del asfalto= 25.38 g

Volumen del Picnómetro aforado=25 cm3

Peso específico AC-20 = 1.015 g/cm3.

3.3 DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS

Una vez que los agregados y el cemento asfaltico cumplan las especificaciones para la realización de mezclas asfálticas, continuamos con el diseño de mezclas asfálticas.

La granulometría es lo primero que se debe considerara para la relación de mezclas asfálticas. Esta afecta casi todas las propiedades importantes de una mezcla en caliente como su estabilidad, durabilidad, permeabilidad, resistencia a la humedad, dureza, fatiga y trabajabilidad.

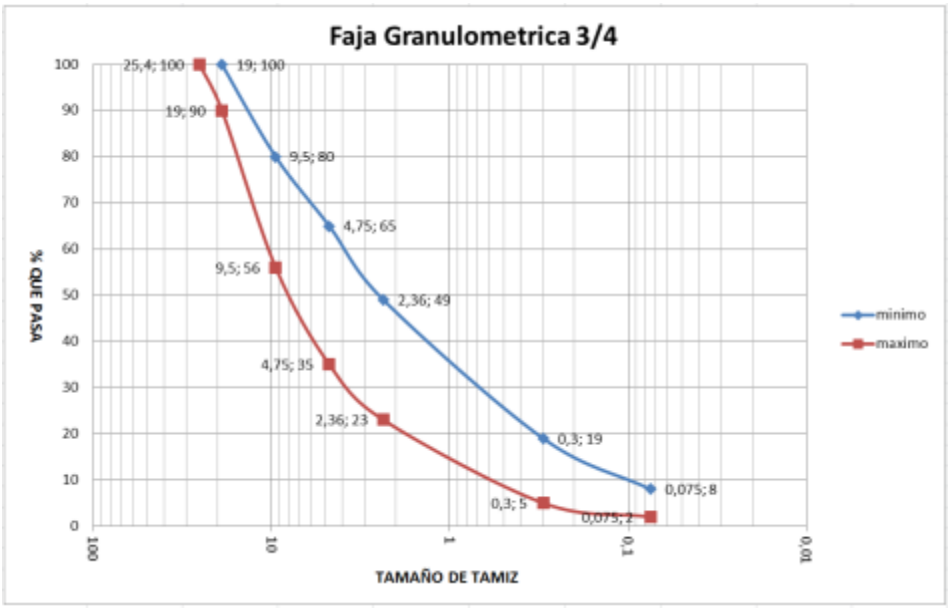
Las mezclas granulares para la realización de mezclas asfálticas se utilizan de acuerdo a lo especificado en el libro de construcciones y caminos MOP-001-F-2002.

A continuación mostramos las diferentes granulometrías permitas por el MOP para la realización de mezclas asfálticas en caliente.

TAMIZ	Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada			
	3/4"	1/2"	3/8"	No4
1"	100	-	-	-
3/4"	90-100	100	-	-
1/2"	-	90-100	100	-
3/8"	56-80	-	90-100	100
No4	35-65	44-74	55-85	80-100
No8	23-49	28-58	32-67	65-100
No16	-	-	-	40-80
No30	5-19	-	-	25-65
No50	-	5-21	7-23	7-40
No100	-	-	-	3-20
No200	2-8	2-10	2-10	2-10

Tabla 29: Granulometrías para Diseños de Mezclas Asfálticas
Fuente: Tabla 405.5.1 MOP-001F-2002

La granulometría que se utiliza para la realización del diseño de mezclas asfálticas en caliente es la de “3/4” ya que mi tamaño máximo nominal de los agregados es de 1 pulgada.



Fotografía 55: Límites Para Granulometría Faja 3/4
Fuente: Luis Alberto Terán Molina

3.3.1 GRANULOMETRÍA ÁRIDO GRUESO (AASHTO T88 ASTM D422)

Se procede hacer el tamizado una vez lavada y secado al horno a temperatura 110ºC hasta mantener masa constante.

Fotografía 56: Tamizado Agregado Grueso

TAMIZ	PESO RET. ACUM (gr)	% RET. ACUM	% QUE PASA
1”	0	0	100
¾”	345.0	19.3	80.17
3/8”	1456	81.3	18.7
No 4	1756.7	98	2
No 8	1758.3	98.1	1.9
No 50	1759.0	98.2	1.8
No 200	1760.6	98.3	1.7

Tabla 30: Granulometría Agregado Grueso
Fuente: Luis Alberto Terán Molina

Fotografía 57: Curva Granulométrica Agregado Grueso
Fuente: Luis Alberto Terán Molina

3.3.2 GRANULOMETRÍA ÁRIDO FINO

Norma AASHTO T88 & ASTM D422

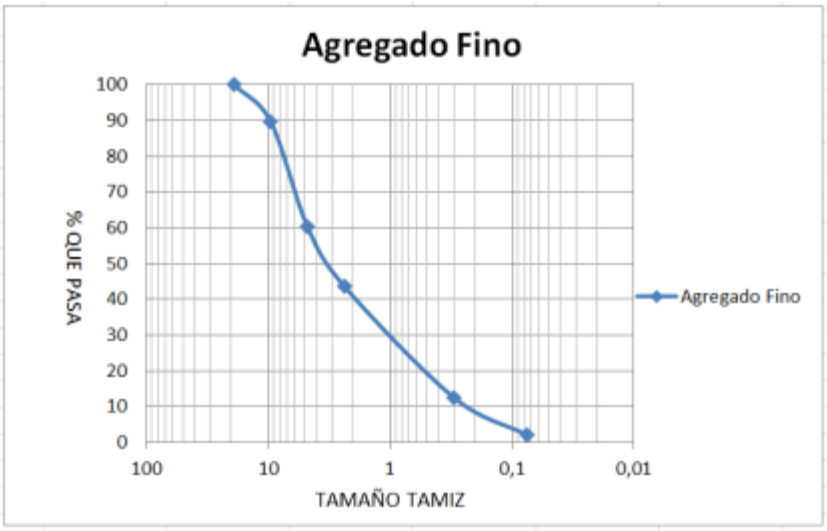
Se toma todo el material pasante el tamiz No 4, se pesa en la balanza de 20kg y se anota en la hoja de registro. Se vierte la muestra en el Tamiz No 200, teniendo el cuidado de no perder el material. Luego se elimina las partículas inferiores al Tamiz No 200 lavando el material. Hasta que el agua salga limpia y clara. Todo el material retenido en el Tamiz No 200 será

arena, ya que los finos fueron lavados. Luego se seca la muestra a una temperatura de 105ºC hasta mantener masa constante.

Fotografía 58Tamizado Agregado Fino

TAMIZ	PESO RET. ACUM.	% RET. ACUM	% QUE PASA
¾”	0	0	100
3/8”	98	10.4	89.6
No 4	375.4	39.7	60.3
No8	533.1	56.4	43.6
No50	826.0	87.4	12.6
No 200	924.7	97.9	2.1

Tabla 31Granulometría Agregado Fino
Fuente: Luis Alberto Terán Molina



Fotografía 59: Curva Granulométrica Agregado Fino
Fuente: Luis Alberto Terán Molina

3.3.3 GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LOS MATERIALES

3.3.3.1 GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO GRUESO

Norma ASTM C 127, AASHTO T85-74 & INEN 0857:2010

Equipo:

- Balanza apreciación +- 0.5 gr
- Bandeja metálica
- Cesto metálico
- Tanque de agua
- Tamiz ASTM No 4
- Horno de secado capaz de mantener 100ºC

Preparación de la Muestra

Tamaño máximo nominal	Masa mínima de la muestra para ensayo
mm	Kg
12.5 o menor	2
19	3
25	4
37.5	5
50	8
63	12
75	18
90	25
100	40
125	75

Tabla 32: Masa mínima de muestras para ensayo
Fuente: INEN 0857:2010

Se toma 6.000 g lo lavamos y se lo seca en el horno a 110ºC hasta obtener masa constante. A este material lo sumergió en agua a 25ºC durante 24 Horas.

Se seca el material con una toalla sola las partículas de espejo de agua ahí obtengo la muestra seca saturada de la cual se toma 5.000g para empezar el ensayo y este sería el primer peso.

Fotografía 60: Muestra seca Saturada

Fotografía 61: Pesamos 5.000gr de muestra

Estos 5.000g lo sumerjo dentro de la canastilla aforada y obtenemos nuestro segundo peso que es el peso de material sumergido en agua,

Fotografía 62: Peso sumergido en agua

Luego se lo extrae sin perder una solo partícula del material para luego secar al horno hasta obtener masa constante que sería nuestro tercer peso.

Fotografía 63: Peso Seco en horno

Con estos tres pesos realizamos los cálculos

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 1" y retenido en el tamiz 4"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4912
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3056

Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2,527
Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2,572
Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2,647
% de Absorción = (B-A)/A*100	1,79

Tabla 33: Cálculo Gravedad específica Agregado Grueso
Fuente: Luis Terán

3.3.3.2 GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO FINO

Norma ASTM C 128 AASHTO & T84 INEN 0856:2010

Equipo

- Molde cónico y compactador.- (para ensayo de humedad superficial) molde metálico en forma de cono truncado, con las siguientes dimensiones: 40±3 mm de diámetro interno superior, 90±3 mm de diámetro interno en la base y 75±3 mm de altura; el metal debe tener un espesor mínimo de 0.8 mm. El compactador debe tener una masa de 340±15g y una cara compactadora circular plana de 25±3 mm de diámetro.
- Matraz aforado con capacidad de 1.000 ml
- Balanza con apreciación 0.1 g
- Bandeja metálica
- Horno de secado capaz de mantener una temperatura constante de 110ºC
- Baño de agua destilada
- Brocha fina

Preparación de la Muestra

Adquirir una muestra homogénea de todo el material pasante el tamiz 3/8 la misma que es representativa del stock de material que se tenga para este ensayo.

De este material se toma una muestra de aproximadamente unos 1.000g los mismos que los sumergimos totalmente dentro del agua y se lo deja por un periodo de 24 horas.

Fotografía 64: Agregado Fino sumergido en Agua

Luego de las 24 horas procedo a escurrir todo el agua del material sin permitir que escape los finos del mismo, acción seguida a secarle al ambiente hasta obtener una humedad adecuada para el ensayo, la misma que se obtiene verificando cada cierto tiempo con el cono de ensayo, colocando 3 capas con 25 golpes cada capa con el martillo de compactación del cono, A la par de este procedimiento se procede a tomar pesos del matraz aforado con agua y de esta manera obtengo este peso para realizar el cálculos.

Fotografía 65: Colocación del material Húmedo en el Cono

Fotografía 66: Cono de material húmedo elaborado

Se procede a tomar el material cuando esté con un solo golpe del martillo se desintegra suavemente, de este material tomamos 500g que sería nuestro peso seco saturado.

Fotografía 67: Material Seco Saturado

En el matraz aforado se coloca la mitad de agua destilada para luego colocar los 500g de material en estado de superficie seca saturado. Procedemos agitarlo hasta quitar todas las burbujas de agua.

Fotografía 68: Peso del material en estado de superficie seca saturada

Fotografía 69 : Colocación del material en el matraz aforado

Fotografía 70: Eliminación de Burbujas

Se coloca a la bomba de vacíos para sacar todas las burbujas de aire del material este procedimiento se lo realiza durante 15 minutos con esto tenemos la certeza de haber sacado el 99% de las burbujas de aire.

Se completa el agua en el matraz hasta el nivel de aforo, y se procede a pesar y obtenemos el peso sumergido en agua.

Los 500g de muestra de la superficie seca saturada se introducen al horno a 110ºC durante 24 horas hasta obtener masa constante que sería nuestro peso seco.

Fotografía 713.3.3.2.7: Peso Seco

Cálculos

Material que pasa el tamiz 3/8"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	489,3
V=	Volumen de la probeta	500
W=	Peso en gramos o en cc del agua añadida	303,4

Gravedad específica de la masa = A/(V-W)	2,489
Gravedad específica de s.s.s = 500/(V-W)	2,543
Gravedad específica aparente = A/(V-W)-(500-A)	2,632
% de Absorción = (500-A)/A*100	2,19

Tabla 34: Cálculo Gravedad especifica Agregado Fino
Fuente: Luis Terán

3.4 PREPARACIÓN DE LAS MEZCLAS CON DISTINTOS PORCENTAJES DE ASFALTO

3.4.1 MEZCLA DE AGREGADOS GENERAL

Luego de haber obtenido los resultados granulométricos por separado se realiza distintos tanteos con porcentajes de cada uno de los materiales hasta obtener que la curva granulométrica generada por esta mezcla se encuentre dentro de los límites de las especificaciones**.**

Como estos tanteos se los realiza matemáticamente adjunto el resultado obtenido para la elaboración de la mezcla propuesta para el diseño.

FRACCIÓN / TAMICES	% USADO	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	35,00%	35,0	28,2	6,5	0,7	0,7	0,6	0,6
AGREGADO MEDIO	0,00%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AGREGADO FINO	65,00%	65,0	65,0	58,2	39,2	28,3	8,2	1,4
		100,0	93,2	64,8	39,9	29,0	8,8	2,0
PROMEDIO ESPECIFICADO		100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES		100	90	56	35	23	5	2
		100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS		±8%	±8%	±7%	±7%	±6%	±5%	±3%
FAJA DE TRABAJO		100	90	61	37	26	6	1
		100	100	75	51	38	17	7

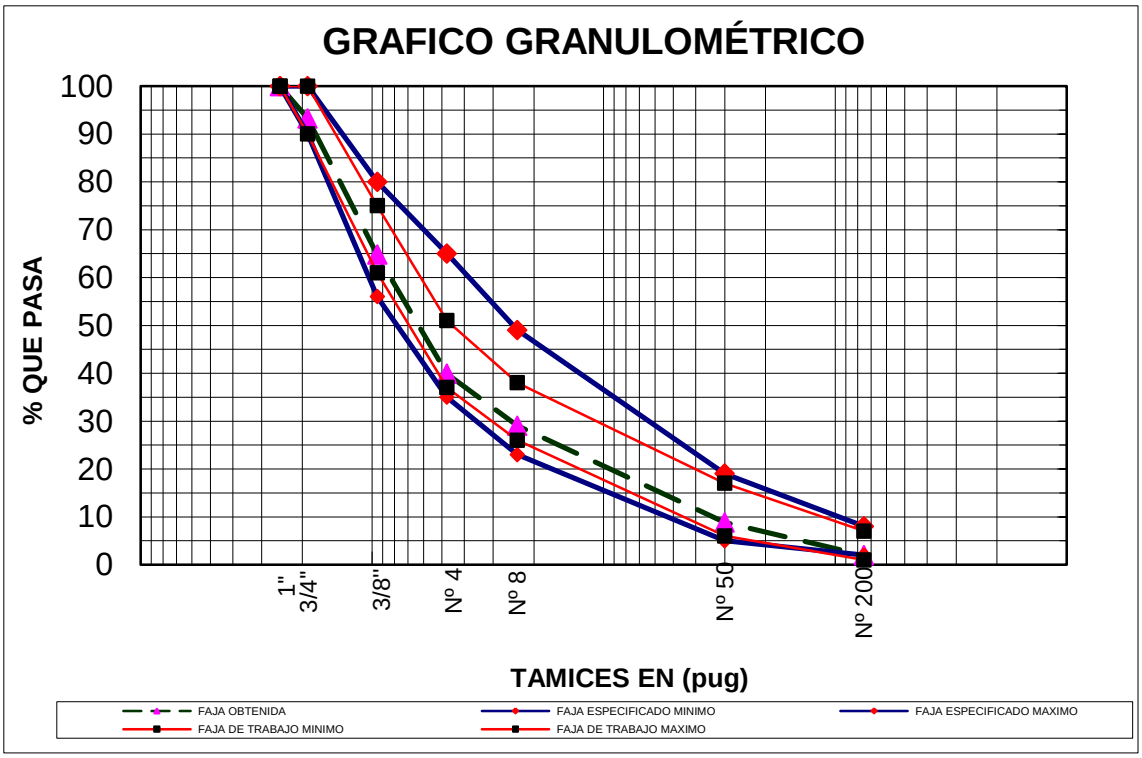


Tabla 35: Mezcla de agregados propuesto para el diseño de MAC

3.4.2 ELABORACIÓN DE BRIQUETAS CON DISTINTOS PORCENTAJES DE ASFALTO

Norma ASTM D-1559

Los agregados serán calentados a una temperatura del orden de 60ºC.

El cemento asfaltico se calentara a una temperatura comprendida entre 130ºC y 150ºC.

Las briquetas serán confeccionadas en molde de 4'' de diámetro y compactadas con 75 golpes por lado con el martillo de 10 libras, según método Marshall.

Estas briquetas se van confeccionando con distintos porcentajes de asfalto que para nuestro caso es 4.5, 5%, 5.5 % y 6%.

De estos porcentaje se realiza tres briquetas por cada uno las mismas que nos servirán para obtener las gráficas siguientes Densidad Bulk, estabilidad, vacíos, vacíos en el agregado minera y flujo, de estas graficas conseguimos el porcentaje óptimo de asfalto.

Secado de la mezcla de agregados hasta obtener temperatura de 140ºC del agregado.

Fotografía 72: Agregados a 140ºC

Teniendo la mezcla de agregados a 140ºC se extrae de la estufa para pesar el porcentaje del asfalto para obtener nuestro primer grupo de briquetas y así seguimos con todos los porcentajes que hemos propuesto en este diseño, elaborando de cada porcentaje un conjunto de 3 briquetas las mismas que posteriormente serán ensayadas con las pruebas Marshall.

Fotografía 73: Peso del Cemento Asfaltico (AC-20)

Fotografía 74: Homogenización de la mezcla a 150ºC

Teniendo la mezcla de agregados a 140ºC se saca de la estufa para pesar el porcentaje del asfalto, para obtener nuestro primer grupo de briquetas y así seguimos con todos los porcentajes que hemos propuesto en este diseño.

Fotografía 75: Mezcla homogenizada a 150ºC

Fotografía 76: Preparación de molde de briquetas 110ºC

Fotografía 77: Colocación de la mezcla Para elaborar la briqueta a 140ºC

Fotografía 78: Compactación de MAC 75 golpes por lado

Fotografía 79: Briquetas con los distintos porcentajes de asfalto propuestos

3.4.3 ELABORACIÓN DE ENSAYOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA EN CALIENTE

Obtenido las Briquetas con los distintos porcentajes propuesto para este diseño se procede a realizar los siguientes ensayos.

3.4.3.1 ENSAYO DE LA DENSIDAD BULK DE LA BRIQUETA

Norma ASTM d 1188 & AASHTO T166-07

Se procede a pesar las briquetas en el aire luego se les deja sumergidas en agua durante 1 hora y se procede a secar con una toalla la película del espejo de agua dejándola a la briqueta seca saturada y se pesa, para termina sumergiéndoles en agua y pesando al mismo tiempo.

Con estos pesos se procede a realizar los cálculos para obtener la densidad Bulk de las briquetas con los distintos porcentajes de asfaltos.

Fotografía 80: Peso briqueta en aire

Fotografía 81: Peso briqueta seco saturado

Fotografía 82: Peso briqueta Sumergido en Agua

Cálculos

BRIQUETA No.	% C.A.	FACTOR CORREC.	PESO GRAMOS Aire	Saturado	Agua	VOL. cm3.	DENSIDAD BULK
1	4,5%	0,76	1221,7	1227,3	612,5	614,8	1,987
2		0,76	1264,9	1268,1	627,2	640,9	1,974
3		0,86	1190,3	1197,1	630,9	566,2	2,102
PROMEDIO							**2,021**
1	5,0%	0,86	1209,1	1212,3	645,3	567,0	2,132
2		0,89	1189,4	1193,0	637,8	555,2	2,142
3		0,93	1180,5	1182,6	640,0	542,6	2,176
PROMEDIO							**2,150**
1	5,5%	0,83	1286,4	1287,6	712,6	575,0	2,237
2		0,81	1312,7	1313,9	725,9	588,0	2,232
3		0,83	1323,5	1324,9	746,3	578,6	2,287
PROMEDIO							**2,252**
1	6,0%	0,76	1344,2	1344,9	730,2	614,7	2,187
2		0,81	1290,7	1291,3	698,9	592,4	2,179
3		0,83	1266,6	1267,5	690,5	577,0	2,195
PROMEDIO							**2,187**

Tabla 36: Densidad Bulk
Fuente: Luis Alberto Terán

3.4.3.2 ENSAYO DE ESTABILIDAD Y FLUJO

Norma ASTM D-6927-06

Después de que la gravedad específica se ha determinado, se desarrolla la prueba de estabilidad y flujo, que consiste en sumergir el espécimen en un baño María a 60ºC de 30 a 40 minutos antes de la prueba.

Con el equipo de prueba listo se removerá el espécimen de prueba de baño María y cuidadosamente se secara la superficie, colocándolo y centrándolo en la mordaza inferior, se procede a colocar la mordaza superior y se centrara en el equipo de carga, para posteriormente aplicar la carga de prueba al espécimen a una deformación constante de 51mm (5 pulgadas) por minuto hasta que ocurra la falla. El punto de falla está definido por la lectura de carga máxima obtenida.

El número total de Newton (lb) requerido para que se produzca la falla del espécimen se registra como el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba está en proceso se deberá mantener el medidor de flujo sobre la barra guía y cuando la carga empiece a disminuir hay que tomar la lectura y registrarla como el valor de flujo final.

Fotografía 83: Inmersión de briquetas en Baño María

Fotografía 84: Colocación de briqueta en la mordaza

Fotografía 85: Lectura de estabilidad y flujo

3.4.3.3 GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA TEÓRICA DE LA MEZCLA SUELTA" ENSAYO RICE "

Norma AASHTO T209-08

Se realiza tomando aproximadamente más de 1.500g de la mezcla asfáltica preparada, colocamos en el frasco con agua destilada y continuo agitándolo vigorosamente para colocarle la bomba de vacíos, de tal manera de dejarle a la mezcla sin burbujas de aire por

ende sin vacíos entre las partículas esto lo realizamos en un lapso de 15 a 30 minutos de esta manera se obtiene mediante pesos y las formulas normalizadas para obtener nuestra gravedad especifica teórica.

Fotografía 86: Extracción de vacíos de la MAC

Cálculos

A=	Peso de la muestra	1750
D=	Peso del recipiente + agua	5400
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6421
Densidad Rice gr/cc =	A/(A + D - E)	**2,401**

Tabla 37: RICE
Fuente: Luis Alberto Terán

3.4.3.4 CALCULO DE VACÍOS DE LA MEZCLA

3.4.3.4.1 PORCENTAJE TOTAL DE VACÍOS

$$Pa = 100x\frac{Gmm - Gmb}{Gmm}$$

Dónde:

Gmm: Rice

Gmb: Bulk promedio de la briquetas

3.4.3.4.2 PORCENTAJE DE VACÍOS EN LOS AGREGADOS MINERALES

$$Vam = 100 - \%Vagr$$

Donde

% Vagr: %Volumen de agregados

3.4.3.4.3 VOLUMEN EFECTIVO DE ASFALTO

$$Vea = \frac{Va}{Vam}x100$$

Dónde:

Va: Volumen de asfalto

Vam: % de vacíos en agregados mineral

CAPÍTULO 4

4.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1.1 FORMULA MAESTRA

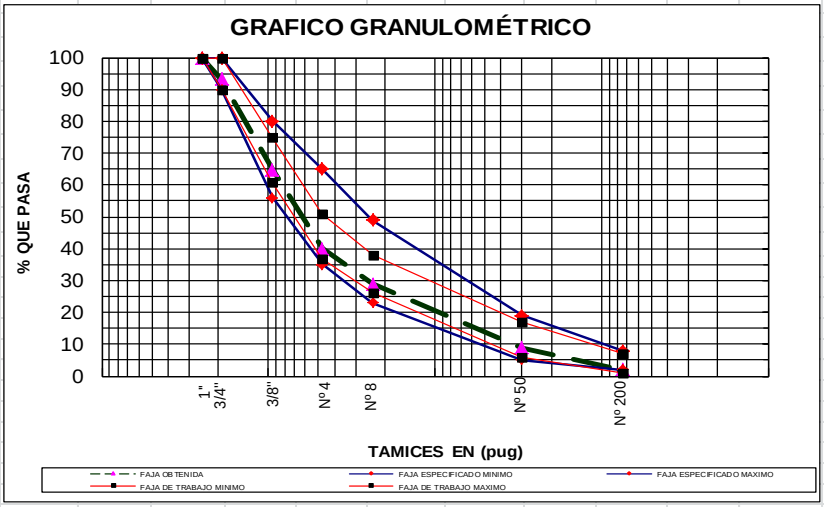
Una vez seleccionados los áridos proveniente de la mina Cashapamba, y realizados todos los ensayo especificado por las normas vigentes concluimos en el siguiente informe. De donde obtenemos nuestra formula maestra.

ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS

TAMIZ	AGREGADO GRUESO			AGREGADO MEDIO			AGREGADO FINO			MEZCLA	
	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	PESO RET. ACUMUL.	% RET. ACUM.	% QUE PASA	ESPECIFICACIONES Tabla 404-5,1, "C" % QUE PASA	
1"	0	0	100	0	0	100	0	0	100	100	100
3/4"	345,0	19,3	80,7	0	0	100	0	0	100	90	100
3/8"	1456,0	81,3	18,7	0	0	100	98	10,4	89,6	56	80
Nº 4	1756,7	98	2	0	0	100	375,4	39,7	60,3	35	65
Nº 8	1758,3	98,1	1,9	0	0	100	533,1	56,4	43,6	23	49
Nº 50	1759,0	98,2	1,8	0	0	100	826,0	87,4	12,6	5	19
Nº 200	1760,6	98,3	1,7	0	0	100	924,7	97,9	2,1	2	8
Pasa 200	31,2	1,7		0	0		20,1	2,1			
TOTAL	1791,8			0			944,8				

MEZCLA PROPUESTA

FRACCIÓN / TAMICES	% USADO	1"	3/4"	3/8"	Nº 4	Nº 8	Nº 50	Nº 200
AGREGADO GRUESO	35,00%	35,0	28,2	6,5	0,7	0,7	0,6	0,6
AGREGADO MEDIO	0,00%	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
AGREGADO FINO	65,00%	65,0	65,0	58,2	39,2	28,3	8,2	1,4
		100,0	93,2	64,8	39,9	29,0	8,8	2,0
PROMEDIO ESPECIFICADO		100	95	68	50	36	12	5
ESPECIFICACIONES		100	90	56	35	23	5	2
		100	100	80	65	49	19	8
TOLERANCIAS		±8%	±8%	±7%	±7%	±6%	±5%	±3%
FAJA DE TRABAJO		100	90	61	37	26	6	1
		100	100	75	51	38	17	7



GRAVEDAD

ESPECÍFICA

AGREGADO GRUESO

Material que pasa el tamiz 1" y retenido en el tamiz 4"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	4912
B=	Peso en el aire de la muestra saturada	5000
C=	Peso en el agua de la muestra saturada	3056

Gravedad específica de la masa = A/(B-C)	2,527
Gravedad específica de s.s.s = B/(B-C)	2,572
Gravedad específica aparente = A/(A-C)	2,647
% de Absorción = (B-A)/A*100	1,79

GRAVEDAD ESPECÍFICA AGREGADO FINO

Material que pasa el tamiz 3/8"

A=	Peso en el aire de la muestra secada al horno	489,3
V=	Volumen de la probeta	500
W=	Peso en gramos o en cc del agua añadida	303,4

Gravedad específica de la masa = A/(V-W)	2,489
Gravedad específica de s.s.s = 500/(V-W)	2,543
Gravedad específica aparente = A/(V-W)-(500-A)	2,632
% de Absorción = (500-A)/A*100	2,19

PESO ESPECÍFICO DE LA MUESTRA SUELTA (RICE)

	% de asfalto	4,5%	5,0%	5,5%	6,00%
A=	Peso de la muestra	1565	1715	1500	1496
D=	Peso del recipiente + agua	5400	5400	5400	5400
E=	Peso del recipiente + agua +muestra	6283	6382	6263	6232
Densidad Rice gr/cc =	A/(A+D-E)	2,295	2,340	2,355	2,253

ENSAYO DE GRAVEDAD ESPECÍFICA

PESO ESPECÍFICO PROMEDIO DE LA MEZCLA DE AGREGADOS		
% de Asfalto		5,63%
% de agregado en la mezcla		94,37%
% de agregado 1. con as/sin as	35%	33,03%
% de agregado 2 con as/sin as	0%	0,00%
% de agregado 3 con as/sin as	65%	61,34%
Total de la mezcla de agregados	100%	94,37%
Peso Es. Agreg 1		2,572
Peso Es. Agreg 2		0,000
Peso Es. Agreg 3		2,543

$$Peagr = \frac{\%\text{ de Agreg en la mezcla}}{\frac{\%Ag\ 1}{PE_1} + \frac{\%Ag\ 2}{PE_2} + \frac{\%Ag\ 3}{PE_3}}$$

Peagr = 2,553 gr/cc

PESO ESPECÍFICO VIRTUAL DE LA MEZCLA DE AGREGADOS	
% de Asfalto	5,63%
% de agregado en la mezcla	94,37%
Peso Específico mezcla (RICE) gr/cc	2,401
Peso Específico cemento as. gr/cc	1,015

$$PEv = \frac{\%\ \text{de Agreg en la mezcla}}{\frac{100}{PE.rice} \quad \frac{\%c.\ Asf}{PE\ c.\ as}}$$

PEv = 2,614 gr/cc

% C.A. ABSORBIDO POR LOS AGREGADOS

% ca-a = (Pev - Peag) / (Pev x Peag) x 100 x PE ca

% ca-a = 0,92 %

CONTENIDO EFECTIVO DE CEMENTO ASFÁLTICO

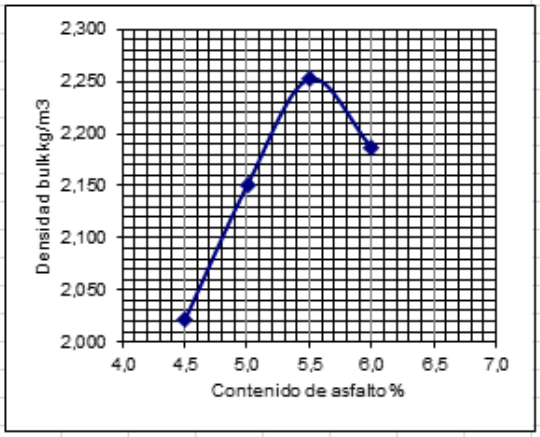
% CA.e = % ca - (% ca.a) / 100 x % Agr mezcla

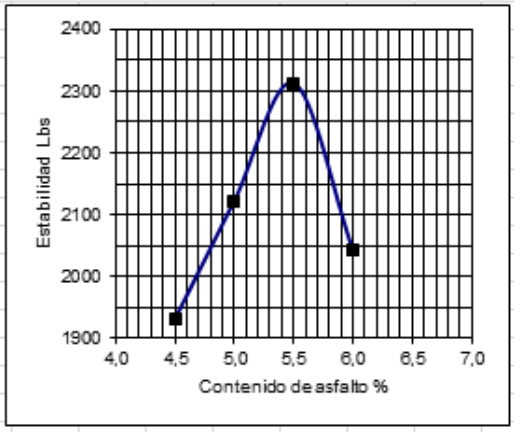
% CA.e = 4,44 %

ASFALTO CEMENTO ASFÁLTICO REFINERÍA DE ESMERALDAS

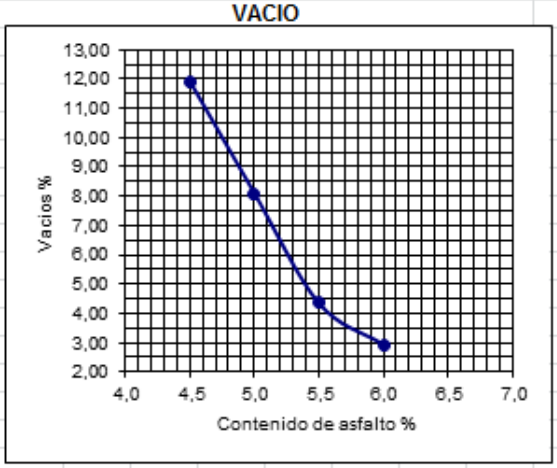
P.E.C.A.: **1,015**
P.E.Ag.: **2,553**

BRIQUETA	% C.A.	FACTOR	PESO GRAMOS			VOL.	DENSIDAD		VOLUMEN % DEL TOTAL			PESO UNIT	Vacíos Agr VAM	Vacíos llenos asfalto VAF	ESTABILIDAD (Lbs.)		FLUJO
No.		CORREC.	Aire	Saturado	Agua	cm3.	BULK	RICE	Asfalto	Áridos	Vacíos	(Lib/pie3)			Medida	Correg.	1/100"
1	4,5%	0,76	1221,7	1227,3	612,5	614,8	1,987								2412,0	1833,1	9,0
2		0,76	1264,9	1268,1	627,2	640,9	1,974								2553,0	1940,3	7,0
3		0,86	1190,3	1197,1	630,9	566,2	2,102								2350,0	2021,0	9,0
PROMEDIO							**2,021**	**2,295**	**8,95**	**79,12**	**11,93**	**126,11**	**24,41**	**51,13**		**1931**	**8,3**
1	5,0%	0,86	1209,1	1212,3	645,3	567,0	2,132								2456,0	2112,2	10,0
2		0,89	1189,4	1193,0	637,8	555,2	2,142								2389,0	2126,2	10,0
3		0,93	1180,5	1182,6	640,0	542,6	2,176								2290,0	2129,7	8,0
PROMEDIO							**2,150**	**2,340**	**7,73**	**84,17**	**8,10**	**134,17**	**20,00**	**59,49**		**2123**	**9,3**
1	5,5%	0,83	1286,4	1287,6	712,6	575,0	2,237								2788,0	2314,0	14,0
2		0,81	1312,7	1313,9	725,9	588,0	2,232								2875,0	2328,8	14,0
3		0,83	1323,5	1324,9	746,3	578,6	2,287								2766,0	2295,8	11,0
PROMEDIO							**2,252**	**2,355**	**7,48**	**88,17**	**4,35**	**140,55**	**16,64**	**73,86**		**2313**	**13,0**
1	6,0%	0,76	1344,2	1344,9	730,2	614,7	2,187								2678,0	2035,3	14,0
2		0,81	1290,7	1291,3	698,9	592,4	2,179								2528,0	2047,7	16,0
3		0,83	1266,6	1267,5	690,5	577,0	2,195								2464,0	2045,1	17,0
PROMEDIO							**2,187**	**2,253**	**11,46**	**85,60**	**2,93**	**136,46**	**19,49**	**84,94**		**2043**	**15,7**

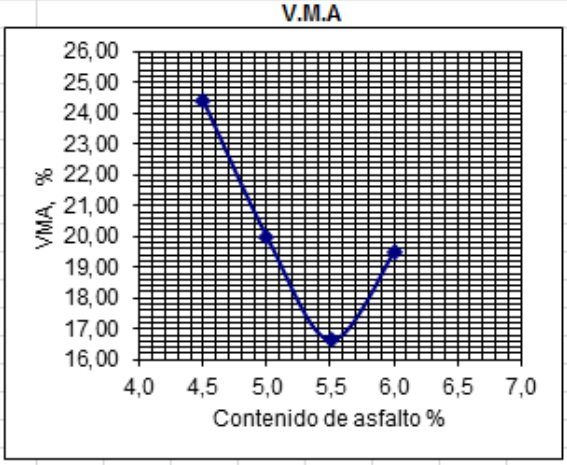




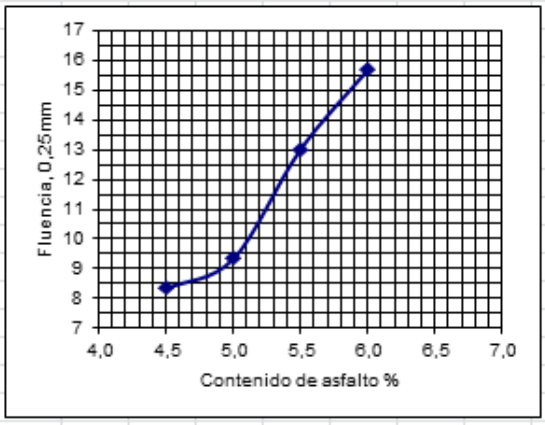
VACIO



V.M.A



FLUJO



PORCENTAJE DE ASFALTO

DENSIDAD BULK	=	5,80 %
ESTABILIDAD	=	5,50 %
% DE VACIOS	=	5,60 %
% OPTIMO C.A.	=	5,63 %

COMPROBACION :

% V.A.M. (> 13.0)	=	17,1 ok
FLUJO (8 -14)	=	13,6 ok

4.1.2 DESARROLLO DE LA FORMULA MAESTRA

Agregados:

Agregado de tamaño máximo nominal 1” = 35%

Agregado de tamaño máximo nominal 3/8” = 65%

Mezcla:

Agregado pétreo 94.37%

Asfalto AC-20 = 5.63%

Fórmula maestra obtenida:

Agregado grueso 33.03%

Agregado fino 61.34%

Asfalto AC-20 5.63%.

.

CAPÍTULO V

5.1 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1.1 CONCLUSIONES

- Antes de realizar cualquier ensayo en laboratorio se debe tomar en cuenta que todos los equipos estén calibrados y aprobados por el INEN, ya que si no tenemos la certeza de esta calibración todos los ensayos nos darán resultados incorrectos.

- Luego de haber realizado todos los ensayos necesarios se ha obtenido que con los materiales de la mina Cashapamba son aptos para la utilización en diseño y producción de mesclas asfálticas en caliente, debido que cumple con la abrasión, índice de plasticidad, desgate por sulfatos, porcentaje de caras fracturadas y achatadas, equivalente de arena.

- El procesamiento de los agregados en la trituración nos da 2 tipos de agregados con lo que tenemos un tamaño máximo nominal de 1 pulgada por lo tanto utilizaremos la granulometría de ¾ para diseños de mesclas asfálticas para que este dentro de los limites granulométricos.

- Los análisis realizados en el cemento asfaltico AC-20 nos indican que son los recomendados para la realización de las mezclas asfálticas en caliente, pero

debemos estar pendientes ya que la refinería algunas veces sacan el producto AC-20 con penetraciones que no cumplen en la normas para el diseño de mezclas asfálticas.

- Se utilizó el método Marshall para el diseño de las mezclas asfálticas en caliente, ya que este método se encuentra estipulado en la normativa ecuatoriana y del cual se pudo determinar el contenido óptimo de asfalto, el porcentaje de vacíos de la mezcla, estabilidad y flujos.

- Se obtiene la formula maestra con un porcentaje de asfalto óptimo de 5.63%, agregado grueso 33.03% y agregado fino 61.34%

- La estabilidad que tenemos en esta mescla es de 2.300 lb con lo cual cumplimos ya que mínimo tiene que ser de 2.200 lb, ya que si obtenemos mezclas con estabilidades menor a 2.200 lb se produce una mezcla con exceso de asfalto la cual produce ondulaciones y exudaciones en el pavimento terminado.

- El flujo obtenido en nuestra mezcla asfáltica es de 13.6 y la normativa me indica que tiene que estar entre 8 -14, si tenemos un flujo demasiado bajo lo que me ocasiona es un mezcla muy rígida la cual me provoca fisuramiento prematuro en mi pavimento.

- Se cumple con el objetivo planteado de establecer mi formula maestra para la producción en plantas de asfalto.

- Si son utilizadas en sitios de temperaturas bajas menores a los 12 ºC pueden provocarse fisuramiento prematuros.

5.1.2 RECOMENDACIONES

- Se debe tener mucho cuidado en el agregado, ya que se extraería de diferentes lugares de la zona de acopio, los mismos que al ser transportados se pudieran fracturar debido a la manipulación del mismo.

- La elaboración de los agregadas tienen que ser por métodos de trituración no de cribado debido que con estos métodos obtenemos los agregados óptimos como las aristas, caras fracturadas y sobre todo nuestra granulometría para el diseño de pavimentos.

- Si se utiliza en temperaturas bajas es recomendable utilizar aditivos en el cemento asfaltico para que le ayude a cambiar las propiedades químicas del cemento asfaltico y sobre todo que me dé mayor elasticidad en el producto.

- Tener en cuenta la temperatura del cemento asfaltico que debe estar entre 130ºC a 140ºC al momento de unirse con el agregado si no está a esta temperatura no se mezclan bien debido que pierde su propiedad de ligante.

- Se recomiendo utilizar este diseño con el debido control de laboratorio para que en planta se cumpla según la formula maestra obtenida en laboratorio esto quiere decir control diario de granulometrías de agregado, porcentaje de asfalto y porcentaje de humedad de los agregados debido que este último es un parámetro que tiene relación directa con el porcentaje de asfalto .

- Se debe realizar briquetas diarias para el control de compactación, porcentaje de vacíos , estabilidad y flujo

- Las mezclas asfálticas deben llegar a obra con una temperatura 150ºC +- 10ºC para poder ser tendidas y compactadas.

5.2 BIBLIOGRAFÍA

Badillo, J (2010) Estabilización De Suelos En El Diseño De Pavimentos.

INEN. (2001). Código Ecuatoriano De La Construcción.

Institute, A. (1989). Manual Del Asfalto . Estados Unidos: Adventure Words.

Institute, A. (2009). El Asfalto En La Preservacion Y El Mantenimiento Del Paviemnto. EUA: Instituto Del Asfalto.

Minaya Ordoñez (2006). Diseño Moderno De Pavimentos Asfalticos.

Herbert Abraham, Asphalts And Allied Substances.

Manuel Velázquez, Asfaltos Ingeniera De Caminos.

MTOP. (2002). Manual De Especificaciones Generales Para La Construcción De Caminos Y Puentes MOP-001-F-2002. Quito: MTOP.

Instituto Mexicano del Transporte.

MTOP. (2012). Normas Ecuatorians Viales NEVI-2012. Quito: MTOP.

Department Of Scienttific And Industrial Research Road, Mecanica De Suelos.

Frederick S.Merritt Manual Del Ingenieria Civil Tomo I,II,III.

Montejo Alonso, Ingenieria De Pavimentos Para Carreteras.

5.3 ANEXOS

NORMA INEN 860 MÁQUINA DE LOS ANGELES

CDU: 691.322 :620.178.16
ICS: 91.100.15

INEN

CIIU: 2901
CO 02.03-316

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ÁRIDOS. DETERMINACIÓN DEL VALOR DE LA DEGRADACIÓN DEL ÁRIDO GRUESO DE PARTÍCULAS MENORES A 37,5 mm MEDIANTE EL USO DE LA MÁQUINA DE LOS ANGELES	NTE INEN 860:2011 Primera Revisión 2011-06

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar el valor de la degradación del árido grueso de tamaño inferior a 37,5 mm, mediante la pérdida de masa por desgaste e impacto utilizando la máquina de Los Ángeles (ver nota 1).

2. ALCANCE

2.1 El valor de la degradación es utilizado como indicador de la calidad relativa o de la competencia de áridos y fuentes de áridos, que tienen composiciones mineralógicas similares. Los resultados obtenidos por este ensayo no permiten realizar comparaciones entre fuentes de diferente origen, composición o estructura (ver nota 2).

2.2 Los áridos referidos en esta norma pueden ser gravas, piedras naturales, así como otros materiales obtenidos por trituración.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptan las definiciones de la NTE INEN 694.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

5. MÉTODO DE ENSAYO

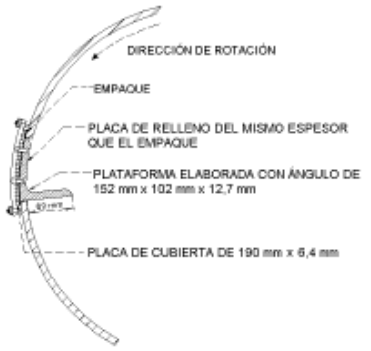
5.1 Resumen. Este ensayo determina la pérdida de masa de los agregados minerales con gradación normalizada, resultante de una combinación de acciones que incluyen la abrasión o desgaste, el impacto y la molienda en un tambor giratorio de acero que contiene un número especificado de esferas de acero, cuyo número depende de la gradación de la muestra de ensayo. A medida que el tambor gira, una plataforma recoge la muestra y las esferas de acero, elevándolas hasta que caigan al lado opuesto del tambor, creando un efecto de impacto y trituración. El contenido gira conjuntamente con el tambor, en una acción de molido, hasta que la plataforma recoja nuevamente la muestra y las esferas de acero y se repite el ciclo. Luego de un número especificado de revoluciones, se retiran los contenidos del tambor y la porción de árido se tamiza para medir la degradación como un porcentaje de pérdida.

NOTA 1. El procedimiento de ensayo para árido grueso de tamaño mayor a 19,0 mm se presenta en la NTE INEN 861.

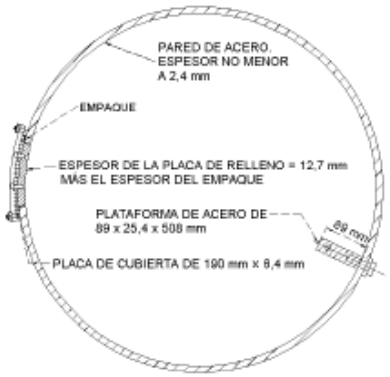
NOTA 2. Al elaborar especificaciones se debe tener especial cuidado al establecer límites, hay que considerar los tipos de áridos disponibles y su historial de rendimiento para usos específicos.

5.2 Equipos

5.2.1 *Máquina de Los Ángeles*. Se debe utilizar una máquina de Los Ángeles que cumpla con todas las características esenciales del diseño mostrado en la figura 1. La máquina debe estar compuesta por un cilindro de acero hueco, con espesor de pared no menor que 12,4 mm (ver nota 3), cerrado en ambos extremos, que cumpla con las dimensiones que se muestran en la figura 1, que tenga diámetro interno de 711 mm ± 5 mm y longitud interna de 508 mm ± 5 mm. La superficie interior del cilindro debe estar libre de protuberancias que interrumpan la trayectoria de la muestra y de las esferas de acero, a excepción de la plataforma que se describe más adelante. El cilindro debe ser montado sobre puntas de ejes acoplados a los extremos del cilindro, pero no deben entrar en él y debe estar colocado de tal manera que gire con el eje en posición horizontal con una tolerancia en la pendiente de 1%. Se debe proveer una abertura en el cilindro para la introducción de la muestra y las esferas. Para cubrir la abertura, debe estar provisto de una tapa apropiada que no deje escapar el polvo, con dispositivos para atornillar la tapa en su lugar. La tapa debe estar diseñada para mantener el contorno cilíndrico de la superficie interior, a menos que la plataforma esté localizada de modo que la carga no caiga sobre la tapa o entre en contacto con ésta durante el ensayo. En el interior de la superficie cilíndrica se debe acoplar una plataforma de acero, extendida toda la longitud del cilindro y proyectada hacia el interior en 89 mm ± 2 mm, de tal manera que un plano centrado entre las caras grandes coincida con un plano axial. La plataforma debe ser montada por medio de tornillos u otros medios adecuados y tener un espesor que le permita estar firme y rígida. La posición de la plataforma debe ser tal que la muestra y las esferas de acero no golpeen en o cerca de la abertura y su tapa. La distancia desde la plataforma a la abertura, medida a lo largo de la circunferencia exterior del cilindro en el sentido del giro, no debe ser menor a 1 270 mm (ver nota 4). Inspeccionar periódicamente la plataforma para determinar que no se ha doblado longitudinalmente, ni tampoco se ha modificado su posición normal radial con respecto al cilindro. Si se encuentra cualquiera de estas condiciones, se debe reparar o reemplazar la plataforma antes de que se lleven a cabo más ensayos.



DISEÑO ALTERNATIVO DE PLATAFORMA ELABORADA CON ÁNGULO



DISEÑO DE PLATAFORMA DE PLACA DE CUBIERTA

NOTA 3. Esta es la mínima tolerancia permitida en una plancha de acero laminado de 12,7 mm, como se describe en la norma ASTM A 6.

NOTA 4. Es preferible el uso de una plataforma de acero resistente al desgaste, de sección transversal rectangular y montada independientemente de la tapa. Se puede utilizar una plataforma de cubierta, siempre que el sentido de giro sea tal que la carga sea recogida por la cara externa del ángulo.

(Continúa)

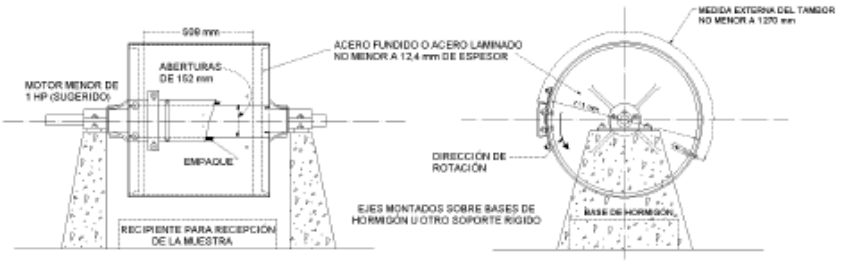


FIGURA 1. Máquina de Los Ángeles

5.2.1.1 La máquina debe estar balanceada y operar de tal forma que mantenga una velocidad periférica sustancialmente uniforme (ver nota 5). Si se utiliza un ángulo como plataforma, la dirección de rotación debe ser tal que la carga sea recogida por la superficie externa del ángulo.

5.2.2 *Tamices*. Que cumplan con los requisitos de la NTE INEN 154.

5.2.3 *Balanza*. Con una precisión de por lo menos 0,1% de la carga de ensayo en cualquier punto dentro del rango de uso para este método de ensayo.

5.2.4 *Carga*. La carga consiste en esferas de acero que promedien aproximadamente 47 mm de diámetro, que cada una tenga una masa de entre 390 g y 445 g.

5.2.4.1 La carga, dependiendo de la gradación de la muestra de ensayo descrita en el numeral 5.4, debe cumplir lo indicado en la tabla 1 (ver nota 6).

TABLA 1. Especificaciones para la carga

Gradación	Número de esferas	Masa de la carga (g)
A	12	5 000 ± 25
B	11	4 584 ± 25
C	8	3 330 ± 20
D	6	2500 ± 15

5.3 Muestreo. Obtener la muestra de campo, de acuerdo con la NTE INEN 695 y reducirla hasta el tamaño de muestra adecuado, de acuerdo con la NTE INEN 2 566.

5.4 Preparación de la muestra de ensayo. Lavar la muestra reducida y secarla al horno a 110 °C ± 5 °C hasta obtener masa prácticamente constante (ver el numeral 5.5.1.1), separar en fracciones individuales por tamaño y recombinarlas para obtener la gradación indicada en la tabla 2 que mejor represente al rango de tamaños del árido proporcionado para el ensayo. Registrar la masa de la muestra antes del ensayo con aproximación de 1 g.

NOTA 5. Es muy probable que movimientos de reacción o deslizamiento en el mecanismo de conducción proporcione resultados de ensayos que no se dupliquen en otras máquinas de Los Ángeles que tengan una velocidad periférica constante.

NOTA 6. Las esferas de acero, con diámetros entre 46,0 mm y 47,6 mm, que tienen una masa aproximadamente de 400 g y 440 g cada una, respectivamente, se adquieren fácilmente. Las esferas de acero de 46,8 mm de diámetro que tengan una masa de aproximadamente 420 g también pueden obtenerse. La carga puede consistir en una mezcla de estos tamaños, que se ajusten a los límites de tolerancia de masa de los numerales 5.2.4 y 5.2.4.1.

(Continúa)

TABLA 2. Gradación de las muestras de ensayo

Tamaño de las aberturas de tamiz (mm) (aberturas cuadradas)		Masa por tamaños indicada (g)			
Pasante de	Retenido en	Gradación			
		A	B	C	D
37,5	25,0	1 250 ± 25	—	—	—
25,0	19,0	1 250 ± 25	—	—	—
19,0	12,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	—	—
12,5	9,5	1 250 ± 10	2 500 ± 10	—	—
9,5	6,3	—	—	2 500 ± 10	—
6,3	4,75	—	—	2 500 ± 10	—
4,75	2,36	—	—	—	5 000 ± 10
	Total	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10	5 000 ± 10

5.5 Procedimiento

5.5.1 Colocar la muestra y la carga para el ensayo en la máquina de Los Ángeles, girar la máquina 500 revoluciones (ver nota 7) a una velocidad entre 30 r/min y 33 r/min. Después del número prescrito de revoluciones, descargar el material de la máquina y realizar una separación preliminar de la muestra sobre un tamiz de mayor abertura que el de 1,70 mm. Tamizar la porción fina por el tamiz de 1,70 mm, según el procedimiento descrito en la NTE INEN 696. Lavar el material más grueso que 1,70 mm y secarlo al horno a 110 °C ± 5 °C hasta obtener masa prácticamente constante (ver el numeral 5.5.1.1) y determinar la masa con aproximación de 1 g.

5.5.1.1 Si el árido esencialmente no contiene recubrimientos adherentes y polvo, el requisito del lavado luego del ensayo es opcional (ver nota 8). Sin embargo, para el caso de ensayos de arbitraje, se debe realizar el procedimiento de lavado.

5.6 Cálculos. El valor de la degradación es la pérdida de masa (diferencia entre la masa inicial y la masa final de la muestra) expresada en porcentaje respecto a la masa inicial (ver nota 9)

$$D = \frac{B - C}{B} \times 100$$

Donde:

D = valor de la degradación, en porcentaje
B = masa inicial de la muestra de ensayo
C = masa de la muestra retenida en el tamiz de 1,70 mm, después del ensayo.

NOTA 7. Se puede obtener información valiosa sobre la uniformidad de la muestra a ser ensayada mediante la determinación de la pérdida después de 100 revoluciones. La pérdida debe ser determinada por tamizado en seco del material sin lavar, por el tamiz de 1,70 mm . La relación de la pérdida después de 100 revoluciones a la pérdida después de 500 revoluciones no debería ser mayor a 0,20 para un material de dureza uniforme. Cuando se realiza esta determinación, trabajar con cuidado para evitar la pérdida de cualquier parte de la muestra; regresar toda la muestra, incluyendo el polvo de la fractura, a la máquina de ensayo para las 400 revoluciones finales necesarias para completar el ensayo.

NOTA 8. Suprimir el lavado después del ensayo rara vez reducirá la pérdida medida en mas de 0,2% respecto a la masa original de la muestra.

NOTA 9. No se conoce ninguna relación coherente entre el porcentaje de pérdida, determinado por este método de ensayo con el porcentaje de pérdida para el mismo material cuando se lo determina de acuerdo con la NTE INEN 861.

(Continúa)

NORMA ASTM C 702 CUARTEO DE MUESTRA

MÉTODO PARA EL CUARTEO DE MUESTRAS (ASTM C 702 AASHTO T248)

OBJETO

Los diferentes tipos y tamaños de áridos requieren que la muestra sea representativa para los varios ensayes a los que será sometida. El material obtenido en terreno debe ser siempre mayor que la cantidad de la muestra requerida para el ensaye.
El material debe ser reducido en cantidad de acuerdo al ensaye que se le va a practicar. Este método establece dos procedimientos, uno manual y otro mecánico, para la reducción de muestras de suelos y áridos en general. Los mejores resultados se obtienen usando un cuarteador metálico de un tamaño adecuado.

PROCEDIMIENTO MANUAL

A continuación se describe un método para reducir la cantidad del material, cuarteándola manualmente, para obtener muestras menores que 100 kg.

a) Para llevar a cabo el cuarteo, el material debe estar húmedo; si está seco, humedézcalo añadiendo agua limpia con un rociador. Mezcle bien el material hasta formar una pila en forma de cono; revuelva de nuevo hasta formar un nuevo cono; repita esta operación tres veces.

b) Distribuya una palada llena del material tan uniformemente como sea posible sobre una lona u otra superficie lisa, plana y ancha. Una lona de 150 x 150 cm. será suficiente. Cuando la cantidad del material es pequeña, se puede usar una plana de albañil.

   Continúe colocando material en capas, una sobre la otra, hasta que se haya distribuido todo el material formando un montón plano y ancho, cuyo espesor y distribución de los tamaños de áridos sea razonablemente uniforme. No permita la conicidad de áridos.

c) Divida el montón en cuatro partes iguales, con una pala de borde recto o una plancha de metal. Cuando emplee una lona, el cuarteo puede hacerse convenientemente insertando un palo delgado o varilla por debajo de la lona y levantándola para así dividir la muestra en partes iguales, primero en dos mitades iguales y luego en cuartas partes. (Ver Figura H0102_01).

d) Remueva dos cuartas partes opuestas y colóquelas a un lado, cuidando de retirar todo el material fino limpiando los espacios despejados con una brocha o escoba.

e) Repita el procedimiento indicado desde a) a d) con la porción restante de áridos, hasta que obtenga una muestra de ensaye del tamaño deseado.

f) Si lo desea, puede guardar la porción que colocó a un lado para luego hacer un posible ensaye de comprobación.

PROCEDIMIENTO CON CUARTEADOR METÁLICO O MECÁNICO

El método para reducir a muestras menores que 100 kg mediante un cuarteador metálico es el siguiente: (Ver Figura H0102_02).

a) Coloque la muestra en uno de los recipientes del cuarteador.

b) Vacíe la muestra en el cuarteador.

c) Separe el material correspondiente a uno de los recipientes.

d) Repita el procedimiento con el material del recipiente restante hasta obtener el tamaño de muestra requerido.

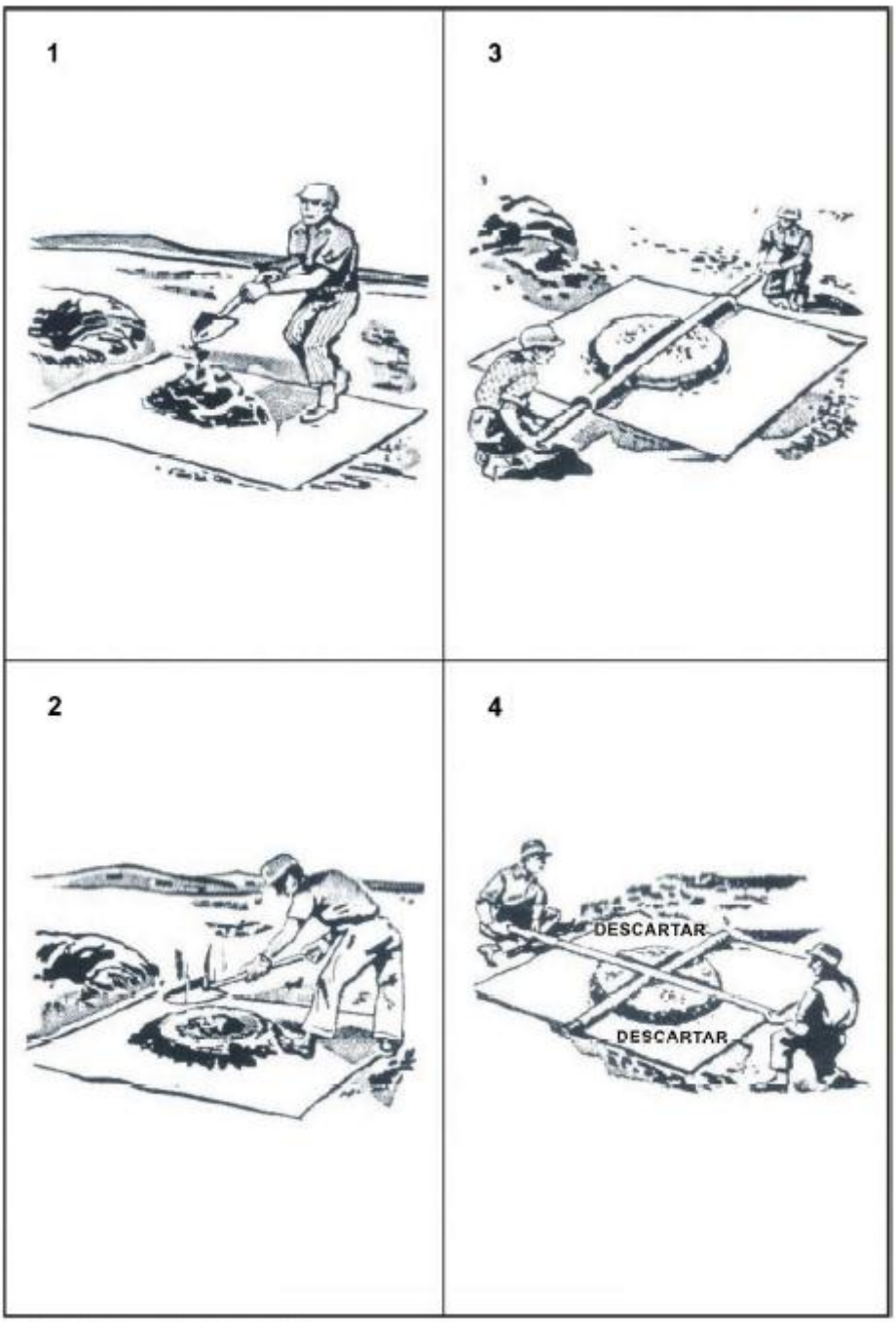


FIGURA H0102_01 CUARTEO DE MUESTRAS

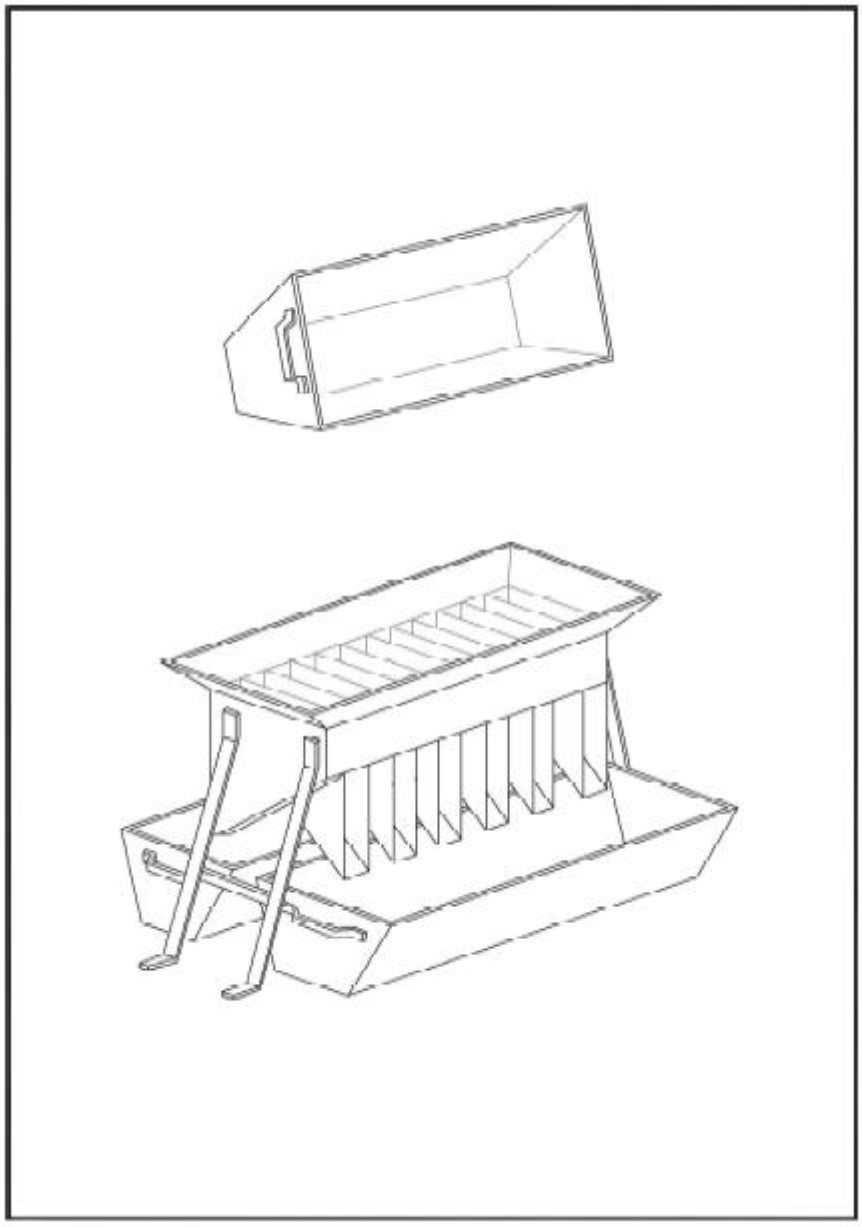


FIGURA H0102_02 CUARTEADOR

NORMA INEN 696 GRANULOMETRÍA AGREGADOS

CDU: 691.322 :620.173.2
ICS: 91.100.15

INEN

CIIU: 2901
CO 02.03-301

Norma Técnica Ecuatoriana Voluntaria	ÁRIDOS. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO EN LOS ÁRIDOS, FINO Y GRUESO.	NTE INEN 696:2011 Primera revisión 2011-05

1. OBJETO

1.1 Esta norma establece el método de ensayo para determinar la distribución granulométrica de las partículas de áridos, fino y grueso, por tamizado.

2. ALCANCE

2.1 Este método de ensayo se utiliza principalmente para determinar la graduación de materiales con el propósito de utilizarlos como áridos para hormigón o utilizarlos como áridos para otros propósitos. Los resultados se utilizan para determinar el cumplimiento de la distribución granulométrica de las partículas con los requisitos de las especificaciones aplicables y proporcionar la información necesaria para el control de la producción de diversos productos de áridos y mezclas que contengan áridos. La información también puede ser útil en el desarrollo de relaciones para estimar la porosidad y el arreglo de las partículas.

2.2 En esta norma se incluyen instrucciones para el análisis granulométrico de áridos que contienen mezclas de fracciones finas y gruesas.

2.3 Mediante el uso de este método de ensayo, no se puede lograr una determinación precisa del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200). Para el tamizado del material más fino que el tamiz de 75 µm mediante lavado, se debe emplear la NTE INEN 697.

3. DEFINICIONES

3.1 Para los efectos de esta norma se adoptaN las definiciones contempladas en la NTE INEN 694.

4. DISPOSICIONES GENERALES

4.1 Algunas especificaciones para áridos las cuales hacen referencia a este método de ensayo contienen requisitos para graduación de las fracciones gruesa y fina. En esta norma se incluyen las instrucciones para los análisis granulométricos de tales áridos.

4.2 Para los métodos de muestreo y ensayo de los áridos de alta densidad, se debe referir a la norma ASTM C 637.

4.3 Esta norma no tiene el propósito de contemplar todo lo concerniente a seguridad, si es que hay algo asociado con su uso. Es responsabilidad del usuario de esta norma establecer prácticas apropiadamente saludables y seguras y determinar la aplicabilidad de las limitaciones reguladoras antes de su uso.

5. MÉTODO DE ENSAYO

5.1 Resumen. Las partículas componentes de una muestra en condiciones secas y de masa conocida son separadas por tamaño a través de una serie de tamices de aberturas ordenadas en forma descendente. Las masas de las partículas mayores a las aberturas de la serie de tamices utilizados, expresado en porcentaje de la masa total, permite determinar la distribución del tamaño de partículas.

5.2 Equipos

5.2.1 *Balanzas*. Las balanzas utilizadas en el ensayo del árido fino y grueso deben tener una legibilidad y exactitud como la que se indica a continuación:

5.2.1.1 Para árido fino, debe ser legible hasta 0,1 g y tener una precisión de 0,1 g o del 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto, dentro del rango de uso.

5.2.1.2 Para árido grueso o mezclas de áridos fino y grueso, debe ser legible y tener una precisión de 0,5 g o 0,1% de la carga de ensayo, el que sea mayor, en cualquier punto dentro del rango de uso.

5.2.2 *Tamices*. La tela del tamiz debe ser montada sobre marcos cuya construcción evite pérdidas de material durante el tamizado. La tela y los marcos del tamiz normalizado deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154. Los marcos de tamiz no normalizados deben cumplir con los requisitos de la NTE INEN 154 que sean aplicables (ver nota 1).

5.2.3 *Agitador de tamices mecánico*. Un dispositivo de tamizado mecánico, si se utiliza, debe crear un movimiento en los tamices que produzca que las partículas reboten y caigan, u otro tipo de movimiento que presente diferente orientación a la superficie de tamizado. La acción de tamizado debe ser tal que se cumpla el criterio para un tamizado adecuado, descrito en el numeral 5.4.4, en un período de tiempo razonable (ver nota 2).

5.2.4 *Horno*. Un horno de tamaño adecuado, capaz de mantener una temperatura uniforme de 110 °C ± 5 °C.

5.3 Muestreo

5.3.1 Muestrear el árido de conformidad con NTE INEN 695. El tamaño de la muestra de campo debe ser la cantidad indicada en la NTE INEN 695 o cuatro veces la cantidad requerida en los numerales 5.3.4 y 5.3.5 (excepto como se ha modificado en el numeral 5.3.6), el que sea mayor.

5.3.2 Mezclar completamente la muestra y reducirla a una cantidad adecuada para el ensayo, utilizando los procedimientos descritos en la norma ASTM C 702. La muestra para el ensayo debe ser, aproximadamente, la cantidad deseada en seco y se la debe obtener como resultado final de la reducción. No se permite una reducción a una cantidad exacta predeterminada (ver nota 3).

5.3.3 *Árido fino*. El tamaño de la muestra para el ensayo, luego de secarla, debe ser como mínimo 300 gramos.

5.3.4 *Árido grueso*. El tamaño de la muestra para el ensayo de árido grueso debe cumplir con lo señalado en la tabla 1.

TABLA 1. Tamaño de la muestra para ensayo del árido grueso

Tamaño nominal máximo, Aberturas cuadradas, en mm (pulgadas).	Tamaño de la muestra del ensayo Mínimo (kg)
9,5	1
12,5	2
19,0	5
25,0	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300

5.3.5 *Mezclas de áridos grueso y fino.* El tamaño de la muestra para el ensayo de las mezclas de árido grueso y fino, debe ser el mismo que para el árido grueso indicado en el numeral 5.3.4.

5.3.6 *Muestreo del árido grueso de gran tamaño.* El tamaño de la muestra requerida para árido con un tamaño nominal máximo de 50 mm o mayor, debe ser tal que se evite la reducción de la muestra y se ensaye como una unidad, excepto si se utilizan grandes separadores mecánicos y agitadores de tamices. Como una opción, cuando dicho equipo no está disponible, en lugar de combinar y mezclar incrementos de la muestra y luego reducir la muestra de campo al tamaño de ensayo, realizar el tamizado en un número de porciones de muestra aproximadamente iguales tal que la masa total ensayada cumpla con los requisitos del numeral 5.3.4.

5.3.7 En el caso de que se determine la cantidad de material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200) mediante el método de ensayo de la NTE INEN 697, proceder de la siguiente manera:

5.3.7.1 Para áridos con un tamaño nominal máximo de 12,5 mm o menor, utilizar la misma muestra para los ensayos que se realizan con esta norma y con la NTE INEN 697. Primero ensayar la muestra de conformidad con la NTE INEN 697, luego realizar la operación de secado final y tamizar la muestra seca de acuerdo a lo estipulado en los numerales 5.4.2 al 5.4.7 de esta norma.

5.3.7.2 Para áridos con un tamaño nominal máximo superior a 12,5 mm, utilizar una única muestra de ensayo, según lo descrito en el numeral 5.3.7.1 u opcionalmente utilizar muestras separadas para los ensayos según la NTE INEN 697 y esta norma.

5.3.7.3 Cuando las especificaciones requieran la determinación de la cantidad total del material más fino que el tamiz de 75 µm por lavado y por tamizado en seco, proceder según lo descrito en el numeral 5.3.7.1.

5.4 Procedimiento

5.4.1 Secar la muestra hasta masa constante a una temperatura de 110 °C ± 5 °C (ver nota 4).

5.4.2 Seleccionar los tamices necesarios y adecuados que cubran los tamaños de las partículas del material a ensayarse, con el propósito de obtener la información requerida en las especificaciones. Utilizar tantos tamices adicionales como se desee o como sean necesarios para proporcionar información adicional, tal como el módulo de finura o para regular la cantidad de material sobre un tamiz. Ordenar los tamices en forma decreciente según el tamaño de su abertura, de arriba a abajo y colocar la muestra en el tamiz superior. Agitar los tamices manualmente o por medio de aparatos mecánicos durante un período suficiente, ya sea establecido por el ensayo o también controlado por medio de la masa de la muestra de ensayo, de tal forma que cumpla con el criterio de conformidad o

5.4.3 Limitar la cantidad de material sobre un determinado tamiz de manera que todas las partículas tengan oportunidad de llegar a las aberturas del tamiz algunas veces durante la operación de tamizado. Para tamices con aberturas más pequeñas que 4,75 mm (No. 4), la cantidad que se retiene sobre cualquier tamiz al finalizar la operación de tamizado no debe exceder 7 kg/m² en la superficie de tamizado (ver nota 5). Para tamices con aberturas de 4,75 mm (No. 4) y más grandes, la cantidad retenida en kg no debe exceder del producto de 2,5 X (la abertura del tamiz, en mm y X (el área efectiva de tamizado, en m²)). Esta cantidad se muestra en la tabla 2, para cinco diferentes dimensiones del marco de tamiz entre circulares, cuadrados y rectangulares, los que son de mayor uso. En ningún caso la cantidad retenida debe ser tan grande como para causar una deformación permanente de la tela de tamiz.

TABLA 2. Máxima cantidad permitida de material retenido sobre un tamiz, en kg.

Tamaño de abertura del tamiz (mm)	Tamiz de dimensiones nominales				
	Ø = 203,2 mm [A]	Ø = 254 mm [A]	Ø = 304,8 mm [A]	350 X 350 mm	372 X 580 mm
	Área de tamizado, (m²)				
	0,0285	0,0457	0,0670	0,1225	0,2158
125	[B]	[B]	[B]	[B]	67,4
100	[B]	[B]	[B]	30,6	53,9
90	[B]	[B]	15,1	27,6	48,5
75	[B]	8,6	12,6	23,0	40,5
63	[B]	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	10,5
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] El área para los tamices de marcos redondos se basa en un diámetro efectivo de 12,7 mm, menor que el diámetro nominal del marco, porque la NTE INEN 154 permite que el sello entre la tela del tamiz y el marco se extienda a 6,35 mm sobre la tela del tamiz. Así el diámetro efectivo de tamizado para un tamiz con un marco de diámetro de 203,2 mm es de 190,5 mm. En tamices elaborados por algunos fabricantes el sello no se extiende en la tela del tamiz los 6,35 mm completos.

[B] Los tamices indicados tienen menos de cinco aberturas completas y no deben ser utilizados para el ensayo de tamizado, excepto por lo indicado en el numeral 5.4.6.

5.4.3.1 Evitar una sobrecarga de material sobre un tamiz individual, mediante alguno de los siguientes métodos:

a) Insertar un tamiz adicional con un tamaño intermedio de abertura entre el tamiz que puede estar sobrecargado y el tamiz inmediatamente superior al tamiz en el conjunto original de tamices.

b) Dividir la muestra en dos o más porciones, tamizando cada porción individualmente. Combinar las masas de las varias porciones retenidas sobre un tamiz específico antes de calcular el porcentaje de la muestra en el tamiz.

c) Utilizar tamices con un tamaño de marco más grande y que proporcione un área mayor de tamizado.

5.4.4 Continuar tamizando por un período suficiente de forma tal que, después de la finalización, no más del 1% en masa del material retenido en cualquier tamiz individual pase el tamiz durante 1 min de tamizado manual continuo realizado de la siguiente manera: sostener el tamiz individual, provisto con una bandeja inferior y una tapa, en una posición ligeramente inclinada en una mano. Golpear un lado del tamiz fuertemente y con un movimiento hacia arriba contra la base de la otra mano, a razón de aproximadamente 150 veces por minuto, girar el tamiz, aproximadamente una sexta parte de una revolución, en intervalos de alrededor de 25 golpes. En la determinación de la efectividad del tamizado para tamaños mayores que el tamiz de 4,75 mm (No. 4), limitar el material sobre el tamiz a una sola capa de partículas. Si el tamaño de los tamices de ensayo montados hace que el movimiento descrito de tamizado no sea práctico, utilizar tamices con diámetro de 203 mm para verificar la efectividad del tamizado.

5.4.5 Evitar la sobrecarga de los tamices individuales según el numeral 5.4.3.1 para el caso de mezclas de áridos grueso y fino.

5.4.5.1 Opcionalmente, reducir la porción más fina que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) utilizando un reductor mecánico de acuerdo con la norma ASTM C 702. Si se sigue este procedimiento, calcular la masa de cada fracción de tamaño de la muestra original de la siguiente manera:

$$A = \frac{W_1}{W_2} \times B \qquad (1)$$

Donde:

A = masa corregida en base a la muestra total,
W_1 = masa de la fracción más fina que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) en la masa total,
W_2 = masa reducida del material más fino que el tamiz de 4,75 mm (No. 4) actualmente tamizado, y
B = masa de la fracción en cada porción reducida tamizada.

5.4.6 A menos que se utilice un agitador de tamices mecánico, tamizar a mano las partículas mayores de 75 mm mediante la determinación de la abertura más pequeña de tamiz por la cual puede pasar cada partícula. Iniciar el ensayo con el tamiz más pequeño a ser utilizado. Girar las partículas, si es necesario, a fin de determinar si van a pasar a través de una abertura particular, sin embargo, no se debe forzar a las partículas para pasar a través de una abertura.

5.4.7 Determinar las masas de cada incremento de tamaño en una balanza que cumpla con los requisitos especificados en el numeral 5.2.1, con una precisión de 0,1% de la masa total de la muestra seca original. La masa total del material después del tamizado debe ser similar a la masa original de la muestra colocada sobre los tamices. Si las cantidades difieren en más del 0,3%, respecto a la masa de la muestra seca original, los resultados no deben ser utilizados con fines de aceptación.

5.4.8 Si se ha ensayado previamente la muestra por el método de ensayo de la NTE INEN 697, agregar la masa más fina que el tamiz de 75 µm (No. 200) determinado por ese método de ensayo, a la masa que pasa por el tamiz de 75 µm (No. 200) en el tamizado en seco de la misma muestra por este método de ensayo.

5.5 Cálculos

5.5.1 Calcular los porcentajes pasantes, los porcentajes retenidos totales o porcentajes en fracciones de varios tamaños con una aproximación de 0,1% sobre la base de la masa total de la muestra seca inicial. Si la misma muestra de ensayo fue ensayada previamente por el método de ensayo de la NTE INEN 697, incluir en el cálculo del análisis por tamizado, la masa del material más fino que el tamiz de 75 µm (No. 200) determinada por lavado, utilizando la masa seca total de la muestra antes del lavado como base para el cálculo de todos los porcentajes.

NORMA PARA DETERMINAR EL EQUIVALENTE DE ARENA ASTM D 2419

OBJETO

Este método establece un procedimiento rápido para determinar las proporciones relativas de finos plásticos o arcillosos en los áridos que pasan por tamiz de 4,75 mm (Nº 4).

DEFINICIONES

Equivalente de arena

Porcentaje de arena propiamente tal con respecto al total de arena y de impurezas coloidales floculadas, particularmente arcillosas, húmicas y eventualmente ferruginosas.

EQUIPOS Y MATERIALES

1. Probeta graduada

   De 30 ± 1 mm de diámetro interior y aproximadamente 400 mm de alto, graduado en milímetros hasta una altura de 380 mm (o graduada en mililitros hasta una capacidad de 270 ml) y provisto de un tapón hermético de caucho (ver Figura A0509_1, Figura 1).

2. Pisón

   Compuesto por los siguientes elementos (ver Figura A0509_1, Figura 2).

   a) Una varilla de bronce de 6 mm de diámetro y 450 mm de largo, con hilo en ambos extremos.
   b) Un pie de bronce troncocónico, de 25 mm de diámetro basal y 20 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarlo a la varilla.
   c) Un par de guías que mantengan centrada la varilla en el eje de la probeta.
   d) Una sobrecarga cilíndrica de acero laminado en frío de 50 mm de diámetro y 53 mm de altura, con una perforación central con hilo para conectarla a la varilla. Esta sobrecarga debe ser rectificada de modo que el conjunto de varilla, pie, guías y sobrecarga tenga una masa de 1 kg ± 5 g.
   e) Sifón

   Compuesto por los siguientes elementos (ver Figura A0509_1, Fig3):

   a) Una botella de aproximadamente 4 l, provista de un tapón de caucho con dos perforaciones, a través de las cuales se dispondrán dos tuberías de metal, vidrio, caucho o plástico.
   b) Una tubería de entrada de aire que penetre al interior de la botella sin tomar contacto con la solución y cuyo tramo exterior debe estar doblado en L.
   c) Una tubería de irrigación cuyo tramo interior penetre hasta 20 mm del fondo de la botella y cuyo tramo exterior sea una manguera de caucho o plástico de una longitud igual o mayor que 1,5 m provista de un sistema que regule el flujo de la solución (por ejemplo una pinza con tornillo).
   d) Un tubo irrigador conectado al extremo exterior de la tubería de irrigación, de acero inoxidable de aproximadamente 500 mm de largo, 4 ± 1mm de diámetro interior y con su extremo libre cerrado en forma de cuña. Debe tener dos perforaciones de 0,5 ± 0,1 mm de diámetro, una en cada cara plana de la cuña.

3. Medida

   Un recipiente de 85 ± 5 ml de capacidad.

4. Tamiz

   De tela de alambre y abertura cuadrada, de 4,75 mm (Nº 4) de abertura nominal de acuerdo con el Método A0506.

6. Agitador mecánico

Con un desplazamiento horizontal de 200 ± 2 mm y una velocidad de agitación de 175 ± 2 ciclos/min.

7. Herramientas y accesorios

Embudos, botellas para reactivos, regla de enrase, etc.

Reactivos

8. Solución base

a) Componentes. Emplee los siguientes materiales en las cantidades que se indican:

-240 g de cloruro de calcio anhidro, grado técnico.
-1.085 g de glicerina farmacéutica.
-25 g de formaldehído (solución 40% de volumen / volumen).

b) Preparación. Disuelva el cloruro de calcio en 1 l de agua destilada y filtre. Agregue la glicerina y el formaldehído a la solución, mezcle bien y diluya a 2 l con agua destilada.

9. Solución de ensaye

Tome 22,5 ml de la solución base y diluya a 1 l con agua destilada.

CONDICIONES GENERALES

10. Lugar de ensayo

Debe estar libre de golpes o vibraciones que puedan alterar el período de decantación. Cuando se empleen probetas de acrílico deben protegerse de la luz solar directa.

EXTRACCIÓN Y PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Muestreo

Extraiga y prepare las muestras de acuerdo con los Métodos A0504 y A0505

Tamaño de la muestra de ensaye

a) La muestra original debe tener un tamaño igual o mayor que 2.000 g de material bajo 5 mm.
b) La muestra para cada ensaye debe ser igual a una medida llena enrasada (85 ± 5 ml).

Preparación de la Muestra de ensaye

11. Tamizado

Pase la muestra original en estado húmedo por el tamiz de 4,75 mm; disgregue manualmente los terrones de material arcilloso. Si el material retenido tiene adheridas capas de material arcilloso, remuévalas secando el material retenido y frotándolo entre las manos sobre un recipiente. El polvo resultante debe incorporarse a la muestra y el material retenido debe desecharse.

12. Reducción

Reduzca por cuarteo hasta obtener material suficiente para llenar cuatro medidas.

13. Secado

Seque hasta masa constante en horno a una temperatura de 110 ± 5° C; deje enfriar a temperatura ambiente.

PROCEDIMIENTO

14. Coloque la botella del sifón con la solución de ensaye a aproximadamente 1 m sobre la superficie de trabajo.
15. Sifonee la solución de ensaye en la probeta hasta que alcance un nivel de 100 ± 5 mm.
16. Obtenga por cuarteo el material suficiente para llenar una medida.
17. Llene una medida; asiente el material golpeando el fondo de la medida contra la mesa de trabajo a lo menos 4 veces, enrase y vierta en la probeta.

18. Golpee firmemente el fondo de la probeta contra la palma de la mano hasta desalojar las burbujas de aire.
19. Deje la probeta en reposo por un período de 10 min.
20. Coloque el tapón y suelte la arena del fondo inclinando y sacudiendo el tubo.
21. Agite la probeta y su contenido mediante uno de los siguientes procedimientos:
    a) Agitación manual. Sujete la probeta en posición horizontal y agite vigorosamente en un movimiento lineal horizontal con un desplazamiento de 230 ± 25 mm. Agite 90 ciclos en aproximadamente 30 s.

       Nota 1: Un ciclo corresponde a un movimiento completo de ida y vuelta. Se recomienda agitar sólo con los antebrazos, manteniendo relajados el cuerpo y los hombros.

       Nota 2: Antes de autorizar a un operador para realizar el ensaye de equivalente de arena, debe ser capaz de obtener resultados consistentes sobre muestras representativas de cualquier material ensayadas de acuerdo con el procedimiento normal. Los resultados se consideran consistentes si los valores individuales de tres ensayes realizados por el mismo operador sobre muestras gemelas no varían en más de ± 4 puntos respecto al promedio de esos ensayes. Si un operador no es capaz de obtener resultados consistentes, no debe autorizársele a efectuar este ensaye hasta que perfeccione su técnica y obtenga resultados que cumplen con los límites especificados.

    b) Agitación mecánica. Fije la probeta en el agitador mecánico y agite durante un período de 45 ± 1s
22. Coloque la probeta sobre la mesa de trabajo, destápela y lave sus paredes interiores mediante el irrigador
23. Introduzca el irrigador hasta el fondo de la probeta con un movimiento lento de penetración y torsión para remover todo el material
24. Retire el irrigador en forma similar, regulando el flujo de la solución de modo de ajustar el nivel final a 380 mm

25. Deje sedimentar por un periodo de 20 min ± 15 s

26. Al final del período de sedimentación lea y registre el nivel superior de la arcilla (N_t) aproximando al milímetro

Nota 3: Si después de 20 min no se ha formado una clara línea de sedimentación, deje reposar el tiempo necesario, registrándolo en el informe. Cuando el tiempo total exceda de 30 min, repita 3 veces el ensaye con muestras del mismo material. Registrar el N_t . Que requiera el período de sedimentación más breve.

27. Introduzca el pisón en la probeta y hágalo descender suavemente hasta que quede apoyado en la arena. Registre el nivel superior de la arena (N_a) aproximando al milímetro

Nota 4: Cuando el nivel superior de la arcilla o de la arena quede entre graduaciones, registre la graduación superior como N_t o N_a , según corresponda.

CÁLCULOS

28. Calcule el equivalente de arena de acuerdo con la fórmula siguiente, aproximando al 1%

$$EA(\%) = \left(N_a / N_t\right) \cdot 100$$

Donde:

EA	:	Equivalente de arena (%).
N_a	:	Nivel superior de la arena (mm).
N_t	:	Nivel superior de la arcilla (mm).

29. Calcule el equivalente de arena de cada muestra como el promedio aritmético de los resultados de dos ensayes paralelos, con aproximación al 1 % superior

PRECISIÓN

30. Debe aceptarse la determinación del equivalente de arena solamente cuando la diferencia entre dos resultados obtenidos por el mismo operador, en ensayes paralelos sobre muestras gemelas, sea igual o inferior a 4 puntos.

31. Debe ensayar dos nuevas muestras gemelas cuando no se cumpla con lo especificado en 31

NORMA PROPORCIÓN DE DOS O MAS CARAS FRACTURADAS

NTL-358/90

NLT-358/90

Proporción del árido grueso que presenta dos o más caras de fractura por machaqueo

1 OBJETO Y CAMPO DE APLICACION

1.1 Esta norma describe el procedimiento que debe seguirse para determinar en los áridos machacados el porcentaje de árido grueso con dos o más caras de fractura.

1.2 El procedimiento consiste en separar manualmente en cada una de las fracciones representativas de un árido grueso, las partículas que presenten dos o más caras de fractura, y obtener su porcentaje. Finalmente, se calcula el porcentaje ponderado de la muestra total.

1.3 En esta norma se define como cara de fractura de una partícula de un árido aquel plano de fractura presente en la misma cuya dimensión lineal mayor sea al menos el tercio de la longitud máxima de la partícula considerada.

1.4 El ensayo determina una característica específica de los áridos gruesos obtenidos por machaqueo que se exige en numerosos materiales granulares utilizados en la construcción de carreteras, como macadam, zahorra artificial, gravas tratadas, algunos tratamientos superficiales y lechadas y en las mezclas bituminosas.

2 APARATOS Y MATERIAL NECESARIOS

2.1 Balanza. Una balanza con capacidad adecuada y una sensibilidad mínima del 0,1 %.

2.2 Tamices. Tamices de malla metálica y abertura cuadrada, según la norma UNE 7.050.

2.3 Cuarteador. Para dividir la muestra original en porciones representativas de menor tamaño.

2.4 Espátula para utilizar en la separación de los áridos.

2.5 Bandejas metálicas de fondo plano y diversos tamaños.

3 PROCEDIMIENTO

3.1 Preparación de las muestras

3.1.1 En la Tabla 1 se indican, en función del tamaño, las cantidades respectivas de cada fracción, con una tolerancia del 10 %, que se precisan para cada ensayo individual. Solamente se ensayarán aquellas fracciones cuya masa represente un porcentaje superior al 5 % en la masa total de áridos.

3.1.2 La cantidad de muestra necesaria para cada fracción se obtendrá, previo cuarteo, por tamizado a partir de muestras representativas tomadas de cada acopio.

3.2 Realización del ensayo

3.2.1 El ensayo se realiza con cada una de las fracciones que cumplan el Apartado 3.1.1.

3.2.2 La masa de áridos de cada fracción estará comprendida dentro de los límites ± 10 % indicados en la Tabla 1.

FRACCIONES SEGUN TAMICES UNE (mm)	MUESTRA DE ARIDOS DE CADA FRACCION (±10 %) EN GRAMOS
100-90	50.000
90-80	30.000
80-63	18.000
63-50	10.000
50-40	6.000
40-25	3.000
25-20	1.500
20-12,5	1.000
12,5-10	500
10-5	350
5-2,5	100

TABLA 1. Cantidad de muestra necesaria para ensayo, según tamaño de la fracción considerada

3.2.3 Se pesa en la balanza una fracción y se anota este dato como A.

3.2.4 Con ayuda de la espátula se extienden completamente los áridos sobre la bandeja, de forma que se pueda inspeccionar individualmente cada partícula (Nota 1).

Nota 1. Si la suciedad de los áridos dificulta la apreciación de las caras de fractura, se lava y se seca la muestra en estufa previamente, comenzando entonces de nuevo en el Apartado 3.2.3.

3.2.5 Se procede a continuación a separar a mano todas las partículas de árido fracturadas de las que no presenten ninguna o una sola cara de fractura, que se pasan a otra bandeja.

3.2.6 Las partículas fracturadas, que presenten dos o más caras de fractura, se pesan y se anota este dato como B.

3.2.7 Si el Pliego de Prescripciones Técnicas a aplicar exige el porcentaje individualizado de 2, 3, 4... caras de fractura en cada partícula, se procederá de la forma descrita en el apartado anterior pero separando las partículas que presenten el número concreto de caras fracturadas a considerar.

3.2.8 El ensayo se repite del mismo modo con las restantes fracciones a ensayar.

4 RESULTADOS

4.1 Se calcula para cada fracción ensayada el porcentaje de áridos con dos o más caras de fractura, según:

$$\frac{B}{A} \times 100$$

4.2 El porcentaje total de árido grueso con dos o más caras de fractura, se calcula sumando los porcentajes ponderados de cada fracción referidos al total de fracciones ensayadas, y se redondea el resultado al entero más próximo (ver Tabla 2).

TAMIZ UNE (mm)	GRANULOMETRICO MUESTRA TOTAL		RESULTADOS 2 O MAS CARAS FRACTURADAS %
	% PASA	% RETENIDO	
50	100		
40	84	16	83
25	72	12	71
20	68	(4)	—
12,5	45	23	69
10	30	15	73
5	19	11	64
		77	

TABLA 2. Ejemplo del cálculo a efectuar

Como la fracción 25-20 no se ensaya por ser un porcentaje inferior a 5, el porcentaje ponderado, P, de áridos con 2 o más caras de fractura, será:

$$P = \frac{16 \times 83 + 12 \times 71 + 23 \times 69 + 15 \times 73 + 11 \times 64}{16 + 12 + 23 + 15 + 11}$$

$$= \frac{5566}{77} = 72\,\%$$

5 CORRESPONDENCIA CON OTRAS NORMAS

Test Method N.º 205-E (1964) State of California. Division of Highways. «Method for Determining Percentage of Crushed Particles».

6 NORMA PARA CONSULTA

UNE 7.050 «Tamices de ensayo».