PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE INGENIERÍA

ESCUELA DE CIVIL

TESIS DE GRADO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ADITIVOS: QUÍMICO ZYCOTHERM Y ORGÁNICO CERA DE CARNAÚBA, EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, CASO DE ESTUDIO MINA HOLCIM PIFO.

AUTORES:

BELÉN BURBANO

ADRIÁN DILLON

DIRECTOR:

ING. WILSON CANDO

QUITO, ECUADOR

2020

DEDICATORIA

El presente trabajo de titulación quiero dedicar en especial a:

Mi padre Jorge Burbano, mi madre Blanca Pazmiño los cuales han aportado con su amor, apoyo y mucho más y así motivándome cada día de mi carrera incondicionalmente y también a mi hijo Jorge David el cual me da fuerzas e inspiración para continuar mi vida de profesional y madre.

Belén Burbano

Dedico el presente trabajo de tesis a Diosito, mis padres (Jacinto y Norma) y a mis hermanos (Ximena y Julián) por todo el apoyo brindado durante esta etapa de la vida.

A todos mis familiares que siempre han estado pendientes de mí y en especial para mis primitas Ariana y Camila.

A todos mis mejores amigos que me dejo la universidad PUCE y el colegio SPELLMAN.

Adrián Dillon

AGRADECIMIENTOS

Mis padres Jorge B. y Blanca P., mi hermano Gabriel B. y mi hijo Jorgito, quienes son mi familia han sido pilar fundamental todo este tiempo de mi vida y en este punto de finalización de mi carrera como ingeniera civil en la PUCE y el inicio de muchos caminos por recorrer.

Mis amigos y mejor amiga Sandra por su apoyo y quienes brindan alegría a cada situación.

Al Ing. Civil Wilson Cando quien nos motivó al desarrollo de este plan de disertación.

Al laboratorio de suelos y concretos CONGEO, el cual nos permitió el desarrollo de los ensayos.

Belén Burbano

Agradezco a Diosito por darme la fuerza de seguir para adelante en la carrera y por darme tantas alegrías en la vida.

A toda mi familia por quererme y aguantarme.

A mis panas de PUCE por todos los trabajos que tuvimos que hacer y todas las salidas pasando buenos momentos y en especial a mis amigos de toda la vida LA PEOPLE por todas las risas, alegrías y tan linda amistad.

A los profesores, que me ayudaron para formarme como ingeniero civil y en especial a mi director y correctores por su colaboración y conocimientos.

¡Y GRACIAS TOTALES!!!

Adrián Dillon

TABLA DE CONTENIDO

DEDICATORIA ..... **I**
AGRADECIMIENTOS ..... **II**
TABLA DE CONTENIDO ..... **III**
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES ..... **VII**
ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS ..... **IX**
ÍNDICE DE ECUACIONES ..... **X**
ÍNDICE DE TABLAS ..... **XI**
ÍNDICE DE GRÁFICOS ..... **XIII**
ÍNDICE DE ANEXOS ..... **XIV**
RESUMEN ..... **XV**
ABSTRACT ..... **XVI**
CAPITULO 1: GENERALIDADES **1**
1.1.- Justificación 1
1.2.- Objetivos 2
1.2.1.- Objetivo general 2
1.2.2.- Objetivos específicos 2
1.3.- Alcance 2
1.4.- Antecedentes o Marco Referencial 3
1.4.1.- Antecedentes de Mezclas Asfálticas Tibias. 4
CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL **5**
2.1.- Mezclas asfálticas en general 5
2.1.1.- Propiedades funcionales y técnicas de la mezcla asfáltica para pavimento flexible 6
2.1.2.- Clasificación de las mezclas asfálticas según (Padilla, 2008) 7
2.2.- Diseño de mezclas asfálticas en caliente metodología Marshall 9
2.2.1.- Materiales: Agregado Pétreo y Betún Asfáltico 10
2.2.2.- Agregado Pétreo 10
2.2.3.- Betún Asfáltico 11
2.3.- Ligante en la mezcla asfáltica: Generalidades 14
2.3.1.- Composición química 14
2.3.2.- Características del asfalto 16
2.3.3.- Envejecimiento 16
2.3.4.- Características del asfalto en el Ecuador 17

2.4.- Mezcla Asfáltica Tibia (WAM) 18
2.4.1.- Ventajas de mezcla asfáltica tibia: 19
2.4.2.- Clasificación de tecnologías para la producción de mezcla asfáltica tibia 25
2.5.- Aditivos 28
2.5.1.- Aditivo Químico: Zycotherm 28
2.5.2.- Aditivo orgánico: Cera Carnaúba Wax 34
CAPITULO 3: ENSAYOS Y RESULTADOS DE AGREGADOS Y AC-20 36
3.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS: DESCRIPCIÓN Y CÁLCULOS 36
3.1.1.- Agregado: Mina Holcim Pifo 36
3.1.2.- Ubicación de la mina 36
3.1.3.- Muestreo de agregados: toma de muestras en la planta 37
3.1.4.- Equivalente de arena en el agregado fino 39
3.1.5.- Densidad, densidad relativa (Gravedad especifica) y Absorción del agregado grueso 42
3.1.6.- Densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y Absorción del agregado fino 45
3.1.7.- Pesos Unitarios 48
3.1.8.- Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio 52
3.1.9.- Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles 56
3.1.10.- Resumen de resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos 59
3.2.- CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO AC-20 60
3.2.1.- Muestreo de materiales bituminosos 60
3.2.2.- Gravedad específica 61
3.2.3.- Punto de inflamación y combustión copa abierta de Cleveland 63
3.2.4.- Punto de reblandecimiento 65
3.2.5.- Penetración 67
3.2.6.- Ductilidad 69
3.2.7.- Viscosidad 71
3.2.8.- Cambio de masa RTFO 73
3.2.9.- Resumen de resultados de los ensayos de caracterización del asfalto AC-20 75
CAPÍTULO 4: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE, MÉTODO MARSHALL 76
4.1.- Generalidades 76

4.2.- Mezcla de agregados pétreos..... 79
4.2.1.- Granulometría agregado 3/4"..... 80
4.2.2.- Granulometría agregado 3/8"..... 81
4.2.3.- Granulometría agregado fino..... 82
4.3.- Características de los materiales..... 85
4.3.1.- Gravedad especifica Bulk de los agregados (Gsb)..... 86
4.3.2- Gravedad especifica aparente de los agregados (Gsa)..... 86
4.3.3.- Gravedad especifica efectiva de los agregados (Gse)..... 87
4.4.- Porcentaje aparente óptimo del asfalto..... 88
4.5.- Procedimiento para la elaboración de las briquetas de la mezcla asfáltica caliente 89
4.5.1.- Temperatura de mezclado y compactación mezcla caliente..... 89
4.6.- Densidad Bulk de las briquetas compactadas (Gmb)..... 91
4.7.- Ensayo de Estabilidad y Flujo..... 94
4.8- Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice)..... 96
4.9.- Resultados Diseño Mezcla Asfáltica Caliente Método Marshall..... 102
4.9.1.- Graficas Marshall mezcla caliente..... 103
4.9.2.- Cumplimiento del parámetro de los materiales: Gsb< Gse<Gsa..... 105
4.10.- MEZCLA ASFALTICA TIBIA..... 106
4.10.1.- Temperatura de mezclado y compactación para mezcla tibia..... 107
4.10.2.- Densidad Bulk de las briquetas compactadas (Gmb)..... 109
4.10.3.- Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice)..... 110
4.10.4.- Estabilidad y Flujo..... 111
4.10.5.- Comparación parámetros Marshall vs % de aditivo..... 115
4.10.6.- Porcentaje óptimos de aditivo de Cera Carnaúba..... 117
4.10.7.- Porcentaje óptimos de aditivo de Zycotherm..... 118
4.10.8.- Resultados sin aditivo..... 119
CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE COSTO..... 120
5.1.- Equipo..... 120
5.1.1.- Rendimiento..... 121
5.2.- Mano de obra..... 121
5.3.- Materiales..... 121
5.3.1.- Los costos unitarios en el mercado de Ecuador de los materiales para el diseño de una mezcla asfáltica son:..... 121

5.3.2.- Costos Unitarios de los agregados pétreos de la mina Holcim Pifo..... 122
5.3.3.- Costos Unitarios de los Aditivos y AC-20 122
5.3.4.- Cálculo de las cantidades para una carpeta asfáltica 122
5.3.5.- Costo de los materiales según las cantidades 124
5.4.- Rubros 124
CAPÍTULO 6: CONCUSIONES Y RECOMENDACIONES 130
BIBLIOGRAFÍA 134
ANEXOS 139

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Capítulo 2

Ilustración 2. 1-Propiedades funcionales y técnicas de las mezclas asfálticas. 6
Ilustración 2. 2- Estructura de un pavimento flexible 7
Ilustración 2. 3-Clasificación de las mezclas asfálticas. 9
Ilustración 2. 4-Aplicación de carga, equipo Marshall 13
Ilustración 2. 5 -Curvas Marshall 14
Ilustración 2. 6 -Composición química del asfalto 15
Ilustración 2. 7-Composición química del asfalto 15
Ilustración 2. 8-Rangos de temperaturas para producción de mezclas asfálticas 18
Ilustración 2. 9- Ventajas de mezcla asfáltica tibia 19
Ilustración 2. 10-Consumo de energía en planta para producción de Mezcla Asfáltica en Caliente. 20
Ilustración 2. 11-Consumo de energía en planta para producción de Mezcla Asfáltica Tibia. 20
Ilustración 2. 12-Consumo de energía en planta para producción de Mezcla Asfáltica Tibia. 21
Ilustración 2. 13- Proceso constructivo convencional con las mezclas modificadas. 22
Ilustración 2. 14-Resultados del ensayo de Susceptibilidad a la Humedad (AASHTO T-283). 23
Ilustración 2. 15-Resultados del Ensayo de Rueda de Hamburgo (AASHTO T-324). .. 24
Ilustración 2. 16-Esquema de tecnologías para mezclas tibias 25
Ilustración 2. 17-Proceso de espumación 27
Ilustración 2. 18-Producción asfalto espumado 28
Ilustración 2. 19- Beneficios del aditivo Zycotherm 29
Ilustración 2. 20- Especificaciones técnicas del aditivo Zycotherm 30
Ilustración 2. 21- Resistencia a la humedad mediante Enlace químico 30
Ilustración 2. 22- Resistencia a la oxidación mediante Recubrimiento Completo 31
Ilustración 2. 23- Recubrimiento del mezclado 31
Ilustración 2. 24-Ensayo ASTM D-3625, efecto del agua sobre mezclas asfálticas 31
Ilustración 2. 25- Diferencias entre Aminas-Zycotherm 32
Ilustración 2. 26- Resistencia a la fatiga mediante Compactación Consistente 32
Ilustración 2. 27- Mezclado con Zycotherm 33
Ilustración 2. 28-Comportamiento de la viscosidad del asfalto modificado con cera en función de la temperatura 34
Ilustración 2. 29-Composición de la Cera Carnaúba 35

Capítulo 3

Ilustración 3. 1- Ubicación de mina Holcim Pifo, Av. Interoceánica, Pifo 170175 36
Ilustración 3. 2- Viscosidad absoluta (dinámica): INEN 2515 71
Ilustración 3. 3- Parámetros de diseño volumétrico de los agregados 85

Capítulo 4

Ilustración 4. 1-Clasificación funcional de las vías en base al TPDA 76

Ilustración 4. 2-Criterios para evaluación Marshall MOP..... 77
Ilustración 4. 3-Criterios para evaluación Marshall, The Asphalt Institute's, TABLE 7.2 78
Ilustración 4. 4-Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral. 78

Capítulo 5

Ilustración 5. 1-Costo horario de la planta de asfalto 120

ÍNDICE DE FOTOGRAFÍAS

Capítulo 3

Fotografía 3.1- Pila principal de agregados. 37
Fotografía 3.2- Pila secundaria de agregados. 37
Fotografía 3.3- Muestra recolectada de agregados mina Holcim Pifo. 38
Fotografía 3.4- Equivalente de arena 40
Fotografía 3.5-Gravedad Específica del agregado grueso. 42
Fotografía 3.6-Gravedad Específica del agregado grueso 45
Fotografía 3.7-Peso unitario de agregado grueso 3/4"´y 3/8" 49
Fotografía 3.8-Peso unitario de agregado Fino. 50
Fotografía 3.9-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de magnesio 53
Fotografía 3.10-Muestreo de materiales bituminosos 60
Fotografía 3.11-Gravedad AC-20 62
Fotografía 3.12-Punto de reblandecimiento 66
Fotografía 3.13-Penetración AC-20 68
Fotografía 3.14-Ductilidad 70
Fotografía 3.15-Viscosidad 72
Fotografía 3.16-Cambio de masa RTFO 74

Capítulo 4

Fotografía 4.1-Dosificación de los agregados 84
Fotografía 4.2-Elaboracion de briquetas Mezcla asfáltica caliente. 90
Fotografía 4.3-Densidad Bulk de las briquetas compactadas 92
Fotografía 4.4-Ensayo de briquetas para estabilidad y flujo en Prensa Marshall 94
Fotografía 4.5-Ensayo Rice 97
Fotografía 4.6-Mezcla del Asfalto AC-20 con; Cera Carnaúba y Zycotherm 106
Fotografía 4.7-Pavimento tibio, temperatura de mezcla y compactación 107
Fotografía 4.8- Elaboración de briquetas Mezcla asfáltica tibia 108

ÍNDICE DE ECUACIONES

Capítulo 3

Ecuación 3. 1 -Equivalente de arena 39
Ecuación 3. 2 -: Gravedad específica seca al horno agregado grueso. 43
Ecuación 3. 3-Gravedad específica Saturada superficialmente seca agregado grueso... 43
Ecuación 3. 4 -Densidad relativa aparente agregado grueso. 43
Ecuación 3. 5-Absorción agregado grueso. 44
Ecuación 3. 6 -Gravedad específica seca al horno agregado fino. 46
Ecuación 3. 7 -Gravedad específica Saturada superficialmente seca agregado fino..... 46
Ecuación 3. 8-Densidad relativa aparente agregado fino. 46
Ecuación 3. 9-Absorción agr. fi. 47
Ecuación 3. 10-Peso unitario compactado 48
Ecuación 3. 11-Peso unitario suelto 48
Ecuación 3. 12-Porcentaje de desgaste a los sulfatos 52
Ecuación 3. 13 -Porcentaje de desgaste a la abrasión 56
Ecuación 3. 14-Gravedad específica del asfalto 61
Ecuación 3. 15 -Punto de inflamación corregido 63
Ecuación 3. 16-Punto de combustión corregido 63
Ecuación 3. 17 -Tolerancia 67

Capítulo 4

Ecuación 4. 1-Gravedad especifica Bulk de los agregados. 86
Ecuación 4. 2-Gravedad especifica aparente de los agregados 86
Ecuación 4. 3-Gravedad especifica efectiva de los agregados (Gse) 87
Ecuación 4. 4-Superficie especifica de los áridos 88
Ecuación 4. 5- Calculo del porcentaje de asfalto 88
Ecuación 4. 6-Densidad Bulk de las briquetas compactadas 91
Ecuación 4. 7-Gravedad específica máxima de mezcla de pavimento sin vacíos de aire 96
Ecuación 4. 8-Contenido de asfalto absorbido por el agregado 98
Ecuación 4. 9-Volumen de agregado en porcentaje 98
Ecuación 4. 10-Volumen de vacíos llenos de aire 99
Ecuación 4. 11-Volumen de cemento asfáltico 99
Ecuación 4. 12-.Vacíos en el agregado mineral 99
Ecuación 4. 13-Vacíos llenos asfalto 99
Ecuación 4. 14-Contenido de asfalto efectivo 99
Ecuación 4. 15-Relación filler asfalto. 100

Capítulo 5

Ecuación 5. 1-Rendimiento máquina de asfalto 121

ÍNDICE DE TABLAS

Capítulo 3

Tabla 3. 1- Equivalente de arena 41
Tabla 3. 2- Gravedad específica y absorción agregado 3/4 44
Tabla 3. 3-Gravedad específica y absorción agregado 3/8 44
Tabla 3. 4-Gravedad específica y absorción agregado fino 47
Tabla 3. 5-Peso unitario 3/4 51
Tabla 3. 6- Peso unitario 3/8 51
Tabla 3. 7-Peso unitario fino 51
Tabla 3. 8-Desgaste a los sulfatos, fracciones de muestra para el agregado fino, ASTM C-88 54
Tabla 3. 9-Desgaste a los sulfatos, fracciones de muestra para el agregado grueso, ASTM C-88 54
Tabla 3. 10-Desgaste a los sulfatos 3/4. 54
Tabla 3. 11-Desgaste a los sulfatos 3/8. 55
Tabla 3. 12-Desgaste a los sulfatos finos. 55
Tabla 3. 13-Muestra para abrasión, gradaciones de la muestras, ASTM C-131 / C535 57
Tabla 3. 14-Desgaste de los agregados en la máquina de los ángeles 3/4. 58
Tabla 3. 15-Desgaste de los agregados en la máquina de los ángeles 3/8. 58
Tabla 3. 16-Resumen de los resultados de la caracterización de agregados pétreos 59
Tabla 3. 17-Resumen de resultados de los ensayos de caracterización del asfalto AC-20. 75

Capítulo 4

Tabla 4. 1-Granulometrías para mezclas asfálticas, ... 79
Tabla 4. 2-Granulometría agregado 3/4" 80
Tabla 4. 3-Granulometría agregado 3/8" 81
Tabla 4. 4-Granulometría agregado fino 82
Tabla 4. 6- Gravedad especifica Bulk de los agregados 86
Tabla 4. 7-Gravedad especifica aparente de los agregados 87
Tabla 4. 8-Calculo % óptimo de AC-20 89
Tabla 4. 9-Densidad Bulk de las briquetas compactadas 93
Tabla 4. 10-Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica caliente 95
Tabla 4. 11-Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice) 98
Tabla 4. 12-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica caliente 101
Tabla 4. 13-Parametros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica caliente con porcentaje óptimo de asfalto y especificaciones, MOP-001-f Tabla 405.5.4 y 405.5.5 105
Tabla 4. 14-Cumplimiento del parámetro de los materiales: Gsa > Gse > Gsb 105
Tabla 4. 15-Peso de aditivo para cada porcentaje. 106
Tabla 4. 16- Porcentajes de aditivo de Cera y Zycoterm para mezcla asfáltica tibia ... 108
Tabla 4. 17-Densidad Bulk de las briquetas compactadas (Gmb) 109
Tabla 4. 18-Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice) 110

Tabla 4. 19-Estabilidad y flujo con aditivos 111
Tabla 4. 20-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Cera Carnaúba 112
Tabla 4. 21-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm 113
Tabla 4. 22-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica tibia sin aditivo 114
Tabla 4. 23-Parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Cera Carnaúba 117
Tabla 4. 24-Parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm 118
Tabla 4. 25-Parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia sin aditivo 119
Tabla 4. 26-Conclusión de resultados 119

Capítulo 5

Tabla 5. 1- Costos de planta de asfalto. 121
Tabla 5. 2-Costos Unitarios de los agregados pétreos de la mina Holcim Pifo 122
Tabla 5. 3-Costos Unitarios de los Aditivos y AC-20 122
Tabla 5. 4-Porcentajes de los materiales y pesos para una briqueta. 123
Tabla 5. 5-Cálculo de pesos de Agregados Pétreos y AC-20, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor. 123
Tabla 5. 6-Cálculos de las cantidades de Agregados y AC-20, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor. 123
Tabla 5. 7-Cálculo de cantidades de aditivos, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor. 124
Tabla 5. 8-Costos de los materiales según las cantidades, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor. 124
Tabla 5. 9- Rubro carpeta asfáltica, mezcla en caliente sin modificar. 125
Tabla 5. 10-Rubro carpeta asfáltica, mezcla tibia modificada con Cera Carnaúba al 3%. 126
Tabla 5. 11- Rubro carpeta asfáltica, mezcla tibia modificada con Zycotherm al 0,075%. 127
Tabla 5. 12-Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios. 128

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Capítulo 4

Gráfico 4. 1 -Curva Granulométrica agregado 3/4 80
Gráfico 4. 2-Curva Granulométrica agregado 3/8" 81
Gráfico 4. 3-Curva Granulométrica agregado fino 82
Gráfico 4. 4-Curva granulométrica de la mezcla 84
Gráfico 4. 5 -Volumen de vacíos vs % de asfalto 103
Gráfico 4. 6 -Densidad bulk vs % de asfalto 103
Gráfico 4. 7 -Estabilidad vs % de asfalto 103
Gráfico 4. 8 -Flujo Vs % de asfalto 104
Gráfico 4. 9-V.A.M vs % de asfalto 104
Gráfico 4. 10 -V.F.A. vs % de asfalto 104

Capítulo 5

Gráfico 5. 1-Precio unitario por m2 128
Gráfico 5. 2- Incremento de costos según aditivo a utilizar. 129

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1-Factores de corrección de estabilidad 140
Anexo 2-ENSAYOS DE LABORATORIO: MATERIAL PÉTREO 141
Anexo 3-Gravedad y absorción agregado 3/4" 142
Anexo 4-Gravedad y absorción agregado 3/8"' 143
Anexo 5-Gravedad y absorción agregado fino 144
Anexo 6-Peso unitario agregado3/4" 145
Anexo 7-Peso unitario agregado 3/8" 146
Anexo 8-Peso unitario agregado fino 147
Anexo 9- Durabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos agregado 3/4" 148
Anexo 10-Durabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos agregado 3/8" 149
Anexo 11-Durabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos agregado fino 150
Anexo 12-Abrasion en la máquina de los Ángeles 151
Anexo 13-ENSAYO DE BETÚN ASFÁLTICO:AC-20 152
Anexo 14-Granulometría agregado grueso 3/4" 156
Anexo 15- Granulometría agregado grueso 3/8" 157
Anexo 16- Granulometría agregado fino 158
Anexo 17-Mezcla de agregados pétreos para diseño de asfalto 159
Anexo 18-Determinación de la gravedad especifica bulk de la briqueta, mezcla asfáltica caliente 160
Anexo 19-Estabilidad y flujo, mezcla asfáltica caliente 162
Anexo 20-Ensayo Rice, mezcla asfáltica caliente 162
Anexo 21-Determinación de la gravedad especifica bulk de la briqueta, mezcla asfáltica tibia 164
Anexo 22-Estabilidad y flujo, mezcla asfáltica tibia 166
Anexo 23-Ensayo Rice, mezcla asfáltica tibia 168
Anexo 24-Rubro de mano de obra y equipo 169

Título: EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ADITIVOS: QUÍMICO ZYCOTHERM Y ORGÁNICO CERA DE CARNAÚBA, EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, CASO DE ESTUDIO MINA HOLCIM PIFO

RESUMEN

En el presente trabajo de disertación de grado se evalúo los porcentajes de aditivos: químico Zycotherm y orgánico Cera de Carnaúba en mezclas asfálticas tibias, donde se realizó de forma experimental en laboratorio obteniendo resultados satisfactorios; primeramente se realizó la caracterización de 3 tipos de agregados pétreos: grueso (3/4"), intermedio (3/8") y fino (arena) de la Mina Holcim Pifo; también se realizó la caracterización del betún asfáltico AC-20 procedente de la refinería Esmeraldas; luego se realizó la mezcla de agregados para obtener una dosificación, así se pudo realizar el diseño Marshall de mezcla asfáltica en caliente para obtener el porcentaje óptimo de AC-20. Se usó la misma dosificación de agregados y porcentaje óptimo de AC-20, con diferentes porcentajes de los dos tipos aditivos para la mezcla asfáltica tibia. Finalmente se realizó un análisis de costos comparando los porcentajes de los aditivos mencionados.

Con el fin de poder realizar un análisis donde se pueda desarrollar mezclas asfálticas tibias, mediante tecnologías como son los aditivos, logrando disminuir de esta manera temperaturas de mezcla y compactación, logrando mejoras económicas, ambientales, técnicas y de seguridad.

Title: PERCENTAGE EVALUATION OF ADDITIVES: ZYCOTHERM CHEMICAL AND ORGANIC CARNAÚBA WAX, IN WARM ASPHALT MIXTURES, CASE STUDY MINA HOLCIM PIFO

ABSTRACT

In this degree dissertation work, the percentages of additives were evaluated: chemical Zycotherm and organic Cera de Carnaúba in warm asphalt mixtures, where it was carried out experimentally in the laboratory obtaining satisfactory results; First, the characterization of 3 types of stone aggregates was carried out: coarse (3/4 "), intermediate (3/8 ") and fine (sand) from the Holcim Pifo Mine; The characterization of the AC-20 asphalt bitumen from the Esmeraldas refinery was also carried out; then the aggregates were mixed to obtain a dosage, thus the Marshall design of hot mix asphalt could be carried out to obtain the optimum percentage of AC-20. The same dosage of aggregates and optimal percentage of AC-20 were used, with different percentages of the two types of additives for the warm asphalt mix. Finally, a cost analysis was carried out comparing the percentages of the mentioned additives.

In order to be able to perform an analysis where warm asphalt mixtures can be developed, using technologies such as additives, thus reducing mixing and compaction temperatures, achieving economic, environmental, technical and safety improvements.

CAPITULO 1: GENERALIDADES

1.1.- Justificación

Hoy en día la movilidad nos lleva a construir carreteras de buena calidad, se tiene factores importantes en un país como es; el crecimiento del comercio, mejora del servicio público entre otras. Las mezclas asfálticas en caliente (MAC) es una de las opciones para pavimentar carreteras, pero este tipo de mezcla presenta ciertas desventajas en cuanto al medio ambiente como el producir gases de efecto invernadero, que absorben y emiten radiación, originando problemas ambientales con altos índices de contaminación, distancias de acarreo desde la planta asfáltica hasta el sitio de pavimentación, otro aspecto es que requieren suficiente energía tanto en la etapa de construcción y su mantenimiento.

Lo que se busca es poder minimizar una parte de los impactos que produce la elaboración de mezclas calientes al presentar una producción de mezclas asfálticas a temperaturas reducidas así creando una conciencia ambiental.

Las mezclas asfálticas tibias internacionalmente son conocidas como mezclas (WMA) por sus siglas en inglés la cual es una tecnología reciente, donde mediante un grupo de técnicas que reduce la temperatura de mezcla y compactación de la mezcla asfáltica, permitiendo disminuir la cantidad de gases que se genera durante el proceso de su producción. Estas tecnologías usan espumas, aditivos químicos y orgánicos que ayuda que la mezcla sea trabajable.

Las (WMA) llamadas también pavimentos verdes, es una ruta al desarrollo sostenible ayudando mucho a las emisiones de gases, polvo al medio ambiente, uso de combustible, también en algunas investigaciones deducen que previene el envejecimiento prematuro de la mezcla asfáltica entre otras ventajas que generan durabilidad y calidad.

Las compañías que fabrican tecnologías como los aditivos químicos, aditivos orgánicos y proceso de espumación las cuales son modificadores de viscosidad con un cierto porcentaje para agregar a la mezcla asfáltica tibia, este plan de disertación pretende dar comparaciones porcentuales de dos aditivos para la mezcla asfáltica tibia con materiales pétreos de la mina Holcim Pifo y betún asfáltico AC-20 de la refinería Esmeraldas.

Al trabajar con un material proveniente de un lugar en específico, en nuestro caso mina Holcim Pifo va a tener su propio comportamiento al trabajar con un cemento asfáltico durante su interacción con un aditivo, por lo que se debe realizar un análisis para cada lugar que se trabajara, siendo un diseño único para cada mina.

1.2.- Objetivos

1.2.1.- Objetivo general

- Comparación entre el aditivo químico Zycotherm y aditivo orgánico cera Carnaúba, para determinar cuál es más adecuado con su porcentaje óptimo para la mina Holcim Pifo.

1.2.2.- Objetivos específicos

- Realizar los ensayos de laboratorio para la caracterización de los materiales pétreos y betún asfáltico.
- Desarrollar el diseño de mezcla asfáltica mediante el método Marshall.
- Comparar los diferentes porcentajes de los aditivos, determinando el más óptimo para para la mina Holcim Pifo.
- Comparar las eficiencias del diseño en base a los porcentajes que se obtengan, para la mina Holcim Pifo.

1.3.- Alcance

En el presente trabajo se analizará los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio normalizados de caracterización del material de la mina Holcim Pifo, realizando los ensayos de: pesos unitarios, gravedad específica, equivalente de arena, abrasión, resistencia a los sulfatos; además para el material bituminoso corresponde a un cemento asfáltico AC-20 procesado por la refinería estatal Esmeraldas , los ensayos de: gravedad específica, punto de chispa, llama copa abierta de cleveland, punto de reblandecimiento, penetración, ductilidad y viscosidad; para el diseño de mezclas se usara el método Marshall, utilizando dos tipos de aditivos a diferentes porcentajes. Todos los ensayos se realizan bajo normas nacionales e internacionales, (INEN - ASTM).

1.4.- Antecedentes o Marco Referencial

Constantemente lanzan al mercado nuevos productos, procesos, mecanismos con finalidad de mejorar el impacto ambiental que se genera al construir carreteras, así tener un mínimo de impactos formando una industria verde, (Lopera, 2011).

El desarrollo de la tecnología de pavimentos tibios empezó con el objetivo en la disminución de la temperatura de la mezcla y energía donde empezó en 1997 en Kyoto, esto también facilita el trabajo en países con inviernos fríos, (Lopera, 2011).

Según sea el tipo de sistema a usar debe cumplir con que no afecte el ligante asfáltico, permitiendo obtener una mezcla asfáltica de parecida o con superiores propiedades que una mezcla convencional como también un buen recubrimiento de partículas minerales por medio del asfalto a menores temperaturas que las convencionales, (Bolzan, 2011).

El futuro de estas tecnologías es que los ligantes asfálticos especiales se orientan hacia una mayor utilización de mezclas tibias de menor costo respecto a la convencional, conservando las propiedades fundamentales, (Jair, 2012).

1.4.1.- Antecedentes de Mezclas Asfálticas Tibias.

Se denomina mezcla asfáltica tibia aquellas que se logra reducir la temperatura de mezclado y compactación de la mezcla asfáltica caliente con técnicas o tecnologías sin alterar su calidad resultante.

Las mezclas asfálticas tibias tuvieron estudios experimentales en los países europeos como Noruega, Alemania y Francia a finales de 1990, Estados Unidos a principios del 2004 y en Argentina con el propósito que se implemente este tipo de mezcla en las vías del país se realizó ensayos en laboratorios y en campo (Alonzo R, 2012).

Para obtener una viscosidad adecuada del ligante asfáltico se necesita una temperatura específica para lograr un homogéneo y compacto recubrimiento del asfalto y los agregados minerales, pero al reducir la temperatura se han introducido al mercado varias opciones como aditivos orgánicos, aditivos químicos y espumantes las cuales desarrollan diferentes métodos permitiendo obtener una mezcla asfáltica de parecida o con superiores propiedades que una mezcla convencional.

CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

2.1.- Mezclas asfálticas en general

En el campo de la construcción la mezcla asfáltica es la combinación de agregados también llamados, minerales pétreos junto con un ligante asfáltico, así estos dos componentes en una proporción adecuada generan una capa de rodamiento cómoda, económica y segura para el usuario utilizándola en carreteras, aeropuertos, pavimentos industriales, entre otros.

Se debe tener en cuenta que para evitar el deterioro del pavimento hay q considerar:

- **Un diseño de mezcla asfáltica,** con calidad y proporciones adecuadas de los componentes de la mezcla; el agregado mineral y el ligante asfáltico, estos materiales tienen una gran importancia para un buen desempeño del pavimento como una buena respuesta estructural establecida en un periodo de diseño, tenga bajas deformaciones, y que sea capaz de resistir la carga del tráfico. Las mezclas asfálticas están aproximadamente constituidas por un porcentaje de; agregados pétreos grueso y fino (90%), polvo mineral o filler (5%) y ligante asfáltico (5%).
- **El diseño de la estructura del pavimento,** que es la parte de la vía que conforma un conjunto de capas de material seleccionado que recibe en forma directa las cargas que produce el tránsito y las transmite a las capas inferiores.

2.1.1.- Propiedades funcionales y técnicas de la mezcla asfáltica para pavimento flexible

Propiedades funcionales de las mezclas asfálticas
Seguridad
Resistencia al deslizamiento
Regularidad transversal
Visibilidad (marcas viales)
Comodidad
Regularidad longitudinal
Regularidad transversal
Visibilidad
Ruido
Durabilidad
Capacidad soporte
Resistencia a la desintegración superficial
Medio ambiente
Ruido
Capacidad de ser reciclado
Trabajabilidad

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

Ilustración 2. 1-Propiedades funcionales y técnicas de las mezclas asfálticas.
Fuente: *RUIZ R.,(2001), La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras*

El pavimento flexible es una estructura compuesto por capas de diferentes materiales que se caracteriza por poder soportar cargas y transmitirlas. La mezcla asfáltica estructurada por una dosificación de agregado y un contenido óptimo de asfalto, soporta directamente las cargas de neumáticos directamente y las transmite a las capas inferiores como se observa en la ilustración 2.1.

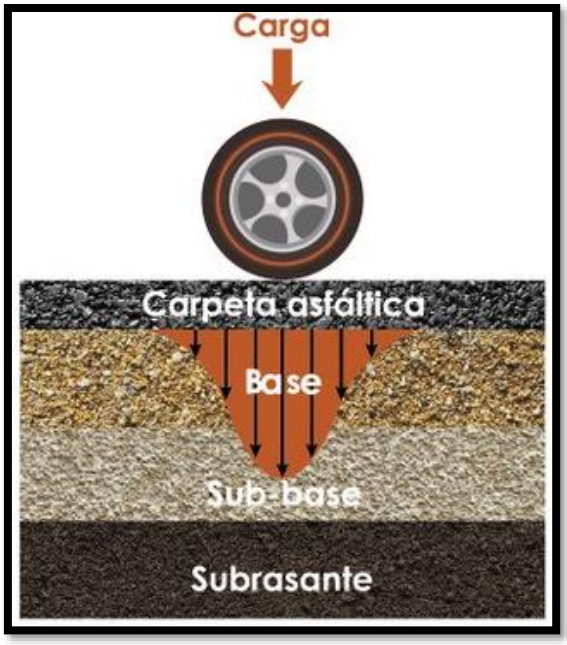


Ilustración 2. 2- Estructura de un pavimento flexible
Fuente:https://pbs.twimg.com/media/DwP7pHkXcAIpDyx?format=jpg&name=4096x4096

2.1.2.- Clasificación de las mezclas asfálticas según (Padilla, 2008)

a.-) Fracciones de agregado

- Masilla: Polvo mineral + ligante asfáltico
- Mortero: Agregado fino + masilla
- Concreto: Agregado grueso+ mortero
- Macadam: Agregado grueso+ ligante asfáltico

b.-) Temperatura puesta en obra

Mezcla en Caliente:

- La temperatura va desde 140°C a 180°C.
- La producción de mezclas asfálticas convencionalmente.
- Las mezclas en caliente son de alto desempeño, producida por técnicas convencionales, donde las temperaturas son elevadas para su producción.

Mezclas tibias:

- La temperatura va desde 100°C a 135°C.
- La producción de mezclas asfálticas busca reducir los requerimientos térmicos.

- Las mezclas tibias mejoran o mantienen el rendimiento final de la mezcla para lo cual es necesario implementar tecnologías para reducir la viscosidad del ligante asfáltico.

Mezclas Frías:

- La temperatura va desde 30°C a 60°C.
- Permitir la incorporación en la mezcla de material reciclado.
- Las mezclas en frio, el agregado se envuelve con emulsión de asfalto en agua, se puede usar como capas intermedias, de refuerzo y de rodadura.

c.-) Huecos en mezcla

Un parámetro donde ayuda a que no se produzca deformaciones plásticas por cargas y variaciones de temperatura.

- Cerrada o densa: Donde la proporción de vacíos no supere el 6%: h<6%
  - Se conoce como mezclas asfálticas convencionales de gradación densa si la mezcla está formada, por agregados de tamaño máximo nominal de 12.5mm (1/2”), o 19mm (3/4”)
- Semi cerrada o semi densa: 6%<h<12%
- Abiertas: h>12%
- Porosas : h>20%

d.-) Tamaño máximo de agregado

- Gruesas: Tmax> 10 milimetros
- Finas: o micro aglomeradas

e.-) Estructura del agregado

- Con esqueleto mineral: Tiene un notable rozamiento de agregados.
- Sin esqueleto mineral: su resistencia se debe más a la cohesión de la masilla.

e.-) Granulometría

- Mezcla Continuas: Su granulometría es distribuida
- Mezcla Discontinuas: su granulometría no es distribuida es limitada en ciertos tamaños.

Parámetro de Clasificación	Tipo de mezcla
Fracciones de agregado empleadas	Masilla
	Mortero
	Concreto
	Macadam
Temperatura de puesta en obra	En Frío
	En Caliente
Huecos en la mezcla (h)	Cerradas (h< 6%)
	Semicerradas (6%<h<12%)
	Abiertas (h>12%)
	Porosas (h>20%)
Tamaño máximo del agregado (t máx)	Gruesas (t máx > 10 mm)
	Finas (t máx < 10 mm)
Estructura del agregado	Con esqueleto mineral
	Sin esqueleto mineral
Granulometría	Continuas
	Discontinuas

Ilustración 2. 3-Clasificación de las mezclas asfálticas.
Fuente: Padilla (2008)

2.2.- Diseño de mezclas asfálticas en caliente metodología Marshall

Para el diseño de una mezcla asfáltica se tiene diferentes tipos de diseño como: Método Marshall, Hveem, Superpave y otras, el más común es el método Marshall que se encuentra normado por las especificaciones MTOP.

El método Marshall es el más utilizado para poder verificar la resistencia de la mezcla asfáltica, el ingeniero de asfaltos Bruce Marshall del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi desarrollo el concepto del método Marshall, después de extensivas investigaciones, estudios y correlaciones, se adicionaron mejoras a ciertos aspectos del procedimiento del método Marshall y desarrollando un criterio de diseño de mezclas, Garnicas P.,(2005).

Consideraciones previas:

2.2.1.- Materiales: Agregado Pétreo y Betún Asfáltico

- Para los agregados pétreos y betún asfáltico, deben realizarse los ensayos respecticos para conocer si cumple las especificaciones.
- La dosificación para la mezcla de los agregados deber cumplir las especificaciones de granulometría requerida según su tamaño máximo nominal.
- Contar con agregado suficiente y dividido en grupos de tamaño previamente secado.

2.2.2.- Agregado Pétreo

a) Análisis granulométrico

La normativa NTE INEN 696, en la cual se determina la gradación de los agregados ¾, 3/8 y fino de la Mina Holcim (Pifo), con el fin de ser usado en este caso de investigación en mezcla asfálticas

En función del Tamaño máximo nominal del agregado se establece especificaciones máximas y mínimas, con este cumplimiento se va a tener un valor óptimo de vacíos del agregado mineral.

b) Abrasión

La normativa NTE INEN 860, en la cual se establece mediante la abrasión del material, se obtendrá la calidad que tiene el agregado grueso y se realiza en la máquina de los Ángeles

c) Equivalente de arena

Las normativas ASTM 2419 y AASHTO T126, donde el ensayo de equivalente de arena para el agregado fino se determinará las proporciones de arcilla y arena para tener un conocimiento de la limpieza que tiene el agregado, mientras mayor es el equivalente de arena mejor es su calidad.

d) Resistencia a los sulfatos

La normativa NTE INEN 863, donde el ensayo a la resistencia a los sulfatos se determina la capacidad de los agregados al intemperismo, mediante la acción de sulfato de magnesio expuesto a la variabilidad de la temperatura al horno y al ambiente, así se pretende obtener la pérdida de masa en porcentaje.

e) Gravedad específica y absorción

La normativa NTE INEN 857 y NTE INEN 856 para árido grueso y fino respectivamente, donde se determina la densidad que es masa por unidad de volumen de un material, densidad relativa o gravedad especifica que es la relación entre la densidad de un material y la densidad de agua destilada a una temperatura y absorción que es el incremento de peso por penetración de agua en sus poros del árido grueso y fino.

- ***En capítulo 3 sección 3.1 se caracteriza el agregado pétreo de la Mina Holcim(Pifo), explicando el procedimiento, resultados y especificaciones.***

2.2.3.- Betún Asfáltico

a) Grado de penetración

Mediante la norma INEN 2060 la cual especifica que mediante la penetración se pretende tener una medida estimada de consistencia o dureza de los materiales asfálticos como sólidos o semisólidos, determinando que si la penetración tiene un valor alto las mezclas son más blandas caso contrario más duras.

b) Viscosidad absoluta (dinámica)

Mediante la norma INEN 2515, donde la viscosidad es la resistencia a fluir de un fluido, esto se debe por la fricción entre las moléculas y se mide en unidades S.I. (Pascales segundo), o Centipoise (cps) que equivalente a 1 mPas.

La viscosidad cinemática es el resultado de dividir la viscosidad dinámica con la densidad, y se mide en centistokes.

C) Ductilidad

La Normativa NTE INEN 916, expresa que mediante el ensayo de ductilidad se puede determinar el estiramiento del betún hasta la rotura, teniendo en cuenta que cuando la ductilidad es elevada del betún asfáltico va tener tendencia a cambios de la temperatura.

d) Durabilidad

Mediante la norma AASHTO T 240 y ASTM D 2872, se determina mediante el ensayo RTFO (horno rotatorio de película delgada), el cual va a simular el envejecimiento que se puede presentar por efecto del calor y aire al momento de la producción, trasporte y colocación del asfalto.

Como resultado del ensayo se obtiene un residuo asfáltico, el cual permitirá realizar más ensayos para poder caracterizar las propiedades de asfaltos envejecidos (NCRHP, 2011).

- Cambio de masa: luego de calentar en el horno RTFO, se compara las masas inicial y final expresándose en positivo como ganancia y negativo como perdida.

e) Punto de inflamación

La normativa NTE INEN 808, es una propiedad física para poder caracterizar el material el cual no representa un parámetro de calidad donde, nos señala a que temperatura se puede calentar el betún asfáltico sin que presente una combustión.

f) Punto de ablandamiento

La normativa NTE INEN 920 y ASTM D36, es la tendencia del material a fluir a una determinada temperatura, es una propiedad física la cual no especifica en la norma un valor rango.

g) Densidad del asfalto

La normativa NTE INEN 923 y ASTM D 70, no especifica, pero tiende a uno la densidad del betún asfáltico medida en gr/cm3, el cual se usa en el diseño Marshall para determinar; el peso específico máximo teórico, el peso específico efectivo del agregado o gravedad específica efectiva del agregado y el contenido de asfalto absorbido por el agregado en porcentaje.

- ***En capítulo 3 sección 3.2 se caracteriza el AC-20 proveniente de la refinería Esmeraldas, explicando el procedimiento, resultados y especificaciones.***

2.2.4.- Preparación de briquetas

En el método Marshall se fabrica mediante impactos según la utilización de dicho pavimento asfáltico, en la norma MOP especifica según el tipo de tráfico: 75 golpes para tráfico muy pesado y pesado y 50 golpes para tráfico medio y 35 para liviano. Se fabrica probetas con distintos porcentajes con un mínimo de tres cada uno, que se obtiene en el cálculo del porcentaje aproximado de AC-20, que resulta de la mezcla de los agregados, las briquetas contendrán las siguientes características nombradas a continuación.

2.2.5.- Ensayo de briquetas

- Características volumétricas de las probetas:
    - La medida de la gravedad específica Bulk de la probeta, volumen de vacíos en el árido y porcentaje de vacíos de la mezcla.
- Ensayo mecánico de rotura de las probetas: El ensayo se somete a probetas cilíndricas de diámetro 4" (101,6mm) y altura de 2 ½" (63,5mm), se coloca en las mordazas y se aplica la carga en la prensa Marshall como la ilustración 2.4, determinando:
    - La estabilidad Marshall, que es la rotura que produce una carga aplicada en determinado momento.
    - Deformación Marshall, que es cuando las mordazas se aproximan una longitud.
- Los resultados se presentan en las curvas Marshall ilustración 2.5 y así se determinar un contenido óptimo de ligante asfáltico.
- Las curvas presentan las características de los parámetros del ensayo en función del contenido de ligante, dichas curvas son; Curvas de densidad, estabilidad, deformación, porcentaje de vacíos de la mezcla, porcentaje de vacíos en áridos.

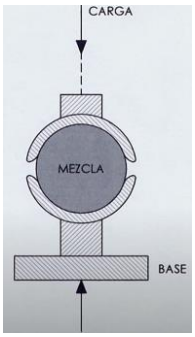


Ilustración 2. 4-Aplicación de carga, equipo Marshall
Fuente: PAV_ASF 6.7 El método Marshall,(2016)

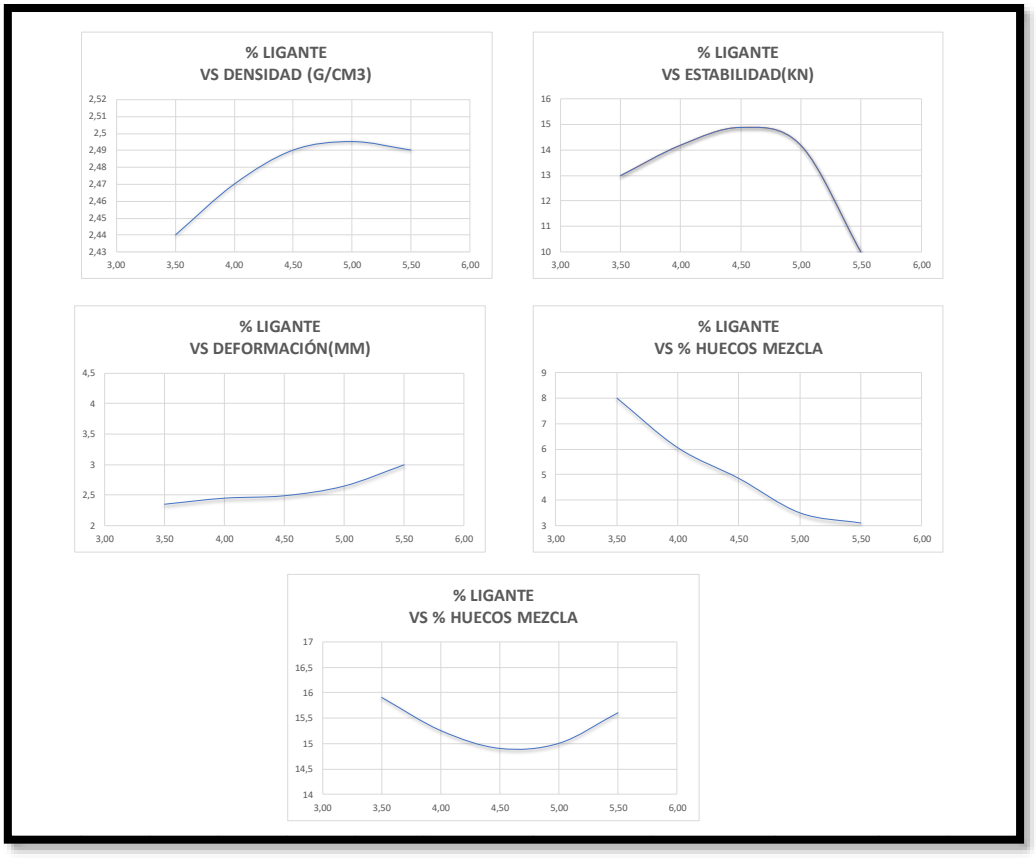


Ilustración 2. 5 – Curvas en función del contenido de ligante y los parámetros del ensayo Marshall
Fuente: PAV_ASF 6.7 El método Marshall,(2016)

2.3.- Ligante en la mezcla asfáltica: Generalidades

El asfalto es un hidrocarburo de alto peso molecular, componente natural viscoso, sub derivado del petróleo, color negro, constituido principalmente por asfáltenos, aceites y resinas con características cementantes, aglutinantes.

Se genera mediante la destilación del petróleo donde los componentes volátiles y ligeros se retira para obtener como producto el asfalto, este producto viscoso y pegajoso que se adhiere muy fácil a las partículas se usa en la elaboración de carpetas asfálticas, riegos, estabilizaciones, impermeabilizaciones, entre otras.

2.3.1.- Composición química

Desde el punto de la química orgánica el asfalto una mezcla de hidrocarburos parafínicos, nafténicos y aromáticos que está constituido por: Hidrogeno, azufre, oxigeno, carbono, nitrógeno, vanadio níquel, hierro, calcio, magnesio, entre otras teniendo en cuenta que esto depende de petróleo del cual se destila.

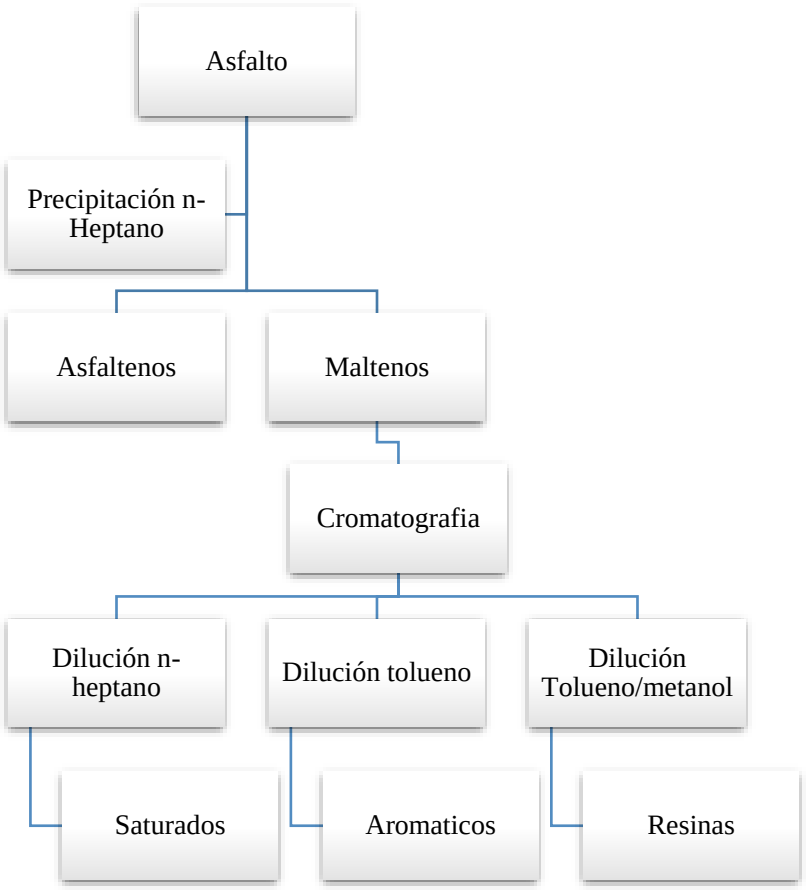


Ilustración 2. 6 -Composición química del asfalto
Fuente: SOL PETROLEO, 2010

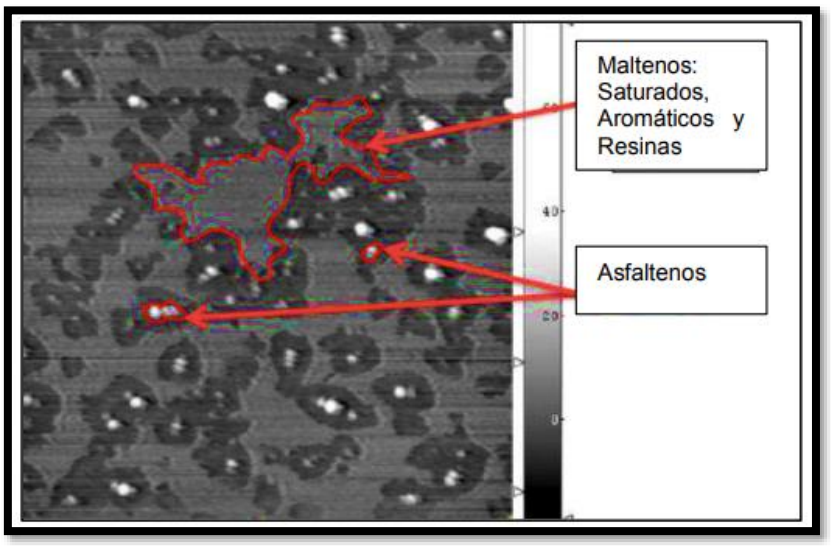


Ilustración 2. 7-Composición química del asfalto
Fuente: Múnera J, 2012

- **Asfáltenos:** Constituidos principalmente por hidrocarburos aromáticos color negro a marrón, de elevada polaridad, alto peso molecular alrededor de 1.000-10.000.
- **Maltenos:** Constituido por resinas, saturados y aromáticos, muy polares de colores marrón a marrón claro, las resinas al ser muy adhesivas dispersan y disuelven a los asfáltenos, SOL PETROLEO, (2010).

2.3.2.- Características del asfalto

- **Consistencia:** Viscosidad que tiene el betún asfáltico en relación a la temperatura.
- **Durabilidad:** Tiempo que durara el asfalto, sin cambiar sus propiedades.
- **Visco elasticidad:** El asfalto muestra las características simultáneamente de viscosidad y elasticidad, al tener temperaturas mayores a 100°C actúa como un líquido viscoso y al tener temperaturas que tiende a 0° C actúa como un sólido elástico.
- **Susceptibilidad a la temperatura:** Las temperaturas muy elevadas el asfalto dan como resultado en el pavimento; roderas por las cargas repetidas y excesivas de los autos, mientras que en temperatura muy bajas; presenta fracturas.

2.3.3.- Envejecimiento

Es un endurecimiento de la mezcla asfáltica, este fenómeno que causa deterioro del pavimento dependerá de dos variables; la primera variable intrínseca la cual es por la característica propia de la mezcla, y la segunda variables extrínsecas que es la alteración en el proceso de producción, transporte y colocación de la mezcla, **(**Miró, 2015).

- **El envejecimiento a corto plazo:** El cual es en el proceso de producción, mezcla y colocación de esta mezcla. Es causado por volatización (perdida de volumen del betún asfaltico), para evaluar el desempeño dinámico y estático se usa el ensayo RTFO.

- **El envejecimiento largo plazo:** El cual tiene presente el tiempo de uso y su vida de servicio. Es causado por la oxidación y por la exposición ambiental, para

evaluar el potencial de fisuración se usa el método PAV (vaso de envejecimiento a presión).

- **Endurecimiento por volatización:** Durante el mezclado y compactación al tener temperaturas muy elevadas fuera de un rango, los componentes volátiles del asfalto se evaporarán.

- **Endurecimiento por oxidación:** Al tener alto contenido de vacíos la mezcla asfáltica, reacciona con oxígeno del medio ambiente ya que contiene moléculas orgánicas, tendiendo a endurarse o fragilizarse, también llamado endurecimiento por envejecimiento o endurecimiento por oxidación. Esto es más rápido que suceda en climas muy calientes ya que en climas fríos es más bajo el tiempo en el que se presenta el envejecimiento.

2.3.4.- Características del asfalto en el Ecuador

El asfalto producido en el Ecuador es un AC-20, el cual es procesado de la destilación del crudo en la refinería Esmeraldas la cual opera desde el año1977 y se acoge a las especificaciones (INEN).

Problemáticas del asfalto

Se han evidenciado muchos casos de problemas con el envejecimiento prematuro, obteniendo fisuras, lo que la fabricación de mezclas tibias con el uso de nuevas tecnologías como aditivos en las etapas de mezcla y compactación hoy en día es una gran ventaja.

2.4.- Mezcla Asfáltica Tibia (WAM)

En la ilustración 2.8 se observa los rangos de temperatura para la producción de mezclas asfálticas.

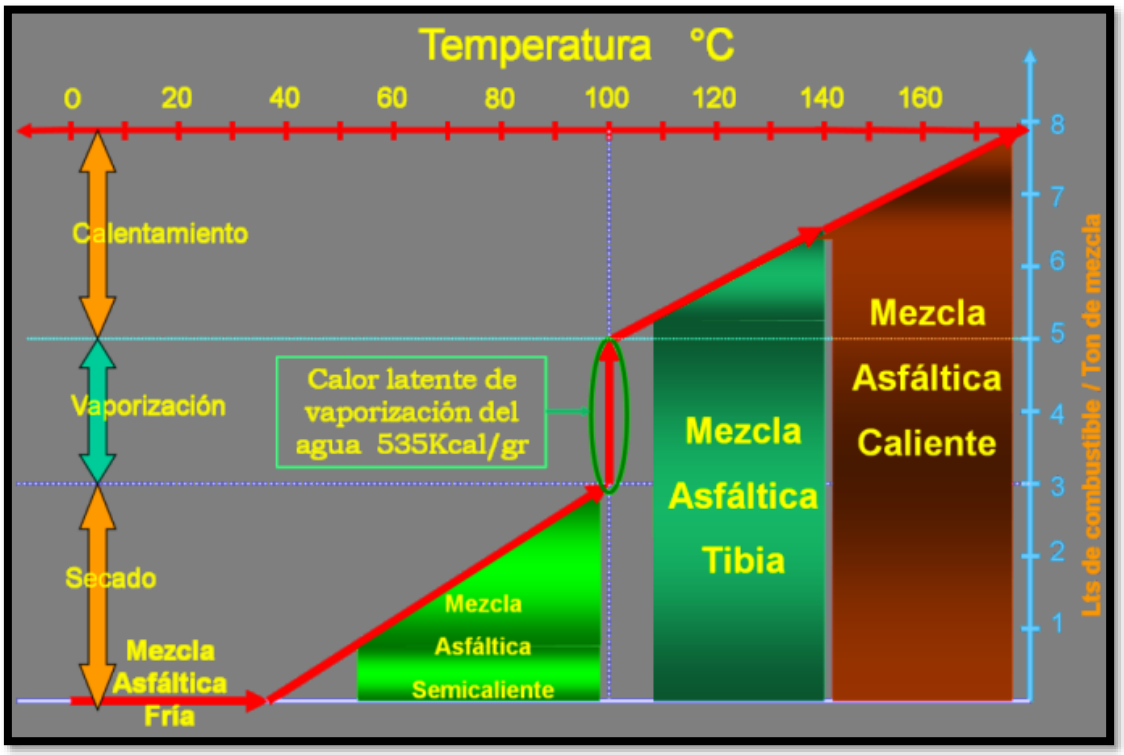


Ilustración 2. 8-Rangos de temperaturas para producción de mezclas asfálticas
***Fuente**:Lopera (2011)*

- Mezcla asfáltica tibia (WMA) Warm Mix Asphalt por sus siglas en inglés, donde la producción y colocación de la mezcla asfáltica esta en un rango de (100°C a 140°C), gracias al uso de metodologías o tecnologías las cuales reducen la viscosidad de la mezcla y mejoran su trabajabilidad, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, (2014).

2.4.1.- Ventajas de mezcla asfáltica tibia:

VENTAJAS
-REDUCCIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y ENERGÍA
-REDUCCIÓN DE EMISIONES DE DIÓXIDO DE CARBONO
-MAYOR TRABAJABILIDAD Y COMPACTIBILIDAD DE MEZCLA
-DEBIDO A SU MENOR GRADIENTE TÉRMICO, DISMINUYE LA VELOCIDAD DE ENFRIAMIENTO Y NOS DA LA POSIBILIDAD DE PAVIMENTAR A MENORES TEMPERATURAS AMBIENTES.
-LAS DISMINUCIONES EN LAS TEMPERATURAS DE TRABAJO GENERAN DISMINUCIÓN DEL RIESGO LABORAL ASOCIADO A QUEMADURAS Y EXPOSICIÓN DE HUMOS.
-POSIBILIDAD DE TRANSPORTAR LAS MEZCLAS A MAYORES DISTANCIAS INCREMENTANDO EL RADIO DE ACCIÓN DE LAS PLANTAS ASFÁLTICAS

Ilustración 2. 9- Ventajas de la aplicación de mezclas asfálticas tibias
***Fuente**: (Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 2014)*

a.-) Beneficios Ambientales

Es uno de los beneficios más notorios descritos en muchas literaturas sobre pavimentos tibios con un ahorro de energía de alrededor del 20 a 40 % disminuyendo el costo de producción esto dependiendo del tipo de energía que se utilice durante la producción y además, dando un menor desgaste a la planta de asfalto, según Z. You (2008)

- Como un **ejemplo** de mezclas asfálticas tibias sostenibles en el país de Perú la revista Transporte Latinoamericano presento una investigación de una ruta en Lima que se aplicó a un tramo de prueba de 1.5 km para determinar los beneficios ambientales evaluados en el proyecto de fabricaron con un cemento asfáltico base PEN 60-70, polímeros SBS, aditivo Evotherm y agregados de las canteras de Lima, obteniendo así una reducción en:

Consumo de combustible en la planta

Se observa en la ilustración 2.10 e ilustración 2.11 ***que hay un ahorro del 15 % de Galones al día*** usando una mezcla asfáltica tibia con aditivo Evotherm.

Consumo de energía en Planta para producción de mezcla asfáltica en caliente

Descripción	Cantidad	Mezcla Tibia	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Diesel para calentamiento térmico del asfalto	5.60	2.05	18.00	Hr/Día	100.80	Gal/Día
Diesel para producción de mezcla asfáltica	2.50	7.76	255.00	M3/Día	637.50	Gal/Día
Diesel para energía eléctrica 380 KW (475 KVA)	11.00	43,937	5.00	Hr/Día	55.00	Gal/Día
Combustible para iluminación 1 x 4.6 KW	3.00	340,921	5.00	Hr/Día	15.00	Gal/Día
					808.30	Gal/Día

Ilustración 2. 10-Consumo de energía en planta para producción de Mezcla Asfáltica en Caliente.
***Fuente:** Lazarte J, Vialidad y Transporte Latinoamericano*

Consumo de energía en Planta para producción de mezcla asfáltica tibia

Descripción	Cantidad	Mezcla Tibia	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Diesel para calentamiento térmico del asfalto	5.60	2.05	18.00	Hr/Día	100.80	Gal/Día
Diesel para producción de mezcla asfáltica	2.05	7.76	255.00	M3/Día	522.75	Gal/Día
Diesel para energía eléctrica 380 KW (475 KVA)	11.00	43,937	5.00	Hr/Día	55.00	Gal/Día
Combustible para iluminación 1 x 4.6 KW	3.00	340,921	5.00	Hr/Día	15.00	Gal/Día
					693.55	Gal/Día

Ilustración 2. 11-Consumo de energía en planta para producción de Mezcla Asfáltica Tibia.
***Fuente:** Lazarte J, Vialidad y Transporte Latinoamericano*

Emisión de gases

En la ilustración 2.12 se puede observar una comparación de las emisiones y humos generados con las mesclas asfálticas en caliente y tibia. Presentando la estimación de los gases de efecto invernadero, en términos de kg de CO2e.

Se determina que los usos de las mezclas asfálticas tibias permitirán ***evitar la emisión de aproximadamente 191 Ton de CO2e (dióxido de carbono) al ambiente un 18% menos.***

Consumo de energía en Planta para producción de mezcla asfáltica tibia		
Descripción	**Mezcla en Caliente**	**Mezcla Tibia**
Consumo de Diesel B5 en planta, en galón/m^3	2.50	2.05
Consumo de Diesel B5 en planta, en litro/m^3	9.46	7.76
Volumen de mezcla asfáltica por ejecutar, en m^3	43,937	43,937
Volumen de Diesel B5 estacionario, en litros	415,757	340,921
Factor de emisión de Kg CO^2 por litro	2.54152360000	2.54152360000
Potencial de calentamiento global de CO^2	1	1
Emisión de CO^2e	1,056,656	866,458
Factor de emisión de Kg CH^4 por litro	0.00010757520	0.00010757520
Potencial de calentamiento global de CH^4	25	25
Emisión de CO^2e	1,118	917
Factor de emisión de Kg N^2O por litro	0.00002522160	0.00002522160
Potencial de calentamiento global de N^2O	298	298
Emisión de CO^2e	3,125	2,562
Emisión total de Kg CO^2e	1,060,899	869,937
Estimación de GEI evitados por el consumo de Diesel B^5 Estacionario en términos de Kg CO^2e	190,962	
	18%	

Ilustración 2. 12-Consumo de energía en planta para producción de Mezcla Asfáltica Tibia.
Fuente: *Lazarte J, Vialidad y Transporte Latinoamericano*

- Otro claro ejemplo es en Estados Unidos la producción estimada de *CO2e* en las plantas asfálticas convencionales en caliente es de aproximadamente 2500 Ton/año, con el uso de las mezclas asfálticas se obtuvo una reducción de hasta 1700 Ton, Lopera, (2011).

Diferencia de procesos constructivos

En la ilustración 2.13 podemos observar como es el proceso constructivo de las mezclas asfálticas en caliente a la derecha y las tibias a la izquierda, desde la descarga de la mezcla, la emisión de humos y la temperatura a la cual se encuentra la producción.



Ilustración 2. 13- Proceso constructivo convencional con las mezclas modificadas.
Fuente: *Lazarte J, Vialidad y Transporte Latinoamericano*

b.-) Beneficios técnicos

En el diseño de mezcla asfáltica tibia se evalúa la adhesividad y cohesión esto debido a la acción de agua mediante el ensayo, (Efecto de humedad en mezclas de concreto asfáltico, AASHTO T-283).

- **Mejorador de adherencia,** como se observa en la ilustración 2.14, se tiene resultados con mejorador de adherencia y sin mejorador de adherencia, en la mezcla asfáltica caliente y en la mezcla asfáltica tibia con aditivo químico Warm mix, lo que se observa que la mezcla caliente necesita el mejorador mientras que la mezcla tibia no necesita mejorador de adherencia debido al cumplimiento del Ensayo **TSR** (ensayo de tracción indirecta) implica la aplicación de una carga de compresión a lo largo de los ejes diametrales de la probeta.

  AASHTO T283- Limite ITSR 80%

  LNV 85%- Limite ITSR 85%

  ASTM D4867- Limite ITSR 75%

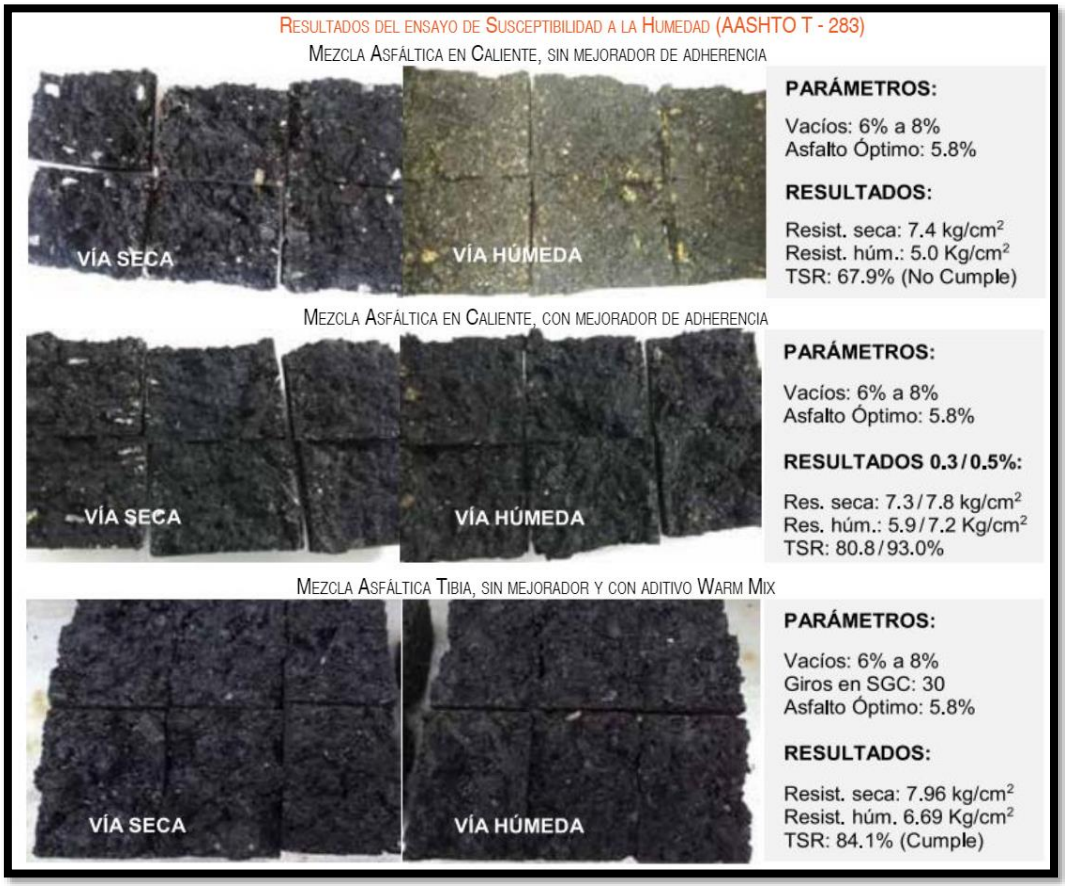


Ilustración 2. 14-Resultados del ensayo de Susceptibilidad a la Humedad (AASHTO T-283).
Fuente: *Lazarte J, Vialidad y Transporte Latinoamericano*

- **Resistencia al ahuellamiento,** en la ilustración 2.15 se muestra los resultados obtenidos del Ensayo de Rueda de Hamburgo la cual mide la deformación permanente en mezclas asfálticas esto puede evaluarse a través de pruebas que simulan el paso de los vehículos esperados en el campo.
- Las probetas son sumergidas en agua, a una temperatura entre 25 y 70 °C y son cargadas con una rueda metálica entre 10 000 y 20 000 pasadas, la norma AASHTO T 324 no especifica la temperatura del ensayo, en Estados Unidos modificaron dicho método para reflejar las condiciones ambientales locales. En cuanto a las especificaciones la ciudad de Hamburgo en Alemania especifica una deformación permanente de 4 mm y 20 000 pasadas, Instituto Mexicano de Transporte,(2018).



Ilustración 2. 15-Resultados del Ensayo de Rueda de Hamburgo (AASHTO T-324).
Fuente: *Lazarte J, Vialidad y Transporte Latinoamericano*

2.4.2.- Clasificación de tecnologías para la producción de mezcla asfáltica tibia

El uso de nuevas tecnologías para la producción de mezcla asfáltica permite disminuir las temperaturas de producción y compactación en un rango de 20°C a 50 °C de esta manera poder colocar asfaltos a temperaturas inferiores a las tradicionales.

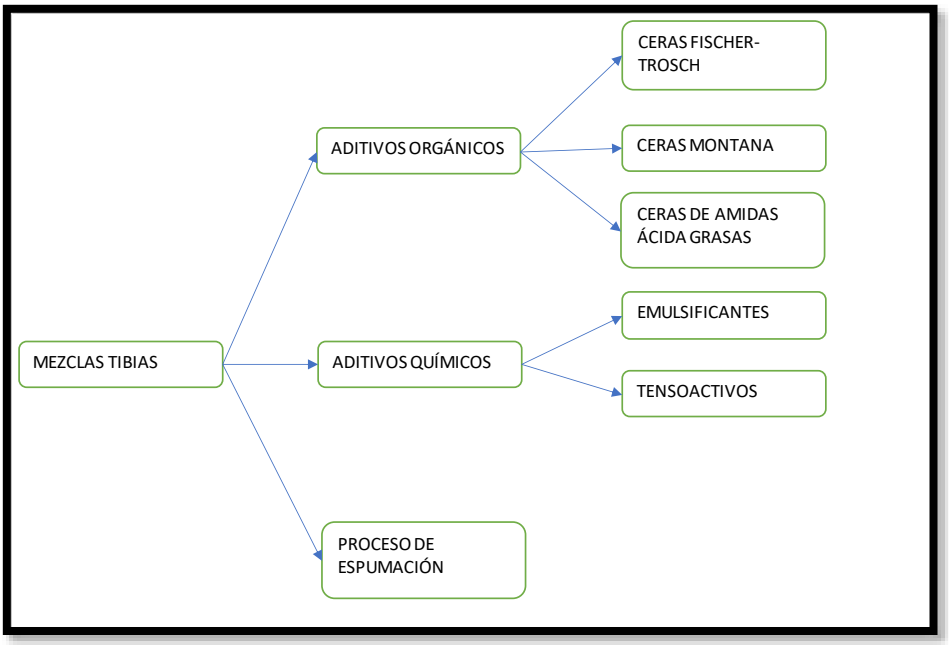


Ilustración 2. 16-Clasificación de las diferentes tecnologías en la producción de mezclas asfálticas tibias ***Fuente****: (Labic, 2012)*

2.4.2.1.- Aditivos Orgánicos

Son tipos de cera que ayuda a reducir la viscosidad del ligante, esta se adiciona de dos maneras al tambor de mezclador de forma sólida o mezclar se con el asfalto antes de entrar al tambor, así poder reducir la temperatura de mezclado de (130-140°C).

Tipos de ceras:

- **Cera Fischer Tropsch (FT),** el cual es un proceso químico para la producción de hidrocarburos líquidos a partir de gas de síntesis.
- **Cera Montana,** es una cera natural que se deriva de la extracción por solventes de lignitos, que es un tipo de roca sedimentaria es escasa se encuentra en Alemania y California y su sustituto es la cera Carnaúba ya que tiene propiedades similares.
- **Las amidas,** son un tipo de compuestos orgánicos que pueden considerarse derivados de ácidos o aminas. Las aminas son compuestos químicos organicos derivados del amoníaco.

- **Ceras de amidas ácida grasas (AAG),** es el proceso sintético de amidas y acidas grasas.

Ejemplos en el mercado:

- **Sasobit**, es utilizado como aditivo para asfaltos se obtiene mediante el proceso de síntesis de ceras FT (Las ceras sintéticas Fischer-Tropsch).
- **Asphaltan-B,** es una mezcla se cera Montana y amidas grasas con un punto de fusión entre (82 °C-95°C).
- **Licommont Bs 100**, es una mezcla de derivados de ácidos grasos para la modificación del betún con un punto de fusión entre (141 °C -146°C).
- **Rheofalat LT70**, consta de ceras FT (Las ceras sintéticas Fischer-Tropsch) con un punto de fusión de (115°C).
- **Cera Carnaúba,** se obtiene de la palma Copernica Prunifera en America del Sur, en el noroeste de Brasil contiene principalmente esteres ácidos grasos hasta un 85%, alcoholes grasos, ácidos e hidrocarbonatos y otros, con un puno de fusión de (78°C-85°C).

2.4.2.2.- Aditivos químicos

Se clasifican en emulsificantes y tensoactivos:

- **Emulsificantes**

Donde contiene una mezcla de agente emulsificantes, polímeros, surfactantes, y aditivos para mejorar la adherencia, trabajabilidad, mezcla y compactación para la producción generalmente se mezcla con el betún asfáltico antes de entrar al tambor. (Labic, 2012).

Se puede obtener disminuciones de temperatura según el aditivo a usar como: (15-30˚C) por el aditivo REVIX® , (50-75˚C) por el aditivo Evotherm ET., Labic, (2012).

- **Tensoactivos**

Este tipo de aditivos, disminuyen el ángulo de contacto entre el ligante favoreciendo al buen recubrimiento de los áridos, así el árido reduciendo la tensión superficial árido bitumen y ayuda a una muy buena trabajabilidad.

No cambia la viscosidad del aglomerante su principal característica es mejorar la adherencia.

Ejemplos de los principales aditivos emulsificantes tensoactivos:

- Iterlow T (Iterchimica SRL, Italia)
- Rediset® WMX (AkzoNobel, Holanda)
- Cecabase RT® (CECA, Francia)
- Evotherm™ (MeadWestvaco, EEUU)
- Zycotherm Inc (Morrisville, EEUU)
- Quimibond 3000

2.4.2.3.- Proceso de Espumación

Como se observa en la ilustración 2.17 es el proceso de añadir agua y aire en pequeñas cantidades junto con el betún asfáltico caliente, así formando un efecto de espumado el cual aumentara el volumen del asfalto y así reducir su viscosidad.

Para la producción con asfalto espumado, en la ilustración 2.18 el agregado se adiciona mientras este espumado, donde al tener contacto las burbujas con el agregado se desintegran y se aglutinan con partículas muy pequeñas así formado un tipo de mortero con las partículas más grandes.

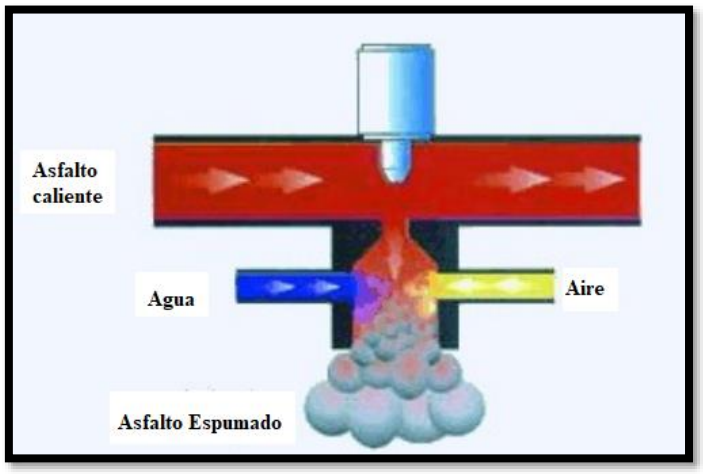


Ilustración 2. 17-Proceso de espumación
Fuente: Revista PITRA, abril 2011, Vol 2. Nº 15

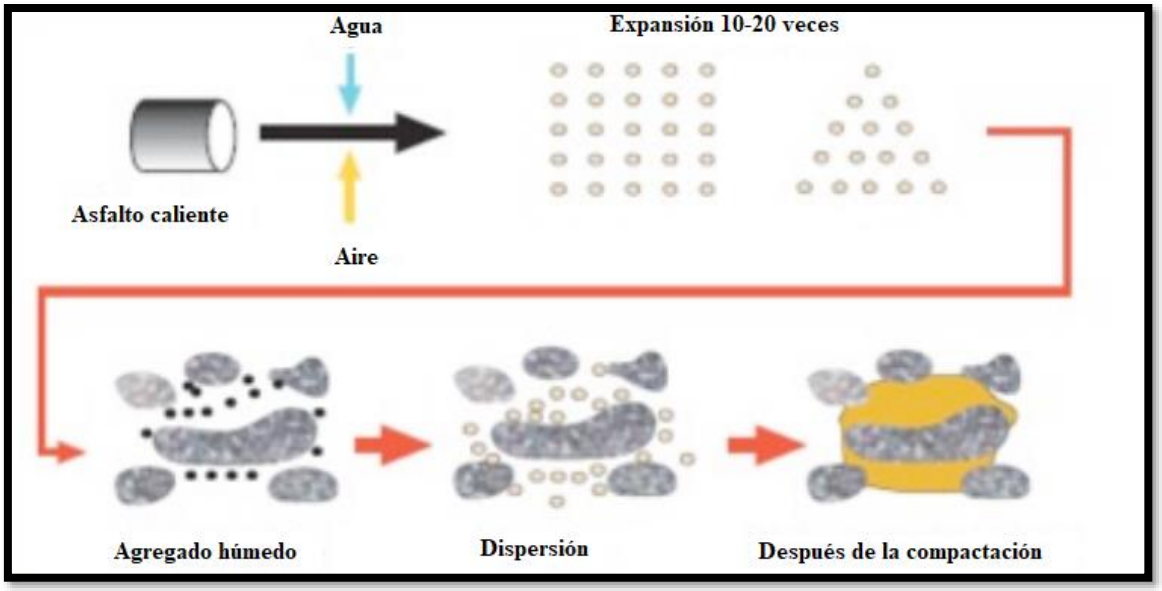


Ilustración 2. 18-Producción asfalto espumado
***Fuente**: Revista PITRA, abril 2011, Vol 2. Nº 15*

2.5.- Aditivos

2.5.1.- Aditivo Químico: Zycotherm

2.5.1.1.- Introducción del Zycotherm

Este aditivo producido por la compañía llamada Zydex fue establecida en 1997 en India, de productos químicos especializados con el propósito de innovar para la sostenibilidad, a través de tecnologías innovadoras, respetuosas con el medio ambiente, la cartera de productos abarca más de 200 soluciones innovadoras con presencia en más de 40 países de todo el mundo.

El aditivo usado en la investigación tiene el nombre de Zycotherm – SP, el cual fue suministrado por la empresa BREM Cía. Ltda., representantes del producto en el Ecuador.

El aditivo escogido Zycotherm es una nanotecnología para pavimentos asfálticos las principales características es la reducción de temperaturas de mezclado de (10ºC a 20 ºC) menos, bajar las temperaturas de compactación de (30ºC a 40ºC) menos, brinda una cobertura total y mayor adherencia entre asfalto y agregado mineral.

El aditivo Zycotherm conformado por base de organsilanos a escala manométrica que reaccionan químicamente con los agregados y el asfalto en la ilustración 2.19 se tiene los beneficios:

2.5.1.2.- Beneficios del aditivo Zycotherm

Reducción de temperaturas de compactación y producción.	Afnidad entre el asfalto y los agregados, logrando su cobertura total y pavimentos más negros.
Mayores distancias de acarreo al disminuir la temperatura de compactación, lo que aumenta el radio de acción de la planta.	Aumento de adherencia entre la superficie del agregado y el asfalto, lo que reduce notablemente los problemas de desprendimiento.
Ahorro en combustible en planta y optimización del tiempo de producción.	Mejor distribución de esfuerzos e incremento de la resistencia a la fatiga.
Menor emisión de gases contaminantes y reducción de olores emitidos por la mezcla, brindando mayor confort para operadores y vecinos.	Excelente resistencia al agua y al intemperismo, lo que prolonga la vida útil del pavimento y reduce sus necesidades de mantenimiento.
Las moléculas de la mezcla con Zycotherm repelen a las de acero, lo que permite trabajar con equipos siempre limpios y que requieren menos mantenimiento.	
Zycotherm es compatible con el empleo de polímeros (SBS, SBR, entre otros) y se puede utilizar también con asfalto reciclado.	
Uso más eficiente de los recursos, pavimentos sustentables.	

Ilustración 2. 19- Beneficios del aditivo Zycotherm
Fuente: *ficha técnica; http://www.brem.com.pe/14_Spanish_ZT_July2015.pdf*

2.5.1.3.- Beneficios Ambientales

- No corrosivo
- Reduce totalmente olores
- Ahorra combustible por el producto de reducción de la temperatura
- Reduce CO2
- Prolonga la vida del cemento asfáltico así ahorrando materiales pétreos, betún, combustible.

2.5.1.4.- Especificaciones técnicas del aditivo Zycotherm

CARACTERÍSTICA	ZYCOTHERM
APARIENCIA	LÍQUIDO AMARILLO PÁLIDO
DENSIDAD(25°C)	1.01 G/ML
PUNTO DE CONGELACIÓN	5-7 °C
VISCOSIDAD A 25 °C	MENOR A 300 eP
SOLUBILIDAD	SOLUBLE EN AGUA
FLAMABILIDAD	INFLAMABLE A 80 °C

Ilustración 2. 20- Especificaciones técnicas del aditivo Zycotherm
Fuente: (*Zydex,2014)*

2.5.1.5.- Resistencia a la humedad mediante Enlace químico

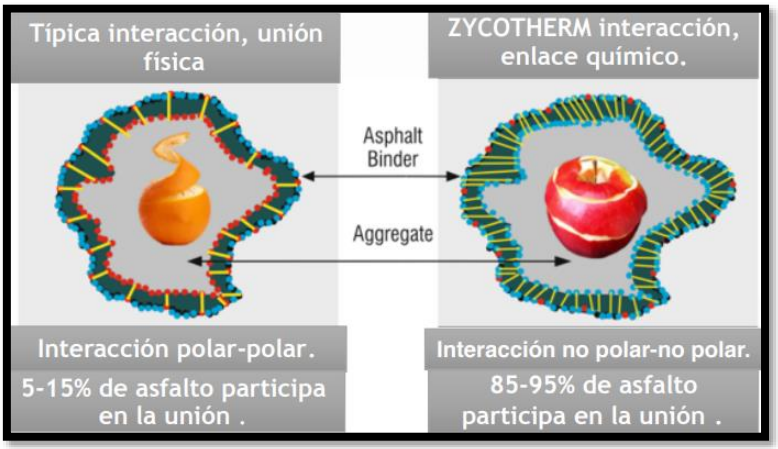


Ilustración 2. 21- Resistencia a la humedad mediante Enlace químico
Fuente: *(Zydex, 2014)*

- Zycotherm quiere decir que tendrá pavimentos libres de baches al modifica químicamente la superficie del agregado, convirtiéndola de hidrófila la cual atrae el agua a hidrófoba la cual repele el agua y atrae aceites.
- Esta unión química en el agregado logra un excelente desempeño anti-stripping, también ayuda a que se elimine el desprendimiento del agregado.

2.5.1.6.- Resistencia a la oxidación mediante Recubrimiento Completo

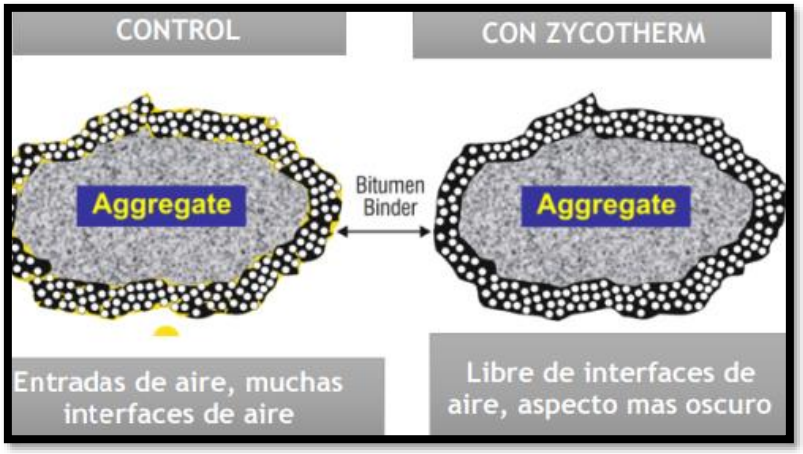


Ilustración 2. 22- Resistencia a la oxidación mediante Recubrimiento Completo
Fuente: *(Zydex, 2014)*

- Con un 30% a 40% menos del tiempo de mezclado ahorrando energía, se tendrá 100% de recubrimiento en los agregados incluso 75 micras.
- Formando enlaces de tipo siloxano (Si-O-Si), de elevada fortaleza.

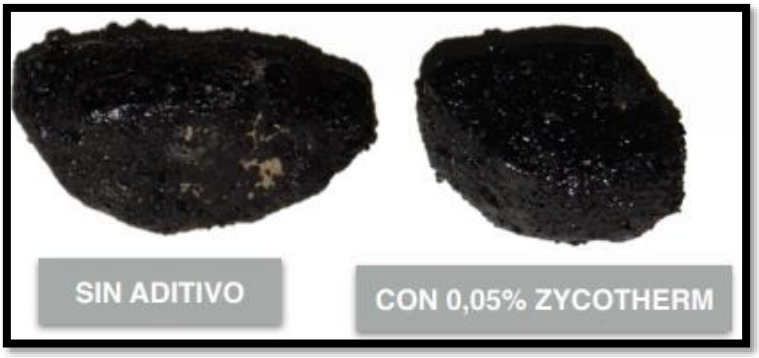


Ilustración 2. 23- Recubrimiento del mezclado
Fuente: *(Zydex, 2014)*



Ilustración 2. 24-Ensayo ASTM D-3625, efecto del agua sobre mezclas asfálticas
Fuente: *(Zydex, 2014)*

2.5.1.7.- Diferencias entre Aminas vs Zycotherm

PROPIEDAD	AMINAS	ZYCOTHERM
Enlace asfalto agregado	Físico (Van del Vaals o Puente H)	Químico (Covalente)
Molecula	Tamaño normal	Nano material (10-9 nm)
Compatibilidad con agregados	Estudio previo de laboratorio, funciona solo con cierto tipo de agregados.	Compatible con todo tipo de agregados.
Dosificacion	5-10 Kg / Ton de Ligante Asfaltico	0.3-0.5 Kg / Ton de Ligante Asfaltico
Olor	Fuerte Desagradable	Sin Olor
Corrosivo	Si	No
Inflamable	Si	No
Mezclado	Requiere Agitacion	Como minimo Recirculacion
Estable a temperatura (termolabilidad)	No	Si
Fluxa el Asfalto	Si	No, Mantiene el grado .
Costo	20-40 dolares/Ton de Ligante asfaltico	10-17 dolares/Ton de Ligante asfaltico

Ilustración 2. 25- Diferencias entre Aminas-Zycotherm
Fuente: *Zydex,2014a*

2.5.1.8.- Resistencia a la fatiga mediante Compactación Consistente

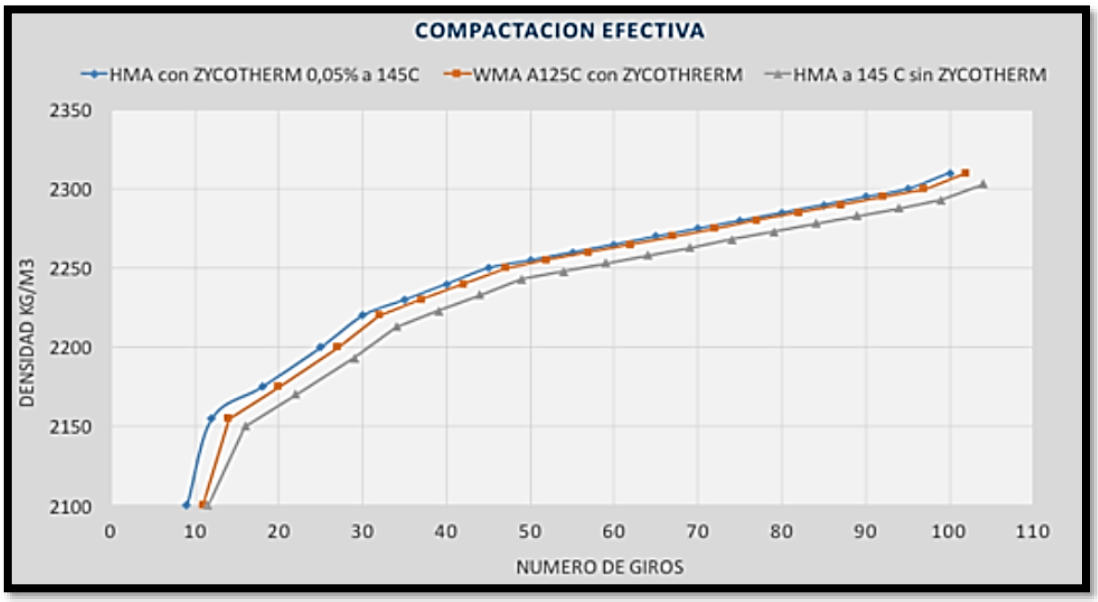


Ilustración 2. 26- Resistencia a la fatiga mediante Compactación Consistente
Fuente: *(Zydex, 2014)*

- Mejor flujo y trabajabilidad de la mezcla a menor temperatura.
- Se extiende la temporada de pavimentación.
- Trayectos de trabajo más largos

2.5.1.9.- Mezclado con Zycotherm

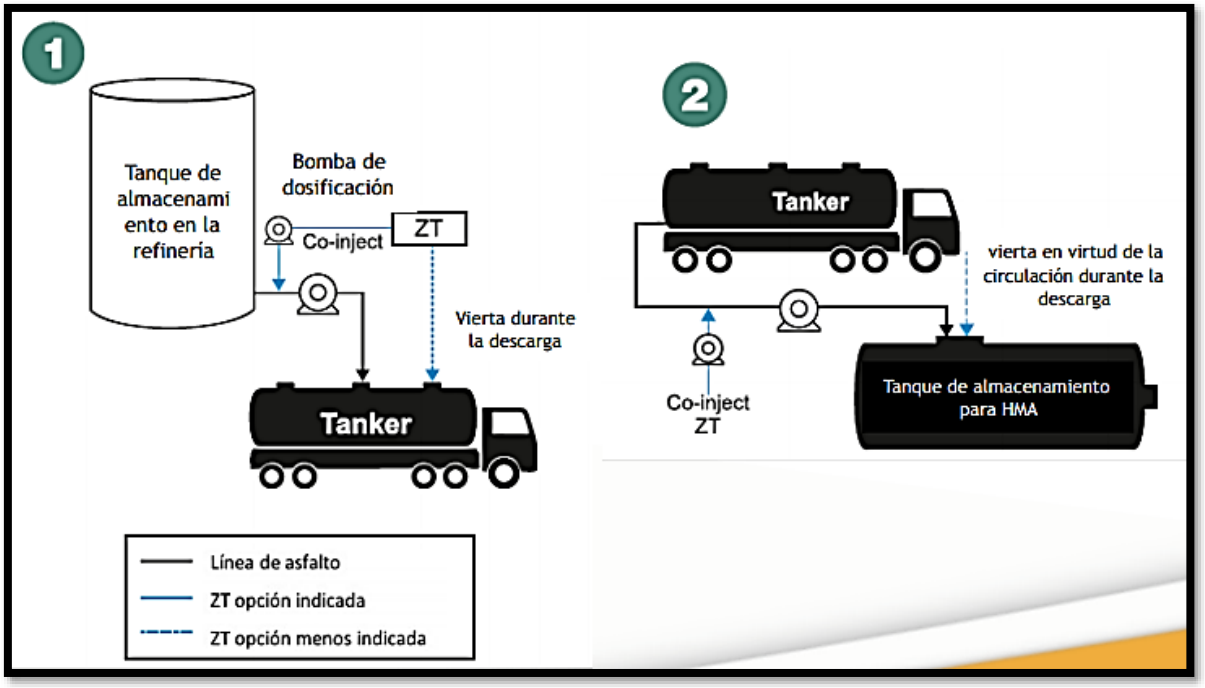


Ilustración 2. 27- Mezclado con Zycotherm
***Fuente**: (Zydex, 2014)*

Se tiene dos opciones:

- Se realiza una inyección por goteo antes que el tanquero cargue en la refinería.
- Se realiza una inyección por goteo, antes que el asfalto sea almacenado en la planta, deben recircular el tanque para lograr una mejor mezcla.

2.5.1.10.- Dosificación o Formulaciones típicas

- La recomendación es (0,05-0,1%), en función al peso del asfáltico.

2.5.2.- Aditivo orgánico: Cera Carnaúba Wax

2.5.2.1.- Introducción de la Cera Carnaúba Wax

Es un aditivo orgánico desarrollo por la empresa Almon del Ecuador que se obtiene de hojas de palma Copernica Cerífera llamada así en honor al astrónomo polaco Nicolás Copérnico, donde crece de forma silvestre en Sudamérica, es nativa del noreste de Brasil también conocida como (árbol de la vida). siendo utilizada en diferentes industrias, dadas sus características modifican la curva de viscosidad del cemento asfáltico y permiten reducir las temperaturas de fabricación y compactación de la mezcla asfáltica como se observa en la ilustración 2.28.

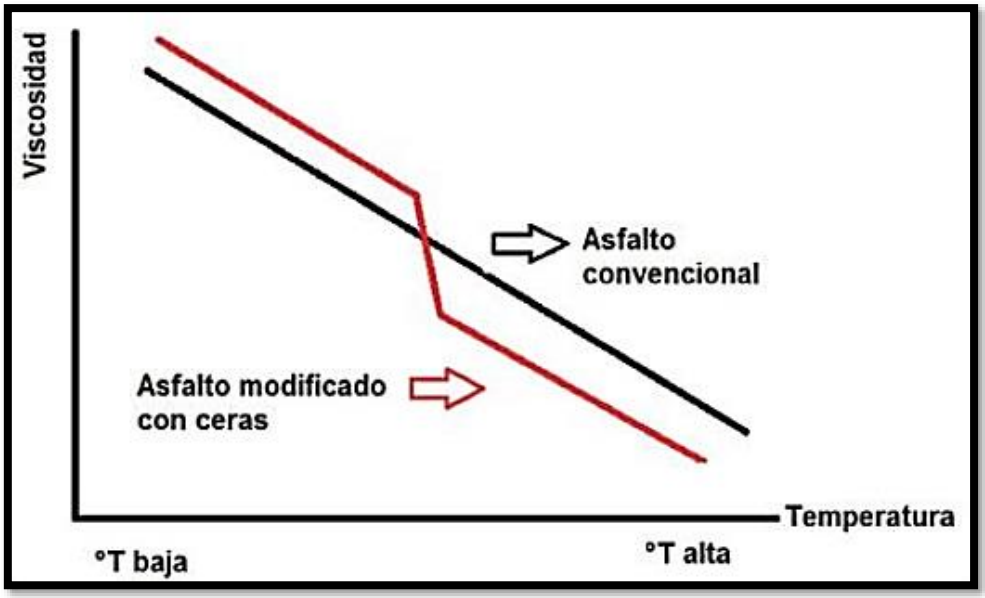


Ilustración 2. 28-Comportamiento de la viscosidad del asfalto modificado con cera en función de la temperatura
Fuente: *Gil S. (2009)*

2.5.2.2.- Beneficios de la Cera Carnaúba Wax

- Aditivo para mezclas tibias.
- Reduce la emisión de gases de efecto invernadero, como el CO2.
- Disminuye el consumo de combustible.
- Ofrece mayor resistencia al desgaste y al agrietamiento.

- Aumenta las propiedades de cohesivas de la mezcla asfáltica al tener una mayor resistencia a la tracción.

2.5.2.3.- Características físicas

- Color: Amarillo a café claro
- Olor: Penetrante y resinoso
- Sabor: Amargo
- Solubilidad: En éter, alcohol y álcalis
- Es soluble en agua
- Punto de Fusión: 78-85°C

COMPOSICIÓN	CONTENIDO
Ácidos Grasos	80 - 85%
Alcoholes grasos	10 - 15%
Ácidos	3 - 6%
Hidrocarbonos	1 - 3%
Dioles esterificados grasos	20% aprox.
Ácidos grasos hidroxilados	6% aprox.
Ácido cinnámico (antioxidante)	10% aprox.

Ilustración 2. 29-Composición de la Cera Carnaúba
***Fuente**: (Almon, 2020)*

2.5.2.4.- Formulaciones típicas

Los aditivos orgánicos generalmente tienen una dosificación entre 2% y 5% del total de la maza de asfalto.

Para los porcentajes formulados nos guiamos de dos investigaciones que su óptimo porcentaje de cera Carnaúba para adicionar a una mezcla asfáltica fue de 5% según Ulloa, C & Ramírez, A. (2012).

Sin embargo, el fabricante recomienda que estas son solo formulaciones típicas, siempre es recomendable realizar formulaciones de laboratorio para determinar la dosificación a emplear, por lo que en los dos aditivos se realizara un porcentaje arriba y un porcentaje abajo del óptimo indicado, así obtener nuestro propio porcentaje óptimo.

CAPITULO 3: ENSAYOS Y RESULTADOS DE AGREGADOS Y AC-20

3.1.- CARACTERIZACIÓN DE LOS AGREGADOS: DESCRIPCIÓN Y CÁLCULOS

3.1.1.- Agregado: Mina Holcim Pifo

Agregado pétreo proveniente de la Mina Holcim, proveniente de la zona de Pifo, el material elegido parar el diseño es agregado grueso $^{3}/_{4}$, $^{3}/_{8}$ y agregado fino. Todo el material se someterá a pruebas de laboratorio y así poder conocer sus características y comparar con las especificaciones.

3.1.2.- Ubicación de la mina

La mina de Holcim Ecuador S.A se encuentra en ubicada en Pifo a un extremo nororiental del distrito metropolitano de Quito, en el Kilómetro 4 de la vía Pifo- Papallacta.

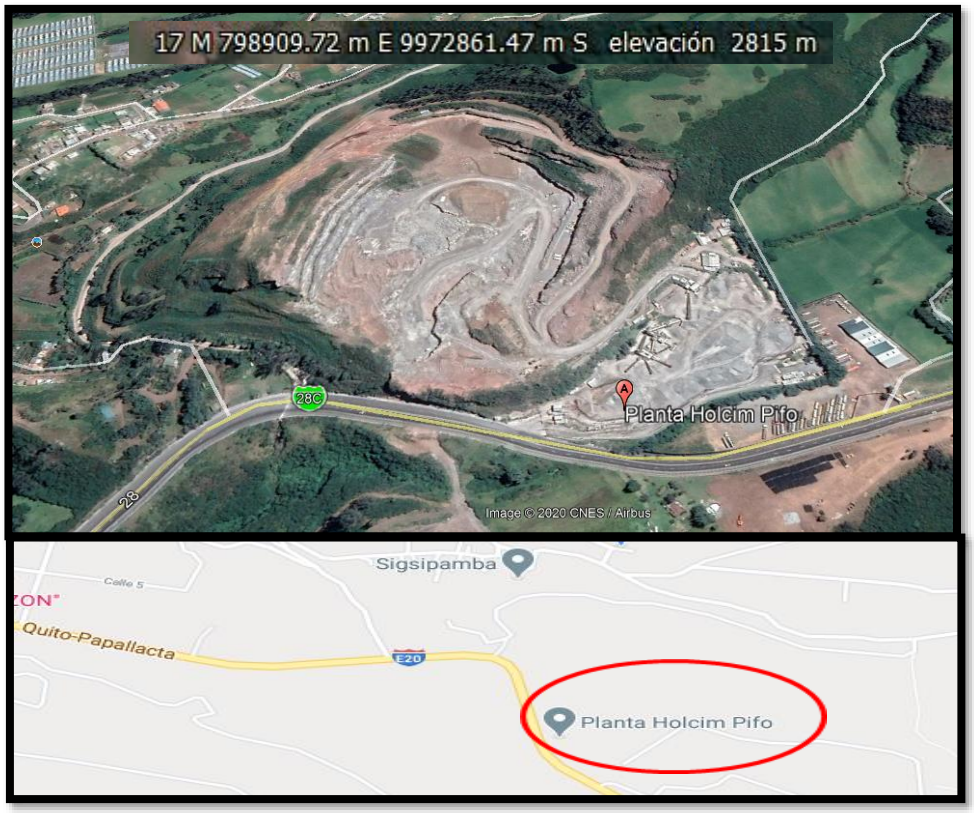


Ilustración 3. 1- Ubicación de mina Holcim Pifo, Av. Interoceánica, Pifo 170175

3.1.3.- Muestreo de agregados: toma de muestras en la planta

Norma INEN : D695

Norma AASHO : T - 2

Norma ASTM : D- 75

El material que se obtiene es fruto de la trituración de la roca de diferentes tamaños para el muestreo forma alrededor de (90 - 95) % de peso y (75 -85) % de volumen de una mezcla asfáltica. Se realizar una inspección general de la planta ya que las muestra se debe tomar de un lugar apropiado, de tal manera que represente realmente un buen muestreo, la retro excavadora de la pila principal de material fotografía 3.1 forma una pila más pequeña en la cual con una pala y un costal se toma la muestra de 3 partes de la pila menor fotografía 3.2 ; punto superior, medio, y del fondo de la pila.

En la fotografía 3.3 se observa las 3 muestras obtenidas de la planta Holcim.



Fotografía 3.1- Pila principal de agregados.



Fotografía 3.2- Pila secundaria de agregados.



Fotografía 3.3- Muestra recolectada de agregados mina Holcim Pifo.

La masa de muestra mínima de agregado grueso es de 25 kg y fino de 10 kg, en este caso depende el fin a utilizar, en este caso se realizará los ensayos de caracterización de material, mezcla de agregados para la mezcla asfáltica y briquetas para la comparación de porcentaje óptimo de asfalto y porcentajes de aditivo.

Los agregados serán:

- Fragmentos limpios.
- Resistentes.
- Duros.
- Libre de; material vegetal, exceso de partículas planas, alargadas, blandas.
- Agregados secos que la humedad no exceda el 1%.

3.1.4.- Equivalente de arena en el agregado fino

Norma AASHTO : T-176

Norma ASTM : D-2419

El objeto es determinar la cantidad relativa del contenido de limos, arcillas y polvo fino con un tamaño menor a 0,002mm el cual es perjudicial y están presentes en los suelos finos o arenas que pasen el tamiz No. 4 (4,75mm).

Equipo:

- Barra estándar.
- Probeta graduada en décimas de pulgadas hasta 15 pulgadas.
- Lata (cap. de 88ml).
- Botella de 1 galón (3,78 lts) de capacidad con solución de cloruro de calcio para el ensayo y un tapón acomodado para un sifón.
- Tubo de Goma 3/16".
- Irrigador.
- No # 4 (4,75mm).
- Bandeja.
- Cuchara de albañil.
- Embudo plástico.
- Cronómetro.

Ecuación:

$$\boldsymbol{Eqv.arena(\ EA)\ en}\ \% = \frac{\boldsymbol{Sedimento\ (A)\ en\ cm}}{\boldsymbol{Suspención\ (B) en\ cm}} * \mathbf{100}$$

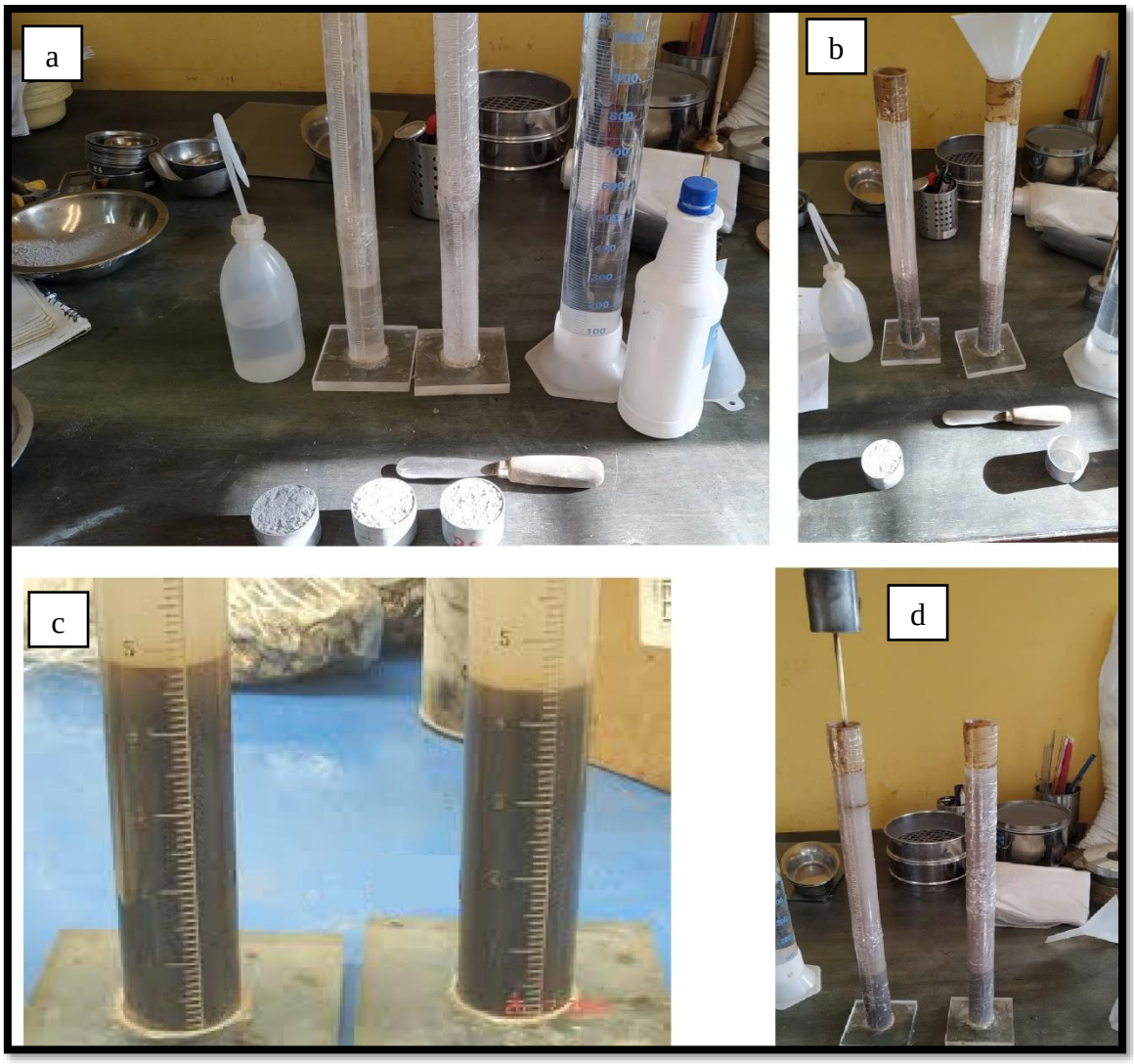
Ecuación 3. 1 -Equivalente de arena

Donde:

A: El sedimento es la arena.

B: El material en suspensión son limos, arcillas, polvos.

Procedimiento:



Fotografía 3.4- Equivalente de arena

a) Con material fino pasante el tamiz N° 4 se llena una lata pequeña de 85cm3 con aproximado 110 gr de material suelto y se enrasa con una espátula, se coloca 85ml de solución con el tubo irrigador, hasta obtener una lectura de 4 pulg.

b) En la probeta y se coloca el material mediante un embudo.

c) Luego de reposar por 10 min se tapa la probeta con un tapón y se agita por 45 seg, luego se coloca el tubo irrigador hasta que en nivel del líquido llegue a 15 pulg. Luego de reposar 20 min se toma la lectura de arcilla que es la lectura inicial.

d) Se coloca contapeso para tomar la lectura fnal de la arena.

Cálculos y resultados:

Equivalente de Arena			
Ensayo N°		1	2
Lectura inicial	A	4,2	4,4
Lectura final	B	3,8	4,1
% Equivalente de arena	C=(B/A)*100	90	93
	Promedio	**92**	

Tabla 3. 1- Equivalente de arena

Observaciones:

- La norma ASTM D2419 (AASHTO T 176) dice que los valores mínimos recomendados para capa de rodadura son:
    - Trafico mediano y liviano: 45
    - Tráfico pesado: 50

3.1.5.- Densidad, densidad relativa (Gravedad especifica) y Absorción del agregado grueso

Norma INEN : 857

Norma AASHTO : T – 85

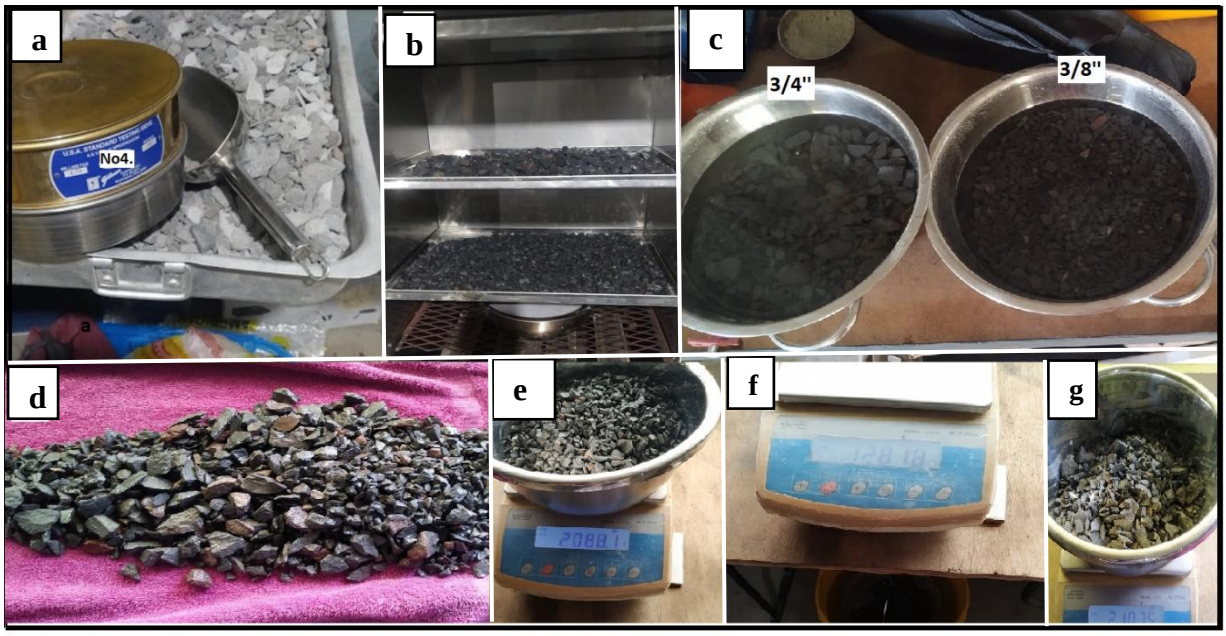
Norma ASTM : C – 127

Equipo:

- Balanza con precisión de 0,01gr
- tamiz No. 4 (4,75mm).
- Bandeja.
- Canastilla metálica,
- Agregado grueso mina Holcim Pifo.

Gravedad específica se expresa como un valor adimensional y es la relación entre la masa (o peso en el aire) del agregado que ocupa un volumen sobre la masa del mismo volumen, de los agregados con tamaño igual o mayor al tamiz No. 4 (4,75mm).

Procedimiento:



Fotografía 3.5-Gravedad Específica del agregado grueso.

a. Muestra de 2 kg tal que las partículas se retengan en el tamiz No. 4 (4.76 mm).

b. Material lavado, se coloca en el horno por 24h.

c. Material sumergido por 24h.

d. Secar con un trapo la muestra.

e. Masa de la muestra saturada con superficie seca.

f. Masa de la muestra sumergida en agua.

g. Masa de la Muestra seca.

Ecuaciones:

La gravedad especifica se expresa como:

- **Gravedad específica seca al horno (OD):** La densidad relativa OD se determina después de secar el agregado.

$$\boldsymbol{OD} = \frac{A}{B - C}$$

Ecuación 3. 2 -: Gravedad específica seca al horno agregado grueso.

- **Gravedad específica Saturada superficialmente seca (SSD):** La densidad SSD se determina extraído después de remojar el agregado en un tiempo prescrito de 24 horas.

$$\boldsymbol{SSD} = \frac{B}{B - C}$$

Ecuación 3. 3-Gravedad específica Saturada superficialmente seca agregado grueso.

- **Densidad relativa aparente** (Gravedad del agregado especifica aparente)

$$\boldsymbol{Densidad\ relativa\ aparente} = \frac{A}{A - C}$$

Ecuación 3. 4 -Densidad relativa aparente agregado grueso.

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno pesada en el aire, en gr.

B: Masa de la muestra en estado saturado superficialmente seco, en gr.

C: Masa de la muestra sumergida en agua, en gr.

Absorción se expresa como un porcentaje de peso seco esto es cuando se aumenta el peso de los agregados producto de que el agua entra en sus poros esto no incluye el agua adherida en su superficie exterior.

$$\boldsymbol{Absorci\acute{o}n}\ \% = \frac{B - A}{A} * 100$$

Ecuación 3. 5-Absorción agregado grueso.

Cálculos y resultados:

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN 3/4		
Masa de la muestra seca (gr)	A	2063,2
Masa de la muestra saturada con superficie seca	B	2107,5
Masa de la muestra sumergida en el agua (gr.)	C	1286,8
Gravedad específica Bulk	Ge= A/B-C	2,51
Gravedad especifica saturada con superficie seca	Ges=B/B-C	2,57
Gravedad específica aparente	Gea=A/A-C	2,66
% de absorción	Ab=(B-A/A)*100	2,15

Tabla 3. 2- Gravedad específica y absorción agregado 3/4

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN 3/8		
Masa de la muestra seca (gr)	A	2040,5
Masa de la muestra saturada con superficie seca	B	2088,1
Masa de la muestra sumergida en el agua (gr.)	C	1281,8
Gravedad específica Bulk	Ge= A/B-C	2,53
Gravedad especifica saturada con superficie seca	Ges=B/B-C	2,59
Gravedad específica aparente	Gea=A/A-C	2,69
% de absorción	Ab=(B-A/A)*100	2,33

Tabla 3. 3-Gravedad específica y absorción agregado 3/8

3.1.6.- Densidad, densidad relativa (Gravedad específica) y Absorción del agregado fino

Norma INEN : 856

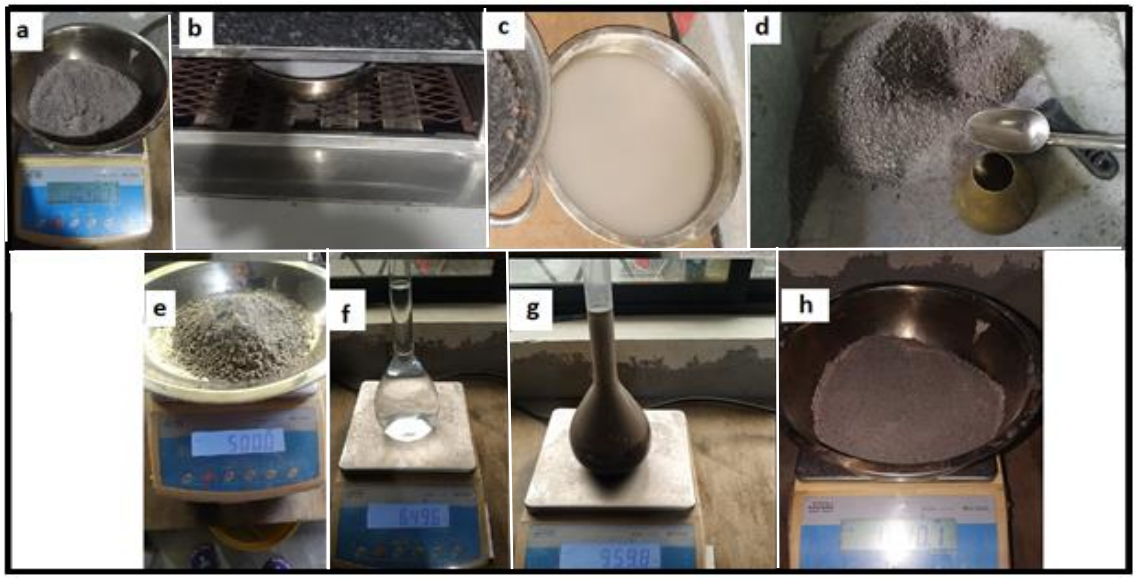
Norma AASHTO : T – 84

Norma ASTM : C – 128

Equipo:

- Balanza.
- picnómetro de 500cm3.
- Molde cónico con diámetro superior de 89mm y parte inferior de 73mm.
- Pequeña barra para compactar 340 gr de masa, su extremo plano y circular con diámetro de 25 mm.
- Horno.
- Agregado fino mina Holcim Pifo.

Procedimiento:



Fotografía 3.6-Gravedad Específica del agregado grueso

a. Muestra de 1 kg.

b. Se coloca en el horno por 24h.

c. Material sumergido en agua por 24h.

d. Cuando la muestra se desplome conservando una cierta forma cónica, luego de colocar el agregado fino en forma suelta en el molde cónico golpeando la superficie suavemente 25 veces una altura de 5 mm con la barra compactadora, se da el nombre de muestra saturada con superficie seca.

e. Peso una muestra de 500 gr.

f. Masa del picnómetro + agua hasta la marca de calibración.

g. Masa de la del picnómetro + muestra + agua hasta la marca de calibración.

h. Masa de la Muestra seca.

Ecuaciones:

- **Gravedad específica seca al horno (OD):**

$$\boldsymbol{OD} = \frac{A}{B + S - C}$$

Ecuación 3. 6 -Gravedad específica seca al horno agregado fino.

- **Gravedad específica Saturada superficialmente seca (SSD):**

$$\boldsymbol{SSD} = \frac{S}{B + S - C}$$

Ecuación 3. 7 -Gravedad específica Saturada superficialmente seca agregado fino.

- **Densidad relativa aparente** (Gravedad del agregado especifica aparente)

$$\boldsymbol{Densidad\ relativa\ aparente} = \frac{A}{B + A - C}$$

Ecuación 3. 8-Densidad relativa aparente agregado fino.

Donde:

A: Masa de la muestra seca al horno, en gr.

B: Masa del picnómetro + agua hasta la marca de calibración, en gr.

C: Masa de la del picnómetro + muestra + agua hasta la marca de calibración, en gr.

S: Masa de la muestra saturada con superficie seca, en gr.

Absorción se expresa como un porcentaje de peso seco esto es cuando se aumenta el peso de los agregados producto de que el agua entra en sus poros esto no incluye el agua adherida en su superficie exterior.

$$\boldsymbol{Absorci\acute{o}n}\ \% = \frac{S - A}{A} * 100$$

Ecuación 3. 9-Absorción agr. fi.

Cálculos y resultados:

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN FINO		
Masa de la muestra seca (gr)	A	494,4
Masa de matraz + agua	B	649,6
Masa de la muestra+ matraz+ agua	C	959,8
Masa de la muestra saturada con superficie seca.	S	500
Gravedad específica Bulk	Ge= A/B+S-C	2,605
Gravedad especifica saturada con superficie seca	Ges=S/B+S-C	2,60
Gravedad específica aparente	Gea=A/B+A-C	2,68
Porcentaje de absorción	Ab=(S-A/A)*100	1,13

Tabla 3. 4-Gravedad específica y absorción agregado fino

3.1.7.- Pesos Unitarios

Norma INEN : 0858

Norma ASTM : C-29

El agregado grueso y fino se someterá a tres condiciones suelta y compactada, los datos obtenidos nos ayudan a proporcionar las mezclas y la conversión de masa/volumen en material de obra.

Hay que tener en cuenta que la gravedad, absorción y pesos unitarios no se encuentra sujeta a especificaciones.

Equipo

- Balanza con capacidad de 20 kg y sensibilidad de 1 gr.
- Recipiente cilíndrico.
- Barra para compactar de diámetro de 1,6 cm y con longitud de 60 cm.
- Pala.

Ecuaciones:

$$Mc = B - P$$

$$Puc = \frac{Mc}{V}$$

$$Ms = A - P$$

Ecuación 3. 10-Peso unitario compactado

$$Pus = \frac{Ms}{V}$$

Ecuación 3. 11-Peso unitario suelto

Donde:

Mc: Masa del material compactado, en gr.

Ms: Masa del material suelto, en gr.

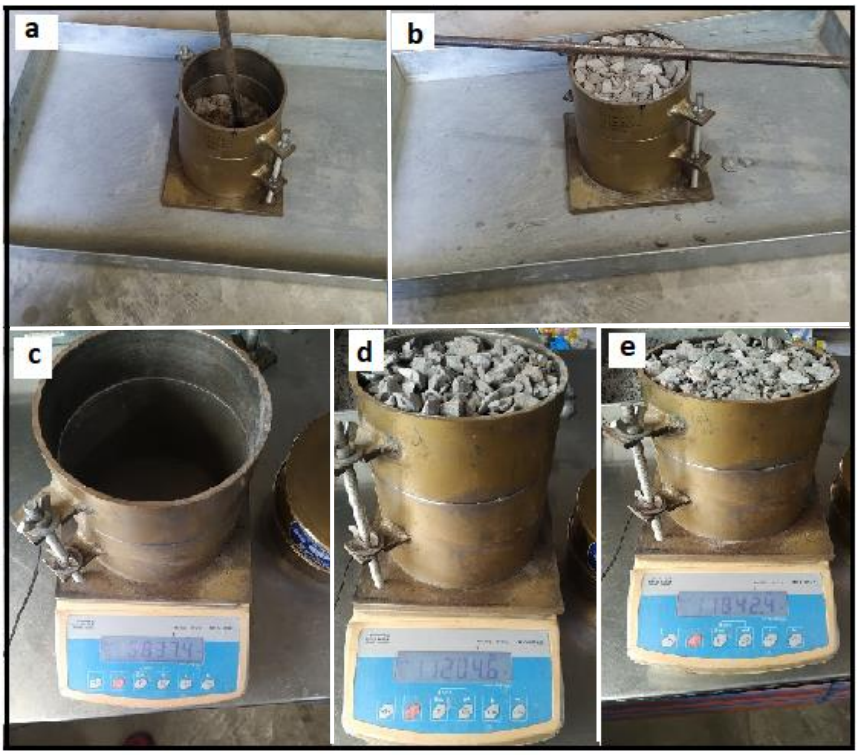
B: Masa del recipiente más el material compactado, en gr.

P: Masa del recipiente, en gr.

Puc: Peso unitario compactado, en (gr/cm3).

Pus: Peso unitario suelto, en (gr/cm3).

Procedimiento:



Fotografía 3.7-Peso unitario de agregado grueso 3/4''´y 3/8''.

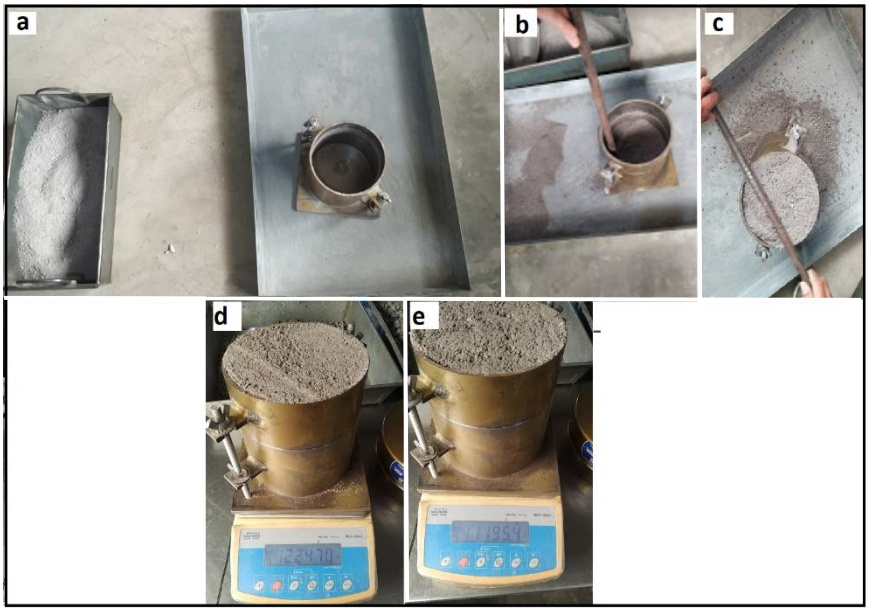
a. Primero se determina el peso compactado en un recipiente de volumen conocido se coloca hasta un tercio se apisona mediante 25 golpes uniformemente, se repite el procedimiento dos tercios.

b. Se enrazar la superficie compactada.

c. Masa del molde.

d. Masa del material compactado de agregado.

e. Masa del material suelto el cual solo se coloca el material sin compactar.



Fotografía 3.8-Peso unitario de agregado Fino.

a. Material fino, bandeja, molde con volumen conocido.

b. Primero se determina el peso compactado de agrado fino en un recipiente de volumen conocido, se coloca hasta un tercio se apisona mediante 25 golpes uniformemente, se repite el procedimiento a dos tercios.

c. Enrazo el material fino.

d. Masa del material compactado de agregado fino.

e. Masa del material suelto el cual solo se coloca el material fino sin compactar.

Cálculos y resultados:

Peso Unitario 3/4		
Masa molde+ Material suelto (gr)	A	11204,6
Masa molde+ Material compacto(gr)	B	11842,4
Masa molde (gr)	P	6837,4
Volumen Molde (cm3)	V	3139,0
Masa del material suelto (gr)	Ms = A-P	4367,2
Masa material compacto (gr)	Mc = B-P	5005,0
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	Pus = Ms/v	1,39
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	Puc = Mc/v	1,59

Tabla 3. 5-Peso unitario 3/4

Peso Unitario 3/8		
Masa molde+ Material suelto (gr)	A	11046,4
Masa molde+ Material compacto(gr)	B	11600,0
Masa molde (gr)	P	6837,4
Volumen Molde (cm3)	V	3139,0
Masa del material suelto (gr)	Ms = A-P	4209,0
Masa material compacto (gr)	Mc = B-P	4762,6
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	Pus = Ms/v	1,34
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	Puc = Mc/v	1,52

Tabla 3. 6- Peso unitario 3/8

Peso Unitario fino		
Masa molde+ Material suelto (gr)	A	11195,4
Masa molde+ Material compacto(gr)	B	12247,0
Masa molde (gr)	P	6837,4
Volumen Molde (cm3)	V	3139,0
Masa del material suelto (gr)	Ms = A-P	4358,0
Masa material compacto (gr)	Mc = B-P	5409,6
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	Pus = Ms/v	1,39
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	Puc = Mc/v	1,72

Tabla 3. 7-Peso unitario fino

3.1.8.- Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de sodio o sulfato de magnesio

Norma INEN : 863

Norma AASHO : T-104

Norma ASTM : C-88

Mediante este método se puede conocer la solidez, dureza, o resistencia de los agregados expuestos a acciones climáticas mediante la resistencia a la desintegración de los agregados por saturación en solución de sulfato de magnesio o sulfato de sodio, así creando un interperismo mediante la expansión y contracción al sumergir el agregado en la solución y secarla al horno a temperatura constante.

Equipo:

- Balanza.
- Tamices.
- Termómetro.
- Horno.
- Sulfato de magnesio 350gr por litro de agua de 25 a 30 °C; el volumen de la solución debe ser de por lo menos cinco veces el volumen de todas las muestras sumergidas en una operación.
- Material grueso y fino mina Holcim Pifo

La norma menciona la cantidad de material fino y grueso a usarse.

Ecuación:

$$\boldsymbol{I}\,\% = \frac{A - B}{A} * 100$$

Ecuación 3. 12-Porcentaje de desgaste a los sulfatos

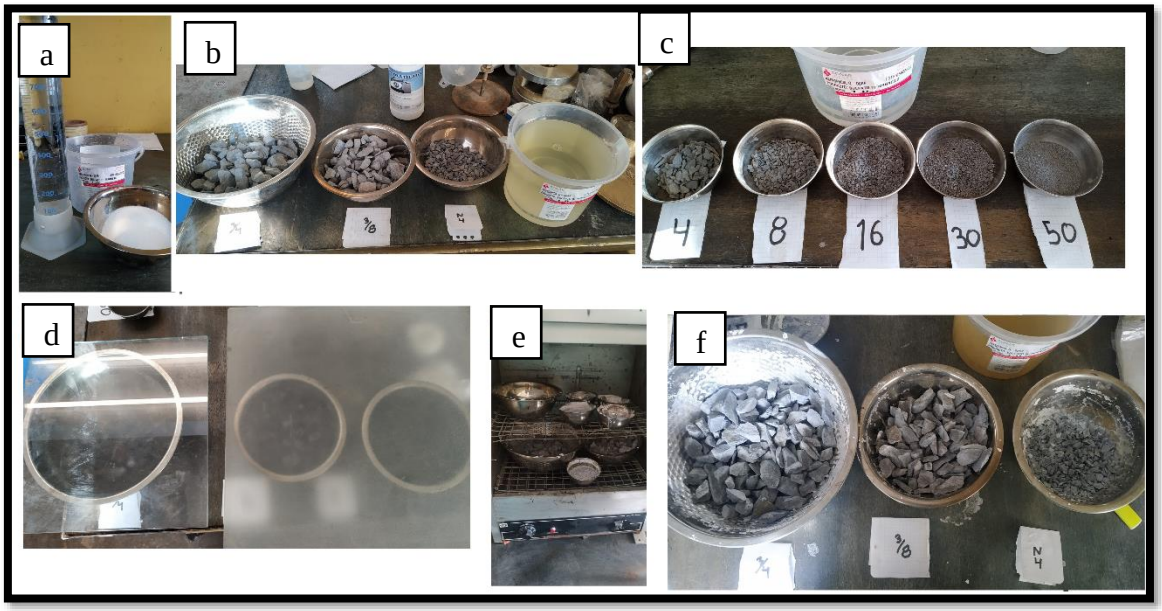
Donde:

I: Porcentaje de desgaste o intemperismo acelerado en %.

A: Masa inicial de la muestra, en gr.

***B*:** Masa final de la muestra, en gr.

Procedimiento:



Fotografía 3.9-Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato de magnesio

a) Se prepara la solución de sulfato de magnesio que servirá para 5 siclos.

b) Para el agregado grueso, que es el material que retenga el tamiz N°4, se seca el material al horno a 110 °C, se tamiza y se pesa las muestras necesarias según indicado en la tabla3.9 fracciones para agregado grueso.

c) Para el agregado fino, que es todo el material que paso el tamiz 3/8, se seca al horno a 110 °C se tamiza y se fracciona el material tomando 100 gr de cada fracción como muestra la tabla3.8.

d) Se coloca la solución al material se tapa y deja por 16 horas.

e) Se escurre la solución y se reserva para los próximos 4 siclos, se seca al horno hasta tener una masa constante.

f) Se realiza este proceso 5 ciclos el último se lava con agua tibia, se seca al horno y se tamiza a un siguiente tamiz se pesa las masas de las fracciones después del ensayo.

	Fracciones de muestra para el agregado fino			
	Tamiz			
	Pasa		Retiene	
Fracción	Plg	mm	plg	mm
1	3/8	9,51	N°4	4,76
2	N°4	4,76	N°8	2,38
3	N°8	2,38	N°16	1,19
4	N°16	1,19	N°30	0,595
5	N°30	0,595	N°50	0,297

Tabla 3. 8-Desgaste a los sulfatos, fracciones de muestra para el agregado fino, ASTM C-88

	Fracciones de muestra para el agregado grueso				Masa mínima de la muestra en gramos
	Tamiz				
	Pasa		Retiene		
Fracción	Plg	mm	plg	mm	
1	3/8	9,51	N°4	4,76	300 ±5
2	¾	19	3/8	9,51	1000±10
	¾	19	1/2	12,7	670±10
	½	12,7	3/8	9,51	330±5
3	1 1/2	38,1	3/4	19	1500±50
	1 1/2	38,1	1	25,4	1000±50
	1	25,4	3/4	19	500±30

Tabla 3. 9-Desgaste a los sulfatos, fracciones de muestra para el agregado grueso, ASTM C-88

Cálculos y resultados:

Tamiz		Desgaste a los sulfatos 3/4		
Pasa	Retiene	Masa de las fracciones antes del ensayo(gr)	Masa de las fracciones después del ensayo(gr)	% de desgaste parcial
	1/2"	675	665	1,5
1/2"	3/8"	329	325	1,2
3/8"	4"	300	298	0,7
		% Total de desgaste		**1,1**

Tabla 3. 10-Desgaste a los sulfatos 3/4.

Tamiz		Desgaste a los sulfatos 3/8		
Pasa	**Retiene**	**Masa de las fracciones antes del ensayo(gr)**	**Masa de las fracciones después del ensayo(gr)**	**% de desgaste parcial**
3/8"	4"	340	325	4,6
4"	8"	320	302	6,0
		% Total de desgaste		**5,3**

Tabla 3. 11-Desgaste a los sulfatos 3/8.

Tamiz		Desgaste a los sulfatos fino		
Pasa	**Retiene**	**Masa de las fracciones antes del ensayo (gr)**	**Masa de las fracciones después del ensayo(gr)**	**% de desgaste parcial**
	N° 4.	100	91,7	9
N° 4.	N° 8.	100	94,7	6
N° 8.	N° 16.	100,4	93,6	7
N° 16.	N° 30.	100,3	91,2	10
N° 30.	N° 50.	100,2	93,5	7
		% Total de desgaste		**8**

Tabla 3. 12-Desgaste a los sulfatos finos.

Observciones:

- Según lo especificado en la norma INEN 863 los agregados gruesos no deberán presentar una desintegración ni pérdida total o mayor del 12 % en peso, esto en cinco ciclos de inmersión y lavado con sulfato de sodio.

3.1.9.- Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de los ángeles

Norma INEN : 860 / 861

Norma AASHO : T-96

Norma ASTM : C-131 / C535

Este método emplea la máquina de los ángeles que contiene un tambor giratorio con esferas de acero las cuales producirá una carga abrasiva y así se podrá determinar la resistencia al desgaste.

Equipo:

- Máquina de los Ángeles.
- Esferas de desgaste de acero de diámetro 46,38 mm y masa entre 390 - 445 g. c/u.
- Tamices (3/4", 1/2", 3/8", No.12).
- Balanza.
- Horno.
- Bandeja.
- Agregado grueso mina Holcim Pifo.

Ecuaciones:

$$\boldsymbol{C} = A - B$$

$$\%\ \boldsymbol{de\ desgaste} = \frac{C}{A} * 100$$

Ecuación 3. 13 -Porcentaje de desgaste a la abrasión

Donde:

A: Masa inicial de la muestra, en gr.

C : Material que pasa el tamiz No. 12, en gr.

B: Masa sostenida en el tamiz No. 12, en gr.

Procedimiento:

a) La muestra de ensayo consiste en agregado limpio por lavado y seco al horno

b) Se separado por fracciones de cada tamaño y porciones de acuerdo a la tabla 3.10.

c) El tipo de abrasión que se realiza es de tipo B para agregado de ¾ y tipo C para el agregado de 3/8.

Tamices				**Granulometría de la muestra (gr)**			
Pasa		**Retiene**		**A**	**B**	**C**	**D**
mm	in	mm	in				
37,5	1 1/2	25	1	1250± 25	-	-	-
25	1	19	3/4	1250± 25	-	-	-
19	3/4	12,5	1/2	1250± 10	1250± 10	-	-
12,5	1/2	9,5	3/8	1250± 10	1250± 10	-	-
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500± 10	-
6,3	1/4	4,75	N°4	-	-	2500± 10	-
4,75	N°4	2,36	N°8	-	-		5000± 10
Total				5000± 10	5000± 10	5000± 10	5000± 10

Tabla 3. 13-Muestra para abrasión, gradaciones de la muestras, ASTM C-131 / C535

Cálculos y resultado:

Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de Los Ángeles 3/4		
Tipo de Gradación	**B**	
Masa Inicial de la muestra(g)	A	5000
Masa retenida en el tamiz 12(g)	B	3370
Masa que pasa el tamiz 12 (g)	C	1721
% Desgaste	D	34

Tabla 3. 14-Desgaste de los agregados en la máquina de los ángeles 3/4.

Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de Los Ángeles 3/8		
Tipo de Gradación	**C**	
Masa Inicial de la muestra(g)	A	5000
Masa retenida en el tamiz 12(g)	B	3609
Masa que pasa el tamiz 12 (g)	C	1560
% Desgaste	D	31

Tabla 3. 15-Desgaste de los agregados en la máquina de los ángeles 3/8.

Observaciones:

- La norma INEN 860 el agregado grueso no debe tener un desgaste mayor al 40 % luego de 500 rev. de la máquina de los Ángeles.

3.1.10.- Resumen de resultados de los ensayos de caracterización de los agregados pétreos

Agregado para mezcla asfáltica			Especificación MTOP		Resultados	Cumple
Ensayo	**Unidad**	**Norma**	**Mín.**	**Máx.**		
Equivalente de arena para agregado fino	%	ASTM D-2419	50		**92**	**SI**
Gravedad específica agregado fino	-	ASTM C-127			**2,605**	-
Gravedad específica Bulk agregado grueso 3/4	-	ASTM C-128			**2,51**	-
Gravedad específica Bulk agregado grueso 3/8	-				**2,53**	-
Peso Unitario compactado agregado fino	(gr/cm3)	ASTM C-29			**1,72**	-
Peso Unitario compactado agregado grueso 3/4	(gr/cm3)				**1,59**	-
Peso Unitario compactado agregado grueso 3/8	(gr/cm3)				**1,52**	-
Porcentaje de absorción fino	%	ASTM C128			**1,13**	-
Porcentaje de absorción 3/4	%	ASTM C127			**2,15**	-
Porcentaje de absorción 3/8	%				**2,33**	-
Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato fino	%	ASTM C88		12	**8**	**SI**
Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato ¾	%				**1,14**	**SI**
Durabilidad de los agregados a la acción del sulfato 3/8	%				**1,52**	**SI**
Abrasión: Desgaste máquina de los ángeles 3/4	%	ASTM C131M		40	**34**	**SI**
Abrasión: Desgaste máquina de los ángeles 3/8	%			40	**31**	**SI**

Tabla 3. 16-Resumen de los resultados de la caracterización de agregados pétreos

3.2.- CARACTERIZACIÓN DEL ASFALTO AC-20

3.2.1.- Muestreo de materiales bituminosos

Norma INEN : 922

Norma AASHTO : T - 40

Norma ASTM : D- 140

El material bituminoso AC- 20 se obtiene de planta de asfalto de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas (EPMMOP), ubicado en la Avenida Simón Bolívar e Interoceánica, Quito. El muestreo se lo realiza siguiendo la normativa INEN 922, los recipientes para el material bituminoso deben ser nuevos, de boca ancha con tapas roscadas revestidas, o recipientes con tapas de triple sello (tarros de pintura), el tamaño del recipiente corresponde a la cantidad de muestra que se requiere para los ensayos.



*Fotografía 3.10-Muestr*eo de materiales bituminosos

3.2.2.- Gravedad específica

Norma INEN : 923

Norma AASHTO : T - 228

Norma ASTM : D- 70

Este ensayo se utiliza para determinar en un material bituminoso, la relación de su peso en aire a una temperatura determinada, al peso de un volumen igual de agua a la misma temperatura, generalmente a los 25 °C.

Equipo:

- Picnómetro de 25ml.
- Balanza analítica.
- Termómetro.
- Agua destilada.
- Baño termostático.

Ecuaciones:

$$\rho b = \frac{C - A}{(B - A) - (D - C)}$$

Ecuación 3. 14-Gravedad específica del asfalto

Donde:

A: Masa del picnómetro (gr)

B: Masa del picnómetro + H2O (gr)

C: Masa del picnómetro + asfalto (gr)

D: Masa del picnómetro + asfalto + H2O (gr)

$\boldsymbol{\rho b}$**:** Gravedad especifica del asfalto (g/cm^3)

Procedimiento:

a) Determinar la masa del picnómetro seco y limpio con su tapa.

b) Llenar de agua destilada a 25°C en el picnómetro, colocar tapa y determinar masa.

c) Calentar una pequeña cantidad de muestra de asfalto hasta que esté suficientemente fluida, evitando pérdida por evaporación.

d) Verter la muestra dentro del picnómetro hasta aproximadamente la mitad, evitando inclusión de burbujas y que esta no toque las paredes del tubo.

e) Dejar enfriar a temperatura ambiente el picnómetro y determinar masa incluyendo la tapa.

f) Llenar el picnómetro con agua destilada a 25°C e inserte la tapa, sumergirlo en un vaso precipitado lleno de agua destilada y colocarlo en el baño termostático por 30 minutos.

g) Retirar el picnómetro del vaso, secarlo y determinar la masa.

Cálculos y resultados:



Fotografía 3.11-Gravedad AC-20

3.2.3.- Punto de inflamación y combustión copa abierta de Cleveland

Norma INEN : 808

Norma AASHTO : T - 79

Norma ASTM : D- 92

Este ensayo se utiliza para determinar los puntos de inflamación (llama) y combustión (fuego) de todos los productos del petróleo exceptuando aceite combustible y aquellos materiales que tengan el punto de inflamación inferior a 79 °C.

Equipo:

- Copa abierta de Cleveland
- Termómetro

Ecuaciones:

$$Punto\ de\ inflamación\ \ corre. = \ punto\ de\ inflamación + 0.033(760 - Presión\ Barométrica)$$

Ecuación 3. 15 -Punto de inflamación corregido

$$Punto\ de\ combustión\ \ corregido = punto\ de\ combustión + 0.033(760 - Presión\ Barométrica)$$

Ecuación 3. 16-Punto de combustión corregido

Procedimiento:

a) Llenar la copa con la muestra, de modo que la parte superior del menisco está en la línea del llenado.

b) Calentar la muestra de modo que la temperatura suba a una velocidad entre 14°C y 17°C por minuto, hasta alcanzar una temperatura de 55°C por debajo del punto de inflamación esperado.

c) Disminuir el calor de modo que la velocidad de la temperatura de 28°C antes del punto de inflamación, quede comprendida entre 5°C y 6°C por minuto.

d) Comenzando al menos 28°C por debajo del punto de inflamación, aplicar llama cada 3°C sucesivos leídos en el termómetro, la llama de prueba pasara a través del centro de la copa, en ángulo recto al diámetro que pasa a través del termómetro.

e) La llama de ensayo, mientras se está pasando a través de la superficie del material, quedará en el plano del borde superior del vaso, el tiempo empleado para cada pasada será aproximadamente de un segundo.

f) Determinar el punto de inflamación, como la temperatura marcada en el termómetro cuando aparece un destello en algún punto de la superficie del material.

g) Determinar el punto de combustión, como la temperatura marcada en el termómetro cuando después de continuar calentando a una velocidad de 5°C a 6°C por minuto, aplicando en intervalos llama cada 3°C hasta que el material arda y se mantenga una llama en la superficie del material por menos cinco segundos.

3.2.4.- Punto de reblandecimiento

Norma INEN : 920

Norma AASHTO : T - 53

Norma ASTM : D- 36

Este ensayo se utiliza para determinar el punto de reblandecimiento de un material bituminoso, como la temperatura a la cual una probeta del material en forma de disco, mantenida horizontalmente dentro de un anillo, es obligada a deformarse por el peso de una bola de acero y toca una superficie de un baño situada a una pulgada cuando se calienta a una velocidad determinada dentro del baño con agua destilada.

Equipo:

- Anillo de bronce.
- Bola de acero con un diámetro de 9,5 mm y que pesen entre 3.45 gr a 3.55 gr.
- Guía de la bola.
- Termómetro.
- Agua destilada.
- Vaso de vidrio de 800ml con un diámetro no menor a 85 mm y una altura no menor de 120mm, capaz de resistir al calor.

Procedimiento:

a) Calentar la muestra a una temperatura inferior a 100°C agitándola continuamente hasta que este lo suficientemente fluida, evitando las burbujas de aire.

b) Aplicar un agente desmoldante en la placa de bronce de los anillos

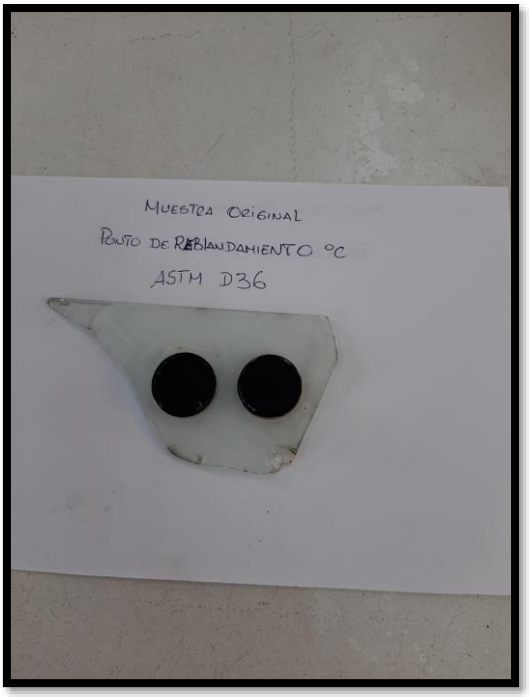
c) Verter la muestra en los anillos previamente calentados y esperar que se enfríe por una 1 hora.

d) Armar el aparato con los anillos, la guía de la bola y el termómetro en correcta posición, introduciendo todo en el vaso de vidrio y llenándolo con agua destilada hasta que el nivel este 5 cm encima de la parte superior del anillo.

e) Colocar a baño María el vaso de vidrio a una temperatura de 25°C y colocar la bola de acero centrada en la guía sobre la muestra.

f) Aplicar calor de modo que la temperatura del líquido aumente a una velocidad uniforme de 5°C por minuto, hasta que la muestra que rodea la bola se reblandezca y toque la placa inferior.

g) Anotar para cada anillo y bola la temperatura indicada en el termómetro.



Fotografía 3.12-Punto de reblandecimiento

3.2.5.- Penetración

Norma INEN : 917

Norma AASHTO : T - 49

Norma ASTM : D- 5

Este ensayo se utiliza para determinar la consistencia de un material bituminoso, esta es expresada por la distancia que una aguja standard penetra verticalmente en una muestra de material en condiciones de peso, tiempo y temperatura conocidas.

Los cementos asfálticos según su penetración se clasifican en 5 grados:

- Grado I, penetración 40/50
- Grado II, penetración 60/70
- Grado III, penetración 85/100
- Grado IV, penetración 120/150
- Grado V, penetración 200/300

Dónde: Grado I, penetración 40/50 Penetración mínima 40 dmm, penetración máxima 50 dmm.

Equipo:

- Penetrómetro.
- Baño termostático.
- Recipiente con diámetro de 55mm y 25mm de profundidad.
- Recipiente con diámetro de 90mm y 55mm de profundidad.
- Termómetro.
- Cronómetro.

Ecuaciones:

$$\pm\, tolerancia\ = \frac{promedio\ de\ penetración}{100} + 1$$

Ecuación 3. 17 -Tolerancia

Procedimiento:

a) Calentar la muestra y agitarla hasta que este lo suficientemente fluida evitando burbujas.

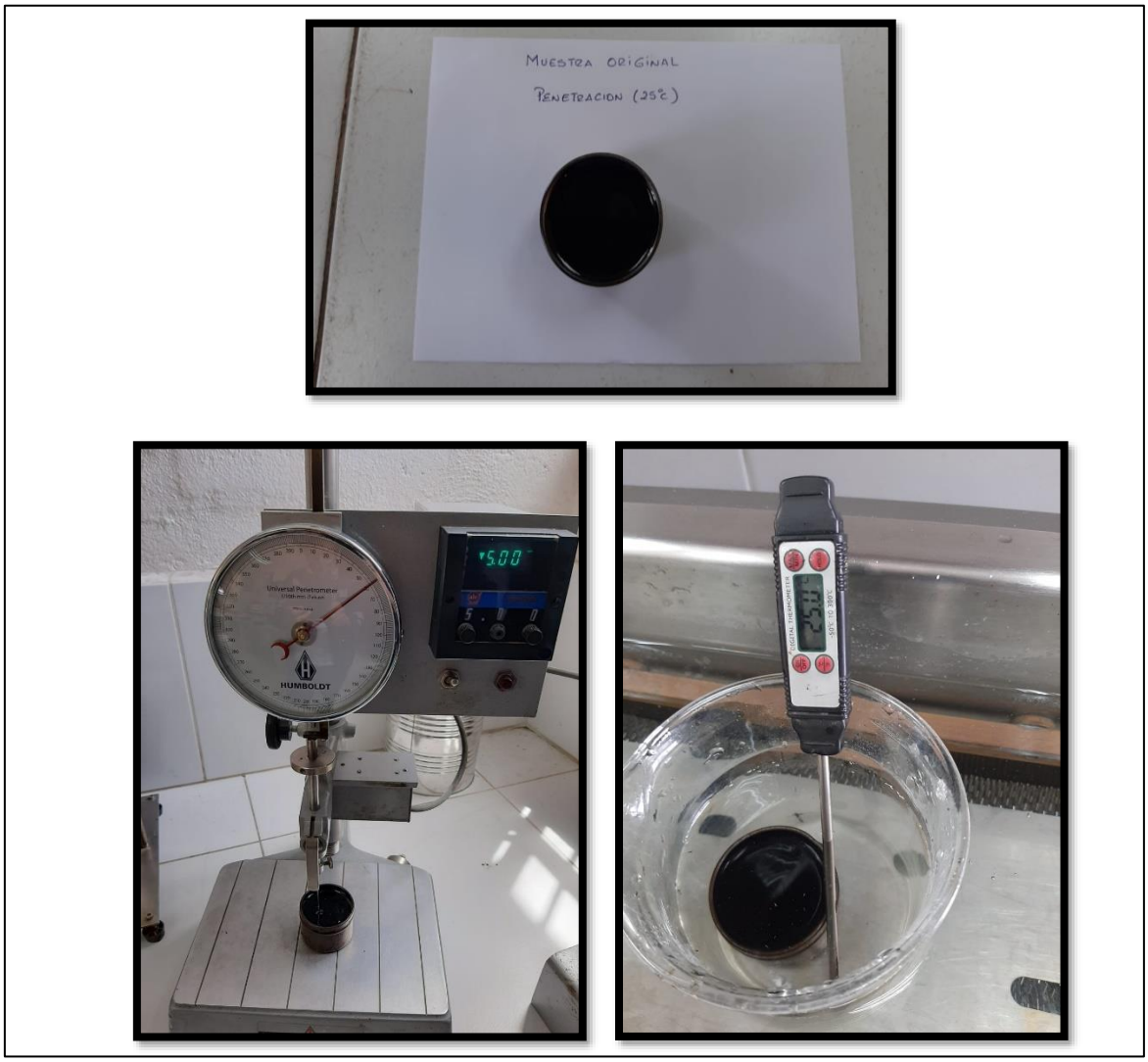
b) Verter la muestra en el recipiente con diámetro de 55mm y dejar enfriar por 1 o 1.5 horas.

c) Colocar en el recipiente con diámetro de 90mm y poner a baño María a una temperatura de 25°C

d) Poner el conjunto de recipientes en la plataforma del Penetrómetro.

e) Bajar la aguja del Penetrómetro hasta que toque la superficie de la muestra.

f) Hacer un mínimo de tres penetraciones, cada punto estará distanciado 10mm entre otro y la pared del recipiente.



Fotografía 3.13-Penetración AC-20

3.2.6.- Ductilidad

Norma INEN : 916

Norma AASHTO : T - 51

Norma ASTM : D- 113

Este ensayo se utiliza para determinar distancia en centímetros que una muestra normalizada de un producto asfáltico puede alargarse antes de romperse.

Equipo:

- Moldes para las briquetas
- Placas de bronce para las briquetas
- Termómetro
- Equipo de ductilidad
- Baño termostático

Procedimiento:

a) Calentar la muestra a una temperatura inferior a100 °C y agitarla hasta que este lo suficientemente fluida evitando burbujas.

b) Colocar desmoldante en la placa y briquetas y armarlo, tamizar la muestra en el tamiz Nro. 50 y verter en el molde y dejar enfriar por 30 minutos.

c) Colocar en el baño termostático por 1.5 horas, luego separar la briqueta de la placa y las piezas laterales y comenzar a ensayar.

d) Realizar el ensayo a una temperatura de 25 $\pm$0.5 °C y a una velocidad de 5 $\pm$0.25 cm/min

e) Colocar las abrazaderas en los pasadores en el equipo de ductilidad y colocar a tracción a la velocidad indicada, hasta producir la rotura.



Fotografía 3.14-Ductilidad

3.2.7.- Viscosidad

Norma AASHTO : T - 316

Norma ASTM : D- 4402

Este ensayo se utiliza para determinar el comportamiento del asfalto con respecto a una temperatura, ya sea para la viscosidad absoluta a una temperatura de 60°C, que sirve para conocer el rango de temperaturas para la colocación y producción de las mezclas asfálticas y la viscosidad cinemática a una temperatura de 135°C, que sirve para conocer las condiciones óptimas para el transporte, bombeo y almacenamiento del asfalto.

- Clasificación comprendida entre 200dmm – 20dmm de penetración.

Tipo	Viscosidad a 60 ℃, Pascal segundo (Pa s)[1]
AC-2,5	25± 5
AC-5	50 ± 10
AC-10	100 ± 20
AC-20	200 ± 40
AC-40	400 ± 80

[1] 1 Pa s(Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53

- Clasificación comprendida entre 220dmm – 40dmm de penetración

Tipo	Viscosidad a 60 ℃, Pascal segundo (Pa s)[2]
AC-2.5	25 ± 5
AC-5	50 ± 10
AC-10	100 ± 20
AC-20	200 ± 40
AC-30	300 ± 60
AC-40	400 ± 80

[2] 1 Pa s(Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53

- Clasificación basada en el residuo del ensayo de película fina en horno rotatorio.

Tipo	Viscosidad a 60 ℃, Pascal segundo (Pa s) [3]
AR-100	100 ± 25
AR-200	200 ± 50
AR-400	400 ± 100
AR-800	800 ± 200
AR-1600	1 600 ± 400

[3] 1 Pa s (Pascal segundo) = 10 P (Poise). Ver NTE INEN 53

Ilustración 3. 2- Viscosidad absoluta (dinámica): INEN 2515
Fuente: INEN 2515

Equipo:

- Viscosímetro rotacional.
- Vástagos.
- Controlador de temperatura
- Horno.
- Termómetro.
- Balanza.

Procedimiento:

a) Calentar la muestra a una temperatura inferior a 100 °C y agitarla hasta que este lo suficientemente fluida evitando burbujas.

b) Encender el viscosímetro y el controlador de temperatura.

c) Precalentar el vástago, soporte y el recipiente de la muestra y configurar el controlador a la temperatura deseada.

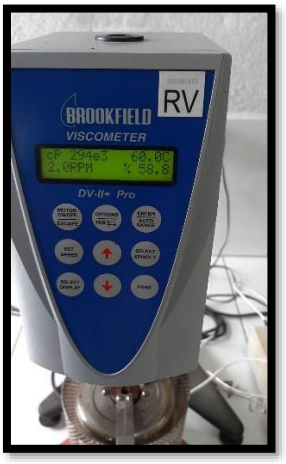
d) Cuando la temperatura deseada este indicada en el controlador, retirar el soporte y colocar la muestra en el contenedor.

e) Colocar el contenedor en el controlador de temperatura.

f) Insertar el vástago en el viscosímetro y penetrar la muestra hasta que cubra la parte cónica superior del vástago.

g) Llevar la muestra a la temperatura deseada por 30 minutos, ajustar la velocidad a 20 rpm, configurar las unidades a Pa.s y dejar que se estabilice por 10 minutos.

h) Iniciar el ensayo, realizando 3 lecturas en intervalos de 3 minutos (para cada temperatura repetir el procedimiento).



Fotografía 3.15-Viscosidad

3.2.8.- Cambio de masa RTFO

Norma AASHTO : T - 240

Norma ASTM : D-2872

Este ensayo se utiliza para medir el efecto del calor y aire sobre una lámina delgada en materiales asfálticos, lo que sirve para conocer los cambios producidos en las propiedades del asfalto y el cambio de masa, cuando se realizan mezclas en caliente a una temperatura de 150°C.

Equipo:

- Horno.
- Termómetro.
- Medidor de flujo.
- Recipientes.

Procedimiento:

a) Calentar en un recipiente la muestra libre de agua sin exceder 163°C, hasta que este lo suficientemente fluida y evitando burbujas de aire.

b) Verter 35 $\pm$0.6 gr de muestra en cada recipiente de vidrio y dejar enfriar y determinar su masa.

c) Con el horno encendido a la temperatura de operación y con el flujo de aire regulado a 4000$\pm$ 200 ml/mín., colocar los recipientes en los porta muestras quedando estos balanceados, cerrar la puesta y hacer rotar a una velocidad de 15 $\pm$ 0.2 rpm por 75 minutos. (La temperatura de ensayo 163°C tiene que realizarse en los primeros 10 minutos, caso contrario deberá anularse la prueba)

d) Terminado el periodo del ensayo sacar los recipientes del horno, dejar enfriar y determinar la masa de cada recipiente.



Fotografía 3.16-Cambio de masa RTFO

3.2.9.- Resumen de resultados de los ensayos de caracterización del asfalto AC-20

Ensayo	Norma	Min	Max	Unidades	Resultado	Cumple
Gravedad específica	ASTM D70	1	---	kg/m3	1,0071	SÍ
Penetración	ASTM D5	-1,5	1,5	---	-0,7	SÍ
Reblandecimiento	ASTM D36			°C	60	SÍ
Punto de inflamación	ASTM D92	232		°C	273	SÍ
Punto de combustión	ASTM D92	---	---	°C	290	SÍ
Ductilidad	ASTM D113	100	---	cm	130	SÍ
Viscocidad absoluta 60°	ASTM D4402	200 ± 40		Pa.s	294	NO
Viscocidad cinemática 135°	ASTM D4402	300	---	mm2/s	470	SÍ
Pérdida de masa	ASTM D2872	---	1	%	-0,26	SÍ

Tabla 3. 17-Resumen de resultados de los ensayos de caracterización del asfalto AC-20.

CAPÍTULO 4: DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE, MÉTODO MARSHALL

Norma D1559

4.1.- Generalidades

En este capítulo se definirá la gradación de agregados pétreos de la mina Holcim Pifo mediante la mezcla de agregados los cuales deberán entrar en una faja de trabajo según las especificaciones MOP-001-F2002 de la TABLA 405-5.1 para el tamaño y betún asfáltico proveniente de la refinería de Esmeraldas, se utilizara los criterios Marshall señalados en las especificaciones del MTOP , así obtener la fórmula maestra de trabajo y proceder a la elaboración de probetas para evaluar el desempeño de la mezcla.

Tenemos que tener en cuenta el tipo de trafico

Clasificaciòn Funcional de las Vìas en base al $TPDA_d$			
Descripciòn	Clasificaciòn Funcional	Tràfico Promedio Diario Anual ($TPDA_d$) al año de horizonte	
		Lìmite Inferior	Limite Superior
Autopista	AP2	80000	120000
	AP1	50000	80000
Autovìa o Carretera Multicarril	AV2	26000	50000
	AV1	8000	26000
Carretera de 2 carriles	C1	1000	8000
	C2	500	1000
	C3	0	500

Ilustración 4. 1-Clasificación funcional de las vías en base al TPDA
Fuente: NEVI-12 Tabla 2A.202-01

TPDA: Tráfico promedio diario anual.
TPDAd: TPDA correspondiente al año horizonte de diseño.

- Tráfico muy pesado: Interestatal y Autopistas; AP2, AP1
- Tráfico pesado: Carretera de mediana capacidad: AV1
- Tráfico medio: Carretera convencional básica y camino básico: C1, C2
- Trafico liviano: Camino agrícola/forestal:C3

Al realizar el diseño de una vía se tiene que realizar el conteo del tráfico para determinar el TPDA propio de cada vía, así se podrá fabricar las briquetas con el número de golpes especificado y verificar con los criterios Marshall correspondientes.

TIPO DE TRAFICO	Muy Pesado		Pesado		Medio		Liviano	
CRITERIOS MARSHALL	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.
No. De Golpes/Cara	75		75		50		35	
Estabilidad (libras)	2200	----	1800	----	1200	----	1000	2400
Flujo (pulgada/100)	8	14	8	14	8	16	8	16
% de vacíos en mezcla								
- Capa de Rodadura	3	5	3	5	3	5	3	5
- Capa Intermedia	3	8	3	8	3	8	3	8
- Capa de Base	3	9	3	9	3	9	3	9
% Vacíos agregados	VER TABLA 405-5.5							
Relación filler/betún	0.8	1.2	0.8	1.2				
% Estabilidad retenida luego 7 días en agua temperatura ambiente								
- Capa de Rodadura	70	----	70	----				
- Intermedia o base	60	----	60	----				

Tipo de Mezcla	VAM, Mínimo (%)
A	16
B	15
C, D	14
E	13

Ilustración 4. 2-Criterios para evaluación Marshall MOP

Fuente: TABLA 405.5.4 y TABLA 405.5.5 (MOP-001-F,2002)

- Para el criterio V.A.M se usará la granulometría ¾ mezcla tipo C.
- El MOP dice que se puede trabajar con los valores actualizados del Instituto del Asfalto.

Marshall Method Criteria[1]	Light Traffic[3] Surface & Base		Medium Traffic[3] Surface & Base		Heavy Traffic[3] Surface & Base	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Compaction, number of blows each end of specimen	35		50		75	
Stability[2], N (lb.)	3336 (750)	–	5338 (1200)	–	8006 (1800)	–
Flow[2,4,5], 0.25 mm (0.01 in.)	8	18	8	16	8	14
Percent Air Voids[7]	3	5	3	5	3	5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA)[6]	See Table 7.3					
Percent Voids Filled With Asphalt (VFA)	70	80	65	78	65	75

Ilustración 4. 3-Criterios para evaluación Marshall, The Asphalt Institute's, TABLE 7.2

Fuente: The Asphalt Institute's, TABLE 7.2

Nominal Maximum Particle Size[1,2]		Minimum VMA, percent		
		Design Air Voids, Percent[3]		
mm	in.	3.0	4.0	5.0
1.18	No. 16	21.5	22.5	23.5
2.36	No. 8	19.0	20.0	21.0
4.75	No. 4	16.0	17.0	18.0
9.5	⅜	14.0	15.0	16.0
12.5	½	13.0	14.0	15.0
19.0	¾	12.0	13.0	14.0
25.0	1.0	11.0	12.0	13.0
37.5	1.5	10.0	11.0	12.0
50	2.0	9.5	10.5	11.5
63	2.5	9.0	10.0	11.0

Ilustración 4. 4-Porcentaje mínimo de vacíos en el agregado mineral.

Fuente: The Asphalt Institute's, TABLE 7.3

En esta investigación se trabajará con un tipo de tráfico pesado, usando un número de 75 golpes por cara para la elaboración de briquetas.

4.2.- Mezcla de agregados pétreos

Para poder considerar una carpeta asfáltica de buena calidad debe contener áridos con una granulometría que entre en una faja de trabajo con especificaciones establecidas en la MOP (tabla 405-5.1) como se observa en la Tabla 4.1, para lo cual consiste en determinar la granulometría de los tres agregados obtenidos de la mina Holcim Pifo ¾, 3/8 y arena para mezclarla y obtener una granulometría deseada.

Tamiz	**Porcentaje en peso que pasa a través de los tamices de malla cuadrada**				
Pulg	**mm**	**3/4''**	**1/2''**	**3/8''**	**N°.4**
1''	**25,4**	100	-	-	-
3/4''	**19**	90-100	100	-	-
1/2''	**12,5**	-	90-100	100	-
3/8''	**9,51**	56-80	-	90-100	100
N°.4	**4,75**	35-65	44-74	55-85	80-100
N°.8	**2,36**	23-49	28-58	32-67	65-100
N°.16	**1,18**	.	-		40-80
N°.30	**0,6**	.	-	-	25-65
N°.50	**0,3**	5-19	5-21	7-23	7-40
N°.100	**0,15**	-	-	-	3-20
N°.200	**0,075**	2-8	2-10	2-10	2-10

Tabla 4. 1-Granulometrías para mezclas asfálticas,
Fuente: Tabla 405-5.1, MOP-001-F-2002.

4.2.1.- Granulometría agregado 3/4"

TAMIZ STANDARD	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	PASANDO	ESPECIFICADO	
3"	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2"	0	0	0	100		
1 1/2	0	0	0	100		
1"	0	0	0	100		100
3/4"	144	144	8	92	90	100
1/2"	583	727	40	60		
3/8"	393	1120	62	38	56	80
No.4	540	1660	92	**8**	35	65
PASA No.4						
PESO TOTAL						
No.8	110	1770	98	2	23	49
No.10						
No.16	6	1776	99	1		
No.30	3	1779	99	1		
No.40						
No.50	2	1781	99	1	5	19
No.60						
No.80						
No.100	2	1783	99	1		
PASA No.100						
No.200	6	1789	99	**1**	2	8
PASA No. 200	13	1802	100	**0**		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1802	gr

Tabla 4. 2-Granulometría agregado 3/4"

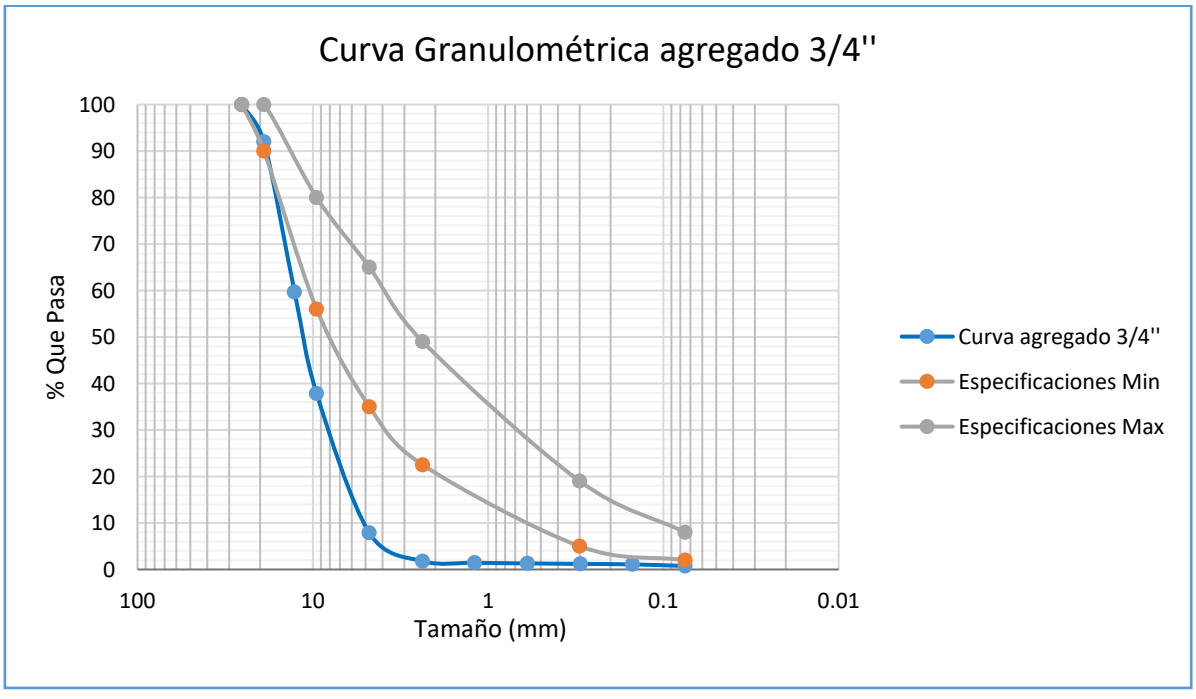


Gráfico 4. 1 -Curva Granulométrica agregado 3/4

4.2.2.- Granulometría agregado 3/8"

TAMIZ STANDARD	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	PASANDO	ESPECIFICADO	
3"	0	0	0	100,0		
2 1/2	0	0	0	100,0		
2"	0	0	0	100,0		
1 1/2	0	0	0	100,0		
1"	0	0	0	100,0		
3/4"	0	0	0	100,0		
1/2"	0	0	0	100,0		100
3/8"	142	142	13	87,4	90	100
No.4	722	863	77	**23,1**	55	85
PASA No.4						
PESO TOTAL						
No.8	209	1073	96	4,4	32	67
No.10						
No.16	29	1102	98	1,9		
No.30	4	1106	99	1,5		
No.40						
No.50	2	1108	99	1,3	7	23
No.60						
No.80						
No.100	2	1109	99	1,2		
PASA No.100						
No.200	4	1113	99	**0,8**	2	10
PASA No. 200	9	1122	100	**0,0**		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1122	gr

Tabla 4. 3-Granulometría agregado 3/8"

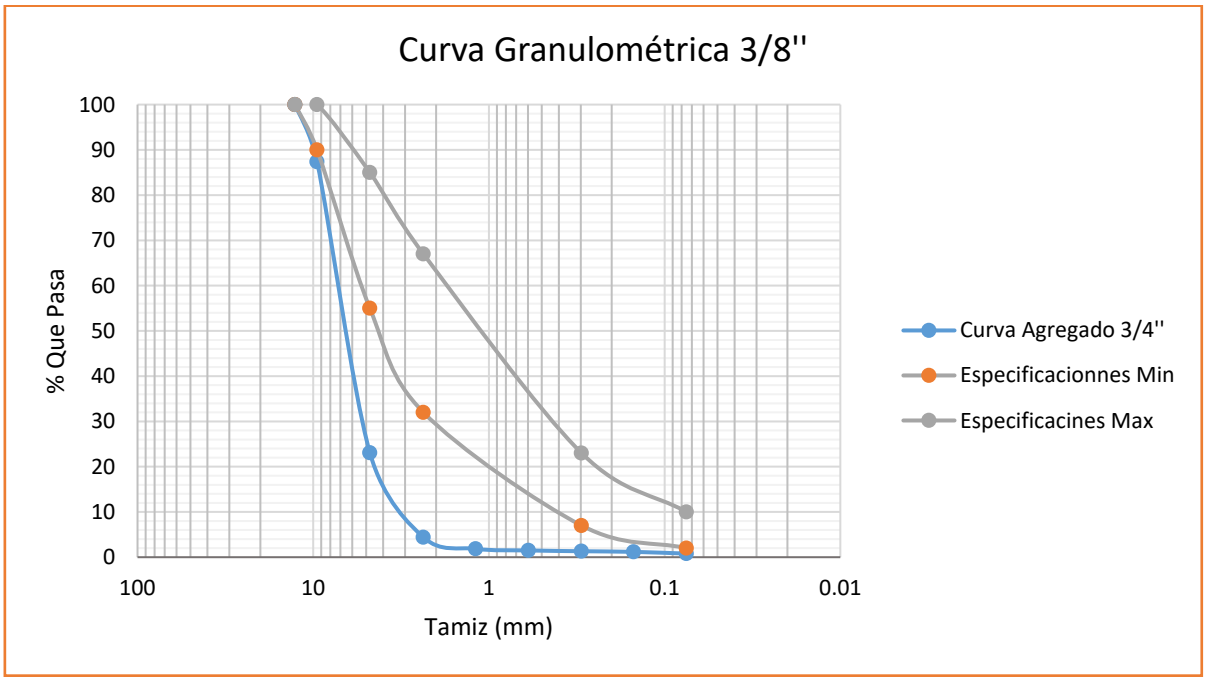


Gráfico 4. 2-Curva Granulométrica agregado 3/8"

4.2.3.- Granulometría agregado fino

TAMIZ STANDARD	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	PASANDO
3"	0	0	0	100
2 1/2	0	0	0	100
2"	0	0	0	100
1 1/2	0	0	0	100
1"	0	0	0	100
3/4"	0	0	0	100
1/2"	0	0	0	100
3/8"	0	0	0	100
No.4	0	0	0	100
PASA No.4				
PESO TOTAL				
No.8	73	73	21	79
No.10				
No.16	87	160	47	53
No.30	56	217	63	37
No.40				
No.50	40	256	75	25
No.60				
No.80				
No.100	31	288	84	16
PASA No.100				
No.200	19	307	90	10
PASA No. 200	35	342	100	0

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	342	gr

Tabla 4. 4-Granulometría agregado fino

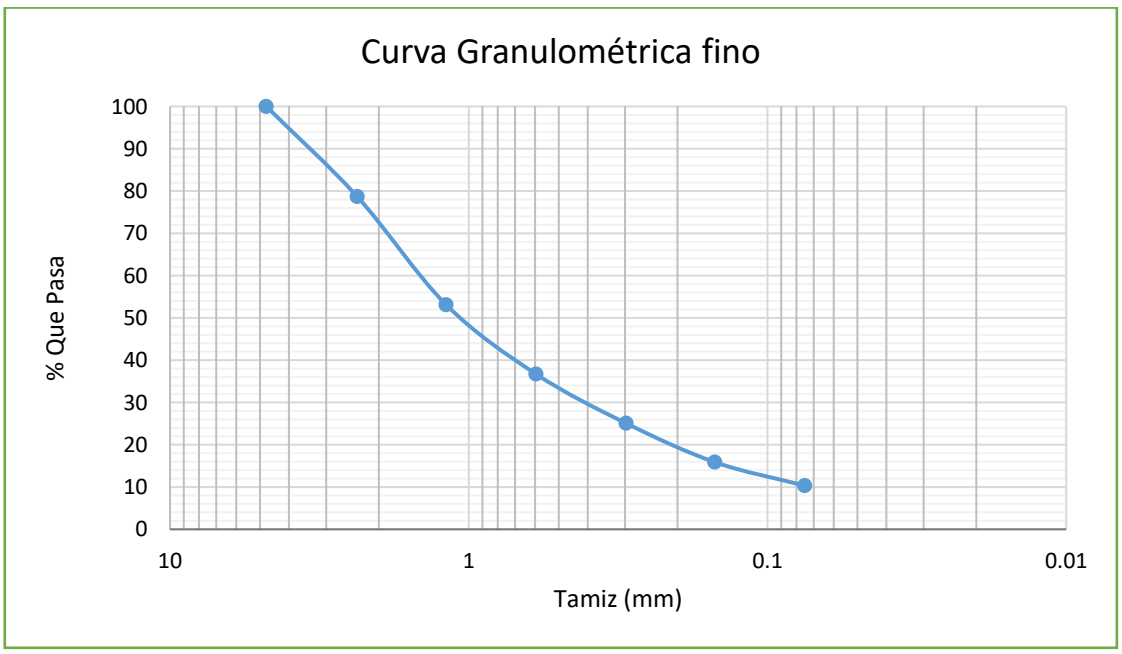


Gráfico 4. 3-Curva Granulométrica agregado fino

En la siguiente tabla se presenta los resultados de la selección de los porcentajes de la mezcla para el diseño de una mezcla asfáltica cerrada o densa que está en función de dos parámetros:

- **Tamaño máximo nominal del agregado: 3/4''**
- **Tamaño máximo :1''**

La franja de las especificaciones de la norma Tabla 405-5.1, MOP-001-F-2002, con lo cual se estableció que cada briqueta deberá contener 1100 gr de agregado según la dosificación indicada:

A-Material ¾ = 40 %

B-Material 3/8 = 10%

C-Material fino = 50%

Tamiz #	**1''**	**3/4''**	**1/2''**	**3/8''**	**No 4.**	**No 8.**	**No 30.**	**No 50.**	**No 100.**	**No 200.**	**p #200**
Tz mm.	**25,4**	**19**	**12,7**	**9,5**	**4,75**	**2,36**	**0,6**	**0,3**	**0,15**	**0,075**	**p 0,075**
mat. A	100,00	92,01	59,68	37,85	7,88	1,78	1,30	1,20	1,09	0,74	
mat. B	100,00	100,00	100,00	87,39	23,07	4,41	1,49	1,32	1,18	0,79	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	78,65	36,70	25,06	15,88	10,32	
mat. D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mezcla	**100,00**	**96,80**	**83,87**	**73,88**	**55,46**	**40,48**	**19,02**	**13,14**	**8,49**	**5,54**	
Ret.Ac.	0,00	3,20	16,13	26,12	44,54	59,52	80,98	86,86	91,51	94,46	5,54
Ret.Parc.	0,00	3,20	12,93	9,99	18,42	14,98	21,46	5,88	4,65	2,96	
peso	0,00	35,16	142,26	109,91	202,61	164,80	236,06	64,66	51,12	32,52	
p. acum.	**0,00**	**35,16**	**177,41**	**287,32**	**489,93**	**654,73**	**890,80**	**955,45**	**1006,57**	**1039,09**	**1100,00**
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**		**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**		**8**	

Tabla 4. 5-Mezcla de agregados Mina Holcim Pifo con especificaciones MOP, tamaño nominal de los agregados 3/4".

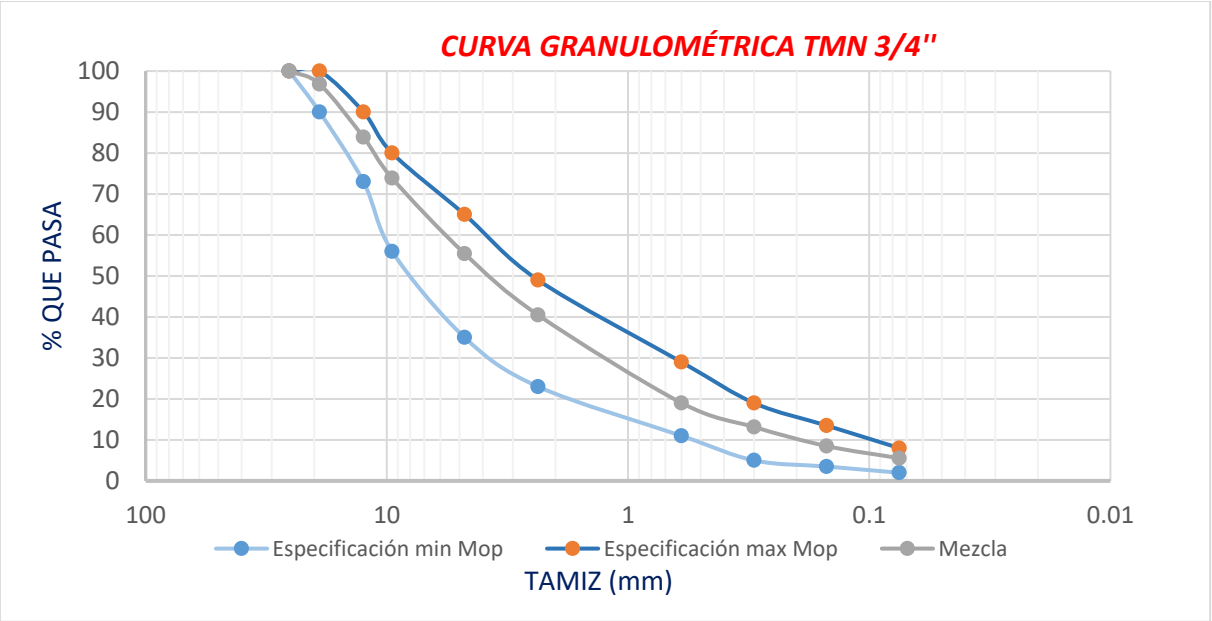


Gráfico 4. 4-Curva granulométrica de la mezcla

Procedimiento:



Fotografía 17-Dosificación de los agregados

Para la preparación de los agregados se seca al horno a una temperatura de 110 °C, luego se enfría al ambiente para posterior mente poder tamizar en las dosificaciones que se obtuvo de la mezcla de los tres agregados para poder obtener 15 fundas dosificadas para realizar las briquetas con los diferentes porcentajes de aditivo.

4.3.- Características de los materiales

Se debe cumplir el siguiente parámetro de los materiales

Gsa > Gse > Gsb

Gsb gravedad especifica neta o la gravedad especifica Bulk o: Porción de masa al aire de un material permeable respecto a una masa de aire de igual densidad de volumen al de agua.

Gse gravedad especifica efectiva de los agregados: Porción de masa en aire de unidad de volumen de un material permeable, (incluye vacíos permeables e impermeables con asfalto) respecto a una masa de aire de igual densidad de volumen al de agua.

Gsa gravedad especifica aparente de los agregados: Porción de la masa en aire de una unidad de volumen de un material impermeable respecto a una masa de aire de igual densidad de volumen al de agua.

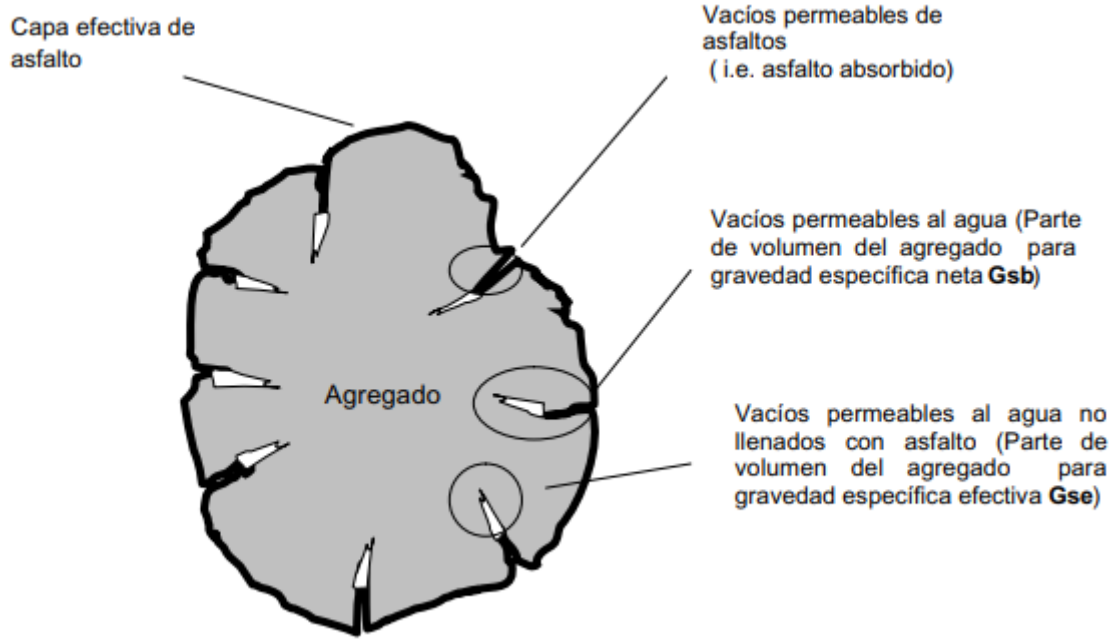


Ilustración 3. 3- Parámetros de diseño volumétrico de los agregados

Fuente: Garnicas P., (2005)

4.3.1.- Gravedad especifica Bulk de los agregados (Gsb)

Ecuación:

$$Gsb = \frac{100}{\frac{P1}{G1} + \frac{P2}{G2} + \frac{Pn}{Gn}}$$

Ecuación 4. 1-Gravedad especifica Bulk de los agregados.

Donde:

Gsb: Gravedad especifica de masa promedio/Peso Específico Bulk de los agregados

G1,G2…Gn: Gravedad especifica Bulk de cada agregado

P1,P2…Pn: Porcentajes de la mezcla

Cálculos y resultados:

	3/4"	3/8"	ARENA
G:GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK	2,514	2,531	2,476
GRAVEDAD ESPECIFICA SATURADA CON SUPERFICIE SECA SSS	2,568	2,590	2,634
G:GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE	2,657	2,689	2,684
%ABSORCION	2,15	2,33	6,38
Gsb= $\frac{100}{\frac{40}{2,514} + \frac{10}{2,531} + \frac{50}{2,605}}$ = **2,560**			

Tabla 4. 6- Gravedad especifica Bulk de los agregados

4.3.2- Gravedad especifica aparente de los agregados (Gsa)

Ecuación:

$$Gsb = \frac{100}{\frac{P1}{g1} + \frac{P2}{g2} + \frac{Pn}{gn}}$$

Ecuación 4. 2-Gravedad especifica aparente de los agregados

Donde:

Gsa: Gravedad especifica aparente

g1,g2…gn: gravedad especifica aparente de cada agregado

P1,P2…Pn: Porcentajes de la mezcla

Cálculos y resultados:

$$\textbf{Gsa=}\ \frac{100}{\frac{40}{2{,}657}+\frac{10}{2{,}689}+\frac{50}{2{,}684}}\ \textbf{= 2,674}$$

Tabla 4. 7-Gravedad especifica aparente de los agregados

4.3.3.- Gravedad especifica efectiva de los agregados (Gse)

Ecuación:

$$\boldsymbol{Gse = \frac{100 - Pb}{\frac{100}{Gmm} - \frac{Pb}{Gasf}}}$$

Ecuación 4. 3-Gravedad especifica efectiva de los agregados (Gse)

Donde:

Gse: Peso específico efectivo del agregado

Pb: %Contenido de asfalto % C.A.

Gasf: Gravedad específica del asfalto AC-20 = 1,001

Gmm: Gravedad específica máxima medida (ASTM D 2041-AASHTO T 209) de mezcla de pavimento, sin vacíos de aire.

- El Gse se obtendrá más adelante luego de ensayar las briquetas, se obtendrá el Gmm Gravedad específica máxima medida, llamado también rice.
- Los resultados se presenta en la Tabla 4.14.

4.4.- Porcentaje aparente óptimo del asfalto

Con los daos obtenidos de la granulometría se calcula el porcentaje optimo aparente del asfalto

Ecuación:

$$S = 0,17G + 0,33g + 2,30A + 12a + 135f$$

Ecuación 4. 4-Superficie especifica de los áridos

Donde:

G: % de material mayor a 3/8"

g: % de material retenido entre el tamiz 3/8" – N°4

A: % de material retenido entre el tamiz N°4 - N°50

A: % de material retenido entre el tamiz N°50 - N°200

f: % de material que pasa el tamiz N°200

$$P = M * S^{\frac{1}{5}}$$

Ecuación 4. 5- Calculo del porcentaje de asfalto.

Donde:

M: Coeficiente del tráfico (3,75-4,25), teniendo en cuenta que 3,75 se usa para trafico liviano o medio y 2,25 para pistas de aeropuertos en este caso usamos un valor de 4.

S: Superficie especifica de los áridos

Cálculos y resultados:

Cálculo del Porcentaje de AC-20		
S=	**0.17G+0.33g+2.3A+12a+135f**	
G =	26,12	0,26
g =	18,42	0,18
A =	42,32	0,42
a =	7,60	0,08
f =	5,54	0,06
M =	(3,75 - 4,25) = 4	
S =	9,5	
P=	**M(S)^(1/5)**	
	P (%) =	**6,27**

Tabla 4. 8-Calculo % óptimo de AC-20

Para poder determinar el porcentaje verdadero de AC-20 se realiza dos porcentajes arriba y dos porcentajes abajo del 6,27 obtenido en este caso seria 5%, 5,5%,6%, 6,5% y 7%, con cada porcentaje se realiza 3 briquetas obteniendo un total de 15 briquetas.

4.5.- Procedimiento para la elaboración de las briquetas de la mezcla asfáltica caliente

4.5.1.- Temperatura de mezclado y compactación mezcla caliente

En los ensayos de viscosidad se obtuvo las temperaturas a las cuales se va a trabajar para la realización de la mezcla asfáltica.

Se toma una temperatura a la cual genere una viscosidad de 170± 20 Cp (centipoises) para el mezclado y una viscosidad de 280± 30 Cp para la compactación según la norma AASTHO T245-97(2008)

- **Temperatura de mezcla:** (156°C- 159°C)
- **Temperatura de compactación:** (147°C a 152°C)

Procedimiento:



Fotografía 18-Elaboracion de briquetas Mezcla asfáltica caliente.

- Los agregados se colocan en un horno (115°C a 140°C), y el asfalto se calienta a una temperatura entre (125°C a 140°C).
- Se coloca la cantidad correspondiente a su porcentaje y mezclando a una temperatura de (156°C- 159°C) hasta recubrir todas las partículas de asfalto, la temperatura no debe sobrepasar ya que se modificaría las características de la mezcla, ni sobrepasar más de una hora esto para simular el proceso el calentamiento y mezcla en planta, luego se coloca en moldes Marshall y se compacta entre una temperatura de (147°C a 152°C) 75 golpes cada cara.

4.6.- Densidad Bulk de las briquetas compactadas (Gmb)

Norma ASTM D-2726

Luego que se compacto las briquetas se extrae las briquetas esperando se enfrié a temperatura ambiente, la densidad Bulk se calcula con la relación entre el peso en aire y su volumen.

Ecuación:

$$Gmb = \frac{Wa}{Wss - Ww}$$

Ecuación 4. 6-Densidad Bulk de las briquetas compactadas

Donde:

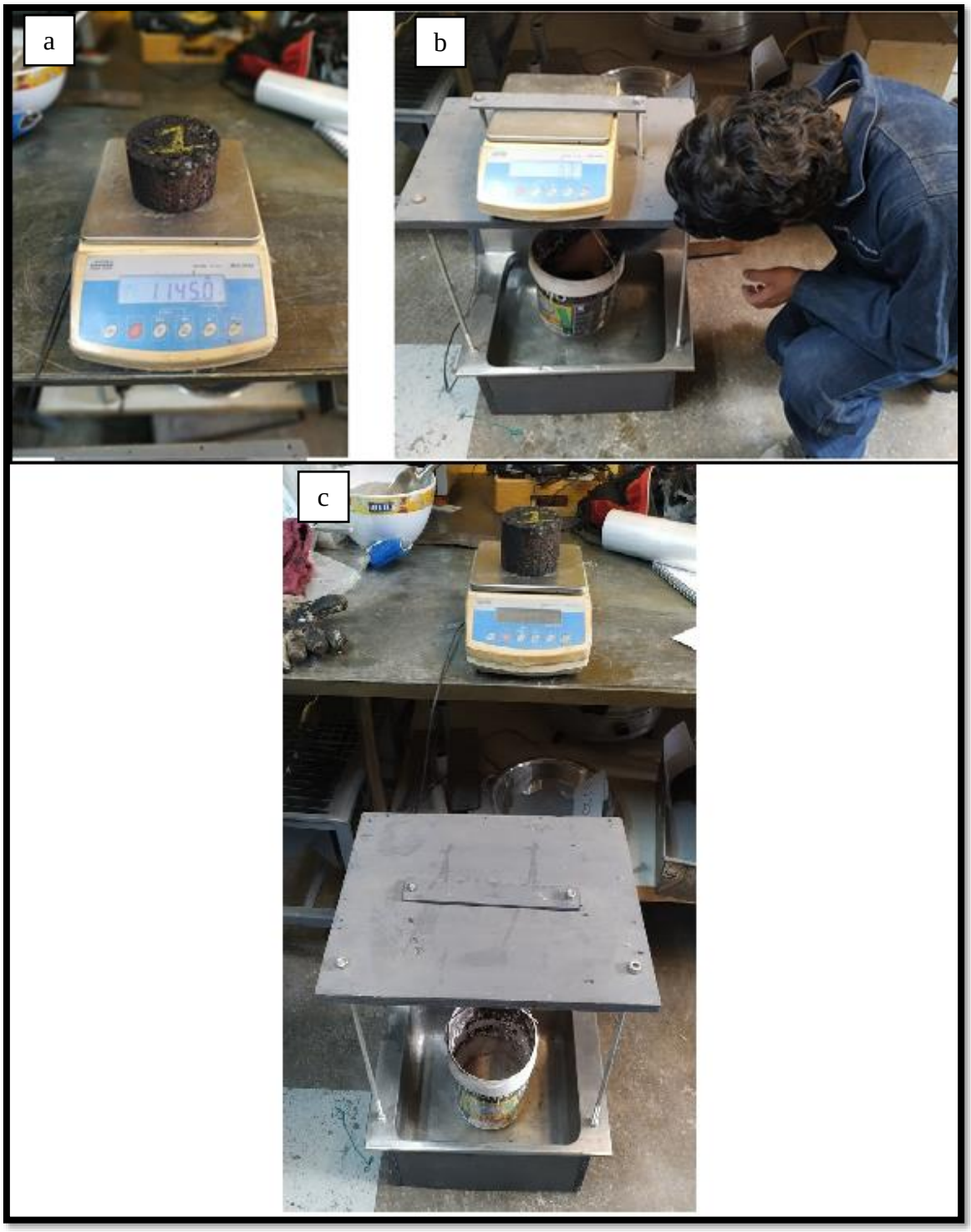
Gmb: Densidad especifica Bulk

Wa: Peso del espécimen seco

Ww: Peso del espécimen sumergido

Wss: Peso del espécimen saturada superficie seca

Procedimiento:



Fotografía 19-Densidad Bulk de las briquetas compactadas

a. Se toma el peso del espécimen seco

b. Se coloca en la balanza de inmersión y se toma el peso del espécimen sumergido

c. Se saca la briqueta y se seca el exceso de agua con una toalla y se toma el peso de la muestra con superficie seca

Cálculos y resultados:

Briqueta	% Bitumen	Masa del Espécimen Seco (gr) Wa	Masa del Espécimen sumergido (gr) Ww	Masa del Espécimen Sat.Sup.Sec. (gr) Wss	VOLUMEN (c.c.) V:Wss-Ww	Densidad Bulk (gr/cm3) Gmb	Promedio
1	5,0	1145,00	518,00	1147,20	629,20	1,820	**2,033**
2	5,0	1141,00	600,20	1144,40	544,20	2,097	
3	5,0	1140,40	621,40	1143,90	522,50	2,183	
4	5,5	1160,70	561,40	1163,20	601,80	1,929	**2,086**
5	5,5	1154,00	620,00	1156,70	536,70	2,150	
6	5,5	1144,10	621,30	1146,02	524,72	2,180	
7	6,0	1148,70	631,30	1167,80	536,50	2,141	**2,219**
8	6,0	1145,50	640,20	1150,00	509,80	2,247	
9	6,0	1173,50	658,10	1175,50	517,40	2,268	
10	6,5	1157,80	648,50	1160,30	511,80	2,262	**2,247**
11	6,5	1167,60	638,70	1169,80	531,10	2,198	
12	6,5	1160,00	652,20	1161,20	509,00	2,279	
13	7,0	1162,00	653,10	1163,90	510,80	2,275	**2,277**
14	7,0	1195,20	673,30	1197,10	523,80	2,282	
15	7,0	1175,20	663,20	1180,10	516,90	2,274	

Tabla 4. 91-Densidad Bulk de las briquetas compactadas

4.7.- Ensayo de Estabilidad y Flujo

Norma ASTM D-1559

Estabilidad: Es un valor de resistencia a la carga el cual una probeta cede o falla totalmente, cuando se incrementa el ligante va a aumentar la componente de cohesión en la resistencia de la mezcla, pero hay un momento que al seguir aumentando ligante se van a separar los áridos y disminuirá la cohesión que hay entre partículas por ende disminuirá la resistencia de la mezcla.

Flujo: Es la deformación que sufre la briqueta desde el primer momento que se aplica la carga hasta el final, ya que el componente deformable es el ligante a medida que se incrementa el ligante va aumentar la deformación de la mezcla.

Procedimiento:



Fotografía 20-Ensayo de briquetas para estabilidad y flujo en Prensa Marshall

a) Se coloca a baño maría a 60°C las probetas un tiempo de 30 a 45 min con intervalos de 3 min ya que es el tiempo que se demora ensayar cada briqueta.

b) Se seca la superficie de la muestra para colocarla en el equipo Marshall con una carga a la briqueta a una velocidad de deformación constante de 50.8 mm/minuto (2" / minuto) hasta que falle.

c) Así se determinará la estabilidad que es la resistencia en kg o Lb que va a tener el espécimen. Para la corrección de estabilidad se lo realiza con respecto al volumen de cada briqueta en el anexo1.

d) Mientras se va realizando el ensayo anterior de estabilidad al obtener la carga máxima se leerá el valor deformación (flujo) de la briqueta expresado en centésimas de pulgada.

Cálculos y resultados:

BRIQUETA	% BITUMEN	ESTABILIDAD (LB)			FLUJO
		FAC. CORR.	LEC	ESTA. CORRE.	
1	5,0	0,78	2709	2113	7
2	5,0	0,93	2909	2706	6
3	5,0	1,00	2601	2601	7
				2473	**7**
4	5,5	0,78	2500	1950	8
5	5,5	0,93	3015	2804	8
6	5,5	0,96	2216	2128	7
				2294	**8**
7	6,0	0,93	2735	2543	9
8	6,0	1,00	2715	2715	9
9	6,0	1,00	3153	3153	9
				2804	**9**
10	6,5	1,00	3123	3123	11
11	6,5	0,96	3155	3028	10
12	6,5	1,00	3203	3203	10
				3118	**10**
13	7,0	1,00	3534	3534	11
14	7,0	0,96	2581	2478	12
15	7,0	1,00	2945	2945	12
				2985	**12**

Tabla 4. 10-Estabilidad y flujo de la mezcla asfáltica caliente

4.8- Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice)

Norma ASTM D 2041

Norma AASHTO T 209

Es la máxima densidad que presenta una mezcla asfáltica sin considerar vacíos en la muestra por estar en una condición suelta.

Ecuación:

$$\boldsymbol{Gmm} = \frac{A}{A + B - C}$$

Ecuación 4. 7-Gravedad específica máxima de mezcla de pavimento sin vacíos de aire

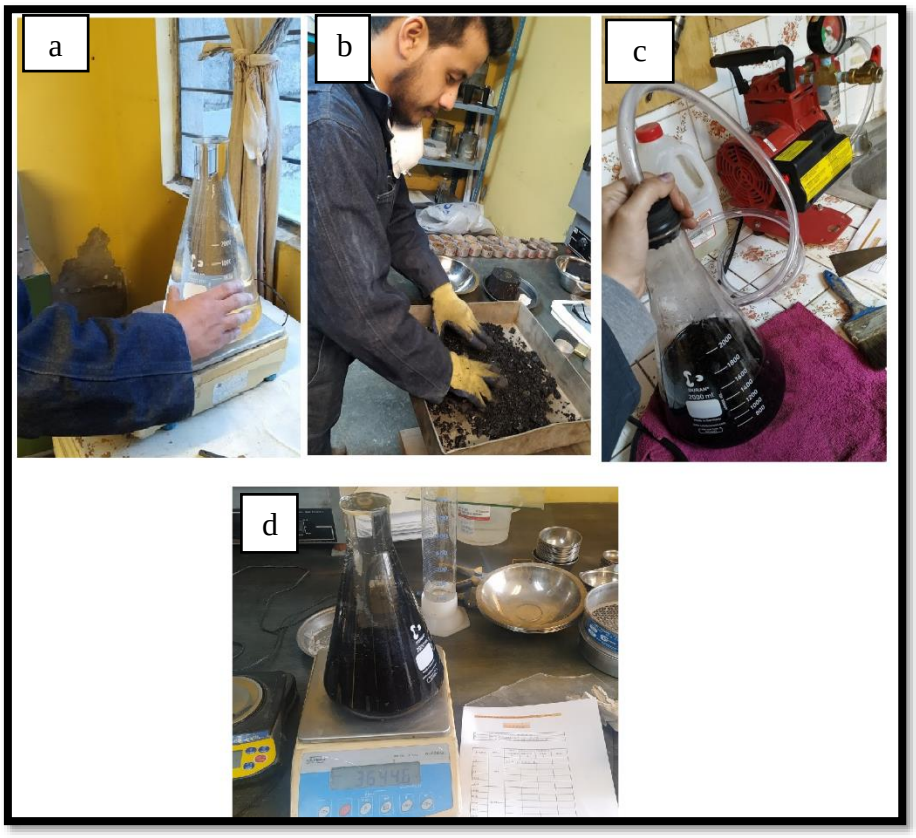
Donde:

A: Peso de la muestra seca en el aire, en (gr).

B: Peso del picnómetro + H20 a 25˚C (77˚F), en (gr).

C: Peso del picnómetro + masa + H20 a 25˚C (77˚F), en (gr).

Procedimiento:



Fotografía 21-Ensayo Rice

a) Se toma el peso del picnómetro más agua a una temperatura de 25 °C.

b) Se toma dos probetas se coloca al horno para poder disgregar y se toma el peso de la muestra evitando partículas muy gruesas.

c) Se coloca en el picnómetro con agua tapando el agregado y se procede a sacar el aire con la bomba de vacíos a 30 mm de hg por 15 min.

d) Se llena de agua y enrasa para tomar el peso del picnómetro masa de material asfáltico y agua.

Cálculos y resultados:

Briqueta	% De Bitumen	Peso muestra(gr) A	Picnómetro+masa+H2O C	Picnómetro + H2O B	Gmm
2-3	**5**	1.192,70	3.643,60	2.940,80	2,435
4-5	**5,5**	1.150,80	3.614,10	2.940,80	2,410
7-9	**6**	1.127,60	3.592,80	2.940,80	2,371
10-12	**6,5**	1.142,00	3.597,10	2.940,80	2,351
14-15	**7**	1.107,90	3.573,90	2.940,80	2,333

Tabla 4. 11-Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice)

Ecuaciones:

$$\%\boldsymbol{C.A.abs} = \frac{Gasf\,(Gse - Gsb)}{Gsb * Gse} x100$$

Ecuación 4. 8-Contenido de asfalto absorbido por el agregado

Donde:

%C.A. abs: % contenido de asfalto absorbido por el agregado.

Gasf: Gravedad específica del asfalto AC-20

Gse: Peso específico efectivo del agregado Gse.

Gsb: Peso Específico Bulk del Agregado Total/Peso específico bruto del agregado total

$$\boldsymbol{Vagr} = \frac{Gbs\ Briq * (100 - \%\text{C. A.})}{Gbs\ agregado}$$

Ecuación 4. 9-Volumen de agregado en porcentaje

Donde:

Vagre: Volumen de agregado en porcentaje.

Gsb briq: Gravedad especifica Bulk de la briqueta.

Gsb agre: Gravedad especifica Bulk de los agregados.

% C.A.: %Contenido de asfalto % C.A.

$$\boldsymbol{Vv} = \left(1 - \frac{Gmb}{Gmm}\right) x100$$

Ecuación 4. 10-Volumen de vacíos llenos de aire

Donde:

Vv: Volumen de vacíos llenos de aire.

Gmb; Gravedad específica bulk promedio de las briquetas.

Gmm: Gravedad especifica teórica máxima de la mezcla (RICE), no incluye los vacíos de aire.

$$\boldsymbol{Vca} = 100 - Vagre - Vv$$

Ecuación 4. 11-Volumen de cemento asfáltico

Donde:

Vca: Volumen de cemento asfáltico.

Vagre: Volumen de agregado en porcentaje.

Vv: Volumen de vacíos llenos de aire.

$$\boldsymbol{VAM} = 100 - Vagre$$

Ecuación 4. 12-.Vacíos en el agregado mineral

Donde:

VAM: Porcentaje de vacíos en el agregado mineral**.**

$$\boldsymbol{VAF} = \left(\frac{VAM - Vv}{VAM}\right) X\ 100$$

Ecuación 4. 13-Vacíos llenos asfalto

Donde:

VAF: Porcentaje de vacíos llenos asfalto.

$$\%\boldsymbol{C.A.efectivo} = Pb - (\frac{\%C.A.abs\ x\ Ps}{100})$$

Ecuación 4. 14-Contenido de asfalto efectivo

Donde:

%C.A. efectivo: Contenido de asfalto efectivo, porcentaje por peso total de la mezcla.

Pb: %Contenido de asfalto % C.A.

%C.A. abs: % contenido de asfalto absorbido por el agregado.

Ps: Contenido de agregado, porcentaje por peso total de la mezcla.

$$f/a = \frac{\%\ pasa\ \#200}{\%\text{C. A. efectivo}}$$

Ecuación 4. 15-Relación filler asfalto.

Donde:

f/a**:** Relación filler asfalto.

Se recomienda que se encuentre en un rango de (0,6-1,2), si está en rango de 0,6 tiene exceso de asfalto y si se encuentra en el rango de 1,2 contiene exceso de finos.

AGREGADO:	Mina Holcim (Pifo)												**TIPO DE MEZCLA ASFALTICA:**	Densa gruesa de TMN (3/4")										
ASFALTO:	AC-20												**PARÁMETRO DE DISEÑO:**	**Compactación:**	75 golpes	**% Vv vacios con aire:**	3-5%							
TEMPERATURA DE MEZCLA:	(156°C- 159°C)													**Estabilidad:**	>1800 lb	**VAM:**	>14							
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN:	(147°C a 152°C)													**flujo:**	8-14	**VFA:**	65-75							

MEZCLA ASFALTICA CALIENTE																									
MATERIALES						**MEZCLA ASFALTICA**										**% EN VOLUMEN**			**V.A.M**	**V.F.A.**	**% C.A**	**ESTBILIDAD**			**FLUJO**
MATERIAL	**DOSIFICACIÓN**	**P.E. BULK. AGREGADO GSB(gr)**	**P.E. DEL ASFALTO 25°C**	**P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE**	**% C.A. ABS. POR AGREGADO**	**MUESTRA**	**Masa del Especimen Seco (gr) Wa**	**Masa del Especimen Sat.Sup.Sec. (gr) Wss**	**Masa del Especimen sumergido (gr)**	**VOLUMEN (cm3)**	**DENSIDAD BULK (gr/cm3) Gmb**	**P.E. MAXIMO TEORICO**	**P.E. MAX MEDIDO(RICE) Gmm**		**AGREGADO Vagr**	**VACIOS TOTAL Vv**	**C.A EFECTIVO**	**VACIOS EN AGREGADO MINERAL V.A.M.**	**V.F.A.**	**% C.A EFECT. EN LA MEZCLA**	**FACTOR CORREC**	**LBS**	**LBS. CORREG.**	
3/4"	40,0					1	1145,00	1147,20	518,00	629,20	1,820		P. m.	1.192,70							0,78	2709	**2113**	7
3/8"	10,0					2	1141,00	1144,40	600,20	544,20	2,097		P. a+ Pic.	2.940,80							0,93	2909,25	**2706**	6
ARENA	50,0					3	1140,40	1143,90	621,40	522,50	2,183		P.a+ Pic.+m	3.643,60							1,00	2601	**2601**	7
% C.A	5,00		1,007																					
		2,560		2,631	1,049						**2,033**	**2,375**	**2,435**		**75,45**	**16**	**8,07**	**25**	**33**	**4,00**			**2.473**	**7**
3/4"	40,0					4	1160,70	1163,20	561,40	601,80	1,929		P. m.	1.150,80							0,78	2499,75	**1950**	8
3/8"	10,0					5	1154,00	1156,70	620,00	536,70	2,150		P. a+ Pic.	2.940,80							0,93	3015	**2804**	8
ARENA	50,0					6	1144,10	1146,02	621,30	524,72	2,180		P.a+ Pic.+m	3.614,10							0,96	2216,25	**2128**	7
% C.A	5,5		1,007																					
		2,560		**2,623**	0,930						**2,086**	**2,358**	**2,410**		**77,01**	**13**	**9,56**	**23**	**42**	**4,62**			**2.294**	**8**
3/4"	40,0					7	1148,70	1167,80	631,30	536,50	2,141		P. m.	1.127,60							0,93	2735	**2543**	9
3/8"	10,0					8	1145,50	1150,00	640,20	509,80	2,247		P. a+ Pic.	2.940,80							1,00	2715	**2715**	9
ARENA	50,0					9	1173,50	1175,50	658,10	517,40	2,268		P.a+ Pic.+m	3.592,80							1,00	3153	**3153**	9
% C.A	6,0		1,007																					
		2,560		**2,595**	0,527						**2,219**	**2,341**	**2,371**		**81,46**	**6**	**12,12**	**19**	**65**	**5,51**			**2.804**	**9**
3/4"	40,0					10	1157,80	1160,30	648,50	511,80	2,262		P. m.	1.142,00							1,00	3123	**3123**	11
3/8"	10,0					11	1167,60	1169,80	638,70	531,10	2,198		P. a+ Pic.	2.940,80							0,96	3155	**3028**	10
ARENA	50,0					12	1160,00	1161,20	652,20	509,00	2,279		P.a+ Pic.+m	3.597,10							1,00	3203	**3203**	10
% C.A	6,5		1,007																					
		2,560		**2,592**	0,474						**2,247**	**2,325**	**2,351**		**82,04**	**4**	**13,51**	**18**	**75**	**6,06**			**3.118**	**10**
3/4"	40,0					13	1162,00	1163,90	653,10	510,80	2,275		P. m.	1.107,90							1,00	3534	**3534**	11
3/8"	10,0					14	1195,20	1197,10	673,30	523,80	2,282		P. a+ Pic.	2.940,80							0,96	2581	**2478**	12
ARENA	50,0					15	1175,20	1180,10	663,20	516,90	2,274		P.a+ Pic.+m	3.573,90							1,00	2945	**2945**	12
% C.A	7,0		1,007																					
		2,560		**2,590**	0,451						**2,277**	**2,309**	**2,333**		**82,70**	**2**	**14,87**	**17**	**86**	**6,58**			**2.985**	**12**

Tabla 4. 122-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica caliente

4.9.- Resultados Diseño Mezcla Asfáltica Caliente Método Marshall

Con los resultados obtenidos se grafica las curvas correspondientes:

% De Asfalto	Probeta densidad Bulk
5	2,03
5,5	2,09
6	2,22
6,5	2,25
7	2,28

% De Asfalto	Estabilidad (Lb)
5	2473
5,5	2294
6	2804
6,5	3118
7	2985

% De Asfalto	Flujo
5	7
5,5	8
6	9
6,5	10
7	12

% De Asfalto	VV
5	16,49
5,5	13,43
6	6,42
6,5	4,45
7	2,43

% De Asfalto	V.A.M.
5	24,57
5,5	22,99
6	18,54
6,5	17,96
7	17,30

% De Asfalto	V.A.F
5	33
5,5	42
6	65
6,5	75
7	86

El contenido óptimo de asfalto se determina a partir de los resultados obtenidos se tiene en cuenta el valor medio de los límites del porcentaje de volumen de vacíos que es 4 % y cuando cumple las especificaciones MTOP, 2002.

4.9.1.- Graficas Marshall mezcla caliente

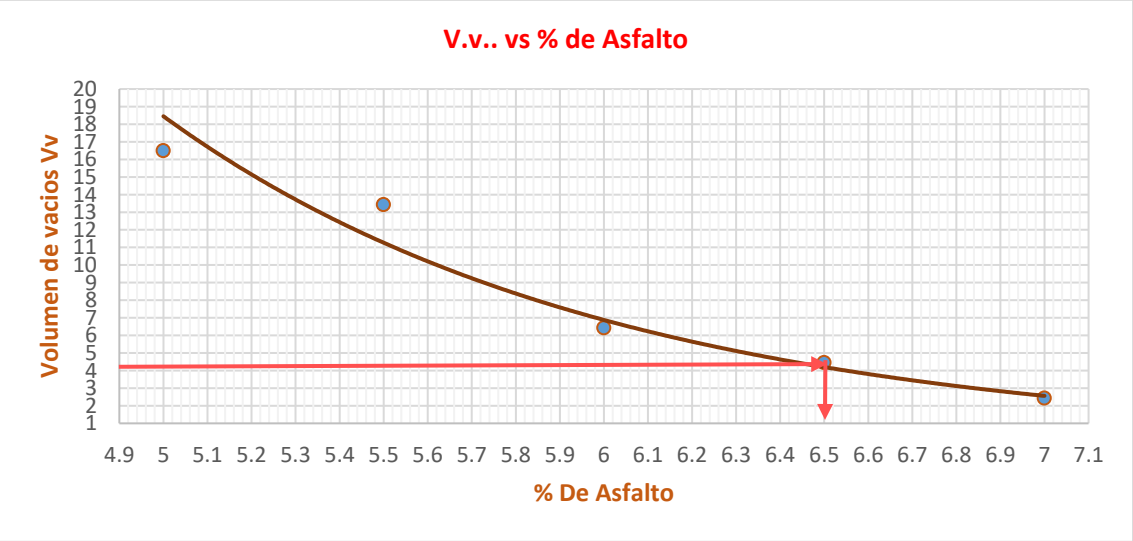


Gráfico 4. 5 -Volumen de vacíos vs % de asfalto

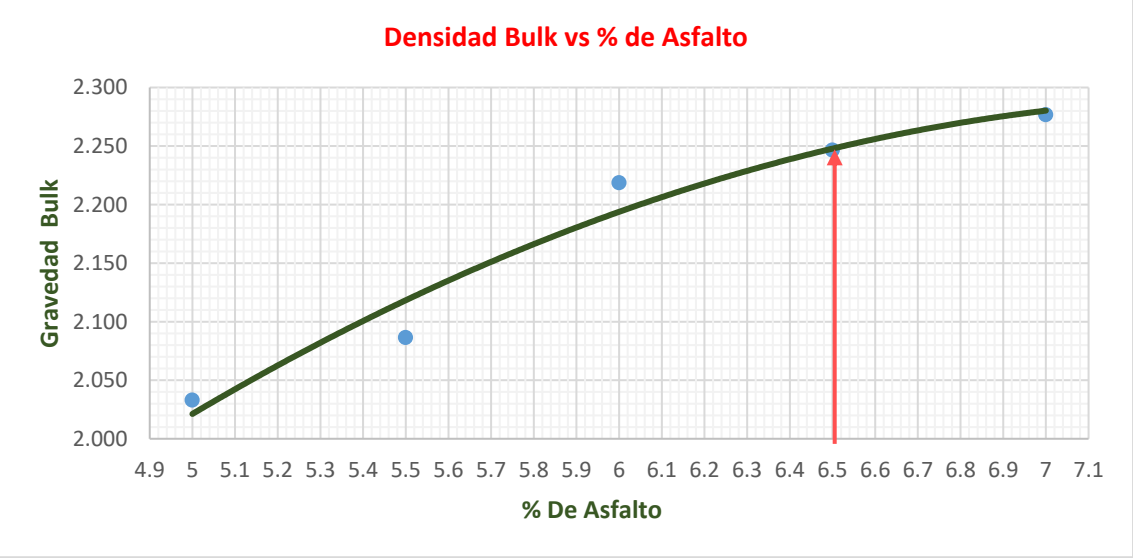


Gráfico 4. 6 -Densidad bulk vs % de asfalto

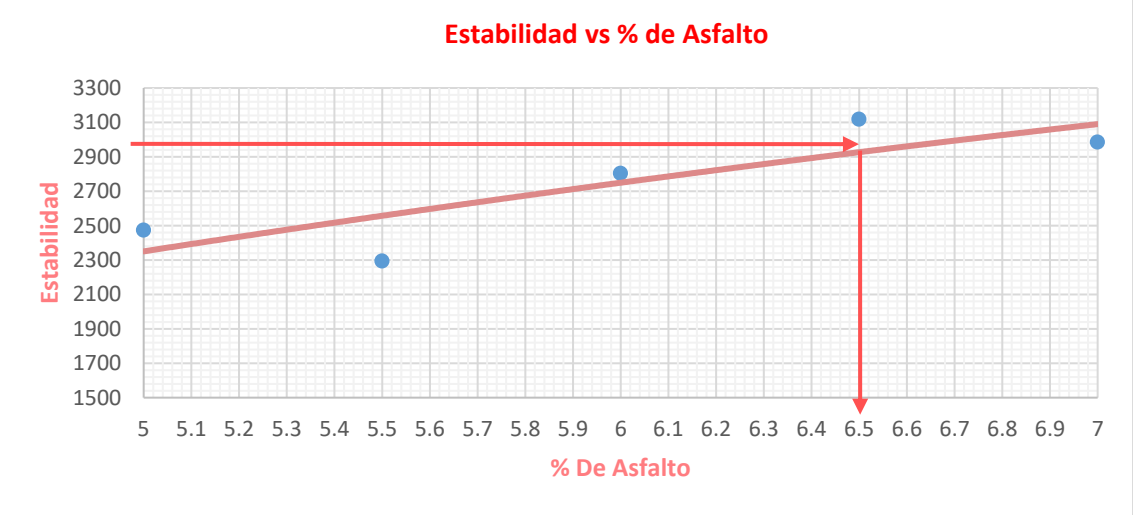


Gráfico 4. 7 -Estabilidad vs % de asfalto

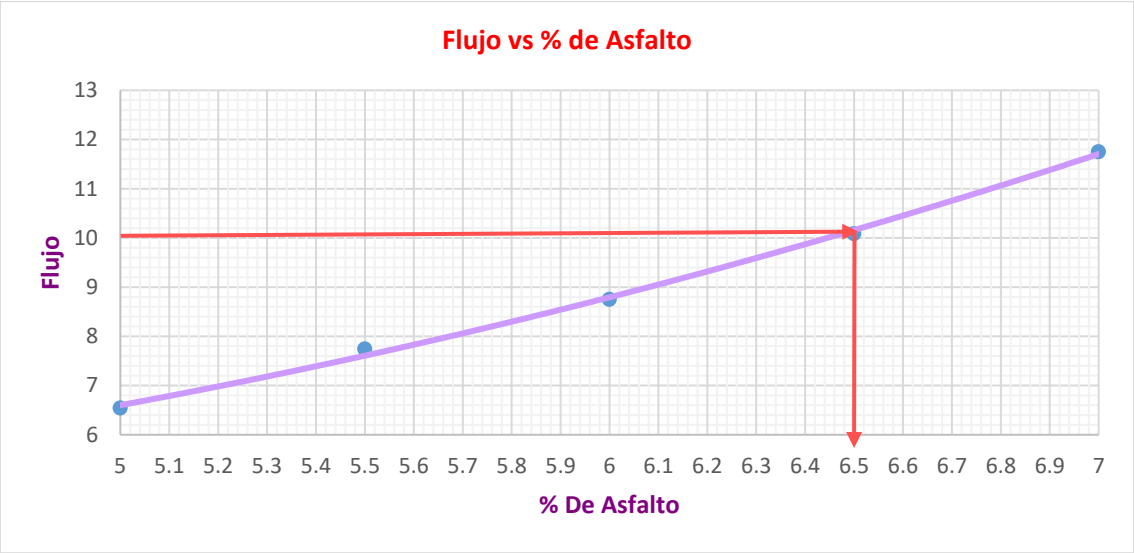


Gráfico 4. 8 -Flujo Vs % de asfalto

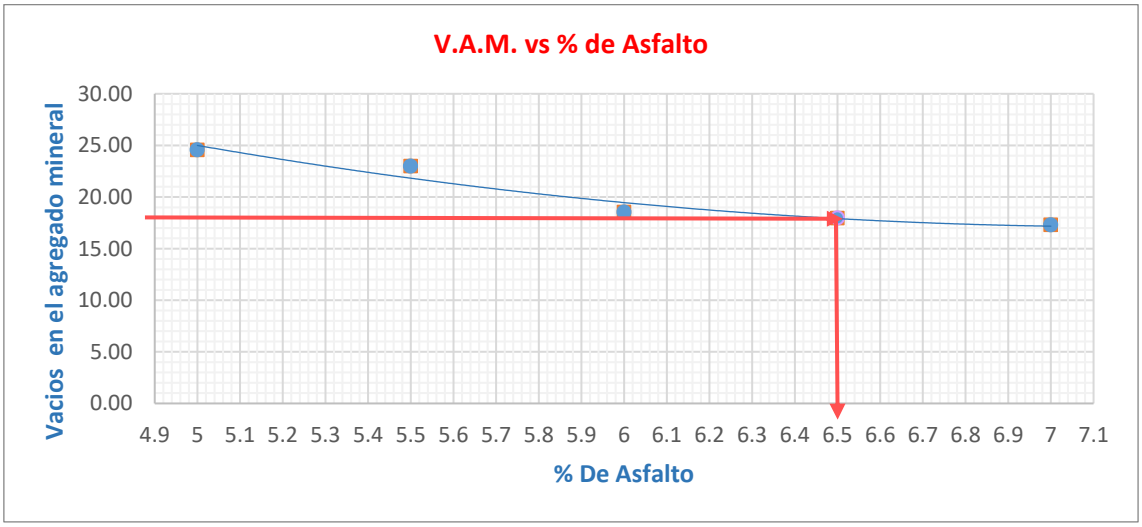


Gráfico 4. 9-V.A.M vs % de asfalto

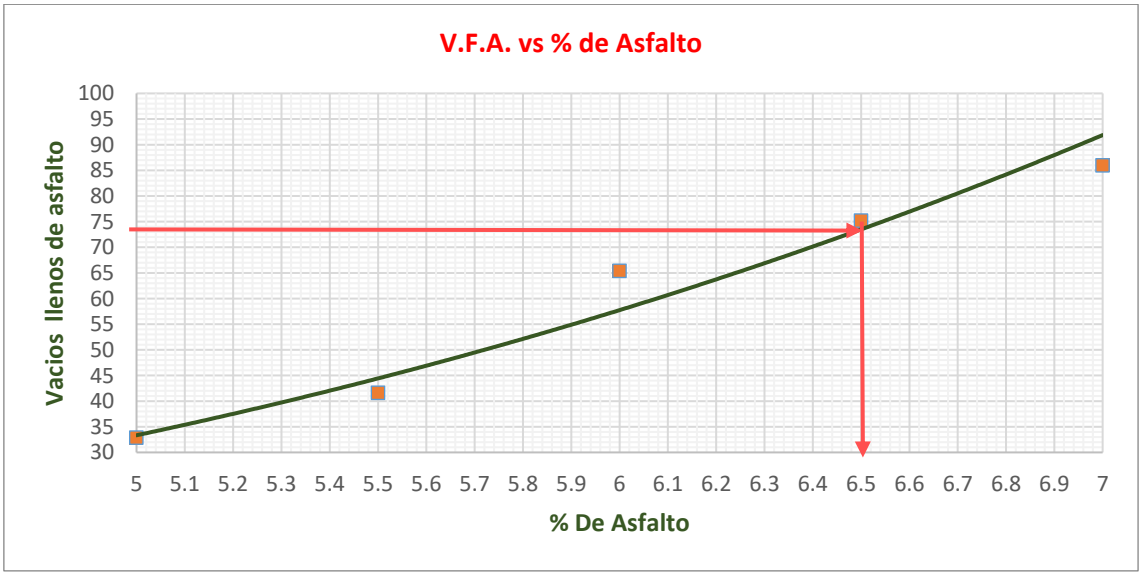


Gráfico 4. 10 -V.F.A. vs % de asfalto

NoGOLPES /CARA 75	Unidad	ESPECIFICACIONES		RESULTADOS
		Min	Max	
ÓPTIMO DE ASFALTO	%	-	-	**6,5**
DENSIDAD BULK	gr/cm3	-	-	**2,248**
ESTABILIDAD	lb.	1800		**2927**
FLUJO	exp en 0,01"	8	14	**10**
VACIOS CON AIRE	%	3	5	**3**
V.A.M tipo de mezcla A (3/4)	%	14		**18**
V.F.A	%	65	75	**75**

Tabla 4. 133-Parametros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica caliente con porcentaje óptimo de asfalto y especificaciones, MOP-001-f Tabla 405.5.4 y 405.5.5

4.9.2.- Cumplimiento del parámetro de los materiales: Gsb< Gse<Gsa

% CEMENTO ASFÁLTICO	%	6,5
GRAVEDAD ESPECÍFICA BULK MEZCLA AGREGADOS	(Gsb) (gr/cm3)	**2,560**
GRAVEDAD ESPECÍFICA DEL ASFALTO	(Gb.) (gr/cm3)	1,001
GRAVEDAD ESPECÍFICA MÁXIMA DE LA MEZCLA	(Gmm) (gr/cm3)	2,351
GRAVEDAD ESPECÍFICA EFECTIVA DE LOS AGREGADOS	(Gse) (gr/cm3)	**2,592**
GRAVEDAD ESPECÍFICA APARENTE DE LOS AGREGADOS	(Gsa) (gr/cm3)	**2,674**
COMPROBACIÓN:	**Gsa > Gse > Gsb**	**ok**
ASFALTO ABSORBIDO POR EL AGREGADO	(Pba) (%)	0,474
CONTENIDO ASFALTO EFECTIVO EN MEZCLA	(Pbe) (%)	6,06

Tabla 4. 14-Cumplimiento del parámetro de los materiales: Gsa > Gse > Gsb

4.10.- MEZCLA ASFALTICA TIBIA

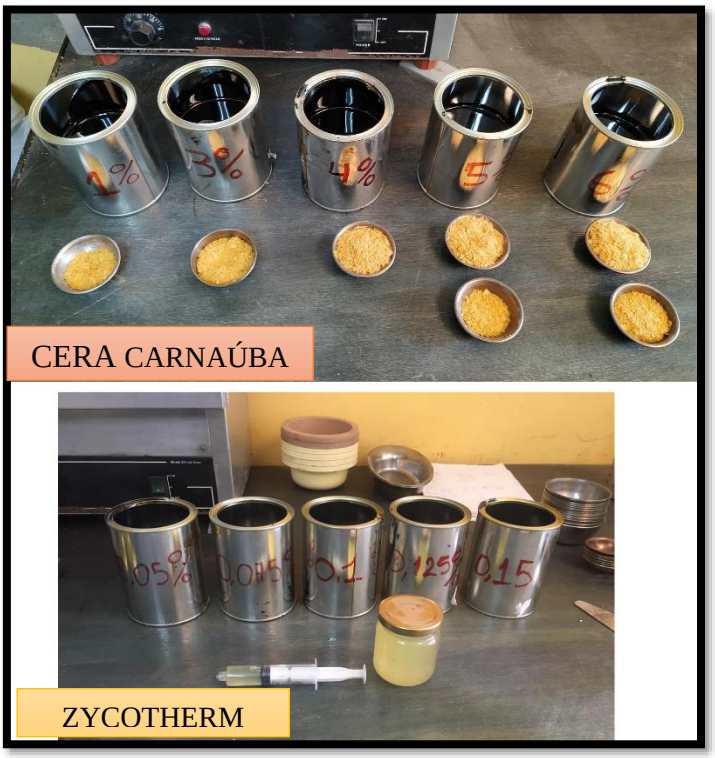
Ya obtenido la dosificación de material 3/8’’= 40%, 3/4=10 % ,fino = 50%’’ Con un peso total de 1100 gr y el porcentaje óptimo de asfalto de 6,5 % procedemos a determinar los porcentajes de aditivo, dos porcentajes arriba y dos abajo de un óptimo dicho por el fabricante y por investigaciones.

Porcentajes de aditivos para mezcla asfáltica tibia

$$Waditivo = \%aditivo * Wasfalto$$

W.Asfalto		71,5 gr
%Aditivo		W aditivo (gr)
Cera Carnaúba	1	0,72
	3	2,15
	4	2,86
	5	3,58
	6	4,29
Zycotherm	0,05	0,04
	0,075	0,05
	0,1	0,07
	0,125	0,09
	0,15	0,11

Tabla 4. 15-Peso de aditivo para cada porcentaje.



Fotografía 22-Mezcla del Asfalto AC-20 con; Cera Carnaúba y Zycotherm

Se elaboró tarros de W. asfalto de 300 gr con cada porcentaje de aditivo donde se desarrollará 3 briquetas con cada porcentaje.

Proceso de preparación del asfalto modificado:

- Para la mezcla la cera Carnaúba tiene un punto de fusión de 83 °C por lo que al momento antes de la mezcla se coloca en el aditivo en el tarro de AC-20 y se mezcla por 5 min.
- Para la mezcla del Aditivo Zycotherm por lo que al momento antes de la mezcla se coloca en el aditivo en el tarro de AC-20 con un aparato mezclador por 10 min.

Para el **trabajo de laboratorio** de la mezcla asfáltica tibia se realiza por medio de procedimiento Marshall con los siguientes ensayos que se realizaron ya en la mezcla en caliente:

- Gravedad especifica Bulk
- Ensayo Gravedad máxima medida llamado Rice (Gmm)
- Estabilidad y flujo

4.10.1.- Temperatura de mezclado y compactación para mezcla tibia

Las mezclas asfálticas tibias son todas aquellas mezclas cuyas temperaturas de compactación oscilan entre (110°C y 140°C). Para la evaluación de la capacidad, resistencia y calidad de la mezcla asfáltica tibia se usó las siguientes temperaturas:

- Temperatura de Mezcla: 130°C
- Temperatura de compactación: 110°C



Fotografía 23-Pavimento tibio, temperatura de mezcla y compactación

Se elaboraron tres grupos de mezclas tibias con las temperaturas mencionadas.

N° Briqueta	Aditivo %
1	AC-20 +1% Cera Carnaúba
2	
3	
4	AC-20 +3% Cera Carnaúba
5	
6	
7	AC-20 +4% Cera Carnaúba
8	
9	
10	AC-20 +5% Cera Carnaúba
11	
12	
13	AC-20 +6% Cera Carnaúba
14	
15	
16	AC-20 +0,05% Zycotherm
17	
18	
19	AC-20 +0,075% Zycotherm
20	
21	
22	AC-20 +0,1% Zycotherm
23	
24	
25	AC-20 +0,125% Zycotherm
26	
27	
28	AC-20 +0,15% Zycotherm
29	
30	
31	AC-20 sin aditivos
32	
33	

Tabla 4. 16- Porcentajes de aditivo de Cera y Zycoterm para mezcla asfáltica tibia



Fotografía 24- Elaboración de briquetas Mezcla asfáltica tibia

4.10.2.- Densidad Bulk de las briquetas compactadas (Gmb)

N° BRIQUETA	ADITIVO %	MASA DEL ESPÉCIMEN SECO (GR) WA	MASA DEL ESPÉCIMEN SUMERGIDO (GR) WW	MASA DEL ESPÉCIMEN SAT.SUP.SEC. (GR) WSS	VOLUMEN (C.C.) V:WSS-WW	DENSIDAD BULK (GR/CM3) GMB	PROMEDIO
1	AC-20 +1% Cera Carnaúba	1137,10	635,30	1139,30	504,00	2,2562	**2,268**
2		1164,20	653,70	1164,40	510,70	2,2796	
3		1167,90	654,00	1168,80	514,80	2,2686	
4	AC-20 +3% Cera Carnaúba	1157,60	645,50	1158,40	512,90	2,2570	**2,266**
5		1131,60	636,40	1131,90	495,50	2,2838	
6		1173,00	655,20	1174,60	519,40	2,2584	
7	AC-20 +4% Cera Carnaúba	1139,90	628,10	1142,30	514,20	2,2168	**2,238**
8		1197,60	658,90	1195,00	536,10	2,2339	
9		1152,50	645,10	1154,60	509,50	2,2620	
10	AC-20 +5% Cera Carnaúba	1187,90	658,20	1190,70	532,50	2,2308	**2,237**
11		1164,20	646,10	1166,20	520,10	2,2384	
12		1151,50	640,70	1154,40	513,70	2,2416	
13	AC-20 +6% Cera Carnaúba	1184,00	660,10	1185,30	525,20	2,2544	**2,237**
14		1154,80	647,50	1157,70	510,20	2,2634	
15		1138,50	625,30	1144,20	518,90	2,1941	
16	AC-20 +0,05% Zycotherm	1148,00	639,30	1154,00	514,70	2,230	**2,240**
17		1162,80	649,80	1163,80	514,00	2,262	
18		1160,30	642,50	1163,40	520,90	2,227	
19	AC-20 +0,075% Zycotherm	1162,50	641,60	1164,00	522,40	2,225	**2,242**
20		1141,90	635,50	1143,60	508,10	2,247	
21		1178,10	655,50	1178,50	523,00	2,253	
22	AC-20 +0,1% Zycotherm	1150,80	640,60	1152,80	512,20	2,247	**2,251**
23		1146,10	641,70	1146,40	504,70	2,271	
24		1155,10	640,20	1156,90	516,70	2,236	
25	AC-20 +0,125% Zycotherm	1177,20	651,20	1180,80	529,60	2,223	**2,235**
26		1143,50	635,10	1146,80	511,70	2,235	
27		1166,20	649,10	1167,70	518,60	2,249	
28	AC-20 +0,15% Zycotherm	1145,00	634,30	1148,80	514,50	2,225	**2,210**
29		1171,40	643,10	1176,60	533,50	2,196	
30		1148,30	632,20	1151,90	519,70	2,210	
31	AC-20 sin aditivos	1156,10	637,90	1161,20	523,30	2,209	**2,203**
32		1161,50	637,50	1167,00	529,50	2,194	
33		1141,20	629,50	1146,80	517,30	2,206	

Tabla 4. 174-Densidad Bulk de las briquetas compactadas (Gmb)

4.10.3.- Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice)

N° BRIQUETA	ADITIVO %	% DE BITUMEN	PESO MUES. A	PIC.+MASA+ H2O C	PICNÓMETRO + H2O B	GMM
1-3	AC-20 +1% Cera Carnaúba	6,5	1.219,60	3.645,60	2.940,80	**2,369**
4-6	AC-20 +3% Cera Carnaúba	6,5	1.089,90	3.570,30	2.940,80	**2,367**
7-9	AC-20 +4% Cera Carnaúba	6,5	1.192,40	3.626,80	2.940,80	**2,355**
10-12	AC-20 +5% Cera Carnaúba	6,5	1.041,50	3.539,10	2.940,80	**2,350**
13-15	AC-20 +6% Cera Carnaúba	6,5	1.090,60	3.567,00	2.940,80	**2,348**
16-18	AC-20 +0,075% Zycotherm	6,5	1.028,20	3.536,00	2.940,80	**2,375**
19-21	AC-20 +0,05% Zycotherm	6,5	1.152,50	3.603,20	2.940,80	**2,352**
22-24	AC-20 +0,1% Zycotherm	6,5	506,20	1.730,90	1.440,80	**2,342**
25-27	AC-20 +0,125% Zycotherm	6,5	513,30	1.734,40	1.440,80	**2,336**
28-30	AC-20 +0,15% Zycotherm	6,5	641,00	1.807,10	1.440,80	**2,333**
31-33	AC-20 Sin aditivo	6,5	656,40	1.819,10	1.440,80	**2,360**

Tabla 4. 18-Gravedad específica máxima medida de mezcla de pavimento sin vacíos de aire (Rice)

4.10.4.- Estabilidad y Flujo

N° BRIQUETA	ADITIVO%	% BITUMEN	ESTABILIDAD (LB)			FLUJO
			FAC. CORR.	LEC	ESTA. CORRE.	
1	AC-20 +1% Cera Carnaúba	6,5	1,04	2167	2253	6
2		6,5	1,00	2390	2390	6
3		6,5	1,00	2204	2204	6
					2282	**6**
4	AC-20 +3% Cera Carnaúba	6,5	1,00	2005	2005	10
5		6,5	1,09	2217	2417	9
6		6,5	1,00	2030	2030	10
					2150	**10**
7	AC-20 +4% Cera Carnaúba	6,5	1,00	1787	1787	8
8		6,5	0,93	1798	1672	11
9		6,5	1,00	2001	2001	8
					1820	**9**
10	AC-20 +5% Cera Carnaúba	6,5	0,96	1379	1324	7
11		6,5	1,00	1386	1386	6
12		6,5	1,00	1853	1853	10
					1521	**7**
13	AC-20 +6% Cera Carnaúba	6,5	0,96	1485	1426	4
14		6,5	1,09	1565	1706	6
15		6,5	1,00	1289	1289	8
					1474	**6**
16	AC-20 +0,05% Zycotherm	6,5	1,00	1811	1811	8
17		6,5	1,00	1829	1829	9
18		6,5	1,00	1845	1845	9
					1829	**8**
19	AC-20 +0,075% Zycotherm	6,5	1,00	1899	1899	8
20		6,5	1,04	1778	1849	10
21		6,5	0,96	1879	1804	8
					1850	**9**
22	AC-20 +0,1% Zycotherm	6,5	1,00	1640	1640	7
23		6,5	1,04	1704	1773	7
24		6,5	1,00	1688	1688	8
					1700	**7**
25	AC-20 +0,125% Zycotherm	6,5	0,96	1197	1149	6
26		6,5	1,00	1231	1231	6
27		6,5	1,00	1891	1891	7
					1424	**6**
28	AC-20 +0,15% Zycotherm	6,5	1,00	1622	1622	7
29		6,5	0,96	1492	1432	8
30		6,5	1,00	1283	1283	6
					1446	**7**
31	AC-20 sin aditivos	6,5	0,96	1024	983	5
32		6,5	0,96	1105	1061	6
33		6,5	1,00	1757	1757	7
					1267	**6**

Tabla 4. 19-Estabilidad y flujo con aditivos

AGREGADO:		Mina Holcim (Pifo)												**TIPO DE MEZCLA ASFALTICA:**	Densa gruesa de TMN (3/4")										
ASFALTO:		AC-20												**PARÁMETRO DE DISEÑO:**	**Compactación:**	75 golpes		**% Vv vacios con aire:**	3-5%						
TEMPERATURA DE MEZCLA:					(130°C)										**Estabilidad:**	>1800 lb		**VAM:**	>14						
TEMPERATURA DE COMPACTACIÓN:					(110°C)										**flujo:**	8-14		**VFA:**	65-75						
MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA																											
MATERIALES							**MEZCLA ASFÁLTICA**									**% EN VOLUMEN**			**V.A.M**	**V.F.A.**	**% C.A**	**ESTBILIDAD**			**FLUJO**	
ADITIVO CERA CARNAUBA %	**MATERIAL**	**DOSIFICACIÓN**	**P.E. BULK. AGREGADO GSB(gr)**	**P.E. DEL ASFALTO 25°C**	**P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE**	**% C.A. ABS. POR AGREGADO**	**MUESTRA**	**Masa del Especimen Seco (gr) Wa**	**Masa del Especimen Sat.Sup.Sec. (gr) Wss**	**Masa del Especimen sumergido (gr) Ww**	**VOLUMEN (cm3)**	**DENSIDAD BULK (gr/cm3) Gmb**	**P.E. MAXIMO TEORICO Gmt**	**P.E. MAX MEDIDO(RICE) Gmm**		**AGREGADO Vagr.**	**VACIOS TOTAL Vv**	**C.A EFECTIVO**	**VACIOS EN AGREGADO MINERAL V.A.M.**	**V.F.A.**	**% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA**	**FACTOR CORREC**	**LBS**	**LBS. CORREG.**	**FLUJO**
	3/4"	40,0					1	1137,10	1139,30	635,30	504,00	2,256		P. m.	1.219,60							1,04	2167	**2253**	6
	3/8"	10,0					2	1164,20	1164,40	653,70	510,70	2,280		P. a+ Pic.	2.940,80							1,00	2390	**2390**	6
1	ARENA	50,0					3	1167,90	1168,80	654,00	514,80	2,269		P.a+ Pic.+m	3.645,60							1,00	2204	**2204**	6
	% C.A	6,50		1,007																							
			2,560		2,615	0,822						**2,268**	2,327	**2,369**		**82,84**	**4**	**12,91**	**17**	**75**	**5,73**			**2.282**	**6**		
	3/4"	40,0					4	1157,60	1158,40	645,50	512,90	2,257		P. m.	1.089,90							1,00	2005	**2005**	10		
	3/8"	10,0					5	1131,60	1131,90	636,40	495,50	2,284		P. a+ Pic.	2.940,80							1,09	2217	**2417**	9		
3	ARENA	50,0					6	1173,00	1174,60	655,20	519,40	2,258		P.a+ Pic.+m	3.570,30							1,00	2030	**2030**	10		
	% C.A	6,5		1,007																							
			2,560		2,613	0,788						**2,266**	2,327	**2,367**		**82,77**	**4**	**12,97**	**17**	**75**	**5,76**			**2.150**	**10**		
	3/4"	40,0					7	1139,90	1142,30	628,10	514,20	2,217		P. m.	1.192,40							1,00	1787	**1787**	8		
	3/8"	10,0					8	1197,60	1195,00	658,90	536,10	2,234		P. a+ Pic.	2.940,80							0,93	1798	**1672**	11		
4	ARENA	50,0					9	1152,50	1154,60	645,10	509,50	2,262		P.a+ Pic.+m	3.626,80							1,00	2001	**2001**	8		
	% C.A	6,5		1,0068																							
			2,560		2,596	0,545						**2,238**	2,327	**2,355**		**81,71**	**5**	**13,31**	**18**	**73**	**5,99**			**1.820**	**9**		
	3/4"	40,0					10	1187,90	1190,70	658,20	532,50	2,231		P. m.	1.041,50							0,96	1379	**1324**	7		
	3/8"	10,0					11	1164,20	1166,20	646,10	520,10	2,238		P. a+ Pic.	2.940,80							1,00	1386	**1386**	6		
5	ARENA	50,0					12	1151,50	1154,40	640,70	513,70	2,242		P.a+ Pic.+m	3.539,10							1,00	1853	**1853**	10		
	% C.A	6,5		1,0068																							
			2,560		2,590	0,453						**2,237**	2,327	**2,350**		**81,69**	**5**	**13,50**	**18**	**74**	**6,08**			**1.521**	**7**		
	3/4"	40,0					13	1184,00	1185,30	660,10	525,20	2,254		P. m.	1.090,60							0,96	1485	**1426**	4		
	3/8"	10,0					14	1154,80	1157,70	647,50	510,20	2,263		P. a+ Pic.	2.940,80							1,09	1565	**1706**	6		
6	ARENA	50,0					15	1138,50	1144,20	625,30	518,90	2,194		P.a+ Pic.+m	3.567,00							1,00	1289	**1289**	8		
	% C.A	6,5		1,0076																							
			2,560		2,588	0,418						**2,237**	2,327	**2,348**		**81,70**	**5**	**13,57**	**18**	**74**	**6,11**			**1.474**	**6**		

Tabla 4. 205-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Cera Carnaúba

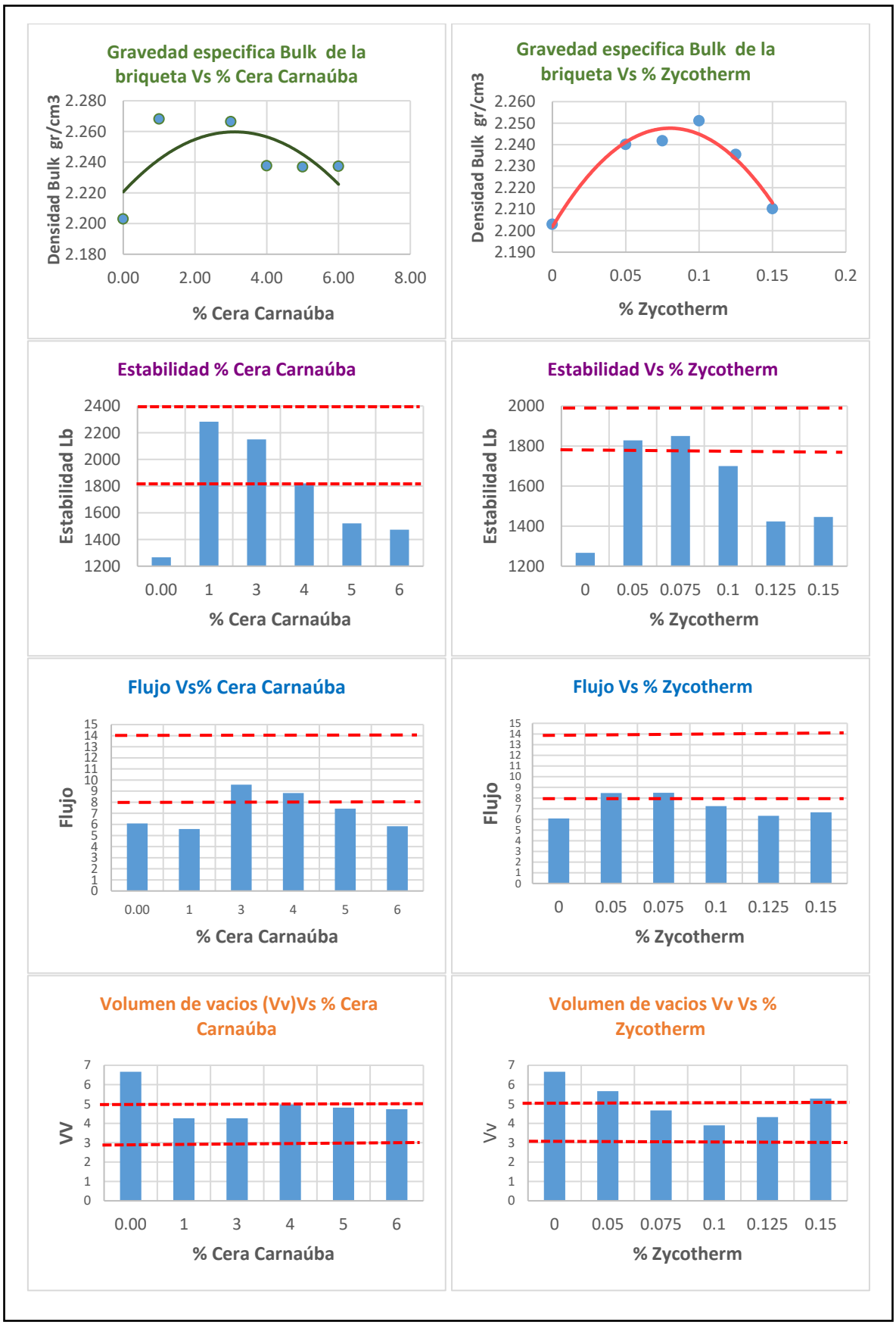
MATERIALES							MEZCLA ASFÁLTICA									% EN VOLUMEN			V.A.M	V.F.A.	% C.A	ESTBILIDAD			FLUJO
ADITIVO ZYCOTHERM %	MATERIAL	DOSIFICACIÓN	P.E. BULK. AGREGADO GSB(gr)	P.E. DEL ASFALTO 25°C	P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE	% C.A. ABS. POR AGREGADO	MUESTRA	Masa del Especimen Seco (gr) Wa	Masa del Especimen Sat.Sup.Sec. (gr) Wss	Masa del Especimen sumergido (gr) Ww	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD BULK (gr/cm3) Gmb	P.E. MAXIMO TEORICO	P.E. MAX MEDIDO(RICE) Gmm		AGREGADO Vagr.	VACIOS TOTAL Vv	C.A EFECTIVO	VACIOS EN AGREGADO MINERAL V.A.M.	V.F.A.	% C.A EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREC	LBS	LBS. CORREG.	FLUJO
0,05	3/4"	40,0					16	1148,00	1154,00	639,30	514,70	2,230		P. m.	1.028,20							1,00	1811	**1811**	8
	3/8"	10,0					17	1162,80	1163,80	649,80	514,00	2,262		P. a+ Pic.	2.940,80							1,00	1829	**1829**	9
	ARENA	50,0					18	1160,30	1163,40	642,50	520,90	2,227		P.a+ Pic.+m	3.536,00							1,00	1845	**1845**	9
	% C.A	6,5		1,007																					
			2,560		2,622	0,928						**2,240**	2,327	**2,375**		**81,79**	**6**	**12,53**	**18**	**69**	**5,63**			**1.829**	**8**
0,075	3/4"	40,0					19	1162,50	1164,00	641,60	522,40	2,225		P. m.	1.152,50							1,00	1899	**1899**	8
	3/8"	10,0					20	1141,90	1143,60	635,50	508,10	2,247		P. a+ Pic.	2.940,80							1,04	1778	**1849**	10
	ARENA	50,0					21	1178,10	1178,50	655,50	523,00	2,253		P.a+ Pic.+m	3.603,20							0,96	1879	**1804**	8
	% C.A	6,5		1,0075																					
			2,560		2,592	0,480						**2,242**	2,327	**2,352**		**81,87**	**5**	**13,46**	**18**	**74**	**6,05**			**1.850**	**9**
0,1	3/4"	40,0					22	1150,80	1152,80	640,60	512,20	2,247		P. m.	506,20							1,00	1640	**1640**	7
	3/8"	10,0					23	1146,10	1146,40	641,70	504,70	2,271		P. a+ Pic.	1.440,80							1,04	1704	**1773**	7
	ARENA	50,0					24	1155,10	1156,90	640,20	516,70	2,236		P.a+ Pic.+m	1.730,90							1,00	1688	**1688**	8
	% C.A	6,5		1,0087																					
			2,560		2,580	0,294						**2,251**	2,328	**2,342**		**82,21**	**4**	**13,89**	**18**	**78**	**6,23**			**1.700**	**7**
0,125	3/4"	40,0					25	1177,20	1180,80	651,20	529,60	2,223		P. m.	513,30							0,96	1197	**1149**	6
	3/8"	10,0					26	1143,50	1146,80	635,10	511,70	2,235		P. a+ Pic.	1.440,80							1,00	1231	**1231**	6
	ARENA	50,0					27	1166,20	1167,70	649,10	518,60	2,249		P.a+ Pic.+m	1.734,40							1,00	1891	**1891**	7
	% C.A	6,5		1,0096																					
			2,560		2,571	0,168						**2,235**	2,328	**2,336**		**81,64**	**4**	**14,04**	**18**	**76**	**6,34**			**1.424**	**6**
0,15	3/4"	40,0					28	1145,00	1148,80	634,30	514,50	2,225		P. m.	641,00							1,00	1622	**1622**	7
	3/8"	10,0					29	1171,40	1176,60	643,10	533,50	2,196		P. a+ Pic.	1.440,80							0,96	1492	**1432**	8
	ARENA	50,0					30	1148,30	1151,90	632,20	519,70	2,210		P.a+ Pic.+m	1.807,10							1,00	1283	**1283**	6
	% C.A	6,5		1,0106																					
			2,560		2,567	0,104						**2,210**	2,328	**2,333**		**80,72**	**5**	**14,00**	**19**	**73**	**6,40**			**1.446**	**6**

Tabla 4. 21-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm

MATERIALES							MEZCLA ASFÁLTICA									% EN VOLUMEN			V.A.M	V.F.A.	% C.A	ESTBILIDAD			FLUJO
SIN ADITIVO	MATERIAL	DOSIFICACIÓN	P.E. BULK. AGREGADO GSB(gr)	P.E. DEL ASFALTO 25°C	P.E. EFECTIVO AGREGADO GSE	% C.A. ABS. POR AGREGADO	MUESTRA	Masa del Especimen Seco (gr) Wa	Masa del Especimen Sat.Sup.Sec. (gr) Wss	Masa del Especimen sumergido (gr) Ww	VOLUMEN (cm3)	DENSIDAD BULK (gr/cm3) Gmb	P.E. MAXIMO TEORICO	P.E. MAX MEDIDO(RICE) Gmm		AGREGADO Vagr.	VACIOS TOTAL Vv	C.A EFECTIVO	VACIOS EN AGREGADO MINERAL V.A.M.	V.F.A.	% C.A. EFECT. EN LA MEZCLA	FACTOR CORREC	LBS	LBS. CORREG.	FLUJO
0	3/4"	40,0					31	1156,10	1161,20	637,90	523,30	2,209		P. m.	656,40							0,96	1024	**983**	5
	3/8"	10,0					32	1161,50	1167,00	637,50	529,50	2,194		P. a+ Pic.	1.440,80							0,96	1105	**1061**	6
	ARENA	50,0					33	1141,20	1146,80	629,50	517,30	2,206		P.a+ Pic.+m	1.819,10							1,00	1757	**1757**	7
	% C.A	6,5		1,007																					
			2,560		2,604	0,653						**2,203**	2,327	**2,360**		**80,45**	**7**	**12,88**	**20**	**66**	**5,89**			**1.267**	**6**

Tabla 4. 22-Resumen de resultados de la mezcla asfáltica tibia sin aditivo

4.10.5.- Comparación parámetros Marshall vs % de aditivo.



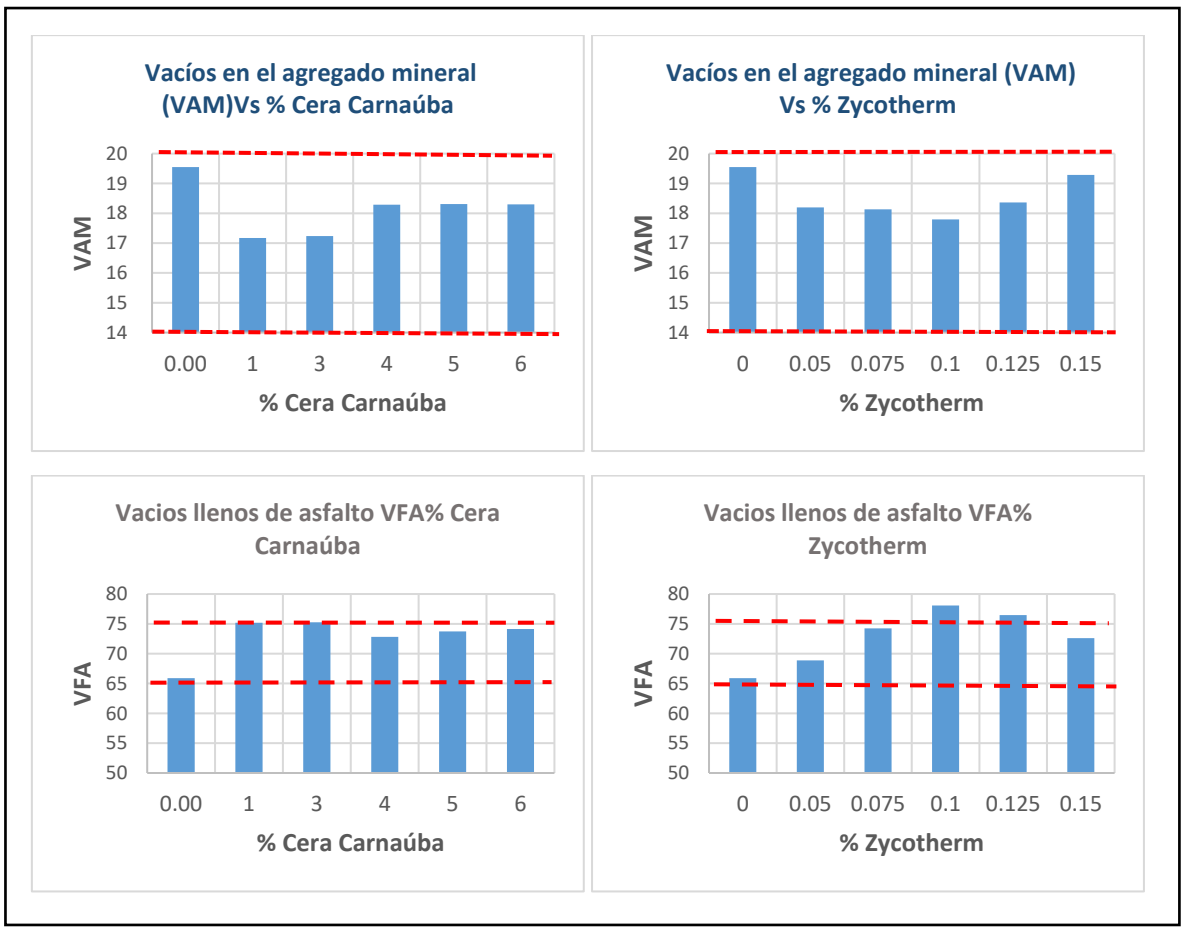


Grafico 4.1-Resumen de gráficos con los parámetros Marshall del diseño de la Mezcla tibia.

4.10.6.- Porcentaje óptimos de aditivo de Cera Carnaúba

Los porcentajes que cumplen con todos los parámetros es el 3% y 4% de Cera Carnaúba.

				ADITIVO %									
No GOLPES /CARA 75	**Unidad**	**ESPECIFICACIONES**		**CERA CARNAÚBA**									
ÓPTIMO DE ASFALTO 6,5%		**Min**	**Max**	**1%**	**CUMPLE**	**3%**	**CUMPLE**	**4%**	**CUMPLE**	**5%**	**CUMPLE**	**6%**	**CUMPLE**
DENSIDAD BULK	gr/cm3	-	-	2,268		**2,266**		**2,238**		2,237		2,237	
ESTABILIDAD	lb.	1800		2282	SI	**2150**	**SI**	**1820**	**SI**	1521	NO	1474	NO
FLUJO	exp en 0,01"	8	14	6	NO	**10**	**SI**	**9**	**SI**	7	NO	6	NO
VACIOS CON AIRE	%	3	5	4	SI	**4**	**SI**	**5**	**SI**	5	SI	5	SI
V.A.M	%	14		17	SI	**17**	**SI**	**18**	**SI**	18	SI	18	SI
V.F.A	%	65	75	75	SI	**75**	**SI**	**73**	**SI**	74	SI	74	SI

Tabla 4. 23-Parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Cera Carnaúba

4.10.7.- Porcentaje óptimos de aditivo de Zycotherm

Los porcentajes que cumplen con todos los parámetros es el 0,075% de Zycotherm

				ADITIVO %									
No GOLPES /CARA 75	**Unidad**	**ESPECIFICACIONES**		**ZYCOTHERM**									
ÓPTIMO DE ASFALTO 6,5%		**Min**	**Max**	**0,05**	**CUMPLE**	**0,075**	**CUMPLE**	**0,1**	**CUMPLE**	**0,125**	**CUMPLE**	**0,15**	**CUMPLE**
DENSIDAD BULK	gr/cm3	-	-	2,240		**2,242**		2,251		2,235		2,210	
ESTABILIDAD	lb.	1800		1829	SI	**1850**	**SI**	1700	NO	1424	NO	1446	NO
FLUJO	exp en 0,01"	8	14	8	SI	**9**	**SI**	7	NO	6	NO	7	NO
VACIOS CON AIRE	%	3	5	6	NO	**5**	**SI**	4	SI	4	SI	5	SI
V.A.M	%	14		18	SI	**18**	**SI**	18	SI	18	SI	19	SI
V.F.A	%	65	75	69	SI	**74**	**SI**	78	NO	76	NO	73	SI

Tabla 4. 24-Parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia con aditivo Zycotherm

4.10.8.- Resultados sin aditivo

				ADITIVO %	
No GOLPES /CARA 75	**Unidad**	**ESPECIFICACIONES**		**SIN ADITIVO**	
ÓPTIMO DE ASFALTO 6,5%		**Min**	**Max**		**CUMPLE**
DENSIDAD BULK	gr/cm3	-	-	2,203	-
ESTABILIDAD	lb.	1800		1267	NO
FLUJO	exp en 0,01"	8	14	6	NO
VACIOS CON AIRE vv.	%	3	5	7	NO
V.A.M	%	14		20	SI
V.F.A	%	65	75	66	SI

Tabla 4. 25-Parámetros de diseño Marshall de la mezcla asfáltica tibia sin aditivo

4.10.9.- Resumen de resultados de las especificaciones Marshall de mezcla asfáltica caliente y tibia.

				Mezcla asfáltica caliente		Mezcla asfáltica Tibia					
						Cera Carnauba con porcentaje óptimo de 3%		Zycotherm con porcentaje óptimo de 0,075%		Sin aditivo	
No GOLPES /CARA 75	**Unidad**	**ESPECIFICACIONES**									
ÓPTIMO DE ASFALTO 6,5%		**Min**	**Max**	**RESULTADO**	**CUMPLE**	**RESULTADO**	**CUMPLE**	**RESULTADO**	**CUMPLE**	**RESULTADO**	**CUMPLE**
DENSIDAD BULK	gr/cm3	-	-	2,248		2,266		2,242		2,203	
ESTABILIDAD	lb.	1800		2927	SI	2150	SI	1850	SI	1267	NO
FLUJO	exp en 0,01"	8	14	10	SI	10	SI	9	SI	6	NO
VACIOS CON AIRE	%	3	5	3	SI	4	SI	5	SI	7	NO
V.A.M	%	16		18	SI	17	SI	18	SI	20	SI
V.F.A	%	65	75	75	SI	75	SI	74	SI	66	SI

Tabla 4. 26-Conclusión de resultados

CAPÍTULO 5: ANÁLISIS DE COSTO

Es de gran importancia conocer el costo de los materiales, mano de obra, maquinaria, equipo y transporte para determinar si un proyecto es viable. A continuación, se realizará el análisis comparando el costo de los diferentes aditivos utilizados, para concluir cual es más recomendable.

Se realizará en análisis de costos unitarios para el Rubro (405-5 MOP) con la unidad en m2 para una capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de 7,5cm. de espesor.

Costos directos

Son aquellos que influyen en la producción del producto como equipo, mano de obra, materiales y transporte.

5.1.- Equipo

- *Para los costos del **equipo** usaremos precios referenciales de la cámara de la industria de la construcción (CAMICON). **Anexo24.***

La siguiente ilustración 5,1 se tienes un desglose de precios de la planta de asfalto donde tenemos un costo horario referencial del diésel.

CÁLCULO DEL COSTO HORARIO DE LA PLANTA DE ASFALTO

DATOS DEL EQUIPO

TIPO	Planta de asfalto	
Rendimiento	m2/h	0.005
Potencia	HP	400
Valor de adquisición	Va	$ 575,000.00
Valor de accesorios	Vacc	$ 2,000.00
Valor residual	Vr	$ 200,000.00

Tasa de interés anual	i	12.00%
Tasa de seguros	s	2.00%
Vida útil en años	N	10.00
Hora anuales	Ha	1700.00
Diésel (galón)	Di	$ 1.06
Gasolina (galón)	G	$ 1.45
Lubricante (ltr)	Lub	$ 2.00
Grasa (kg)	gr	$ 0.20

CONCEPTO	FÓRMULAS	USD/ hora	
Depreciación	D=(Va-Vr)/(Ha*N)	$	22.06
Interés, seguros, MOP	I=((Va+Vr)*(i+i+s)))/2*ha	$	59.26
M.O. Mantenimiento	MM=0.23*D*Di	$	5.40
Repuestos	R=0.7425*D*Di	$	17.42
Diésel	Di=0.04*P*$/gal	$	14.90
Lubricantes	L=(0.00132*LUB+0.001gr)*P	$	0.99
Total ($/h)		**$**	**120.0**

Ilustración 5. 1-Costo horario de la planta de asfalto
Fuente: Tabla 149, J. Cobos y S. Machado, (2020).

Tendremos en cuenta que para la mezcla tibia se tiene un ahorro hasta el 40% en este caso se usa el 30% de ahorro del diésel de la planta asfáltica por reducción de temperatura al calentar agregados, AC-20 y la mezcla de los mismos.

TIPO DE MEZCLA	COSTO HORARIO DE DIÉSEL $	COSTO HORARIO DE PLANTA DE ASFALTO $
MEZCLA ASFÁLTICA CALIENTE	$14,90	$120,00
MEZCLA ASFÁLTICA TIBIA (30% menos)	$10,43	$115,53

Tabla 5. 1- Costos de planta de asfalto.

5.1.1.- Rendimiento

Es el tiempo que se requiere para realizar una determinad cantidad de trabajo, para lo cual sabemos que la producción de la planta de asfalto mencionada es de 1600 m2/día.

$$\boldsymbol{Rendimiento} = 1600\frac{m^2}{día} * \frac{1\ dia}{8\ horas} = \frac{1}{200\frac{m^2}{h}} = \mathbf{0,005}\frac{\boldsymbol{h}}{\boldsymbol{m^2}}$$

Ecuación 5. 1-Rendimiento máquina de asfalto

El rendimiento es de 0,005 h/m2 y será el mismo para maquinaria y mano de obra.

5.2.- Mano de obra

- *Para los costos de* ***mano de obra*** *usaremos precios referenciales de la cámara de la construcción* ***Anexo24.***

5.3.- Materiales

5.3.1.- Los costos unitarios en el mercado de Ecuador de los materiales para el diseño de una mezcla asfáltica son:

- Los agregados pétreos de la Mina Holcim Pifo tienen un costo para el agregado (¾") de $11,90 por 1m3, para el agregado (3/8") por 1m3 y para el agregado fin de $ 8,58 por 1 m3.
- El costo del AC-20 proporcionado por la refinería Esmeraldas es de $1.086 el galón.

- El costo de los aditivos, para el aditivo químico proporcionado por la empresa Brem, Zycotherm es de $34,50 por kg y el aditivo orgánico proporcionado por la empresa Almon de Ecuador, Cera Carnaúba es de $18 el kg.

Tomando en cuenta que los costos proporcionados por las empresas no está incluido el IVA ni el flete.

5.3.2.- Costos Unitarios de los agregados pétreos de la mina Holcim Pifo

AGREGADO	M.U.S(KG/M3)	$ por 1 TON	$ por 1 M^3
3/4"	1270	$9,37	$11,90
3/8"	1230	$9,67	$11,89
Arena	1490	$5,76	$8,58

Tabla 5. 2-Costos Unitarios de los agregados pétreos de la mina Holcim Pifo

M.U.S: Masa unitario suelta

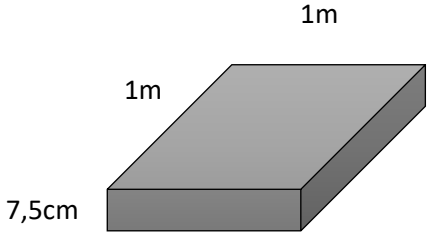
5.3.3.- Costos Unitarios de los Aditivos y AC-20

PRODUCTO	$ POR KG
AC-20	$0,38
Zycotherm	$34,50
Cera Carnaúba	$18,00

Tabla 5. 3-Costos Unitarios de los Aditivos y AC-20

5.3.4.- Cálculo de las cantidades para una carpeta asfáltica

- La carpeta asfáltica se coloca para un tramo de un espesor de 7,5 cm, obteniendo un volumen = 0,075m3



-Peso kg: 202,32

-Volumen cm3: 0,075

MATERIALES	GRAVEDAD ESPECIFICA BULK GR/CM3	PORCENTAJE %	MASA (GR)
3/4''	2,514	40	440
3/8''	2,531	10	110
Arena	2,605	50	550
AC-20	1,0071	6,5	71,5
Peso total de 1 briqueta			1171,5

Tabla 5. 4-Porcentajes de los materiales y pesos para una briqueta.

Cálculo de pesos de Agregados Pétreos y AC-20

ÍTEM	CÁLCULO	RESULTADO
Peso agregados pétreos(gr)	A	1100
Briqueta: Agregado +AC-20 (gr)	B	1171,5
Densidad AC-20 (gr/cm3)	d Ac-20	1,0071
Densidad Bulk briqueta (Diseño Marshall) (gr/cm3)	C	2,248
Volumen briqueta (cm3)	V=B/C	521,13
Carpeta Asfáltica (m2)	D	1
Espesor (cm)	E	7,5
Volumen de carpeta Asfáltica. (cm3)	F=D*E	0,075
Peso Total en 1m2 de 7,5cm de espesor (Kg)	W=(F*B/1000)/(V*10^-6)	168,6
+ 20% de esponjamiento y compactación	WT=W*1,20	202,32
Peso solo agregados (kg)	WA=WT-(WT*0,065)	189,17
Peso Ac-20 (kg)	WAC-20=WT-WA	13,15

Tabla 5. 5-Cálculo de pesos de Agregados Pétreos y AC-20, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor.

Cálculos de las cantidades de Agregados Pétreos y AC-20

AGREGADO	%	CÁLCULO	PESOS (KG)	CÁLCULO	M3	CÁLCULO	GAL
3/4''	40	W1=(40*WA)/100	75,67	v1=W1/C/1000	**0,034**		
3/8''	10	W2=(10*WA)/100	18,92	v2=W2/C/1000	**0,008**		
Arena	50	W3=(50*WA)/100	94,58	v3=W3/C/1000	**0,042**		
AC-20	6,5	W4=WT-W1-W2-W3	13,15			v4=d AC-20/W4/1000	**3,45**

Tabla 5. 6-Cálculos de las cantidades de Agregados y AC-20, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor.

Cálculos de las cantidades de Aditivos, los pesos de aditivos van en función del peso del AC-20.

ADITIVO	CÁLCULO	KG
CERA CARNAÚBA3%	0,03*WAC	0,39
ZYCOTHERM 0,075%	0,00075*WAC	0,0098

Tabla 5. 7-Cálculo de cantidades de aditivos, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor.

5.3.5.- Costo de los materiales según las cantidades

- Unidad: m2
- Rubro: Capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de 7,5cm. de espesor.

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
3/4''	m3	0,034	$11,90	$0,40
3/8''	m3	0,008	$11,90	$0,10
ARENA	m3	0,042	$8,60	$0,36
AC-20	gal	3,455	$1,40	$5,00
ZYCOTHERM 0,075%	kg	0,0098	$34,50	$0,34
CERA CARNAÚBA 3%	kg	0,39	$18,00	$7,10

Tabla 5. 8-Costos de los materiales según las cantidades, para una carpeta asfáltica de 1m2 y 7,5cm de espesor.

5.4.- Rubros

En la Tabla 5.9 (Rubro carpeta asfáltica, mezcla en caliente sin modificar), Tabla 5.10 (Rubro carpeta asfáltica, mezcla tibia modificada con Cera Carnaúba al 3%), Tabla 5.11 (Rubro carpeta asfáltica, mezcla tibia modificada con Zycotherm al 0,0075%), presentan los siguientes rubros para una capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de 7,5cm. de espesor, los cuales su pago es por metro cuadrado (m2), estos se verán diferenciados por el aditivo escogido y a la cantidad utilizada, además un ahorro del diésel del 30% para la mezcla tibia producido por la planta de asfalto.

TEMA:EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ADITIVOS: QUÍMICO ZYCOTHERM Y ORGÁNICO CERA DE CARNAÚBA, EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, CASO DE ESTUDIO MINA HOLCIM PIFO.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:	TESIS - BELEN BURBANO - ADRIÁN DILLON	RUBRO: 405-5
DESCRIPCIÓN:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico convencional, mezclado en planta de 7,5cm. de espesor	UNIDAD: m2
ESPECIFICACIÓN	Mezcal en planta, tendido, conformación y compactación. Incluye trasporte de la mezcla.	

EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
RODILLO COMPACTADOR (87 HP)	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
RODILLO VIBRATORIO LISO (112HP)	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
CARGADORA FRONTAL(140HP)	1,00	35,20	35,20	0,005	0,18
TERMINADORA DE ASFALTO TIPO BITELL 88	1,00	52,80	52,80	0,005	0,26
DISTRIBUIDOR DE ASFALTO	1,00	70,00	70,00	0,005	0,35
PLANTA ASFÁLTICA	1,00	120,00	120,00	0,005	0,60
VOLQUETA (13 TON)	1,00	33,00	33,00	0,005	0,17
SUBTOTAL M					1,86

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN E. O. E2	10,00	3,58	35,80	0,005	0,18
ENGRASADOR E. O. D2	1,00	3,62	3,62	0,005	0,02
MAESTRO MAYOR E. O. C1	0,10	4,01	0,40	0,005	0,002
OPERADOR EQUIPO PESADO E. O. C1. GI	6,00	4,01	24,06	0,005	0,12
SUBTOTAL N					0,32

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B
MATERIAL GRUESO (TRITURADO 3/4")	m3	0,034	11,90	0,40
MATERIAL INTERMEDIO (TRITURADO 1/8")	m3	0,008	11,89	0,10
MATERIAL FINO (ARENA)	m3	0,042	8,58	0,36
ASFALTO AC-20	Galón	3,45	1,45	5,00
SUBTOTAL O				5,86

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL P					

	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		8,03
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA	COSTOS INDIRECTOS	0,00	0,00
ESTOS ANÁLISIS DE PRECIOS SON REFERENCIALES	COSTO TOTAL DEL RUBRO (USD):		8,03

Tabla 5. 9- Rubro carpeta asfáltica, mezcla en caliente sin modificar.

TEMA:EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ADITIVOS: QUÍMICO ZYCOTHERM Y ORGÁNICO CERA DE CARNAÚBA, EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, CASO DE ESTUDIO MINA HOLCIM PIFO.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:	TESIS - BELEN BURBANO - ADRIÁN DILLON	RUBRO:	405-5
DESCRIPCIÓN:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico modificado con cera 3%, mezclado en planta de 7,5cm. de espesor	UNIDAD:	m2
ESPECIFICACIÓN	Mezcal en planta, tendido, conformación y compactación. Incluye trasporte de la mezcla.		

EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
RODILLO COMPACTADOR (87 HP)	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
RODILLO VIBRATORIO LISO (112HP)	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
CARGADORA FRONTAL(140HP)	1,00	35,20	35,20	0,005	0,18
TERMINADORA DE ASFALTO TIPO BITELL 88	1,00	52,80	52,80	0,005	0,26
DISTRIBUIDOR DE ASFALTO	1,00	70,00	70,00	0,005	0,35
PLANTA ASFÁLTICA	1,00	115,53	115,53	0,005	0,58
VOLQUETA (13 TON)	1,00	33,00	33,00	0,005	0,17
SUBTOTAL M					1,83

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN E. O. E2	10,00	3,58	35,80	0,005	0,18
ENGRASADOR E. O. D2	1,00	3,62	3,62	0,005	0,02
MAESTRO MAYOR E. O. C1	0,10	4,01	0,40	0,005	0,002
OPERADOR EQUIPO PESADO E. O. C1. GI	6,00	4,01	24,06	0,005	0,12
SUBTOTAL N					0,32

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B
MATERIAL GRUESO (TRITURADO 3/4")	m3	0,034	11,90	0,40
MATERIAL INTERMEDIO (TRITURADO 1/8")	m3	0,008	11,89	0,10
MATERIAL FINO (ARENA)	m3	0,042	8,58	0,36
ASFALTO AC-20	Galón	3,45	1,45	5,00
CERA CARNAÚBA 3%	Kg	0,39	18,00	7,10
SUBTOTAL O				12,96

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL P					

	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)	15,11
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA	COSTOS INDIRECTOS 0,00	0,00
ESTOS ANÁLISIS DE PRECIOS SON REFERENCIALES	COSTO TOTAL DEL RUBRO (USD):	15,11

Tabla 5. 10-Rubro carpeta asfáltica, mezcla tibia modificada con Cera Carnaúba al 3%.

TEMA:EVALUACIÓN DE PORCENTAJES DE ADITIVOS: QUÍMICO ZYCOTHERM Y ORGÁNICO CERA DE CARNAÚBA, EN MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS, CASO DE ESTUDIO MINA HOLCIM PIFO.

ANALISIS DE PRECIOS UNITARIOS

NOMBRE DE PROYECTO:	TESIS - BELEN BURBANO - ADRIÁN DILLON	RUBRO: 405-5
DESCRIPCIÓN:	Capa de rodadura de hormigón asfáltico modificado con Zycotherm 0,075%, mezclado en planta de 7,5cm. de espesor	UNIDAD: m2
ESPECIFICACIÓN	Mezcal en planta, tendido, conformación y compactación. Incluye trasporte de la mezcla.	

EQUIPOS

DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
RODILLO COMPACTADOR (87 HP)	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
RODILLO VIBRATORIO LISO (112HP)	1,00	30,00	30,00	0,005	0,15
CARGADORA FRONTAL(140HP)	1,00	35,20	35,20	0,005	0,18
TERMINADORA DE ASFALTO TIPO BITELL 88	1,00	52,80	52,80	0,005	0,26
DISTRIBUIDOR DE ASFALTO	1,00	70,00	70,00	0,005	0,35
PLANTA ASFÁLTICA	1,00	115,53	115,53	0,005	0,58
VOLQUETA (13 TON)	1,00	33,00	33,00	0,005	0,17
SUBTOTAL M					1,83

MANO DE OBRA

DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN E. O. E2	10,00	3,58	35,80	0,005	0,18
ENGRASADOR E. O. D2	1,00	3,62	3,62	0,005	0,08
MAESTRO MAYOR E. O. C1	0,10	4,01	0,40	0,005	0,008
OPERADOR EQUIPO PESADO E. O. C1. GI	6,00	4,01	24,06	0,005	0,12
SUBTOTAL N					0,32

MATERIALES

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
		A	B	C = A x B
MATERIAL GRUESO (TRITURADO 3/4")	m3	0,034	11,90	0,40
MATERIAL INTERMEDIO (TRITURADO 1/8")	m3	0,008	11,89	0,10
MATERIAL FINO (ARENA)	m3	0,042	8,58	0,36
ASFALTO AC-20	Galón	3,45	1,45	5,00
ZYCOTHERM 0,075%	Kg	0,00986	34,5	0,34
SUBTOTAL O				6,2

TRANSPORTE

DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL P					

	TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)		8,35
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA	COSTOS INDIRECTOS	0,00	0,00
ESTOS ANÁLISIS DE PRECIOS SON REFERENCIALES	COSTO TOTAL DEL RUBRO (USD):		8,35

Tabla 5. 11- Rubro carpeta asfáltica, mezcla tibia modificada con Zycotherm al 0,075%.

Se procederá el análisis tomando en cuenta un ejemplo con el siguiente requisito:

- La carpeta asfáltica de 7.5 cm de espesor será colocada en una vía de 1 kilómetro, con dos carriles, cada uno de estos midiendo 3.65 metros, además con dos espaldones de 2 metros cada uno.

Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO TOTAL
MEZCLA CALIENTE-CARPETA ASFÁLTICA 7.5 CM	M2	11.300,00	$8,03	$90.778,02
MEZCLA TIBIA-CARPETA ASFÁLTICA 7.5 CM ADITIVO CERA CARNAÚBA 3%	M2	11.300,00	$15,11	$170.771,65
MEZCLA TIBIA-CARPETA ASFÁLTICA 7.5 CM ADITIVO ZYCOTHERM 0,075%	M2	11.300,00	$8,35	$94.370,59

Tabla 5. 12-Tabla de descripción de rubros, unidades, cantidades y precios.

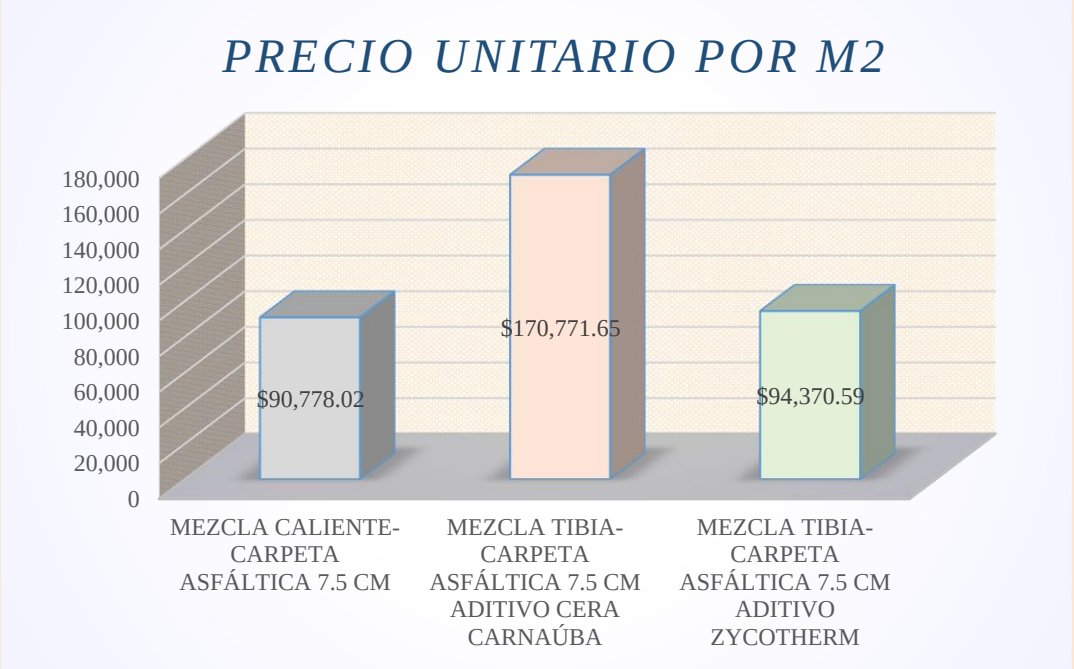


Gráfico 5. 1-Precio unitario por m2

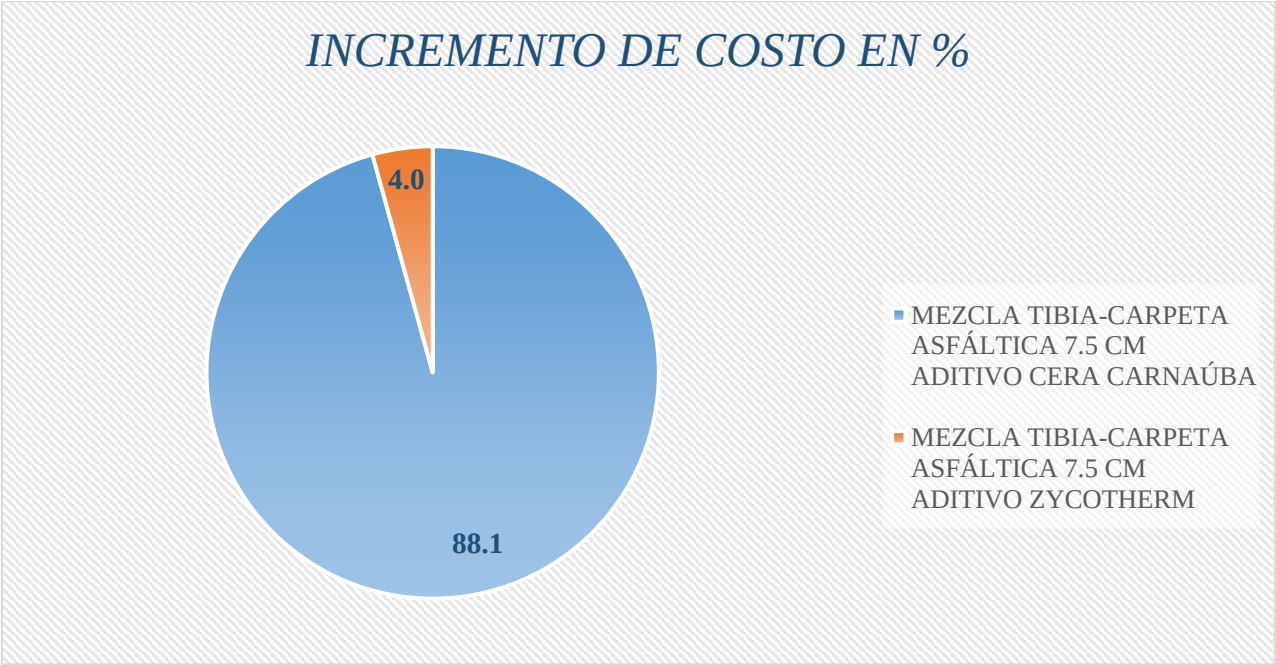


Gráfico 5. 2- Incremento de costos según aditivo a utilizar.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES:

- Los resultados obtenidos en los ensayos de caracterización del: agregado de la mina Holcim ubicada en Pifo ***Tabla 3.16*** y del asfalto AC-20 ***Tabla 3.17*** *de* la refinería Esmeraldas según la norma MOP-001F-2002, en la sección 811 (agregados para hormigón asfáltico) y en la sección 810 (asfaltos y productos asfálticos) cumplen con las especificaciones de la normativa mencionada, excepto en la propiedad de la viscosidad absoluta del asfalto, tanto en la muestra original y en residuo de película fina en horno rotatorio; siendo estos materiales aptos para su utilización en mezclas asfálticas en caliente y tibias.

- Se obtuvo una mezcla densa con tamaño máximo nominal 3/4" ***tabla 4.5 ,*** en la que interviene 40 % de agregado grueso (3/4"), 10% de agregado intermedio (3/8") y 50% de agregado fino (arena), siendo esta la más eficiente para mezclas asfálticas calientes y tibias, para agregados de la mina Holcim Pifo, cumpliendo con las normas de las especificaciones generales para construcción de caminos y Puentes (MOP-001-F-2002. Tabla 405-5.1).

- Se realizó el diseño de la mezcla asfáltica cumpliendo con los resultados de los parámetros del ensayo Marshall para mezclas asfálticas en caliente ***tabla 4.13,*** mediante el análisis gráfico de la relación porcentaje de bitumen respecto 4% de porcentaje de vacíos y cumpliendo con la estabilidad, flujo, V.A.M (vacíos en el agregado mineral). y V.F.A (vacíos llenos de asfalto) se obtiene que el porcentaje óptimo de asfalto para los agregados de la mina Holcim ubicada en Pifo es del 6.5 % de AC-20 de Bitumen de la refinería Esmeraldas, cumpliendo con las especificaciones de la normativa. (MOP-001-F -2002 Tabla 405.5.4 y 405.5.5).

- Las temperaturas para la mezcla asfáltica en caliente fueron; para mezcla (156°C–159°C), compactación(147°C-152°C) y las temperaturas para la mezcla asfáltica tibia fueron; para mezcla (130°C), compactación (110°C).

- Se concluye mediante los parámetros del diseño Marshall en mezclas asfálticas en caliente obtenidos; que la densidad Bulk, estabilidad, flujo y el porcentaje de vacíos llenos de asfalto, crecen proporcionalmente al porcentaje de asfalto, en cambio el porcentaje de vacíos en el agregado mineral y el volumen de vacíos llenos de aire decrecen proporcionalmente.

- Se verifica que en las mezclas asfálticas tibias con el aditivo cera "Carnaúba Wax" el parámetro de la estabilidad tiende a disminuir, mediante más aditivo se utiliza; además el porcentaje de vacíos cumple con la norma en todos los porcentajes de cera propuestos, siendo los porcentajes más eficientes 3% y 4% ***tabla 4.23,*** los únicos en cumplir todos los parámetros Marshall de la normativa MOP-001F-2002.

- Se verifica que en las mezclas asfálticas tibias con el aditivo Zycotherm el único eficiente, cumplido con todos los criterios Marshall es el 0.075% ***tabla 4.24***, igual que la cera mencionado anteriormente la estabilidad y flujo es menor mediante se aumenta el porcentaje de aditivo.

- Se determina que en el diseño Marshall en mezclas asfálticas tibias sin aditivo ***tabla 4.25*** , no cumplen con los criterios de estabilidad, flujo ni porcentaje de vacíos con aire como está establecido en la normativa MOP-001F-2002, por lo que es indispensable la utilización de aditivos para mezclas asfálticas tibias.

- Se determina que con el porcentaje óptimo de asfalto 6.5% en mezclas asfálticas en caliente se obtiene la mayor estabilidad 2927 lb, siguiéndole a este la mezcla asfáltica tibia con el aditivo cera "Carnaúba Wax a un porcentaje óptimo de 3% con 2150 lb, después el aditivo "Zycotherm" a un porcentaje óptimo de 0,075% con 1850 lb y en la mezcla asfáltica tibia sin aditivo con 1267 lb; siendo todas a excepción de la última mencionada, calificadas para tráfico tipo pesado.

- En la ***Tabla 4.27*** se tiene los resultados donde se comparan los resultados y se llega a la conclusión que, la mezcla con Cera Carnaúba es la más eficiente cumpliendo los parámetros Marshall, con porcentaje de 3%, que con el aditivo Zycotherm, por

otro lado con el aditivo Zycotherm se tiene a mejorar las propiedades físicas estimando físicamente la trabajabilidad ya que esta no se mide teóricamente.

- Se realizó el análisis de costos unitarios para el Rubro (405-5 MOP) con la unidad en m2 para una capa de rodadura de hormigón asfáltico mezclado en planta de 7,5cm de espesor para 1km de vía, con dos carriles, cada uno de estos midiendo 3.65m , además con dos espaldones de 2m cada uno, se concluye que, en mezclas asfálticas en calientes se tiene un precio total de $90.778,02, mientras la mezcla asfáltica en tibio con el aditivo Zycotherm al 0,075%, tiene un incremento de precio del 4% y con el aditivo de Carnaúba al 3%, un incremento de precio del 88% siendo su costo el doble al de las mezclas asfálticas en caliente. Hay que tener en cuenta los beneficios de las mezclas tibias se disminuyó un 30 % en el diésel de la planta de asfalto y también los beneficios económicos aumentarían a largo plazo, así concientizar que se tiene una mejora ambiental, técnica y económica.

RECOMENDACIONES:

- Analizando los resultados logrados en el diseño mezcla asfáltica en tibio según el método Marshall, se recomienda la utilización de los aditivos: “Zycotherm” a un porcentaje de 0.075% y la cera “Carnaúba Wax” a un porcentaje del 3%, estos dos con un porcentaje de asfalto de 6.5%, para los agregados de la mina Holcim ubicada en Pifo y el asfalto AC-20 de la refinería Esmeraldas.

- Dados los resultados de estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos, en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con el porcentaje de asfalto de 6.5%, y mezclas asfálticas en tibia con el porcentaje óptimo de los aditivos mencionados, según el método Marshall, siguiendo la norma MOP-001F-2002, en la sección 405 de Hormigón Asfáltico Mezclado en Planta, se recomienda el uso de este para un diseño de la estructura del pavimento, para un tráfico de tipo pesado.

- Se recomienda el uso de mezclas asfálticas tibias debido a que es más amigable con el medio ambiente ya que se trabaja a menor temperatura, con lo que se requiere menos combustible y energía, gracias a su velocidad de enfriamiento se tiene la posibilidad de pavimentar a temperaturas ambiente menores, incrementa la eficiencia de las plantas asfálticas, ya que van a poder transportar las mezclas a mayores distancias, aumentando su radio de acción; además tiene la gran ventaja que, mediante la utilización de aditivos, este disminuye su viscosidad mejorando trabajabilidad y adherencia en el agregado.

- Se recomienda utilizar el diseño realizado en este trabajo, para mezclas asfálticas en caliente y tibia con los porcentajes óptimos obtenidos, únicamente cuando para la realización de este, se utilice: material de la mina Holcim Pifo y AC-20 de la refinería de Esmeraldas, ya que, si se utiliza otro agregado de otra cantera y otra clase de asfalto, no se obtendrán los mismos resultados.

BIBLIOGRAFÍA

.

-*Ministerio de Transporte y Obras Públicas del Ecuador. (2013). Norma Ecuatoriana Vial. Quito: MTOP.*

-*Lara, L. (2018). Guía de Prácticas de Laboratorio de Hormigones. Quito: Pontificia Universidad Catolica del Ecuador.*

-*Garnicas P., Delgado H., Gómez J., Romero S., Alarcón H.,. (2005). Aspectos del diseño volumétrico de mezclas asfálticas. México. Secretaría de comunicaciones y transportes instituto Mexicano del transporte.*

-*Yánez, G. (2018). Guía de Laboratorio de Pavimentos. Quito: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.*

-*Agnusdei, J., Marcozzi, R., & Morea, F. (2010). Nuevas Tecnologías Sustentables Aplicadas a la Pavimentación Asfáltica. La Plata: Laboratorio de Entrenamiento Multidisciplinario para la Investigación Tecnológica.*

-*Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales. (2014). Mezcla Asfáltica Tibia. San José: Universidad de Costa Rica.*

-*Lopera, C. (2011). Diseño y producción de mezclas asfálticas tibias, a partir de la mezcla de asfalto y aceite crudo de palma (Elaeis Guineensis) Informe final de investigación aplicada presentado como requisito para optar al título de Máster en Ingeniería Infraestructura y Sistemas de Transporte. Universidad Nacional de Colombia– Medellín.*

-*Padilla, A(2008). Mezclas Asfalticas.España:Universidad Politecnica de Cataluña,https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3334/34065-14.pdf?sequence=14&isAllowed=y, Recuperado (11/20/2019).*

-*NCRHP. (2011). Special Mixture Design Considerations and Methods for Warm-Mix Asphalt: A Supplement to NCHRP Report 673: A Manual for Design of Hot-Mix Asphalt with Commentary WASHINGTON, D.C.*

-*ULLOA A.,(2011), Vol 2. Nº 15, PITRA(PROGRAMA DE INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE), Mezclas asfálticas tibias (MAT), https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/bitstream/handle/50625112500/364/15.pdf?sequence=1&isAllowed=y, RECUERADO 20/01/2020*

-*BOLZAN, P.(2011). Mezclas asfálticas en caliente elaboradas y compactadas a menores temperaturas. XXXVI Reunión del Asfalto "Bicentenario de los Andes" Argentina.*

-*SOL PETROLEO,(2010), http://www.solpetroleo.com/fisico-quimica-del-asfalto#:~:text=La%20composici%C3%B3n%20qu%C3%ADmica%20de%20los,%2C%20hierro%2C%20calcio%20y%20magnesio. Recuperado (11/20/2019).*

-*JAIR, M.(2012). Tendencia y futuro de lso asfaltos para carreteras. Boletín de la comisión permanente del asfalto (CPA) N 096, Buenos Aires – Argentina, [En línea] (2012), Disponible en la página web: http://www.cpasfalto.org/biblioteca.htm (Recuperado 24/11/1019).*

-*Alonzo R. Flores J. y Sánchez J. (2012). Manual de mantenimiento de vías urbanas, utilizando mezcla asfáltica en caliente, tibia y en frío, El Salvador: Universidad de El Salvador.*

-*Menéndez, J. (2009). Ingeniería de Pavimentos. Lima: ICG.*

-*Amestoy A.(2010). El planeta tierra en peligro. Calentamiento global, cambio climático, solución. Alicante, España: Editorial Club Universitario.*

-*Instituto Mexicano del Transporte, 2018, Evaluación del desempeño de mezclas asfálticas con la rueda cargada de Hamburgo, No. 568, Sanfandila, Qro, México.*

-*Zydex.,(2014a). Asphalt Emulsion Additives.*

-*Zydex, I., (2014b). Road solutions.*

-*Surfax BT-1,Ficha técnica, http://www.surfax.com.mx/, Recuperado (11/12/2019).*

-*Rodríguez, J. (2014). ANÁLISIS DE DESEMPEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS TIBIAS.* http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/8431/1/T-ESPE-048015.pdf*, Recuperado (11/12/2019).*

-*Múnera, J. (2012). Modificación polimérica de asfaltos (Tesis de Maestría, Universidad EAFIT). https://repository.eafit.edu.co/bitstream/handle/10784/700/JuanCamilo_Muner a Ossa_2012.pdf;sequence=1, Recuperado (12/12/2019).*

-*ALMON del Ecuador. (2020). CERA CARNAÚBA, Recuperado, http://www.almonecuador.com/materias-primas-Carnaúba.html*

-*Vera, J., & Rojas, J. (2018). Comportamiento físico – Mecánico de una mezcla asfáltica convencional y una polimerizada con la adición de un aditivo líquido (Zycotherm) mejorado con nanotecnología.*

-*Ulloa, C & Ramírez, A. (2012). Comportamiento de mezclas asfálticas fabricadas con adición de ceras naturales (tesis de pregrado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia.*

- *Gil S. (2009). Estudio de los aditivos que permiten reducir la viscosidad del ligante a elevadas temperaturas. Asociación Española de mezclas Asfálticas. Pg. 267-281.*

- *LABIC, 2012, Laboratorio Ingeniería de la Construcción. Investigación de nuevas mezclas de baja energía para la rehabilitación superficial España, http://labic.ugr.es/inmbers.html,Recuperado (12/12/2019)*

-*Lazarte J.(2015, Julio-Septiembre). Mezclas asfálticas sostenibles en las rutas de Lima. Vialidad y Transporte Latinoamericano. Recuperado de https://issuu.com/vialidadytransporte/docs/vialidad_y_transporte_edici__n_n___/76*

-*Z. You and S. W, 2008 Goh, "Laboratory evaluation of warm mix asphalt: a preliminary study", Int. J. Pavement Res. Technol., vol. 1, n° 1, http://rcientificas.uninorte.edu.co/index.php/ingenieria/article/viewArticle/8252/10046,recuperado(12/12/2019,*

- *RUIZ R.(2001), (Revista: Ingeniería Civil No. 124/200). La Calidad y la Seguridad en las Infraestructuras. Artículo. Control de Mezclas Bituminosas en el Borrador de la Normativa CEN. 1. España. Recuperado de http://ingenieriacivil.cedex.es/index.php/ingenieria-civil/issue/view/104*

-*Miró, T. L.-M. (2015). El envejecimiento en mezclas asfálticas. CUADERNOS TECNOLÓGICOS DE LA PTC., 2-20. Obtenido de https://www.ptcarretera.es/wp-content/uploads/2017/07/05_UP-catalun%CC%83a_CT-2015_Final.pdf*

-*The Asphalt Institute's,(2014), Manual (MS-2), 7th Edition, Estados Unidos de América.*

-*ASTM INTERNATIONAL. (2015). ASTM C127-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. West Conshohocken, Estados Unidos de América.*

-*ASTM INTERNATIONAL. (2015). ASTM C128-15. Standard Test Method for Relative Density (Specific-Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. West Conshohocken, Estados Unidos de América.*

-*ASTM INTERNATIONAL. (2014). ASTM C131/C131M-14. Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Angeles Machine. West Conshohocken, Estados Unidos de América.*

-*ASTM INTERNATIONAL. (2009). ASTM C29 / C29M – 09. Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate. West Conshohocken, Estados Unidos de América.*

-*ASTM INTERNATIONAL. (2017). ASTM D6913 / D6913M - 17 . Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis, Estados Unidos de América.*

- J. Cobos y S. Machado, (2020), UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR, Trabajo de Titulación, Análisis comparativo entre mezclas asfálticas en caliente modificadas con polialuminio y mezcla convencional, Quito-Ecuador.(Tabla 149).

ANEXOS

Anexo 1-Factores de corrección de estabilidad

ESPESOR BRIQUETAS CORREGIDA	RELACIONES PARA CORRELACIONAR ESTABILIDADES															FACTOR DE CORRECCION
4,44	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367		**1,92**
4,60	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379				**1,79**
4,76	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392			**1,67**
4,92	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405			**1,56**
5,80	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	**1,47**
5,24	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431					**1,39**
5,40	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443				**1,32**
5,56	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456			**1,25**
5,72	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470		**1,19**
5,87	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482				**1,14**
6,03	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495			**1,09**
6,19	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508			**1,04**
6,35	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522		**1,00**
6,51	523	524	525	526	527	528	529	530	531	532	533	534	535			**0,96**
6,67	536	537	538	539	540	541	542	543	544	545	546					**0,93**
6,83	547	548	549	550	551	552	553	554	555	556	557	558	559			**0,89**
6,99	560	561	562	563	564	565	566	567	568	569	570	571	572	573		**0,86**
7,14	574	575	576	577	578	579	580	581	582	583	584	585				**0,83**
7,30	586	587	588	589	590	591	592	593	594	595	596	597	598			**0,81**
7,46	599	600	601	602	603	604	605	606	607	608	609	610				**0,78**

Anexo 2-ENSAYOS DE LABORATORIO: MATERIAL PÉTREO

Anexo 3-Gravedad y absorción agregado 3/4''

ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Proyecto: Tesis de grado
Muestra: Agregado ¾
Norma de ensayo: ASTM C-127

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 11-mar-20
Hoja #: 1

Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN 3/4''		
Masa de la muestra seca (gr)	A	2063,2
Masa de la muestra saturada con superficie seca	B	2107,5
Masa de la muestra sumergida en el agua (gr.)	C	1286,8
Gravedad específica Bulk	Ge= A/B-C	2,51
Gravedad especifica saturada con superficie seca	Ges=B/B-C	2,57
Gravedad específica aparente	Gea=A/A-C	2,66
Porcentaje de absorción	Ab=(B-A/A)*100	2,15

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO

Proyecto: Tesis de grado
Muestra: Agregado Grueso 3/8"
Norma de ensayo: ASTM C-127

Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 11-mar-20
Hoja #: 2

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN 3/8''		
Masa de la muestra seca (gr)	A	2040,5
Masa de la muestra saturada con superficie seca	B	2088,1
Masa de la muestra sumergida en el agua (gr.)	C	1281,8
Gravedad específica Bulk	Ge= A/B-C	2,53
Gravedad especifica saturada con superficie seca	Ges=B/B-C	2,59
Gravedad específica aparente	Gea=A/A-C	2,69
Porcentaje de absorción	Ab=(B-A/A)*100	2,33

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

ENSAYO: GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado Fino	**Fecha:**	11-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C-128	**Hoja #:**	3
Cantera:	Mina Holcim Pifo		
Descripción:	GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO PROCEDIMIENTO GRAVIMÉTRICO		

GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN FINO		
Masa de la muestra seca (gr)	A	494,4
Masa de matraz + agua	B	649,6
Masa de la muestra+ matraz+ agua	C	959,8
Masa de la muestra saturada con superficie seca.	S	500
Gravedad específica Bulk	Ge= A/B+S-C	2,605
Gravedad especifica saturada con superficie seca	Ges=S/B+S-C	2,60
Gravedad específica aparente	Gea=A/B+A-C	2,68
Porcentaje de absorción	Ab=(S-A/A)*100	1,13

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS
Anexo 5-Gravedad y absorción agregado fino

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 6-Peso unitario agregado3/4''

ENSAYO: PESO UNITARIO

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado Grueso	**Fecha:**	11-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C-29	**Hoja #:**	4
Cantera:	Mina Holcim Pifo		
Descripción:	Peso Unitario		

Peso Unitario 3/4''		
Masa molde+ Material suelto (gr)	A	11204,6
Masa molde+ Material compacto(gr)	B	11842,4
Masa molde (gr)	P	6837,4
Volumen Molde (cm3)	V	3139,0
Masa del material suelto (gr)	Ms = A-P	4367,2
Masa material compacto (gr)	Mc = B-P	5005,0
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	Pus = Ms/v	1,39
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	Puc = Mc/v	1,59



REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 7-Peso unitario agregado 3/8''

Ensayo: Peso Unitario

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado Grueso	**Fecha:**	12-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C-29	**Hoja #:**	5
Cantera:	Mina Holcim Pifo		
Descripción:	Peso Unitario		

Peso Unitario 3/8		
Masa molde+ Material suelto (gr)	A	11046,4
Masa molde+ Material compacto(gr)	B	11600,0
Masa molde (gr)	P	6837,4
Volumen Molde (cm3)	V	3139,0
Masa del material suelto (gr)	Ms = A-P	4209,0
Masa material compacto (gr)	Mc = B-P	4762,6
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	Pus = Ms/v	1,34
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	Puc = Mc/v	1,52

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 8-Peso unitario agregado fino

ENSAYO: PESO UNITARIO AGREGADO FINO

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado Fino	**Fecha:**	12-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C-29	**Hoja #:**	6
Cantera:	Mina Holcim Pifo		
Descripción:	Peso Unitario		

Peso Unitario fino		
Masa molde+ Material suelto (gr)	A	11195,4
Masa molde+ Material compacto(gr)	B	12247,0
Masa molde (gr)	P	6837,4
Volumen Molde (cm3)	V	3139,0
Masa del material suelto (gr)	Ms = A-P	4358,0
Masa material compacto (gr)	Mc = B-P	5409,6
Peso Unitario Suelto (gr/cm3)	Pus = Ms/v	1,39
Peso Unitario Compactado (gr/cm3)	Puc = Mc/v	1,72

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 9- Durabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos agregado 3/4''

ENSAYO: DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado Grueso	**Fecha:**	17-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C-88	**Hoja #:**	7

Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS
Solución: Sulfato de magnesio

TAMIZ		DESGASTE A LOS SULFATOS 3/4''		
PASA	**RETIENE**	**MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO**	**MASA DE LAS FRACCIONES DESPUÉS DEL ENSAYO**	**% DE DESGASTE PARCIAL**
	1/2"	675	665	1,5
1/2"	3/8"	329	325	1,2
3/8"	4"	300	298	0,7
		% Total de desgaste		**1,14**

CONGEO CONCRETE GEOTECHNICS LAB RUC: 2390038030001
REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 10-Durabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos agregado 3/8''

Ensayo: DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado Grueso	**Fecha:**	17-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C-88	**Hoja #:**	8

Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS
Solución: Sulfato de magnesio

TAMIZ		**DESGASTE A LOS SULFATOS 3/8**		
PASA	**RETIENE**	**MASA DE LAS FRACCIONES ANTES DEL ENSAYO**	**MASA DE LAS FRACCIONES DESPUÉS DEL ENSAYO**	**% DE DESGASTE PARCIAL**
3/8"	4"	340	325	4,6
4"	8"	320	302	6,0
		% Total de desgaste		**5,3**

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 11-Durabilidad de los áridos a la acción de los sulfatos agregado fino

Ensayo: DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS

Proyecto: Tesis de grado
Muestra: Agregado Fino
Norma de ensayo: ASTM C-88

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 17-mar-20
Hoja #: 9

Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: DURABILIDAD DE LOS ÁRIDOS A LA ACCIÓN DE LOS SULFATOS
Solución: Sulfato de magnesio

Tamiz		Desgaste a los sulfatos fino		
Pasa	Retiene	Masa de las fracciones antes del ensayo	Masa de las fracciones despues del ensayo	% de desgaste parcial
	N° 4.	100	91,7	9
N° 4.	N° 8.	100	94,7	6
N° 8.	N° 16.	100,4	93,6	7
N° 16.	N° 30.	100,3	91,2	10
N° 30.	N° 50.	100,2	93,5	7
		% Total de desgaste		**8**

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 12-Abrasion en la máquina de los Ángeles

ENSAYO:ABRASIÓN POR IMPÁCTO EN LA MÁQUINA DE LOS ÁNGELES

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregado grueso	**Fecha:**	17-mar-20
Norma de ensayo:	ASTM C131	**Hoja #:**	10
	Mina Holcim		
Cantera:	Pifo		
Descripción:	Abrasión % de desgaste		

Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de Los Ángeles ¾''		
Tipo de Gradación	B	
Masa Inicial de la muestra(g)	A	5000
Masa retenida en el tamiz 12(g)	B	3370
Masa que pasa el tamiz 12 (g)	C	1721
% Desgaste	D	**34**

Desgaste de los agregados gruesos en la máquina de Los Ángeles 3/8''		
Tipo de Gradación	C	
Masa Inicial de la muestra(g)	A	5000
Masa retenida en el tamiz 12(g)	B	3609
Masa que pasa el tamiz 12 (g)	C	1560
% Desgaste	D	**31**

Tamices				Granulometría de la muestra (gr)			
Pasa		Retiene		A	B	C	D
mm	in	mm	in				
37,5	1 1/2	25	1	1250± 25	-	-	-
25	1	19	3/4	1250± 25	-	-	-
19	3/4	12,5	1/2	1250± 10	1250± 10	-	-
12,5	1/2	9,5	3/8	1250± 10	1250± 10	-	-
9,5	3/8	6,3	1/4	-	-	2500± 10	-
6,3	1/4	4,75	N°4	-	-	2500± 10	-
4,75	N°4	2,36	N°8	-	-		5000± 10
Total				5000± 10	5000± 10	5000± 10	5000± 10

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

Matriz Quito: (r Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Anexo 13-ENSAYO DE BETÚN ASFÁLTICO:AC-20

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE

USUARIO: Tesis
SOLICITADO POR: Belén Burbano / Adrián Dillón
PROYECTO: Tesis de Grado
LOCALIZACIÓN: Provincia de Pichincha
FISCALIZACIÓN:

DESCRIPCIÓN DE LA MUESTRA: Asfalto (Refinería de Esmeraldas)
FECHA INICIO TRASLADO: -
FECHA FINAL TRASLADO: -
GUÍA: S/N
N° DE TANQUE DE ASFALTO: S/N
N° MUESTRA: 001
PLACA DEL TANQUERO: S/N

DATOS DEL LABORATORIO

FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: 08/03/2020
CÓDIGO DE LA MUESTRA: 001
FECHA INICIO ENSAYO: 09/03/2020
FECHA FINAL ENSAYO: 09/03/2020
HOJA: 1 de 2

ENSAYO DE PENETRACIÓN (NTE INEN 917)

PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	60
2	60
3	60
PROMEDIO	60

ENSAYO DE DUCTILIDAD (NTE INEN 916)

PRUEBA No.	DUCTILIDAD (cm)
1	130
2	134
3	136
PROMEDIO	130

ENSAYO DE PUNTO DE INFLAMACIÓN Y COMBUSTIÓN (NTE INEN 808)

ENSAYO	PUNTO DE INFLAMACIÓN (° C)
1	273
ENSAYO	PUNTO DE COMBUSTIÓN (° C)
1	290

ENSAYO DE PUNTO DE ABLANDAMIENTO CON ANILLO Y BOLA (NTE INEN 920)

ANILLO	PUNTO DE ABLANDAMIENTO (°C)
1	50,2
2	50,3
PROMEDIO	50,3

ENSAYO DE PENETRACIÓN AL RESIDUO (INEN 917)

PRUEBA No.	PENETRACIÓN (dmm)
1	-
2	-
3	-
PROMEDIO	Ensayo no realizado

ENSAYO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO (NTE INEN 923 / ASTM D 70)

A: Masa del Picnómetro (g)	37,865
B: Masa del Picnómetro + H_2O (g)	62,394
C: Masa del Picnómetro + Asfalto (g)	54,982
D: Masa del Picnómetro + Asfalto + H_2O (g)	62,565
pw: Densidad del agua (g/cm³)	0,997
pb: Densidad del asfalto (g/cm³)	**1,0071**

FÓRMULA:

$$\rho_b = \frac{C - A}{((B - A) - (D - C))}$$

PÉRDIDA DE MASA MEDIANTE EL RTOF (AASHTO T 240 / ASTM D 2872)

N° Picnómetros	9	10
Masa del Picnómetro	168,402	168,365
Masa antes del ensayo	203,362	203,286
Masa después del ensayo	203,271	203,194
Peso perdido	-0,091	-0,092
% de pérdida	-0,26	-0,26
PROMEDIO	**-0,26**	

ENSAYO DE DUCTILIDAD AL RESIDUO (INEN 916)

PRUEBA No.	DUCTILIDAD (cm)
1	24
2	25
3	26
PROMEDIO	25

ANÁLISIS Y VERIFICACIÓN SEGÚN NTE INEN 2515 ENMIENDA 1

Parámetro	Resultado	Normativa
Viscosidad a 60°C (Pa.s)	294	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
Viscosidad Cinemática a 135°C (Centistokes)	470	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
Penetración a 25°C, 100g,5 seg. (1/10mm)	60,00	NTE INEN 917
Ductilidad, 25°C, 5 cm/min	130,00	NTE INEN 916 / PR-ESP-01
Perdida de masa	-	-
Punto de Inflamación (°C)	273	NTE INEN 808
Punto de Combustión (°C)	290	NTE INEN 808
Punto de Ablandamiento (°C)	50	NTE INEN 920
Gravedad Específica	1,0071	ASTM D 70
Índice de Penetración	-0,7	ASTM D5/D5M

ENSAYOS AL RESIDUO DE PELÍCULA FINA RTOF

Resultado	Normativa
1650	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
0	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
Ensayo no realizado	NTE INEN 917
25	NTE INEN 916 / PR-ESP-01
-0,26	ASTM D 2872

ENSAYADO POR:
Sr. Carlos Párraga
LABORATORISTA
CONTROL DE CALIDAD

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

CÓDIGO DE LA MUESTRA: 001
FECHA INICIO ENSAYO: lunes, 09 de marzo de 2020
MÉTODO: AASHTO T 316

FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA: domingo, 08 de marzo de 2020
FECHA FINAL ENSAYO: lunes, 09 de marzo de 2020
HOJA: 2 de 2

ENSAYOS DE VISCOSIDAD

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ORIGINAL (AC-20)

LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	2	58,8	SC4-29	294.000	294,00
2	60	2	58,8	SC4-29	294.000	294,00
3	60	2	58,8	SC4-29	294.000	294,00
				PROMEDIO		294

LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	100	94,6	SC4-21	473,0	0,473
2	135	100	94,6	SC4-21	473,0	0,473
3	135	100	94,6	SC4-21	473,0	0,473
				PROMEDIO		0,473

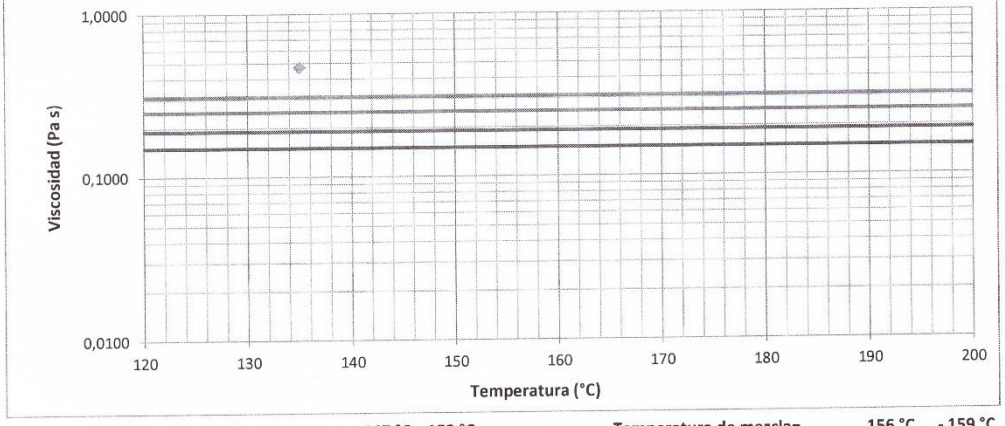
LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	170	200	0,0	SC4-21	0,0	0,000
2	170	200	0,0	SC4-21	0,0	0,000
3	170	200	0,0	SC4-21	0,0	0,000
				PROMEDIO		0,000

VISCOSIDAD DEL ASFALTO ENVEJECIDO (RESIDUO)

LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	60	0,5	82,5	SC4-29	1.650.000	1650,00
2	60	0,5	82,5	SC4-29	1.650.000	1650,00
3	60	0,5	82,5	SC4-29	1.650.000	1650,00
				PROMEDIO		1650

LECTURA	TEMPERATURA (°C)	VELOCIDAD (RPM)	TORQUE (%)	SPINDLE	VISCOSIDAD (cP)	VISCOSIDAD (Pa s)
1	135	70	0,0	SC4-21	0,0	0,000
2	135	70	0,0	SC4-21	0,0	0,000
3	135	70	0,0	SC4-21	0,0	0,000
				PROMEDIO		0,000

CARTA DE VISCOSIDAD



Temperatura de compactación= 147 °C - 152 °C **Temperatura de mezcla=** 156 °C - 159 °C

ELABORADO POR:

Sr. Carlos Párraga
LABORATORISTA
CONTROL DE CALIDAD

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

DATOS PROPORCIONADOS POR EL CLIENTE			
CLIENTE Y/O USUARIO:	Tesis	**PROYECTO:**	Tesis de Grado
SOLICITADO POR:	Belén Burbano / Adrián Dillón	**LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO:**	Provincia de Pichincha
CELULAR:	0979064992	**OBSERVACIONES:**	
E-MAIL:	N/A	- Muestra tomada por el cliente	
FISCALIZACIÓN:			
DATOS DE LA CISTERNA DEL CEMENTO ASFÁLTICO			
NÚMERO MUESTRA :	001	**N° DE TANQUE DE REFINERÍA:**	S/N
DESCRIPCIÓN:	Asfalto (Refinería de Esmeraldas)	**PLACA DEL TANQUERO:**	S/N
FECHA INICIO TRASLADO:	-	**N° DE GUÍA:**	S/N
FECHA FINAL TRASLADO:	-	**FECHA DE RECEPCIÓN DE LA MUESTRA:**	08-03-20

DATOS DEL LABORATORIO			
FECHA INICIO DE ENSAYO:	09-03-20	**CÓDIGO DE MUESTRA:**	001
FECHA FINAL DE ENSAYO:	09-03-20	**FECHA DE EMISIÓN DEL INFORME:**	**16/03/2020**

RESULTADOS DEL ANÁLISIS

PARÁMETROS	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO
Viscosidad a 60°C	Pa.s	294	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
Viscosidad Cinemática a 135°C	mm^2s^{-1}	470	AASHTO T 316 / PR-ESP-02 - ASTM D 70
Penetración a 25°C,100g,5 seg. (1/10mm)	1/10mm	60	NTE INEN 917
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/min	cm	130	NTE INEN 916 / PR-ESP-01
Perdida de Masa	-	-	-
Punto de Inflamación	°C	273	NTE INEN 808
Punto de Combustión	°C	290	NTE INEN 808
Punto de Ablandamiento	°C	50	NTE INEN 920
Gravedad Especifica	g/cm^3	1,0071	NTE INEN 923 / ASTM D 70
Indice de Penetración	-	-0,7	ASTM D5/D5M
Ensayos al residuo de película fina en horno rotatorio:			
Viscosidad a 60°C	Pa.s	1650	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
Viscosidad Cinemática a 135°C	mm^2s^{-1}	0	AASHTO T 316 / PR-ESP-02
Penetración a 25°C,100g,5 seg. (1/10mm)	1/10mm	Ensayo no realizado	NTE INEN 917
Ductilidad, 25 °C, 5 cm/mm	cm	25	NTE INEN 916 / PR-ESP-01
Pérdida de Masa	% w/w	-0,26	ASTM D 2872

ENSAYADO POR:

Sr. Carlos Párraga
LABORATORISTA
CONTROL DE CALIDAD

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

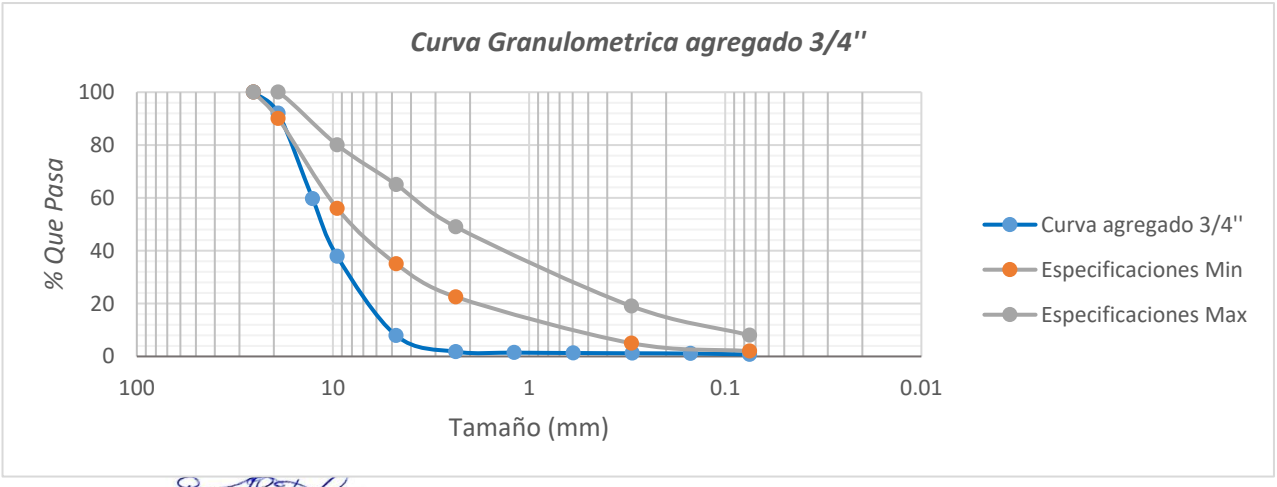
Anexo 14-Granulometría agregado grueso 3/4''

ENSAYO: GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PÉTREOS

Proyecto: Tesis de grado
Muestra: Agregado 3/4"
Norma de ensayo: ASTM C136
Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: Granulometría agregado 3/4"
Tamaño max nominal del agregado 3/4"
Tamaño max del agregado 1"

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 24-mar-20
Hoja #: 11

TAMIZ STANDARD	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	PASANDO	ESPECIFICADO	
3"	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2"	0	0	0	100		
1 1/2	0	0	0	100		
1"	0	0	0	100		100
3/4"	144	144	8	92	90	100
1/2"	583	727	40	60		
3/8"	393	1120	62	38	56	80
No.4	540	1660	92	**8**	35	65
PASA No.4						
PESO TOTAL						
No.8	110	1770	98	2	23	49
No.10						
No.16	6	1776	99	1		
No.30	3	1779	99	1		
No.40						
No.50	2	1781	99	1	5	19
No.60						
No.80						
No.100	2	1783	99	1		
PASA No.100						
No.200	6	1789	99	**1**	2	8
PASA No. 200	13	1802	100	**0**		
PESO TOTAL DE LA MUESTRA			1802	gr		



REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 15- Granulometría agregado grueso 3/8''

Ensayo: Granulometría de agregados pétreos

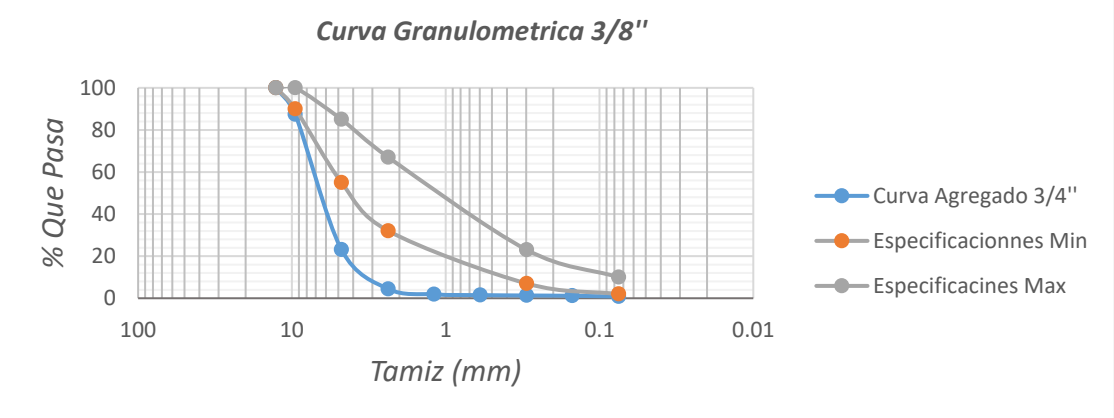
Proyecto: Tesis de grado
Muestra: Agregado 3/8"
Norma de ensayo: ASTM C136
Cantera: Mina Holcim Pifo
Descripción: Granulometría agregado 3/8"

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 24-mar-20
Hoja #: 12

TAMIZ STANDARD	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	PASANDO	ESPECIFICADO	
3"	0	0	0	100,0		
2 1/2	0	0	0	100,0		
2"	0	0	0	100,0		
1 1/2	0	0	0	100,0		
1"	0	0	0	100,0		
3/4"	0	0	0	100,0		
1/2"	0	0	0	100,0		100
3/8"	142	142	13	87,4	90	100
No.4	722	863	77	**23,1**	55	85
PASA No.4						
PESO TOTAL						
No.8	209	1073	96	4,4	32	67
No.10						
No.16	29	1102	98	1,9		
No.30	4	1106	99	1,5		
No.40						
No.50	2	1108	99	1,3	7	23
No.60						
No.80						
No.100	2	1109	99	1,2		
PASA No.100						
No.200	4	1113	99	**0,8**	2	10
PASA No. 200	9	1122	100	**0,0**		

PESO TOTAL DE LA MUESTRA	1122	gr

OBSERVACIONES: MOP TABLA 405-5. 1. PARA MEZCLA ASFALTICA



CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

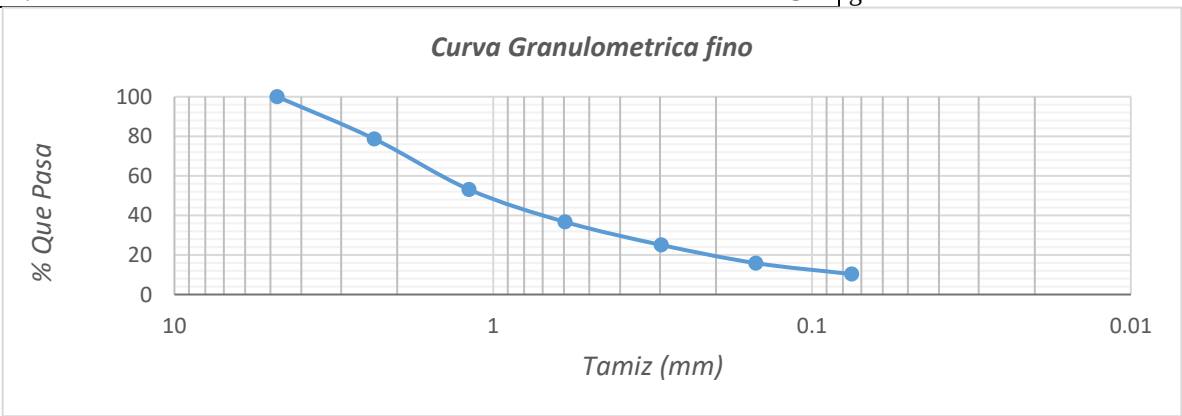
Anexo 16- Granulometría agregado fino
ENSAYO: GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS PÉTREOS

Proyecto: Tesis de grado
Muestra: Agregado Fino
Norma de ensayo: ASTM C136
Mina Holcim
Cantera: Pifo
Descripción: Granulometría agregado fino

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 24-mar-20
Hoja #: 13

TAMIZ STANDARD	PARCIAL	ACUMULADO	RETENIDO	PASANDO	ESPECIFICADO	
3"	0	0	0	100		
2 1/2	0	0	0	100		
2"	0	0	0	100		
1 1/2	0	0	0	100		
1"	0	0	0	100		100
3/4"	0	0	0	100	90	100
1/2"	0	0	0	100		
3/8"	0	0	0	100	56	80
No.4	0	0	0	**100**	35	65
PASA No.4						
PESO TOTAL						
No.8	73	73	21	79	23	49
No.10						
No.16	87	160	47	53		
No.30	56	217	63	37		
No.40						
No.50	40	256	75	25	5	19
No.60						
No.80						
No.100	31	288	84	16		
PASA No.100						
No.200	19	307	90	**10**	2	8
PASA No. 200	35	342	100	**0**		

PESO T.	342	gr



REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 17-Mezcla de agregados pétreos para diseño de asfalto

ENSAYO: MEZCLA DE AGREGADOS PÉTREOS PARA DISEÑO DE ASFALTO

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
Muestra:	Agregados 3/4", 3/8" y fino	**Fecha:**	24-mar-20
Norma de ensayo:	Límites de la especificación MOP 001 F2002 tabla 405-5.1 Agregado tamaño nominal 3/4"(ASTM 3515)	**Hoja #:**	14
Cantera:	Mina Holcim		
Descripción:	Pifo		
	Mezcla de agregados para elaboración de briquetas.		

Tamiz #	**1**	**3/4''**	**1/2''**	**3/8''**	**No 4.**	**No 8.**	**No 30.**	**No 50.**	**No 100.**	**No 200.**	**p #200**
Tz mm.	**25,4**	**19**	**12,7**	**9,5**	**4,75**	**2,36**	**0,6**	**0,3**	**0,15**	**0,075**	**p 0,075**
mat. A	100,00	92,01	59,68	37,85	7,88	1,78	1,30	1,20	1,09	0,74	
mat. B	100,00	100,00	100,00	87,39	23,07	4,41	1,49	1,32	1,18	0,79	
mat. C	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	78,65	36,70	25,06	15,88	10,32	
mat. D	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
mezcla	**100,00**	**96,80**	**83,87**	**73,88**	**55,46**	**40,48**	**19,02**	**13,14**	**8,49**	**5,54**	
Ret.Ac.	0,00	3,20	16,13	26,12	44,54	59,52	80,98	86,86	91,51	94,46	5,54
Ret.Parc.	0,00	3,20	12,93	9,99	18,42	14,98	21,46	5,88	4,65	2,96	
peso	0,00	35,16	142,26	109,91	202,61	164,80	236,06	64,66	51,12	32,52	
p. acum.	0,00	35,16	177,41	287,32	489,93	654,73	890,80	955,45	1006,57	1039,09	1100
Espec mín	**100**	**90**	**---**	**56**	**35**	**23**	**---**	**5**		**2**	
Espec máx	**100**	**100**	**---**	**80**	**65**	**49**	**---**	**19**		**8**	

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Cálculo del Porcentaje de AC-20

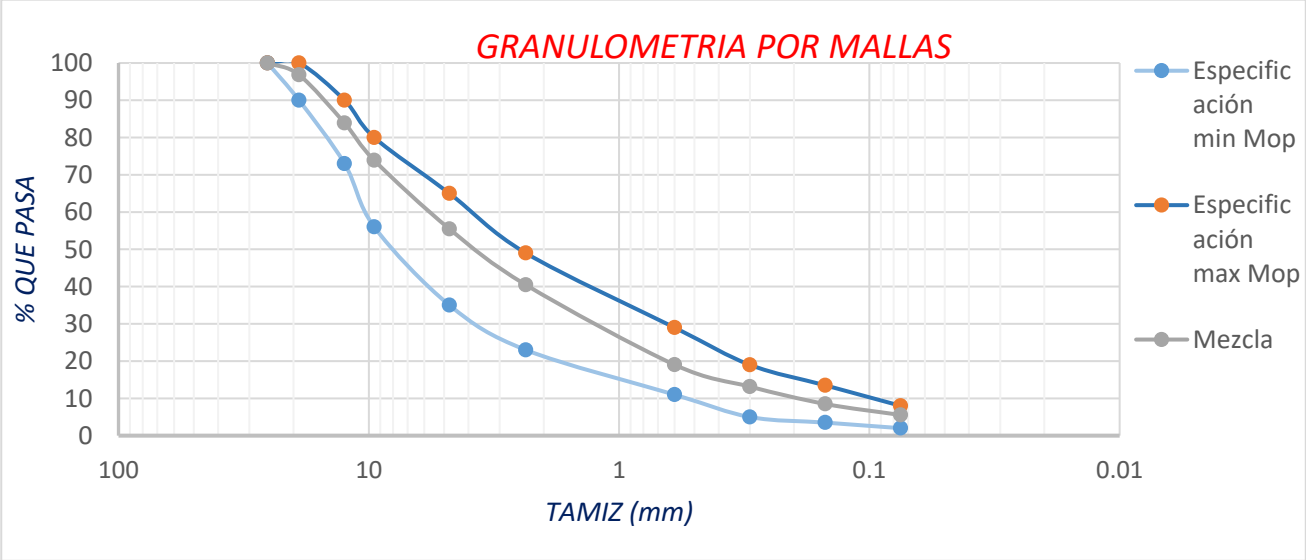
S=	**0.17G+0.33g+2.3A+12a+135f**	
G =	26,12	0,26
g =	18,42	0,18
A =	42,32	0,42
a =	7,60	0,08
f =	5,54	0,06
M =	(3,75 - 4,25) = 4	
S =	9,5	

P= **M(S)^(1/5)**

P (%) = 6,27

% DE MEZCLA		
A	0,40	40
B	0,10	10
C	0,50	50

Material A = Material Grueso 3/4"
Material B = Material Intermedio 3/8"
Material C = Material Fino



CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Anexo 18-Determinación de la gravedad especifica bulk de la briqueta, mezcla asfáltica caliente

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB

ENSAYO: DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA BULK DE LA BRIQUETA (AASTHO T166-078)

Proyecto: Tesis de grado

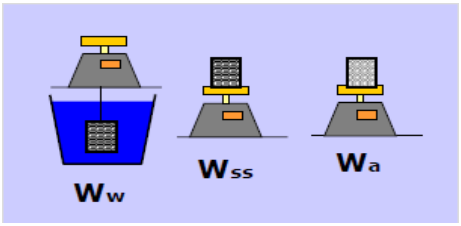
Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 15-jun-20

Norma de ensayo: (AASTHO T166-078)

Hoja #: 15

Gmb	Densidad especifica Bulk
Wa	Masa del espécimen seco
Ww	Masa del espécimen sumergido
Wss	Masa del espécimen saturada superficie seca

$$Gmb = \frac{Wa}{Wss - Ww}$$



Briqueta	% Bitumen	Masa del Especimen Seco (gr) Wa	Masa del Especimen sumergido (gr) Ww	Masa del Especimen Sat.Sup.Sec. (gr) Wss	VOLUMEN (c.c.) V:Wss-Ww	Densidad Bulk (gr/cm3) Gmb	Promedio
1	5,0	1145,00	518,00	1147,20	629,20	1,820	**2,033**
2	5,0	1141,00	600,20	1144,40	544,20	2,097	
3	5,0	1140,40	621,40	1143,90	522,50	2,183	
4	5,5	1160,70	561,40	1163,20	601,80	1,929	**2,086**
5	5,5	1154,00	620,00	1156,70	536,70	2,150	
6	5,5	1144,10	621,30	1146,02	524,72	2,180	
7	6,0	1148,70	631,30	1167,80	536,50	2,141	**2,219**
8	6,0	1145,50	640,20	1150,00	509,80	2,247	
9	6,0	1173,50	658,10	1175,50	517,40	2,268	
10	6,5	1157,80	648,50	1160,30	511,80	2,262	**2,247**
11	6,5	1167,60	638,70	1169,80	531,10	2,198	
12	6,5	1160,00	652,20	1161,20	509,00	2,279	
13	7,0	1162,00	653,10	1163,90	510,80	2,275	**2,277**
14	7,0	1195,20	673,30	1197,10	523,80	2,282	
15	7,0	1175,20	663,20	1180,10	516,90	2,274	

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 19-Estabilidad y flujo, mezcla asfáltica caliente

ENSAYO: LECTURAS MARSHALL

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
		Fecha:	15-jun-20
Norma de ensayo:	ASTM D-1559	**Hoja #:**	16

BRIQUETA	% BITUMEN	Estabilidad (Lb)			Flujo
		Fac. Corr.	Lec	Esta. Corre.	
1	5,0	0,78	2709	2113	7
2	5,0	0,93	2909	2706	6
3	5,0	1,00	2601	2601	7
				2473	**7**
4	5,5	0,78	2500	1950	8
5	5,5	0,93	3015	2804	8
6	5,5	0,96	2216	2128	7
				2294	**8**
7	6,0	0,93	2735	2543	9
8	6,0	1,00	2715	2715	9
9	6,0	1,00	3153	3153	9
				2804	**9**
10	6,5	1,00	3123	3123	11
11	6,5	0,96	3155	3028	10
12	6,5	1,00	3203	3203	10
			0	**3118**	**10**
13	7,0	1,00	3534	3534	11
14	7,0	0,96	2581	2478	12
15	7,0	1,00	2945	2945	12
				2985	**12**

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS
Y CONCRETOS

Anexo 20-Ensayo Rice, mezcla asfáltica caliente

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB

DETERMINACIÓN DE LA GRAVEDAD ESPECIFICA MÁXIMA MEDIDO(AASTHO T209- 08)

Proyecto: Tesis de grado

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 16-jun-20

Norma de ensayo: (AASTHO T166-078)

Hoja #: 17

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

A	Peso de la muestra seca en el aire, en (gr).
B	Peso del picnómetro + H20 a 25˚C (77˚F), en (gr).
C	Peso del picnómetro + masa + H20 a 25˚C (77˚F), en (gr).

Briqueta	% De Bitumen	Peso muestra(gr) A	Picnómetro+masa+H2O C	Picnómetro + H2O B	Gmm
2-3	**5**	1.192,70	3.643,60	2.940,80	2,435
4-5	**5,5**	1.150,80	3.614,10	2.940,80	2,410
7-9	**6**	1.127,60	3.592,80	2.940,80	2,371
10-12	**6,5**	1.142,00	3.597,10	2.940,80	2,351
14-15	**7**	1.107,90	3.573,90	2.940,80	2,333

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

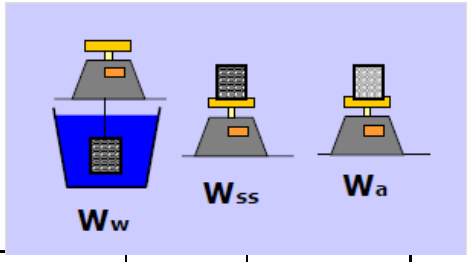
Anexo 21-Determinación de la gravedad especifica bulk de la briqueta, mezcla asfáltica tibia

Determinación de la gravedad especifica Bulk de la briqueta (AASTHO T166-078)

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
		Fecha:	7-julio-20
Norma de ensayo:	(AASTHO T166-078)	**Hoja #:**	18

Gmb	Densidad especifica Bulk
Wa	Masa del espécimen seco
Ww	Masa del espécimen sumergido
Wss	Masa del espécimen saturada superficie seca

$$Gmb = \frac{Wa}{Wss - Ww}$$



Briqueta	Aditivo %	Masa del Especimen Seco (gr) Wa	Masa del Especimen sumergido (gr) Ww	Masa del Especimen Sat.Sup. Sec. (gr) Wss	VOLUMEN (c.c.) V:Wss-Ww	Densidad Bulk (gr/cm3) Gmb	Promedio
1	AC-20 +1% Cera Carnaúba	1137,10	635,30	1139,30	504,00	2,2562	2,268
2		1164,20	653,70	1164,40	510,70	2,2796	
3		1167,90	654,00	1168,80	514,80	2,2686	
4	AC-20 +3% Cera Carnaúba	1157,60	645,50	1158,40	512,90	2,2570	2,266
5		1131,60	636,40	1131,90	495,50	2,2838	
6		1173,00	655,20	1174,60	519,40	2,2584	
7	AC-20 +4% Cera Carnaúba	1139,90	628,10	1142,30	514,20	2,2168	2,238
8		1197,60	658,90	1195,00	536,10	2,2339	
9		1152,50	645,10	1154,60	509,50	2,2620	
10	AC-20 +5% Cera Carnaúba	1187,90	658,20	1190,70	532,50	2,2308	2,237
11		1164,20	646,10	1166,20	520,10	2,2384	
12		1151,50	640,70	1154,40	513,70	2,2416	

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

13	AC-20 +6% Cera Carnaúba	1184,00	660,10	1185,30	525,20	2,2544	2,237
14		1154,80	647,50	1157,70	510,20	2,2634	
15		1138,50	625,30	1144,20	518,90	2,1941	
16	AC-20 +0,05% Zycotherm	1148,00	639,30	1154,00	514,70	2,230	2,240
17		1162,80	649,80	1163,80	514,00	2,262	
18		1160,30	642,50	1163,40	520,90	2,227	
19	AC-20 +0,075% Zycotherm	1162,50	641,60	1164,00	522,40	2,225	2,242
20		1141,90	635,50	1143,60	508,10	2,247	
21		1178,10	655,50	1178,50	523,00	2,253	
22	AC-20 +0,1% Zycotherm	1150,80	640,60	1152,80	512,20	2,247	2,251
23		1146,10	641,70	1146,40	504,70	2,271	
24		1155,10	640,20	1156,90	516,70	2,236	
25	AC-20 +0,125% Zycotherm	1177,20	651,20	1180,80	529,60	2,223	2,235
26		1143,50	635,10	1146,80	511,70	2,235	
27		1166,20	649,10	1167,70	518,60	2,249	
28	AC-20 +0,15% Zycotherm	1145,00	634,30	1148,80	514,50	2,225	2,210
29		1171,40	643,10	1176,60	533,50	2,196	
30		1148,30	632,20	1151,90	519,70	2,210	
31	AC-20 sin aditivos	1156,10	637,90	1161,20	523,30	2,209	2,203
32		1161,50	637,50	1167,00	529,50	2,194	
33		1141,20	629,50	1146,80	517,30	2,206	

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 22-Estabilidad y flujo, mezcla asfáltica tibia

ENSAYO: LECTURAS MARSHALL

Proyecto:	Tesis de grado	**Ensayado:**	Burbano-Dillon
		Fecha:	7-julio-20
Norma de ensayo:	ASTM D-1559	**Hoja #:**	19

BRIQUETA	ADITIVO%	% BITUMEN	Estabilidad (Lb)			Flujo
			Fac. Corr.	Lec	Esta. Corre.	
1	AC-20 +1% Cera Carnaúba	6,5	1,04	2167	2253	6
2		6,5	1,00	2390	2390	6
3		6,5	1,00	2204	2204	6
					2282	**6**
4	AC-20 +3% Cera Carnaúba	6,5	1,00	2005	2005	10
5		6,5	1,09	2217	2417	9
6		6,5	1,00	2030	2030	10
					2150	**10**
7	AC-20 +4% Cera Carnaúba	6,5	1,00	1787	1787	8
8		6,5	0,93	1798	1672	11
9		6,5	1,00	2001	2001	8
					1820	**9**
10	AC-20 +5% Cera Carnaúba	6,5	0,96	1379	1324	7
11		6,5	1,00	1386	1386	6
12		6,5	1,00	1853	1853	10
					1521	**7**
13	AC-20 +6% Cera Carnaúba	6,5	0,96	1485	1426	4
14		6,5	1,09	1565	1706	6
15		6,5	1,00	1289	1289	8
					1474	**6**
16	AC-20 +0,05% Zycotherm	6,5	1,00	1811	1811	8
17		6,5	1,00	1829	1829	9
18		6,5	1,00	1845	1845	9
					1829	**8**
19	AC-20 +0,075% Zycotherm	6,5	1,00	1899	1899	8
20		6,5	1,04	1778	1849	10
21		6,5	0,96	1879	1804	8
					1850	**9**
22		6,5	1,00	1640	1640	7

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

23	AC-20 +0,1% Zycotherm	6,5	1,04	1704	1773	7
24		6,5	1,00	1688	1688	8
					1700	**7**
25	AC-20 +0,125% Zycotherm	6,5	0,96	1197	1149	6
26		6,5	1,00	1231	1231	6
27		6,5	1,00	1891	1891	7
					1424	**6**
28	AC-20 +0,15% Zycotherm	6,5	1,00	1622	1622	7
29		6,5	0,96	1492	1432	8
30		6,5	1,00	1283	1283	6
					1446	**7**
31	AC-20 sin aditivos	6,5	0,96	1024	983	5
32		6,5	0,96	1105	1061	6
33		6,5	1,00	1757	1757	7
					1267	**6**

CONGEO
CONCRETE GEOTECHNICS LAB
RUC: 2390038030001

REVISADO
CONGEO - LABORATORIO DE
SUELOS Y CONCRETOS

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio
Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 23-Ensayo Rice, mezcla asfáltica tibia

Determinación de la gravedad especifica máxima medido(AASTHO T209- 08)

Proyecto: Tesis de grado

Ensayado: Burbano-Dillon
Fecha: 9-julio-20

Norma de ensayo: (AASTHO T166-078)

Hoja #: 20

A	Peso de la muestra seca en el aire, en (gr).
B	Peso del picnómetro + H20 a 25˚C (77˚F), en (gr).
C	Peso del picnómetro + masa + H20 a 25˚C (77˚F), en (gr).

$$Gmm = \frac{A}{A + B - C}$$

Briqueta	Aditivo %	% De Bitumen	Peso muestra(gr) A	Picnómetro+masa+H2O C	Picnómetro + H2O B	Gmm
1-3	AC-20 +1% Cera Carnaúba	**6,5**	1.219,60	3.645,60	2.940,80	2,369
4-6	AC-20 +3% Cera Carnaúba	**6,5**	1.089,90	3.570,30	2.940,80	2,367
7-9	AC-20 +4% Cera Carnaúba	**6,5**	1.192,40	3.626,80	2.940,80	2,355
10-12	AC-20 +5% Cera Carnaúba	**6,5**	1.041,50	3.539,10	2.940,80	2,350
13-15	AC-20 +6% Cera Carnaúba	**6,5**	1.090,60	3.567,00	2.940,80	2,348
16-18	AC-20 +0,075% Zycotherm	**6,5**	1.028,20	3.536,00	2.940,80	2,375
19-21	AC-20 +0,05% Zycotherm	**6,5**	1.152,50	3.603,20	2.940,80	2,352
22-24	AC-20 +0,1% Zycotherm	**6,5**	506,20	1.730,90	1.440,80	2,342
25-27	AC-20 +0,125% Zycotherm	**6,5**	513,30	1.734,40	1.440,80	2,336
28-30	AC-20 +0,15% Zycotherm	**6,5**	641,00	1.807,10	1.440,80	2,333
31-33	AC-20 Sin aditivo	**6,5**	656,40	1.819,10	1.440,80	2,360

Matriz Quito: Calle De Las Viñas E13-394 y Cesar Terán
Quito- Ecuador
congeolab@gmail.com

Ing. Miller y Arturo Roger N145, Barrio Bellavista Sector # 6
Santo Domingo de los Tsáchilas
Telf.: 2711801/5153346 Cell.: 0997317488

Anexo 24-Rubro de mano de obra y equipo

RUBRO:	CARPETA ASFÁLTICA 7.5 CM			UNIDAD:	m2
EQUIPOS					
DESCRIPCION	CANTIDAD	TARIFA	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
RODILLO COMPACTADOR	1,00	30,00	30,00	0,0034	0,10
RODILLO VIBRATORIO	1,00	30,00	30,00	0,0034	0,10
CARGADORA	1,00	35,20	35,20	0,0034	0,12
TERMINADORA DE ASFALTO TIPO BITELL 88	1,00	52,80	52,80	0,0034	0,18
DISTRIBUIDOR DE ASFALTO	1,00	70,00	70,00	0,0034	0,24
PLANTA ASFÁLTICA	1,00	88,00	88,00	0,0034	0,30
SUBTOTAL M					1,04
MANO DE OBRA					
DESCRIPCION	CANTIDAD	JORNAL /HR	COSTO HORA	RENDIMIENTO	COSTO
	A	B	C = A x B	R	D = C x R
PEÓN E. O. E2	10,00	3,58	35,80	0,0034	0,12
ENGRASADOR E. O. D2	1,00	3,62	3,62	0,0034	0,01
MAESTRO MAYOR E. O. C1	0,10	4,01	0,40	0,0034	0,00
OPERADOR EQUIPO PESADO E. O. C1. GI	6,00	4,01	24,06	0,0034	0,08
SUBTOTAL N					0,22
MATERIALES					
DESCRIPCION		UNIDAD	CANTIDAD	P. UNITARIO	COSTO
			A	B	C = A x B
FINO CRIBADO		m3	0,10	14,50	1,45
MATERIAL GRANULAR		m3	0,10	14,50	1,45
DIESEL		gal	2,94	1,03	3,03
ASFALTO AC-20		kg	10,92	0,38	4,15
SUBTOTAL O					10,08
TRANSPORTE					
DESCRIPCION	UNIDAD	DISTANCIA	CANTIDAD	TARIFA	COSTO
			A	B	C = A x B
SUBTOTAL P					
		TOTAL COSTO DIRECTO (M+N+O+P)			11,34
ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL IVA		COSTOS INDIRECTOS		0,00	0,00
ESTOS ANÁLISIS DE PRECIOS SON REFERENCIALES		COSTO TOTAL DEL RUBRO (USD):			11,34

Los únicos costos que se tomó en cuenta es el equipo y mano de obra.