

**TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE COACALCO**

DISEÑO Y CONTROL DE CALIDAD DE
MEZCLA ASFÁLTICA DE ALTO DESEMPEÑO
(PROTOCOLO AMAAC NIVEL III)

ESTANCIAS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE
(INGENIERÍA CIVIL)

Sustentante:
TÉLLEZ DÍAZ MAYRA ANDREA

Presidente:
ING. ROBERTO OROZCO GONZÁLEZ

COACALCO DE BERRIOZÁBAL, MÉX. AGOSTO, 2024

Agradecimientos

Al Tecnológico de Estudios Superiores de Coacalco (TESCo), mi Alma Matter.

A mis profesores, quienes compartieron su conocimiento y enseñanzas formándome para mi desarrollo profesional, quiero extender un agradecimiento muy especial al Ing. Roberto Orozco Gonzáles por motivarme a concluir esta última etapa de mi carrera con el desarrollo de este trabajo, con su paciencia y empatía que lo caracterizan.

Quiero agradecer a P.A.C.S.A. Ingeniería, por la oportunidad que me brindó de desarrollarme como ingeniero en sus instalaciones, por permitirme formar parte de este proyecto y compartir toda la información para llevar a cabo mi investigación.

Dedicatoria

A mi ser supremo, por brindarme sabiduría e inteligencia en cada momento de mi vida

A mis padres Clemencia Diaz Rivera y Fidel Tellez Rodríguez, por siempre llevarme de la mano en el camino del bien y apoyarme en cada decisión que hasta hoy he tomado, pues sin su ejemplo y enseñanzas no sería la persona que soy ahora pues sus valores serán siempre los cimientos de mi vida. Los amo padres.

A mi hermana. Mi cómplice en todo, gracias por ser mi mayor ejemplo y apoyarme en todo lo que está en tus manos.

A José Santos Quien se ha ganado mi respeto y mi cariño, por todos los momentos de enseñanzas, de risas y de conocimiento que me ha brindado. Su presencia en mi vida ha sido clave en mi formación como persona y ahora como ingeniero.

A mi amor Quien es mi compañero de viaje y profesión, por tus palabras de ánimo para seguir adelante en el camino de la ingeniería, por brindarme tu apoyo continuamente, por tu amor, confianza, respeto y cariño incondicional.

A mis amigos de vida, mis amigos de universidad, por siempre recibir su apoyo como equipo y compartir maravillosos momentos, aprendizajes y descubrir cosas nuevas que llevaré en mi mente por siempre.

A todos ustedes dedico este trabajo por estar conmigo a lo largo de este proceso.

Gracias por creer en mí.

Resumen

La importancia de desarrollar este trabajo es realizar un diseño de mezcla asfáltica de alto desempeño utilizando materiales pétreos y asfálticos específicos, considerando un compendio de resultados enfocados en los comportamientos de dichos materiales al realizar una evaluación particular y general de ellos, así como la elaboración técnica, para la comprobación de ensayos de laboratorio de acuerdo a la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) y del Instituto Mexicano del Transporte (IMT), que permitió evaluar una mezcla densa de alto desempeño de acuerdo a lo solicitado por el protocolo AMAAC nivel III, satisfaciendo la necesidad de realizar una carpeta que aloje un tránsito promedio diario anual de 7000 vehículos para una ampliación de carretera tipo A12 a 12 m de calzada.

A lo largo de la investigación se describen los métodos más utilizados en la elaboración de un diseño de mezcla, así como las normativas aplicables para obtener un diseño de buena calidad, los tipos de plantas utilizadas para la producción de la mezcla, y la metodología de evaluación para los materiales pétreos y asfálticos utilizados.

Contenido

Agradecimientos.....	2
Dedicatoria	3
Resumen.....	4
Índice de tablas.....	8
Índice de figuras.....	9
Introducción	12
CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO	13
1.1 P.A.C.C.S.A. Ingeniería S.A de C.V.....	13
1.1.1 Carretera Ecuandureo-la Piedad	15
1.2 Justificación	17
1.3 Objetivo general.....	18
1.3.1 Objetivos particulares	18
1.4 Alcances y limitaciones	18
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO.....	20
2.1 Capa de rodadura.....	20
2.2 Tipos de proyecto.....	21
2.2.1 Proyecto de Construcción	21
2.2.3 Proyecto de Mejoramiento	22
2.2.4 Proyectos de rehabilitación.....	22
2.2.5 Proyectos de mantenimiento rutinario.....	23
2.2.6 Proyecto de mantenimiento periódico	23
2.3 Métodos para el diseño de mezcla asfáltica	24
2.3.1 Metodología Marshall	24
2.3.2 Método Superpave.....	26
2.3.3Método Hveem	28
2.3.4 Protocolo AMAAC.....	31

2.4 Pavimentos.....	35
2.4.1 Principales funciones de un pavimento	36
2.4.2 Clasificación de los pavimentos	36
2.5 Normatividades.....	38
2.6 Plantas de Producción de Mezcla Asfáltica	39
2.6.1 Planta de Producción Continua	40
2.6.2 Planta de Producción Discontinua	41
2.7 Mezclas asfálticas	42
2.7.1 Ensayes de Laboratorio para Mezcla Asfáltica de Alto Desempeño	43
2.8 Materiales pétreos	52
2.8.1 Tipos de Materiales Pétreos.....	52
2.8.2 Clasificación según su tamaño	53
2.8.3 Ensayes de Laboratorio para Agregados Pétreos	54
2.9 Materiales asfálticos	64
2.10 Especificaciones y Ensayes de Laboratorio para el Material Asfáltico	69
2.10.1 Punto de inflamación	70
2.10.2 Viscosidad Dinámica	71
2.10.3 Punto de Reblandecimiento.....	72
2.10.4 Recuperación Elástica por Torsión.....	73
2.10.5 Recuperación Elástica en Ductilómetro	74
2.10.6 Módulo Reológico de Corte Dinámico	75
2.10.7 Perdida por Calentamiento y Pruebas Después de Partícula Delgada y Aire de Horno.....	76
2.10.8 Método de ensayo de penetración	77
CAPÍTULO III DESARROLLO.....	79
3.1 Actividades de muestreo y separación de material pétreo	79
3.2 Procedimientos empleados y actividades desarrolladas para materiales pétreos	83
3.3 Procedimientos empleados y actividades desarrolladas para el asfalto.....	99
3.4 Procedimientos empleados y actividades desarrolladas para la mezcla asfáltica	108
CAPITULO IV RESULTADOS.....	113
4.1 Resultados de la mezcla asfáltica analizada	113
4.1 Resultados de diseño de carpeta asfáltica	123

Conclusión	124
Competencias desarrolladas	125
Referencias	126
Anexos	129
Anexos	130

Índice de tablas

TABLA 1 NORMATIVA PARA MATERIAL PÉTREO (AUTORÍA PROPIA)	43
TABLA 2 TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO, MEDIDA DE DIÁMETRO Y ALTURA EN MM (AYALA Y., 2018)	44
TABLA 3 PARÁMETROS DE VACÍOS DE AIRE PARA TRES DIFERENTES ESPECÍMENES (AYALA Y., 2018)	45
TABLA 4 PARÁMETROS DE COMPACTACIÓN DEPENDIENDO EL NIVEL DE TRANSITO (AYALA Y., 2018)	45
TABLA 5 NÚMERO DE CICLOS PARA LA SECUENCIA DE ENSAYO (DELGADO H., 2020)	48
TABLA 6 LÍMITES RECOMENDADOS PARA LOS INDICADORES DE CALIDAD DE LOS DATOS (DELGADO H., 2020)	48
TABLA 7 MUESTRA DE ENSAYO, MÉTODO A (AYALA, 2019)	58
TABLA 8 MUESTRA DE ENSAYO, MÉTODO B (AYALA, 2019).....	58
TABLA 9 CLASIFICACIÓN DE LOS CEMENTOS ASFÁLTICOS SEGÚN SU VISCOSIDAD DINÁMICA A 60° C (SCT, NCMT405001/22, 2022)	67
TABLA 10 CLASIFICACIÓN DE EMULSIONES SEGÚN SU TIPO Y SU CONTENIDO DE ASFALTO (SCT, NCMT405001/22, 2022)	68
TABLA 11 CLASIFICACIÓN DE ASFALTOS SEGÚN SU VELOCIDAD DE FRAGUADO Y EL TIPO DE SOLVENTE (SCT, NCMT405001/22, 2022)	69
TABLA 12 VALORES PERMISIBLES EN RESULTADOS DE PENETRACIÓN. (SCT, MMMP405006/00, 2000).....	78
TABLA 13 APARTADO 6, MÉTODO A, (AYALA, 2019).....	88
TABLA 14 RESULTADOS, REQUERIMIENTOS Y FORMATOS CON CÁLCULOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO PARA MATERIALES PÉTREOS DE LA MEZCLA (AUTORÍA PROPIA)	114
TABLA 15 RESULTADOS DE LA GRANULOMETRÍA DE LOS AGREGADOS Y PUNTOS DE CONTROL DE LA GRÁFICA (AUTORÍA PROPIA).....	118
TABLA 16 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL ASFALTO RESPECTO A LOS DATOS DEL CERTIFICADO DE CALIDAD DEL PROVEEDOR (AUTORÍA PROPIA).....	121
TABLA 17 RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES EVALUADAS DE LA MEZCLA Y PARÁMETROS A RESPETAR (AUTORÍA PROPIA)	122
TABLA 18 RESULTADOS DE LA MEZCLA ASFÁLTICA (AUTORÍA PROPIA).....	123

Índice de figuras

FIGURA 1 SERVICIOS Y LOGO DE P.A.C.C.S.A INGENIERÍA (INGENIERÍA, 2017)	13
FIGURA 2 SE MUESTRA LA SECUENCIA PARA ELABORAR UN DISEÑO DE MEZCLA ASFÁLTICA.	14
FIGURA 3 KILOMETRAJE DE UN SECTOR DE LA CARRETERA ECUANDUREO-LA PIEDAD (AUTORÍA PROPIA).....	15
FIGURA 4 UBICACIÓN Y KILOMETRAJE DE LA CARRETERA ECUANDUREO-LA PIEDAD, TRAMO DOS (AUTORÍA PROPIA)	16
FIGURA 5 ZONA DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES PÉTREOS, BANCO MONTEVERDE (AUTORÍA PROPIA).....	18
FIGURA 6 LIMITES PARA LAS GRANULOMETRÍAS SUPERPAVE (SUAREZ, 2003)	28
FIGURA 7 DISPOSITIVO PARA PRUEBAS TRIAXIALES; DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD (SUCAPUCA, 2017)	29
FIGURA 8 DISPOSITIVO QUE DETERMINA LA TORSIÓN SOPORTADA POR LA MEZCLA ASFÁLTICA (CIENTIFICA, 2003).....	30
FIGURA 9 NIVELES PARA DISEÑO SEGÚN EVALUACIÓN PROTOCOLO AMAAC (SOLORIO, 2018).....	32
FIGURA 10 PARÁMETROS VOLUMÉTRICOS SOLICITADOS PARA UNA MEZCLA EN CALIENTE PROTOCOLO AMAAC	33
FIGURA 11 CARACTERÍSTICAS DE CALIDAD EN BANCO DE MATERIALES (A.C., 2016)	34
FIGURA 12 REQUISITOS DE GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO PARA CARPETAS ASFÁLTICAS DE GRANULOMETRÍA Densa (A.C., 2016).....	35
FIGURA 13 TENDIDO, TREN DE COMPACTACIÓN DE PAVIMENTO FLEXIBLE (AUTORÍA PROPIA).....	36
FIGURA 14 EQUIPO DE PLANTA CONTINUA (E-ASPHALT, 2005).....	40
FIGURA 15 EQUIPO Y COMPONENTES DE PLANTA DISCONTINUA (AUTORÍA PROPIA)	41
FIGURA 16 MORDAZA PARA TENSIÓN INDIRECTA (AYALA Y., 2018)	46
FIGURA 17 DISPOSITIVO DONDE SE COLOCAN LOS PINES Y SE VERIFICA EL SISTEMA DE MEDICIÓN (AYALA, 2019)	49
FIGURA 18 COLOCACIÓN DE PARAFILM, PARA ESPECÍMENES CON ABSORCIÓN MAYOR A 2.0% (AYALA Y., 2018)	50
FIGURA 19 TENDENCIAS DE CURVAS GRANULOMÉTRICAS RESPECTO AL TAMIZ Y AL PORCENTAJE DE PARTÍCULAS QUE PASAN (AYALA, 2019)	54
FIGURA 20 ESPECIFICACIÓN DE LA COMPACTACIÓN DEL MATERIAL FINO (AYALA, 2019)	55
FIGURA 21 EQUIPO PARA DETERMINAR EQUIVALENTE A MATERIAL FINO, PROBETAS, PISÓN E IRRIGADOR (AUTORÍA PROPIA)	56
FIGURA 22 EQUIPO PARA PRUEBA, BURETA SOBRE VASO DE PRECIPITADO Y AGITADOR (AYALA, 2019).....	57
FIGURA 23 DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL GRUESO “GRAVA” (AUTORÍA PROPIA)	59
FIGURA 24 MAQUINARIA DE LOS ÁNGELES PARA DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DEL AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN E IMPACTO (AYALA, 2019).....	60
FIGURA 25 MAQUINA MICRO-DEVAL, CAPAZ DE DETERMINAR LA RESISTENCIA A LA ABRASIÓN Y DURABILIDAD DEL AGREGADO PÉTREO (AUTORÍA PROPIA)	61

FIGURA 26 MATERIAL PÉTREO EXPUESTO AL SULFATO DE MAGNESIO O SULFATO DE SODIO (CIEN, 2020).....	62
FIGURA 27 VISTA DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL MÁXIMA DE LA PARTÍCULA A INSPECCIONAR (AYALA, 2019)	63
FIGURA 28 EQUIPO PARA DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LARGADAS Y PLANAS DEL AGREGADO GRUESO (AUTORÍA PROPIA)	64
FIGURA 29 EQUIPO PARA DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LARGADAS Y PLANAS DEL AGREGADO GRUESO (SCT, NCMT405001/22, 2022).....	66
FIGURA 30 PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND DEL ASFALTO (AUTORÍA PROPIA)	70
FIGURA 31 VISCOSÍMETRO ROTACIONAL (INVIAS, 2012)	71
FIGURA 32 MONTAJE DEL SISTEMA DE SOPORTE, AROS Y ESFERAS (SCT, MMMP405009/00, 2000)	72
FIGURA 33 RECIPIENTE CON LA MUESTRA Y BAÑO DE AGUA PARA EL ENSAYO (SCT, MMMP405024/21, 2021)	73
FIGURA 34 REÓMETRO DE CORTE DINÁMICO TÍPICO (SCT, MMMP405025/02, 2002).....	75
FIGURA 35 EQUIPO PARA PENETRACIÓN DE ASFALTO, PENETRÓMETRO (AUTORÍA PROPIA)	77
FIGURA 36 PRODUCCIÓN DE TRITURACIÓN MONTEVERDE (AUTORÍA PROPIA).....	79
FIGURA 37 MUESTREO DE AGREGADOS PÉTREOS (AUTORÍA PROPIA)	79
FIGURA 38 CUARTEO Y MASA VOLUMÉTRICA DEL MATERIAL PÉTREO (AUTORÍA PROPIA)	80
FIGURA 39 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA PERDIDA DE HUMEDAD (AUTORÍA PROPIA)	80
FIGURA 40 GRANULOMETRÍAS DE AGREGADOS PÉTREOS (AUTORÍA PROPIA).....	81
FIGURA 41 PROPUESTA GRANULOMÉTRICA EN SECO (AUTORÍA PROPIA).....	82
FIGURA 42 AFORO DE PICNÓMETRO (A), CONO TRUNCADO Y PISÓN (B), (AUTORÍA PROPIA)	84
FIGURA 43 DETERMINACIÓN DE GRAVEDAD ESPECÍFICA (A) Y ABSORCIÓN DEL MATERIAL FINO (B), (AUTORÍA PROPIA)	84
FIGURA 44 PREPARACIÓN DE PROBETAS (A), Y PRIMERA LECTURA DE MATERIAL (B), (AUTORÍA PROPIA).....	86
FIGURA 45 AGITADOR MECÁNICO (A) Y PROCESO DE IRRIGACIÓN PARA EQUIVALENTE DE ARENA (B), (AUTORÍA PROPIA)	86
FIGURA 46 AGITACIÓN DE LA ARCILLA (A) Y TOMA DE LA MUESTRA EN EL PRIMER MINUTO (B), (AUTORÍA PROPIA)	87
FIGURA 47 TERMINACIÓN DE LA PRUEBA (AUTORÍA PROPIA).....	87
FIGURA 48 EQUIPO Y VACIADO DE MATERIAL EN EL MOLDE CILÍNDRICO, (AUTORÍA PROPIA)	89
FIGURA 49 PRIMERA LECTURA DEL CILINDRO CON MATERIAL, (AUTORÍA PROPIA)	90
FIGURA 50 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA PARA SATURACIÓN DE 24 HRS., (AUTORÍA PROPIA)	91
FIGURA 51 CONDICIÓN SATURADA SUPERFICIALMENTE SECA, PRIMERA LECTURA DE MASA, (AUTORÍA PROPIA)	92
FIGURA 52 TAMBOR DE MÁQUINA DE LOS ÁNGELES, (AUTORÍA PROPIA)	93
FIGURA 53 MATERIAL LAVADO Y SECO Y LA CARGA ABRASIVA, (AUTORÍA PROPIA)	94
FIGURA 54 MATERIAL RETENIDO LAVADO LISTO PARA INGRESAR A LA MÁQUINA MICRO-DEVAL, (AUTORÍA PROPIA)	95
FIGURA 55 AGREGADO EXPUESTO A SULFATO DE SODIO, (AUTORÍA PROPIA).....	96

FIGURA 56 REVISIÓN VISUAL DE LA MUESTRA PARA DETERMINAR PARTÍCULAS FRACTURADAS (AUTORÍA PROPIA)	97
FIGURA 57 DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS LAJEADAS (AUTORÍA PROPIA)	98
FIGURA 58 DETERMINACIÓN DE PARTÍCULAS ALARGADAS (AUTORÍA PROPIA)	98
FIGURA 59 DATOS DE PROVEEDOR ASFALTO MODIFICADO, (AUTORÍA PROPIA) MÓDULO REOLÓGICO DE CORTE DINÁMICO	99
FIGURA 60 MUESTREO DE ASFALTO MODIFICADO, (AUTORÍA PROPIA)	100
FIGURA 61 PUNTO DE INFLAMACIÓN CLEVELAND DEL ASFALTO, (AUTORÍA PROPIA)	101
FIGURA 62 PUNTO DE REBLANDECIMIENTO, (AUTORÍA PROPIA)	103
FIGURA 63 PENETRACIÓN DEL ASFALTO, (AUTORÍA PROPIA)	104
FIGURA 64 RECUPERACIÓN ELÁSTICA POR TORSIÓN, (AUTORÍA PROPIA)	106
FIGURA 65 MÓDULO REOLÓGICO DE CORTE DINÁMICO, (AUTORÍA PROPIA)	107
FIGURA 66 MUESTREO Y CUARTEO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, (AUTORÍA PROPIA)	108
FIGURA 67 LAVADO DE MUESTRA EN EL ROTAREX, (AUTORÍA PROPIA)	109
FIGURA 68 GRANULOMETRÍA DEL MATERIAL PÉTREO DE LA MEZCLA ASFÁLTICA, (AUTORÍA PROPIA)	109
FIGURA 69 ESPECÍMENES PARA DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS, (AUTORÍA PROPIA)	110
FIGURA 70 MUESTRA (A) Y ENSAYO DE TENSIÓN INDIRECTA A 25°C (B), PARA DETERMINACIÓN DE TSR, (AUTORÍA PROPIA)	111
FIGURA 71 ENSAYO DE RUEDA DE HAMBURGO, (AUTORÍA PROPIA)	111
FIGURA 72 ENSAYO PARA DETERMINAR EL MÓDULO DINÁMICO, (AUTORÍA PROPIA)	112

Introducción

La ingeniería civil cumple un papel muy importante en la construcción de carreteras en todo el país, implementar carreteras nuevas en lugares desconocidos, dar mantenimiento y remodelación a las carreteras ya existentes que por el paso del tiempo exigen más demanda, al igual que cuidados preventivos que al no atenderse pueden causar daños futuros derivado al uso y el intemperismo. Es de suma importancia conocer los diferentes materiales en las regiones en donde se encuentra cualquier carretera, ya que mediante la estructura y el comportamiento de los materiales que la componen es el resultado de la durabilidad que presente.

Para conocer el comportamiento de los materiales llamados agregados pétreos y en conjunto con el cemento asfáltico, existen métodos de elaboración de pruebas en laboratorio los cuales encontramos en el Manual de Ensayos para Laboratorio Mezclas Asfálticas en Caliente (MAC) parte uno y dos, y el Manual para Laboratorio de Agregados Pétreos que permiten conocer el comportamiento particular y específico de todos los materiales a utilizar. Cuando se habla de un diseño es necesario implementar un método el cual cumpla la necesidad de la solicitud, y que se adapte a la normativa mexicana como lo es AMAAC (Asociación Mexicana de Asfalto, A. C.). En este caso se utiliza protocolo AMAAC Nivel III, que en conjunto con la normativa extranjera ASTM (American Society for Testing and Materials) y AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) se realiza una implementación de los parámetros mencionados por las normativas anteriores, las cuales brindan seguridad y confianza en los resultados de un diseño de mezcla asfáltica densa de alto desempeño.

CAPÍTULO I GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1 P.A.C.C.S.A. Ingeniería S.A de C.V.

La empresa P.A.C.C.S.A. INGENIERIA se enfoca principalmente en la prestación de servicios de ingeniería en los rubros de:

Supervisión integral en la construcción de carreteras, aeropuertos y vialidades urbanas consiste en el control técnico-administrativo de avances físico-financieros de la obra, elaboración de informes, revisión de estimaciones y sus generadores de obra, ajuste de costos, bitácora, dictámenes, procedimientos constructivos, programas de obra, control y aseguramiento de calidad en obras de vías terrestres y de obra civil, realizando estudios y ensayos de laboratorio para la verificación de calidad de los materiales de construcción.



Figura 1 Servicios y logo de P.A.C.C.S.A Ingeniería (Ingeniería, 2017)

En la participación en P.A.C.C.S.A. ingeniería se realizó principalmente el estudio a diferentes bancos de materiales pétreos y así elegir los materiales a utilizar determinando sus características granulométricas, después se hizo selección del cemento asfáltico, así como su contenido de diseño, evaluación de la susceptibilidad a la deformación (rueda de Hamburgo) y a la resistencia al daño inducido por humedad (TSR), todas estas en las pruebas de ensaye en laboratorio. Posterior a esto se dio el seguimiento con las pruebas necesarias para verificar que el diseño se lleve a cabo y cumpla con lo establecido, lo cual se presentará en el capítulo IV.

El diagrama siguiente expresa la secuencia en la cual se desarrolla la participación en la determinación para el diseño de una mezcla de alto desempeño hasta la verificación para dicho diseño.

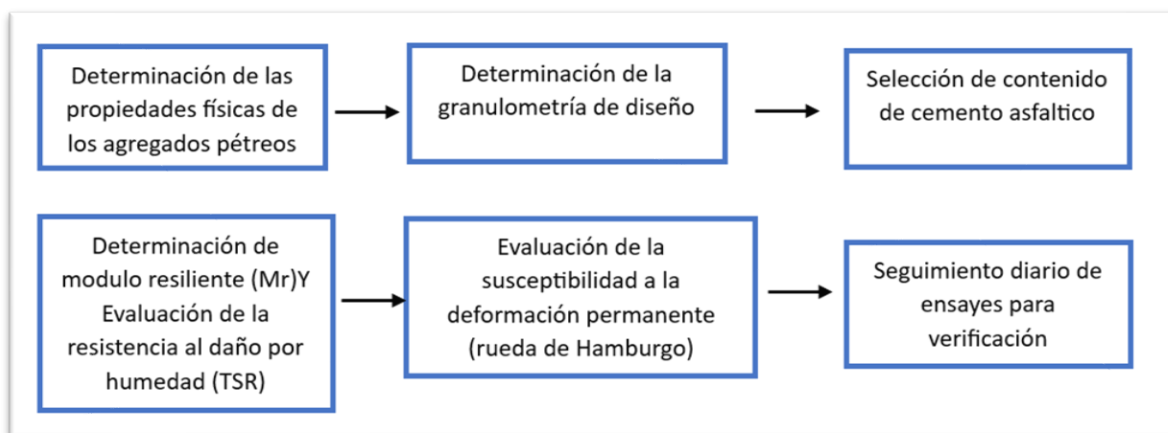


Figura 2 Se muestra la secuencia para elaborar un diseño de mezcla asfáltica.

1.1.1 Carretera Ecuandureo-la Piedad

Se trabaja en la modernización y ampliación de una carretera de 7m de ancho de calzada a una carretera tipo A2 (12m), con una longitud de tramo de 22 km aproximadamente del kilómetro 20+920 al kilómetro 43+000, como se muestra en la figura 3.

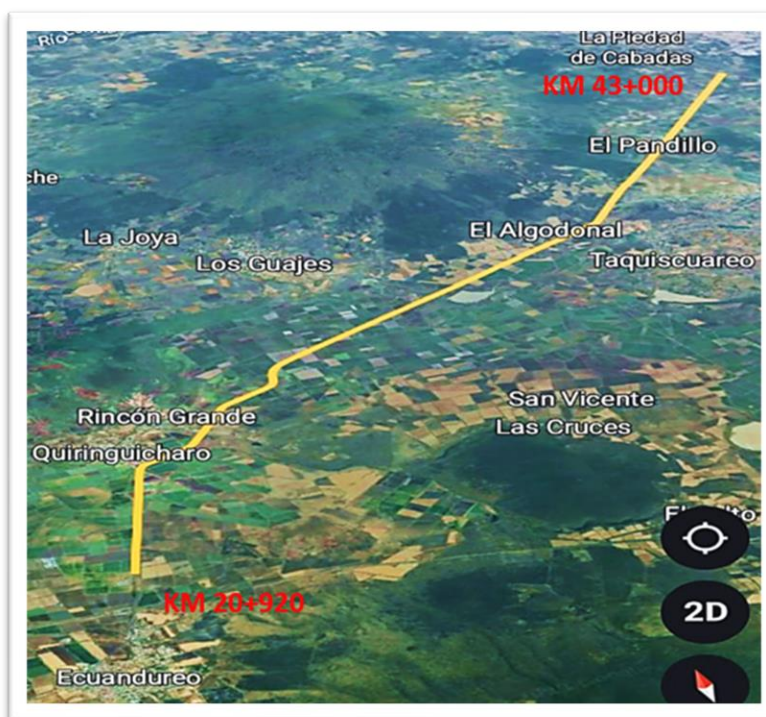


Figura 3 kilometraje de un sector de la carretera Ecuandureo-la piedad (Autoría propia)

Al igual que la modernización y ampliación de una carretera de 12m de ancho de calzada a una carretera de 16m de ancho de calzada (tipo boulevard), con una longitud de tramo de 4km aproximadamente, del kilómetro 77+000 al kilómetro 81+000, mostrada en la figura 4.

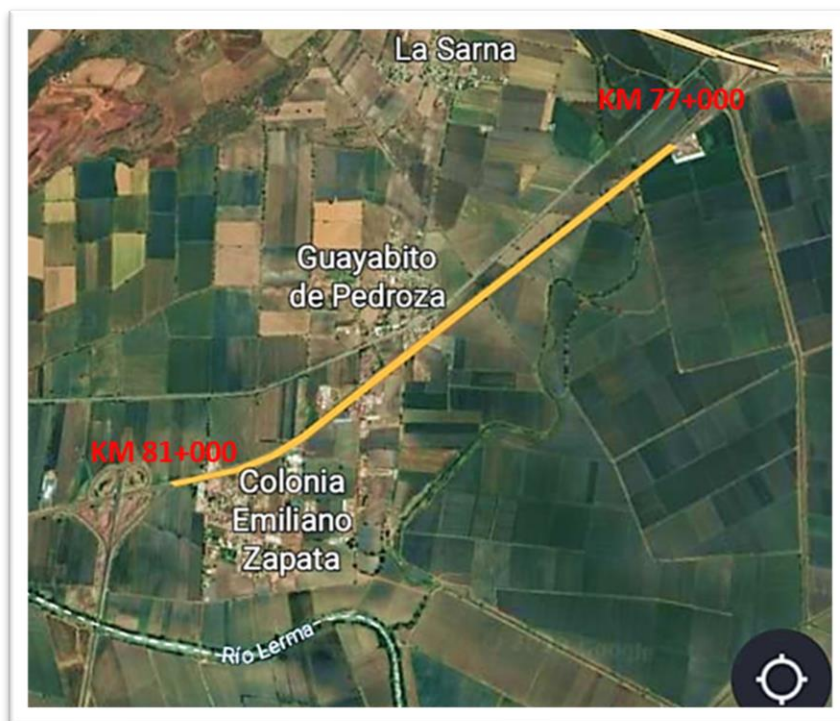


Figura 4 Ubicación y kilometraje de la carretera Ecuandureo-La Piedad, tramo dos (Autoría propia)

En esta obra se pretende reducir el tiempo de recorrido de 45 a 25 minutos, mejorando la conectividad de los municipios de Zamora, Ecuandureo, la Piedad y las ciudades de Morelia y Guadalajara, siendo un proyecto de alta infraestructura, convirtiendo la vía en una autopista de 22 kilómetros de alta especificación, libre de peaje para los usuarios, con el objetivo de fortalecer la productividad económica y social en dichas ciudades, principalmente beneficiando al municipio de la Piedad Michoacán para mejorar la conectividad con los estados aledaños y en menor tiempo de recorrido.

1.2 Justificación

Se pretende establecer una ruta más amplia para reducir el tiempo de recorrido entre los municipios de Zamora, Ecuandureo, La piedad y las ciudades de Morelia y Guadalajara. Para esto se desarrolló la elaboración de un diseño de mezcla asfáltica que cumpla su función de capa de rodadura, considerando un tránsito de 7000 vehículos al año y que tenga una vida útil de al menos 20 años.

Para cubrir una necesidad de 7000 vehículos al año, es necesario implementar protocolo AMAAC nivel III ya que el nivel de estudio de diseño se determina hasta el módulo dinámico, el cual se usa únicamente para poder calcular el espesor de la carpeta asfáltica, este es de suma importancia para la carga a la que se va a diseñar. Para desarrollar el diseño antes mencionado, se necesitan conocer los valores específicos para el diseño, características y la calidad de los materiales mediante la normativa aplicada para la infraestructura del transporte de la secretaria de comunicaciones y transporte (SCT), así como las normas (N) que propone los valores específicos para el diseño y los manuales (M) que contienen el completo de los métodos, procedimientos y especificaciones para la realización de todas las pruebas, todo esto en conjunto con los parámetros indicados en protocolo AMAAC para la calidad de una mezcla densa en caliente.

Si los resultados obtenidos conforme lo mencionado en las normas son satisfactorios según las especificaciones y rangos, pueden ser utilizados; de lo contrario son desechados y se realiza la búsqueda hasta encontrar que los materiales cumplan las características necesarias y que tengan como fin una mezcla de alto desempeño con las especificaciones de AMAAC Nivel III.

1.3 Objetivo general

Diseñar una mezcla asfáltica de alto desempeño en base a protocolo AMAAC (Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.) nivel III

1.3.1 Objetivos particulares

Analizar la información de la normativa vigente en el diseño de mezclas asfálticas.

“Prediseñar una mezcla asfáltica a utilizar en una carretera tipo A2.

1.4 Alcances y limitaciones

Se realiza la ampliación y modernización de la carretera en terracerías, base hidráulica, carpeta asfáltica, puentes vehiculares y concreto en áreas necesarias. El presente proyecto busca determinar un diseño de mezcla asfáltica solo para la carpeta asfáltica de dicha carretera con los requerimientos solicitados según protocolo AMAAC (Asociación Mexicana del Asfalto, A.C.) nivel III. Así como el seguimiento del control de los materiales a utilizar provenientes del banco denominado “Monteverde”, del cual se extraerá todo el material a utilizar y el diseño se deberá adecuar a las características de los materiales pétreos obtenidos.



Figura 5 Zona de extracción de materiales pétreos, banco Monteverde (autoría propia)

Se utiliza una planta asfáltica de tipo discontinuo (planta de bachas), donde se asegure la eficiencia en el secado y el calentamiento del material pétreo, con aislamiento térmico previo a la dosificación.

Para asegurar la eficiencia del diseño, se realiza en un laboratorio aprobado que cuente con el reconocimiento AMAAC-IMT en la categoría de mezclas asfálticas nivel III y conforme al procedimiento indicado en el protocolo de diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño de la Asociación Mexicana del Asfalto (AMAAC) PA-MA01/2013¹, considerando un nivel III de diseño de mezclas. Con esto se garantiza un diseño de mezcla asfáltica tomando en cuenta las características de los materiales pétreos, considerando que la ampliación será de siete metros de calzada a 12 metros de ancho, conformando una vialidad tipo A2 alojando un tránsito promedio diario anual de 7000 vehículos, con lo que se pretende analizar en el diseño que ofrece un periodo de vida útil de entre 20 y 30 años, considerando el concepto de rehabilitación del 1% del coste de la obra en los primeros años y 1.6 % del coste de ejecución de la obra en los años restantes, según los costos producidos por la realización y conservación de la obra.

¹ PA-MA01/2013 Protocolo para la gestión de activos carreteros de México

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1 Capa de rodadura

La capa de rodadura es la capa superior y final que se encuentra en una carretera, el tamaño y características de esta superficie de rodamiento dependen de la cantidad de automóviles, vehículos de carga que transiten en ella, así como el lugar donde se encuentre y la importancia que tenga dicha carretera.

Capa de rodado: “es la capa expuesta al tránsito vehicular, compuesta de agregados y cementos asfálticos tradicionales o modificados, diseñada para resistir el desgaste y conservar las propiedades antideslizantes” (Guerra, 2017).

Como se define anteriormente, la capa de rodadura o capa de rodado está diseñada para resistir el desgaste que sufre por el paso de los vehículos; es por esto que existe una clasificación según el tránsito promedio diario en cada carretera.

México cuenta con una Secretaria encargada de la clasificación técnica de carreteras llamada Secretaria de Comunicaciones y Transportes (S.C.T.) y son clasificadas de la siguiente manera:

Tipo especial: Para tránsito promedio diario anual superior a 3000 vehículos, las cuales en la corona cuentan con cuatro carriles en un solo cuerpo y se designan A2 y A4 respectivamente, o empleando cuatro carriles en dos cuerpos nombrados A4, S.

Tipo A. Para un tránsito promedio diario anual de 1500 a 3000, tránsito horario máximo anual 180 a 360 vehículos (12% del T.P.D.²)

Tipo B. para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1500 vehículos, tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos (12% del T.P.D.).

Tipo C. para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos (12% del T.P.D.) (Cuevas, 2023)

Los ingenieros profesionales deben tener conocimiento del tipo de tránsito, así como del tipo de camino que ya está construido, con esto podrán determinar la necesidad en cuanto al tipo

² T.P.D: Transito Promedio Diario

de carretera y al volumen de dicho tránsito, así decidir una ampliación o alguna modificación; como lo menciona (Baneo Guerrero, 2016), se debe realizar un análisis de oferta donde se efectúan la oferta actual y su evolución a futuro, conocer las características técnicas y funcionales en los diferentes tramos de la vía actual, definiendo sus estándares actuales y posible crecimiento, teniendo como resultado mejoras en la gestión y mejora en los niveles de servicio de la carretera actual.

Sin en cambio, si el proyecto será nuevo serán necesarios estudios geográficos, físicos, socioeconómicos y políticos de la región donde se realizará, para poder obtener datos con los cuales proyectar y posteriormente diseñar.

2.2 Tipos de proyecto

Para ejecutar un proyecto de carretera (Agudelo Ospina, 2002) señala que existen cinco tipos de proyectos de acuerdo a las actividades que involucra cada uno, los cuales son:

2.2.1 Proyecto de Construcción

Este proyecto se trata de una proyección de carretera donde no existe ninguna vía o se va a continuar una ya existente. Complementa todas las obras que se presentan dentro de un proyecto.

- desmonte y limpieza
- explanación
- obras de drenaje
- subbase, base y capa de rodadura
- tratamientos superficiales
- señalización vertical
- demarcaciones líneas
- puentes
- túneles
- obras de contención.

2.2.3 Proyecto de Mejoramiento

En este proyecto se pretende modificar la geometría y dimensiones existentes de la vía con el fin de mejorar su nivel de servicio adecuando las características a las necesidades actuales y a futuro refiriéndose al tránsito existente. Comprende los trabajos de;

- ampliación
- rectificación
- pavimentación.

La ampliación se puede ejecutar en la calzada existente, la rectificación se refiere al mejoramiento horizontal y vertical con el fin de garantizar una velocidad de diseño apta para el tránsito. La pavimentación corresponde al diseño y construcción de la estructura de pavimentos.

Se requiere un proyecto geométrico donde se realice una ampliación de calzada, construcción de nuevos carriles, estabilización de afirmados y construcción de bermas.

2.2.4 Proyectos de rehabilitación

Este proyecto se refiere a la recuperación de condiciones iniciales de la vía existente de tal manera que cumplan con las especificaciones técnicas con que fue diseñada inicialmente, comprende las siguientes actividades;

- construcción de obras de drenaje
- recuperación de capa de rodadura
- reconstrucción de subbase y/o capa de rodadura
- obras de estabilización.

2.2.5 Proyectos de mantenimiento rutinario

Este mantenimiento se ejecuta a vías pavimentadas y no pavimentadas, refiriéndose a la conservación permanente de las zonas laterales y a intervenciones de emergencias en la carretera, con el fin de mantener las condiciones óptimas, así como seguras en la circulación de los vehículos. Las principales actividades son;

- limpieza de obras de drenaje
- reconstrucción de cunetas, reconstrucción de zanjas de coronación
- perfilado y compactación de la superficiales
- riegos de vigorización de la capa de rodadura
- limpieza y reparación de señalización
- remoción de derrumbes
- limpieza de obras de drenaje

2.2.6 Proyecto de mantenimiento periódico

Se realiza a las vías que ocupen un mantenimiento variable de tres a cinco años. Principalmente su función es recuperar el deterioro de la capa de rodadura ocasionado por el tránsito y por efectos climáticos. Pueden realizarse algunas obras de drenaje menores y de protección faltantes, las principales actividades son:

- limpieza y reconstrucción de cunetas
- escarificación del material de afirmado existente
- extensión y compactación del material para recuperación de espesores
- reposición de pavimento parcial
- demarcación lineal
- señalización vertical

2.3 Métodos para el diseño de mezcla asfáltica

Sobre los métodos existentes para mezclas asfálticas (Rico, 2012) afirmo lo siguiente:

La mayor parte de los métodos de diseño de espesores tienen como base una prueba de laboratorio o un conjunto de pruebas, que se supone sirven como índice para representar el comportamiento real de los pavimentos por medio de alguna correlación o conjunto de correlaciones más o menos razonables y seguras, que deben de existir entre el comportamiento de los materiales en el laboratorio y en la estructura. (p. 54)

Como se menciona anteriormente, para realizar un diseño teniendo como objetivo el encontrar una combinación ideal de agregados finos y gruesos en conjunto con el contenido de asfalto adecuado, existen varios métodos los cuales tienen en común una o varias pruebas de laboratorio, quienes determinan el tipo de estudio que lleva cada uno en particular. Así también se considera el costo que conlleva, la vida útil que se estima, la necesidad del nivel de tránsito, siendo estos conceptos básicos e indispensables para un diseño; Los métodos son:

2.3.1 Metodología Marshall

“El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentos fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de Autopistas del estado de Mississippi con su investigación desarrolló este criterio enfocado al diseño de mezclas asfálticas” (Garnica Anguas, 2005)

Esta investigación y estudios mejoró la metodología que pretende determinar el contenido óptimo de asfalto para una combinación específica en los agregados, también provee información sobre las propiedades de la mezcla asfáltica en caliente. Este método es aplicable únicamente para mezclas en caliente para pavimentación que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1”) o menor.

El método marshall modificado se desarrolló para materiales con tamaño máximo arriba de 38mm (1.5”), y está elaborado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente con una graduación densa, esto debido a que la prueba de estabilidad es naturaleza empírica. Se utilizan especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 1/2”) de alto y 102 mm (4”) de

diámetro, las cuales se ensayan a una temperatura de 60°C; se preparan mediante el procedimiento (ASTM D1559).³

En el método Marshall se elaboran tres tipos de pruebas para conocer tanto sus características volumétricas como mecánicas (Garnica Anguas, 2005):

Determinación de gravedad específica

Esta prueba se puede desarrollar cuando el espécimen se haya enfriado en un cuarto de temperatura. Esta prueba se hace de acuerdo a la norma ASTM D 1188⁴, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas utilizando parafina o la ASTM D 2726⁵, gravedad específica de mezclas asfálticas compactadas mediante superficies saturadas de especímenes secos. Para conocer qué norma utilizar se debe hacer prueba de absorción de mezcla asfáltica compacta, en donde si la absorción es mayor a 2% se utiliza la norma ASTM D1188, en caso contrario se emplea la norma ASTM D2726.

Prueba de estabilidad y flujo

Posteriormente de obtener la gravedad específica se realiza la prueba de estabilidad y flujo, la cual consiste en sumergir el espécimen en un baño maría a 60°C ±1 °C (140°F ±1.8°F) de 30 a 40 minutos antes de la prueba. Cuando el equipo esté listo, se remueve el espécimen colocado anteriormente en un baño maría y cuidadosamente se seca la superficie, se coloca en la mordaza inferior bien ubicado y centrado, y después se coloca la mordaza superior del aparato de carga.

Se aplica carga al espécimen a una deformación cortante de 51mm por minuto hasta llegar a la falla, este punto de falla se define por la lectura de carga obtenida, siendo el número de Newtons (lb) requeridos para obtener el valor de estabilidad Marshall. Mientras la prueba de estabilidad está en proceso y si cuenta con el medidor de flujo sobre la barra guía, en el momento que la carga disminuya se toma la lectura y se registra como el valor de flujo final. La diferencia entre el valor de flujo final e inicial expresado en unidades de 0.25mm (1/100”), será el valor de flujo Marshall.

³ ASTM D1559 Test Method for Resistance of Plastics Flow of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus

⁴ ASTM D1188 Standard test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Compacted Bituminous Mixtures Using Coated Samples

⁵ ASTM D2726 Standard Test Method for Bulk Specific Gravity and Density of Non-Absorptive Compacted Bituminous Mixtures

Análisis de densidad y vacíos

Después de completar las pruebas anteriores, se lleva a cabo el análisis de densidad y vacíos para cada serie de especímenes. Principalmente, se determina la gravedad específica teórica máxima mediante la norma ASTM D2041 ⁶ para al menos dos contenidos de asfalto, preferentemente los que estén cerca del contenido óptimo del asfalto.

Utilizando la gravedad específica y la gravedad específica efectiva del total de los agregados, así como el promedio de las gravedades específicas de las mezclas compactadas, la gravedad específica del asfalto y la gravedad específica teórica máxima de la mezcla asfáltica, se calcula el porcentaje de vacíos llenos con asfalto (VFA), y el porcentaje de vacíos en el agregado mineral (VMA).

2.3.2 Método Superpave

Según (Lazo Hinrichs, 2012), este método surge en Estados Unidos, antes utilizaba sistemas similares al nuestro, financió una investigación realizada a través del programa estratégico de investigación en carreteras SHRP (Strategic Highway Research Program), efectuada entre 1987 y 1993 con un costo aproximado de USD 50,000,000, la cual tuvo principal fin establecer un nuevo sistema que ayudara a predecir mejor el desempeño de los pavimentos a lo largo de su vida útil.

Se realizó la investigación de este método enfocado en producir una mezcla que se comporte adecuadamente, contemplando la selección rigurosa de los materiales y el proporcionamiento volumétrico de los mismos, estableciendo perfeccionamiento en el comportamiento a futuro de la estructura del pavimento ante variables como el clima y el tráfico.

⁶ ASTM D2041 Theoretical Maximum Specific Gravity and Density of Bituminous Paving Mixtures

El método Superpave está compuesto por tres niveles complejos, y según (Chimborazo, 2012), depende del nivel de tránsito ESAL y de la función de la mezcla en el pavimento:

Nivel Uno.

En este nivel se requiere el diseño volumétrico, se basa en las propiedades volumétricas de la mezcla, contenidos de vacíos (VA), vacíos en el agregado mineral (VMA) y vacíos llenos de asfalto (VFA):

- Selección de tipo de asfalto
- Selección de las propiedades de los agregados
- Preparación del espécimen de ensayo
- Selección del contenido de asfalto

Nivel dos (intermedio).

Este nivel considera como inicio el análisis volumétrico del nivel anterior; aunado a esto, considera:

- Ensayos de corte (SST, SUPERPAVE shear test)
- Ensayos de tensión indirecta (IDT, indirect tensile test)

Estos dos ensayos se realizan en diferentes ocasiones para obtener predicciones del comportamiento que muestre la mezcla.

Nivel 3 (avanzado y completo).

En este nivel se incluyen los niveles anteriores, se adicionan dos pruebas IDT y SST (indirect tensile test) a diferentes temperaturas, obteniendo un análisis completo de la mezcla. Con estas dos pruebas los resultados permiten estimar con gran precisión el comportamiento de la mezcla asfáltica, así también permite conocer la resistencia al desplazamiento, a grietas por fatiga o a grietas por baja temperatura en su vida útil.

Para especificar la granulometría del agregado, se emplean dos conceptos según (Suarez, 2003) puntos de control y una zona restringida.

Puntos de control son puntos de paso obligatorio para la curva granulométrica y corresponden al tamaño máximo nominal, tamaño intermedio (2.36mm) y un tamaño de finos (0.0075mm).

La zona restringida se ubica entre los tamaños intermedios (4.75 o 2.36 mm) y 0.3 mm forma una línea por donde la curva no debería pasar. Cabe mencionar que las granulometrías que pasan por debajo se llaman graduaciones con joroba por la forma característica, joroba que se forma en la curva al pasar por esa zona; en la mayoría de los casos, esta curva indica que cuenta con mucha arena fina en relación al total de la arena. Estas granulometrías dependen de la rigidez del cemento asfáltico para alcanzar una mezcla con resistencia al corte.

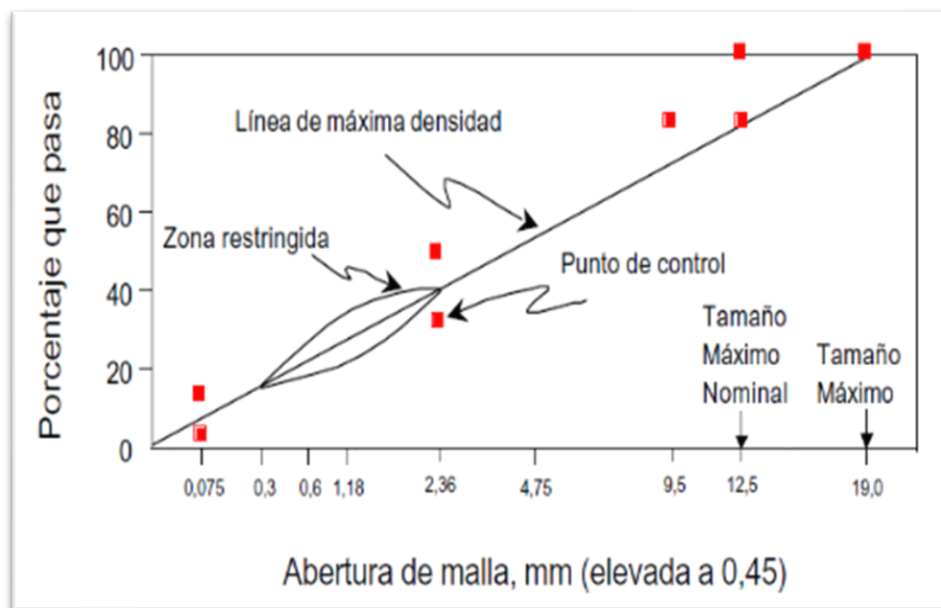


Figura 6 Límites para las granulometrías Superpave (Suarez, 2003)

2.3.3 Método Hveem

Hveem y Carmany desarrollaron en el Departamento de Carreteras de California un método de diseño de espesores de pavimentos flexibles que se fundamenta en el conjunto de pruebas de laboratorio. (Carlos, 2016)

Es importante conocer el comportamiento en conjunto de los elementos de una mezcla, como son los finos, gruesos y el asfalto, pero en este método de Hveen, se pretende conocer ensayos sobre combinaciones de estos materiales hasta establecer las proporciones y características adecuadas para las mezclas.

Para este método (Wulf Rodriguez, 2008), comprende tres ensayos principales de comprobación en las mezclas asfálticas:

2.3.3.1 Ensayo del estadiómetro



Figura 7 Dispositivo para pruebas triaxiales; determinación de la estabilidad (Sucapuca, 2017)

2.3.3.2 Ensayo del cohesiómetro



Figura 8 Dispositivo que determina la torsión soportada por la mezcla asfáltica (Científica, 2003)

2.3.3.3 Ensayo del equivalente centrífugo en keroseno (CKE)

Los ensayos del estabilómetro y del cohesiómetro son aplicables a mezclas que contengan asfaltos líquidos y finos cuyo tamaño máximo no exceda del 1" (2.5cm). Se utilizan probetas de 2½ (6.35cm) de altura y 4 (10cm) de diámetro que se compactan por procedimientos normalizados en un compactador por amasados.

Posteriormente, se determina la cantidad de huecos de la probeta compactada, que se calienta después a 60°C y se somete a ensayo en el estabilómetro Hveem, el cual es un tipo de ensayo triaxial en que se aplican cargas verticales y se miden las presiones laterales desarrolladas para determinar valores de cargas verticales. Los valores obtenidos se consideran de carácter relativo, la escala se ha establecido sobre la base de que, si la probeta fuera un líquido, la presión lateral sería igual a la presión vertical, y al que se atribuye una estabilidad relativa de 90, valores comprendidos para mezclas asfálticas de 0-90 (adimensional).

Después de realizado el ensaye de estabilómetro, se somete a la probeta al ensaye de cohesiómetro, que es un ensaye a flexión en el que la probeta se rompe por torsión. Al igual que el ensaye anterior, se somete a 60°C manteniendo la temperatura constante durante la duración del ensaye. La carga se aplica a velocidad cortante en el extremo de un brazo de palanca; cuando el brazo de la palanca ha descendido media pulgada (12mm), se detiene la caída de la granalla empleada para aplicar carga y se determina su peso.

En este método se emplea la determinación del contenido de asfalto óptimo. Se realiza un procedimiento denominado ensaye del equivalente centrífugo de queroseno (CKE). La porción que pasa el tamiz número 4 de mezcla se satura y se continúa centrifugándola. La parte restante que pasa por el tamiz 3/8" es retenida en el número 4, que se considera representativa del material grueso de la mezcla, se satura con lubricante o se deja escurrir durante 15 minutos a 60°C.

Todo lo utilizado, como el queroseno y el aceite retenido por el material, se considera el peso como dato para el procedimiento del cálculo del contenido óptimo de asfalto de la mezcla, comúnmente se realizan los ensayos antes explicados del estabilómetro y cohesiómetro en probetas con el contenido de asfalto indicado por el ensaye CKE y con contenidos de asfaltos mayores y menores para establecer el contenido óptimo de asfalto para posteriormente determinar las características físicas de la mezcla compactada.

2.3.4 Protocolo AMAAC

Se entiende como metodología de protocolo AMAAC lo siguiente:

Protocolo AMAAC es una nueva propuesta de diseño para mezclas asfálticas de alto desempeño para desplazar el método Marshall y para colocarse como normativa nacional como sucesor del SUPERPAVE desarrollado en Estados Unidos, pero adaptado a las características particulares de nuestro país. (Pérez García, 2009).

Se entiende en el protocolo AMAAC como recomendaciones las cuales se deben llevar a cabo según la normativa existente; implica una combinación de métodos explicados anteriormente donde el enfoque de estudio es semejante, pero considerando cuatro niveles de diseño.

En el año 2013, la Asociación Mexicana de Asfalto (AMAAC), al publicar AMAAC PA-MA 01/2013⁷, además de especificar las características técnicas que deben reunir las mezclas asfálticas densas de alto desempeño, AMAAC define criterios de selección del nivel de evaluación requerido en función de la importancia de la carretera determinada por nivel de tránsito o el desempeño deseado, todo esto descrito en (Solorio, 2018).

Para cada nivel de evaluación, el protocolo especifica las pruebas de laboratorio que deben realizarse a efecto de validar los diseños; adicionalmente, el protocolo establece los equipos y procedimiento de medición a través de las recomendaciones y normas.



Figura 9 Niveles para diseño según evaluación protocolo AMAAC (Solorio, 2018).

Para elaborar un diseño de mezcla asfáltica de alto desempeño, contempla tener una referencia adaptada a nuestro medio con lo que se puedan evaluar las competencias del laboratorio quien determinará dicho diseño de alto desempeño, lo cual obliga a una gestión adecuada de operación, conservación y desarrollo.

⁷ AMAAC PA-MA 01/2013 Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño

Con lo anterior (Solorio, 2018) menciona que el protocolo AMAAC evalúa competencias de un laboratorio en el diseño de mezclas de alto desempeño, lo que obliga a una gestión adecuada de la operación de conservación y desarrollo en las prácticas a nivel mundial en términos metodológicos y de uso de la tecnología.

Protocolo AMAAC con respecto a los materiales asfálticos, se basa de acuerdo a la norma SCTN-CMT-A-05-004/5.⁸ Según (Díaz Derbez, 2022) menciona lo que AMAAC considera según los cuatro niveles de estudio:

En el primer nivel de diseño, considera en base al diseño volumétrico y susceptibilidad a la humedad, la resistencia de las mezclas al daño incluido por humedad debe ser mayor al 80 % para el diseño volumétrico, el protocolo muestra lo siguiente:

Nivel de tránsito	Densidad requerida (% de la gravedad específica teórica máxima – Gmm)			Vacíos de agregado mineral mínimo en % – VMA					Vacíos llenos de asfalto en % (VFA)	Relación filler asfalto
	Nivel de compactación giratoria			Tamaño nominal (mm)						
	Nini	Ndis	Nmax	37,5	25	19	12,5	9,5		
I Bajo	≤ 91,5	96	≤ 98	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	70 - 80	0,6 – 1,2
II Medio	≤ 90,5								65 - 78	
III Alto	≤ 90,5								65 - 78	
IV Muy alto	≤ 89								65 - 75	

Figura 10 Parámetros volumétricos solicitados para una mezcla en caliente Protocolo AMAAC

(Díaz Derbez, 2022)

Para el segundo nivel de diseño, se requiere superar los parámetros de susceptibilidad a la deformación permanente. Esto se refiere a la rueda de Hamburgo. Este método exige las mínimas pasadas de la rueda para la deformación máxima de 10mm para diferentes grados de PG del asfalto. Para un asfalto PG64 o inferior, se requieren mínimo diez mil pasadas, para un PG 70, se requieren quince mil pasadas como mínimo y para un PG 76 o superior, se requieren como mínimo veinte mil pasadas.

⁸ SCTN-CMT-A-05-004/5 Característica de los materiales para pavimentos

El tercer nivel de diseño entra con el módulo dinámico. Se usa únicamente para poder calcular los espesores de la carpeta asfáltica en los nuevos métodos de diseño de pavimentos.

El cuarto nivel de diseño recomienda determinar la resistencia a la fatiga con la viga a flexión de cuatro puntos. Se especifican las condiciones para la prueba y según el tipo de asfalto usado, se explican los ciclos mínimos antes de la falla para diferentes tipos de asfalto. Para un asfalto convencional, mínimo se requieren dos mil ciclos y para un asfalto modificado o con grado PG de 70 o superior, mínimo cinco mil ciclos.

Para mantener el control de calidad AMAAC establece criterios en el control y aseguramiento de la calidad de la producción, tendido y compactación de las mezclas en caliente, cubriendo los aspectos como el plan de control y aseguramiento de la producción, tendido de la mezcla previo al arranque y control de la mezcla en caliente.

Al obtener la calibración de la mezcla asfáltica, se deberán evaluar las características de los materiales finos y gruesos considerando los siguientes parámetros,

Ensayo	Norma	Especificación
Caras fracturadas, ¹ % (2 o más)	ASTM D5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas, ¹ %	ASTM D4791	Relación 5 a 1: 10 máx.
Equivalente de arena, ¹ %	ASTM D2419	50 mín.
Angularidad, ¹ %	ASTM C1252	40 mín.
1. Pruebas a realizar en el laboratorio de control de calidad de campo. Considerar 2 días laborales para la entrega de resultados.		

Figura 11 Características de calidad en banco de materiales (A.C., 2016)

El laboratorio encargado determinará en campo la granulometría de cada fracción de material de acuerdo a la norma ASTM C136⁹, utilizando los tamaños de mallas especificados en la siguiente imagen que muestra los puntos de control para la granulometría del diseño.

Designación de la malla	Abertura mm	Tamaño nominal del material pétreo mm (pulg.)				
		37,5 (1 1/2")	25 (1")	19 (3/4")	12,5 (1/2")	9,5 (3/8")
		Porcentaje que pasa, %				
2"	50,0	100 – 100	-	-	-	-
1 1/2"	37,5	90 – 100	100 – 100	-	-	-
1"	25,0	- 90	90 – 100	100 – 100	-	-
3/4"	19,0	-	- 90	90 – 100	100 – 100	-
1/2"	12,5	-	-	- 90	90 – 100	100 – 100
3/8"	9,5	-	-	-	- 90	90 – 100
Núm. 4	4,75	-	-	-	-	- 90
Núm. 8	2,36	15 – 41	19 – 45	23 – 49	28 – 58	32 – 67
Núm. 16	1,18	-	-	-	-	-
Núm. 30	0,6	-	-	-	-	-
Núm. 50	0,3	-	-	-	-	-
Núm. 100	0,15	-	-	-	-	-
Núm. 200	0,075	0 – 6	1 – 7	2 – 8	2	2 – 10

Figura 12 Requisitos de granulometría del material pétreo para carpetas asfálticas de granulometría densa (A.C., 2016)

2.4 Pavimentos

Se define como pavimento a la capa o base que construye el suelo de una cimentación o de superficie no natural. (Mejias, 2021)

El pavimento tiene como objetivo transmitir las cargas del flujo vehicular hacia las capas inferiores, las cuales funcionan como cimentación en una carretera, la cual está constituida por materiales seleccionados y diseñada mediante diferentes métodos, normas y especificaciones técnicas para materiales apropiados, que se someten a diferentes procesos constructivos con el fin de obtener una superficie apta que presente rigidez y durabilidad necesaria para el tránsito vehicular.

⁹ ASTM C136 Método de prueba estándar para análisis granulométricos de agregados finos y gruesos

2.4.1 Principales funciones de un pavimento

Como principales características que deben ofrecer los pavimentos (Rodríguez, 2023) enlista lo siguiente:

- Presentar resistencia al desgaste generado por el efecto abrasivo de las llantas de los vehículos
- Ser resistente a los agentes de intemperismo
- Tener color adecuado para evitar reflejos y deslumbramientos a la hora de transitar
- Presentar textura superficial apta para la velocidad diseñada
- Ofrecer una adecuada seguridad al tránsito
- Ser durable y económico

2.4.2 Clasificación de los pavimentos

Pavimentos flexibles.

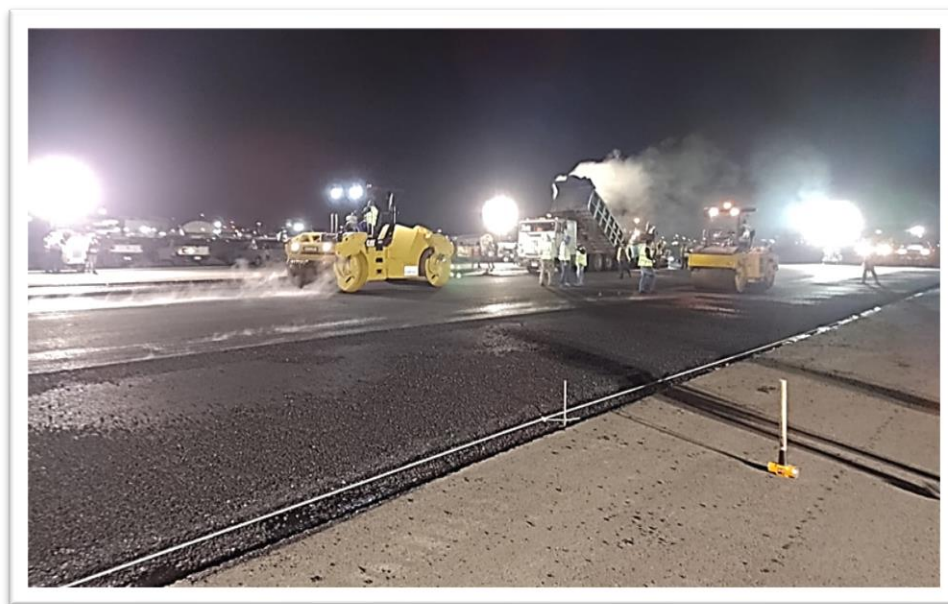


Figura 13 Tendido, tren de compactación de pavimento flexible (autoría propia)

Estos pavimentos son una estructura formada por una mezcla de materiales finos y gruesos (arena y grava) y un material bituminoso (asfalto), esta mezcla se puede dosificar y diseñar por diferentes métodos como el método Marshall y el método Superpave, así también la capa llamada base asfáltica, esta se compone de materiales de diferentes tamaños triturados, agregado fino y grueso, lo que puede ser grava y/o arena, los cuales deben cumplir con una granulometría específica. Cabe mencionar que también se mezcla con un material bituminoso, pero de diferentes características al asfalto utilizado para la carpeta o capa fina. “Se llaman pavimentos flexibles a aquellos que en sus capas constitutivas tienen bajos o nulos valores de resistencia a la flexión y tracción” (Bitafal, 2020).

Pavimento semirrígido

En este pavimento permanece la misma estructura que el pavimento flexible, con la diferencia que una de sus capas se mantiene rígida, la cual puede ser rigidizada implementando un aditivo que puede ser: asfalto, emulsión, cemento o cal. Con estas modificaciones se buscan adecuar las características de los materiales que no cumplan las especificaciones técnicas ni la calidad requerida para la construcción de las capas.

“La estabilidad de suelos por medio de ligantes hidráulicos (cemento portland) permite que se obtengan materiales con capacidades de soporte suficientes para construir capas para base en pavimentos sujetos a cargas pesadas como camiones o aeronaves”. (Escalante, 2017)

La capa rígida está por debajo de la capa flexible, la cual da soporte a las cargas horizontales como verticales del tránsito pesado, modificando las propiedades mecánicas de los materiales como se mencionó anteriormente, evitando desplazamientos laterales a causa del empuje ejercido por el tránsito vehicular.

Pavimento rígido.

Estos pavimentos están constituidos por dos capas, la superior de concreto y una inferior de base, dependiendo de las propiedades mecánicas del suelo, pueden ser estas dos suficientes o de lo contrario se agrega una capa llamada subrasante, la cual mejora la calidad de la cimentación y da mejor estabilidad al suelo.

En la clasificación de pavimentos rígidos, la (SCT, NCTRCAR104009/20, 2020) define a pavimento rígido como la carpeta de concreto hidráulico colocando una mezcla de agregados pétreos, cemento portland, agua y aditivos adicionales para proporcionar una superficie uniforme, bien drenada, con resistencia al derramamiento, cómoda y segura.

Losas de concreto hidráulico con juntas

Se construyen mediante el colado de concreto hidráulico con juntas longitudinales y transversales con o sin pasajuntas para crear losas rectangulares.

Losas de concreto hidráulico con refuerzo continuo

Se construyen mediante el colado de concreto hidráulico sin juntas transversales y con acero de refuerzo colado longitudinalmente de forma continua con el objetivo de resistir los esfuerzos de tensión y asegurar que las grietas queden totalmente cerradas.

Losas de concreto reforzado

Se construyen con secciones de concreto hidráulico sujetas a compresión mediante un sistema de preesfuerzo, con relativamente pocas juntas transversales.

2.5 Normatividades

La normativa aplicada para la infraestructura del transporte de la Secretaria de Comunicaciones y Traspotes (NIT-SCT), según el propósito, en tres tipos de publicaciones denominadas: Normas (N), Manuales (M) y Prácticas recomendadas (R), (Tranportes, 2024).

Las normas (N): proponen valores específicos para diseño, las características y calidad de los materiales y equipos de instalación permanente, así como las tolerancias en los acabados; los métodos generales de ejecución, medición y base de pago de los diversos conceptos de obra y en general todos aquellos aspectos que se puedan convertir en especificaciones al incluirse en el proyecto.

Los manuales (M): contiene el compendio de los métodos y procedimientos para la realización de todas las actividades relacionadas con la infraestructura del transporte.

Las prácticas recomendables (R): proponen y explican el establecimiento de criterios y la aplicabilidad de teorías a casos específicos de manera que el usuario tenga elementos para seleccionar los métodos o procedimientos de entre los contenidos en los manuales.

Además de las especificaciones solicitadas, también se emplean las normas vigentes que expiden las siguientes organizaciones:

DGN (Dirección General de Normas: mediante Normas Oficiales Mexicanas NOM)

ASTM (American Society for Testing and Materials)

AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

AISC (American Institute of Steel Construction)

AMAAC (Asociación Mexicana de Asfalto, A. C.)

Se debe contar con una unidad de control de calidad que cumpla con los requisitos indicados, así como el personal profesional y técnico, el equipo de pruebas, las instalaciones del laboratorio en número y capacidades suficientes para controlar la calidad de los conceptos del diseño de la mezcla, mediante el muestreo, las pruebas de laboratorio y los análisis estadísticos de los resultados.

2.6 Plantas de Producción de Mezcla Asfáltica

Como definición, se entiende que una planta asfáltica es un conjunto de elementos mecánicos que al realizar su función producen las mezclas asfálticas de todas las especificaciones requeridas. Cuentan con un sistema que permite calibrar la dosificación de agregados, cemento asfáltico con la temperatura necesaria para su mezclado. Existe una gran diversidad de las capacidades de producción, las cuales pueden ser pequeñas de 45 toneladas por hora y hasta 500 toneladas por hora. Otra de las características importantes que define una planta es la facilidad para transportar e instalar el conjunto de elementos mecánicos que la componen, las cuales pueden ser: plantas portátiles o estacionarias; sin embargo, la variante más importante para su clasificación es el sistema de producción continua y planta de producción discontinua (o de dosificación) (Arce, 2000).

Planta de producción continua: estas plantas se utilizan mayormente para pavimentos que sus especificaciones no exijan gran rigidez; la mezcla de finos y el ligante se realiza sin interrupción en el proceso.

2.6.1 Planta de Producción Continua

Llenado y calibrado de tolvas en frío, ajuste en la dosificación en frío, calentamiento de finos y mezcla con el ligante asfáltico, y finalmente es la descarga

2.6.1.1 Componentes

Tolva fría, compuerta de alimentación, elevador de material en frío, mezclador de tambor, colector de polvo, chimenea de escape, elevador de material caliente, unidad de cribado, tolvas calientes, depósito de relleno mineral, criba de pesado de asfalto y cabina de control



Figura 14 Equipo de planta continua (E-asphalt, 2005)

Una parte fundamental que es de suma importancia conocer al utilizar estas plantas es el muestreo y los ensayos que se realizan, ya que con los datos obtenidos se controla la calidad de la mezcla, por lo que se deben realizar correctamente con los menores errores posibles en los procedimientos de muestreo y ensayo.

2.6.2 Planta de Producción Discontinua

Se utiliza principalmente para asfaltos de gran rigidez, en estas plantas las mezclas se realizan por amasadas y se interrumpe en intervalos de tiempo fijos para su descarga.

2.6.2.1 Componentes



Figura 15 Equipo y componentes de planta discontinua (Autoría propia)

Esta planta cuenta con silos alimentadores independientes los cuales dosifican por medio de motorreguladores eléctricos, con una velocidad y frecuencia establecida según la producción necesaria. También, con secador del tipo contraflujo, el cual garantiza que la mezcla sea homogénea con secado eficiente, aplicando el calor al material fino, economizando combustible y aprovechamiento de energía. El quemador puede ser de gas LP o gas natural, se puede ajustar manualmente o automáticamente, tiene atomización eficiente y dosificación precisa. Sistemas de cribas o zarandas vibradoras para clasificación granulométrica, también pueden contener un sistema de adición de filler, polímeros y fibras, además de pesaje y separación de finos. Pre colector de finos colecta un 80 % aproximadamente del material particulado considerando todos los tamaños y el 100 % con las partículas superiores a 200 micras, pues estas partículas se consideran abrasivas para los equipos filtrantes principales ya que tienen mayor temperatura que los gases.

Las tolvas calientes con aislamiento térmico, sensores de carga y puertas de inspección. Los silos calientes son los responsables de almacenar el material fino por un corto tiempo solamente

para la dosificación previamente separados. Así también cuentan con el sistema de suministro de asfalto líquido, el sistema de control, la torre de mezclas y el sistema de suministro filler.

2.6.2.2 Proceso de fabricación

Llenado y calibrado de tolvas en frío, calentamiento de finos, cribado y clasificación de finos en caliente, dosificación de finos en caliente junto con el ligante asfáltico, posteriormente mezcla ya homogenizada con el asfalto y finalmente la descarga.

Ambas plantas deben tener acopios del material que se pretende utilizar en la producción. Estos materiales previamente fueron analizados y seleccionados por el laboratorio, y deben cumplir con algunas condiciones de calidad como:

- Evitar contaminaciones en los diferentes materiales que se encuentren en el acopio
- Reducir en lo posible las segregaciones por tamaños en una misma fracción de finos
- Evitar contaminaciones con materia orgánica o de otra procedencia
- Control de calidad en el monitoreo durante la preparación

2.7 Mezclas asfálticas

La mezcla asfáltica de granulometría densa se define como una mezcla elaborada con agregados pétreos y un material asfáltico, cuyas propiedades mecánicas dependen de las propiedades de cada uno de los componentes de una proporción determinada en mezcla. Para fines del diseño de dicha mezcla se considera como una combinación de 3 elementos, fase sólida constituida por los materiales pétreos, la fase líquida dada por el cemento asfáltico y una fase gaseosa que constituye el aire.

El Instituto Mexicano del Transporte (SCT, NCMT405003/02, 2002) define mezcla asfáltica de granulometría densa como:

Es la mezcla en caliente, uniforme y homogénea, elaborada con cemento asfáltico y materiales pétreos bien graduados, con tamaño nominal entre treinta y siete coma 5 (37,5) milímetros (1 ½ “) y nueve coma cinco (9,5) milímetros (3/8 “), que satisfagan los requisitos de calidad establecidos en la cláusula D. de la norma N-CMT-4-04/17¹⁰, materiales pétreos par mezclas asfálticas de pavimentos nuevos en los que se requiera una capacidad estructural, la cual

¹⁰ N-CMT-4-04/17 Características de los materiales

está en función del nivel de tránsito.(IMT 2020), Se aplican las siguientes normas sobre materiales pétreos y calidad de materiales asfálticos en el diseño de mezclas en caliente

NORMAS Y MANUALES	DESIGNACIÓN
Materiales pétreos para carpetas y mezclas asfálticas	N.CMT.4.04/17
Calidad de cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG)	N.CMT.4.05.004/18
Diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño	PA-MA-/01/2013

Tabla 1 Normativa para material pétreo (Autoría propia)

2.7.1 Ensayes de Laboratorio para Mezcla Asfáltica de Alto Desempeño

Los ensayos se realizan para evaluar el resultado de la combinación del cemento asfáltico con los materiales pétreos, lo que se entiende como mezcla asfáltica, los cuales al ser analizados determinan las propiedades volumétricas, el desempeño, la susceptibilidad a la deformación de dicha mezcla.

2.7.1.1 Método de prueba para la preparación y compactación de especímenes de mezclas asfálticas en caliente por medio del compactador giratorio.

En el manual de ensayos para laboratorio (Ayala Y., 2018) mezclas asfálticas en caliente, parte uno, menciona que:

“Se utilizan moldes de espesor mínimo de 7.5 mm un diámetro inferior de 149.9 a 150.0mm o de 99.9 a 100.0mm y al menos 250 mm de altura. Se prepara el horno a una temperatura de $\pm 3^{\circ}\text{C}$ (viscosidad del asfalto rotacional de $0.17 \pm 0.02 \text{ Pa}\cdot\text{s}$, así como calentar el molde por un periodo mínimo de 45 minutos.

Para la preparación de estos especímenes, se pesa y combinan fracciones del agregado para obtener la masa deseada para el espécimen según la tabla siguiente,

TAMAÑO MAXIMO DEL AGREGADO	DIÁMETRO MINIMO (mm)	ALTURA MINIMA (mm)
2” (50.8mm)	203.2	76.2
1 1/2” (38.1mm)	152.4	57.2
1” (25.4mm)	101.6	38.1
3/4” (19.1mm)	76.2	28.6
1/2” (12.7mm)	50.8	19.1

Tabla 2 Tamaño máximo del agregado grueso, medida de diámetro y altura en mm (Ayala Y., 2018)

Acondicionar la mezcla a la temperatura de compactación, colocar el disco de papel en el fondo del molde y vaciar la mezcla homogenizada y sin perder ninguna partícula, evitando que el agregado se clasifique por tamaños, colocar un segundo disco de papel en la parte superior de la mezcla. El parámetro de compactación, el número de giros o la altura dependerá del tipo de espécimen según la siguiente tabla,

ESPECÍMEN	PARÁMETRO	Vacíos de aire (%)
Diseño	Numero de giros	4
TSR	Altura	7 ± 1
Rueda de Hamburgo	Altura	7 ± 0.5

Tabla 3 Parámetros de vacíos de aire para tres diferentes especímenes (Ayala Y., 2018)

Para los especímenes de un diseño, el número de giros dependerá del nivel de tránsito el cual se estime en el diseño del pavimento, para esto se presenta la siguiente tabla,

EJES EQUIVALENTES (MILLONES)	EJES EQUIVALENTES DE COMPACTACIÓN		
	NÚM. DE GIROS INICIALES	NÚM. DE GIROS DE DISEÑO	NÚM. DE GIROS MÁXIMO
< 0.3	6	50	75
0.3 a < 3	7	75	115
3 a < 30	8	100	160
> 30	9	125	205

Tabla 4 Parámetros de compactación dependiendo el nivel de tránsito (Ayala Y., 2018)

Posterior a la compactación, se deben dejar que enfrien los especímenes dentro del molde hasta una temperatura de 60 °C para realizar la extracción del molde y evitar algún daño o que se deforme; colocar el espécimen en una superficie plana sin movimiento, donde continúe enfriándose a temperatura ambiente.”

2.7.1.2 Susceptibilidad a la humedad y deformación permanente por rodadura con el Analizador de Rueda de Hamburgo (HWT), en una Mezcla Asfáltica Compactada.

Según (Ayala Y., 2018) en Metodología de la prueba para determinar porcentaje por rodadura HWT de la mezcla menciona que “En este punto se describe el procedimiento y principal objetivo de la prueba rueda de Hamburgo; este ensayo tiene como principal objetivo determinar la susceptibilidad a la Falla prematura debido a la debilidad en la estructura del agregado pétreo, rigidez equivocada del asfalto o algún daño por humedad que pueda presentarse, en este método se mide la profundidad de la deformación permanente esperada al igual los daños por humedad (susceptibilidad a la humedad) que son evaluados cuando los especímenes se sumergen en agua con temperatura adecuada durante la aplicación de la carga, con esto se identifica si las mezclas son susceptibles al desgranamiento causado por falta de adherencia”.

2.7.1.3 Método de prueba para determinar la resistencia de la mezcla asfáltica compactada al daño inducido por humedad por medio de la relación en resistencia a la tensión indirecta (TSR.)

Según (Ayala Y., 2018) en Metodología de la prueba para determinar la resistencia por TSR de la mezcla, menciona que para “determinar la resistencia inducida por humedad, también conocida como resistencia retenida de una mezcla asfáltica compactada, esta resistencia retenida es importante para establecer si una mezcla asfáltica es susceptible a la acción de la humedad.

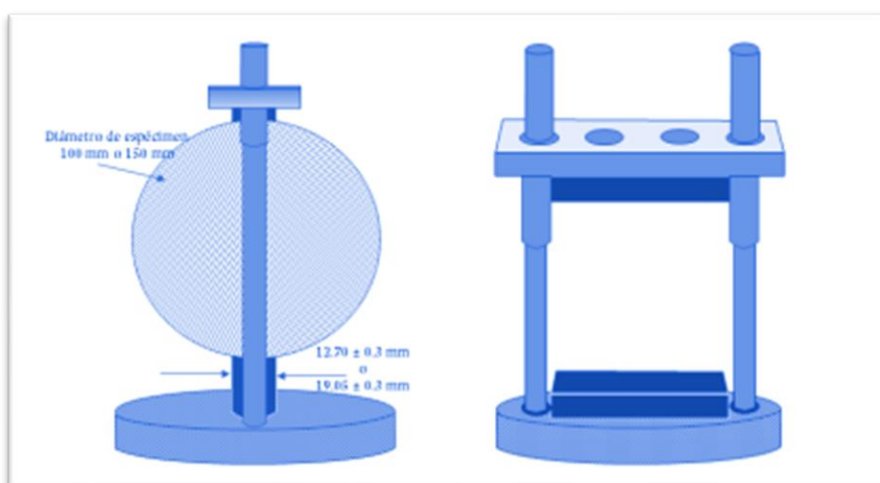


Figura 16 Mordaza para tensión indirecta (Ayala Y., 2018)

En esta prueba se obtienen una serie de especímenes cilíndricos de 100mm de diámetro por 63.5+/-2.5mm de espesor o cuando el agregado nominal sea mayor a 25mm, el diámetro será de 150mm por 95+/- 5mm de espesor, estos especímenes son acondicionados contra otros no acondicionados, compactándolos con el compactador giratorio en mezclas asfálticas en caliente, ya sean recién producidas o que formen parte de una capa ya tendida y compactada”

2.7.1.4 Módulo de Resiliencia en Mezclas Asfálticas (Mr).

Según (Ayala Y., 2018), la metodología de la prueba para determinar el Mr de la mezcla menciona que para esta prueba evalúa únicamente la respuesta elástica de la mezcla bajo condiciones de carga cíclica aplicada diametralmente.

El módulo de resiliencia se determina por medio de una prueba diametral bajo cargas repetidas, este ensayo consiste en aplicar carga repetida con forma de onda semi senoidal en el plano diametral vertical, seguida por un periodo corto de reposo. El espécimen se ensaya en dos posiciones a lo largo del primer eje diametral, enseguida se gira 90° y se repite el ensayo nuevamente.

2.7.1.5 Método de prueba para determinar el módulo dinámico de mezclas asfálticas en caliente

Según el manual (Delgado H., 2020), la metodología de la prueba para determinar el módulo dinámico de la mezcla “pretende determinar el valor módulo dinámico y ángulo de fases de una mezcla asfáltica compactada, mediante unas cargas axiales de compresión sinusoidal cíclica, en un rango de temperaturas y frecuencias de carga establecidas.

Se coloca el espécimen con una altura promedio, la cual debe ser de 150 ± 2.5 mm con aproximación 0.1 mm dentro de la máquina de ensayo, la cual aplica una carga en un rango de frecuencia de 0.1 a 10 Hz y niveles de esfuerzo mayores a 2800 Kpa (400 psi), y colocar los pines de montaje asegurando que queden bien ajustados los tornillos para evitar movimientos durante el ensayo. Conectar los cables llamados LVDTs al sistema de adquisición de datos para verificar que

la calibración esté dentro de su rango, posteriormente colocar la placa de acero en la parte superior del espécimen y centrar a los dos con respecto al pisón de carga. Para cada frecuencia se recomienda un reposo de 4min.

<i>FRECUENCIA (HZ)</i>	<i>NÚMERO DE CICLOS</i>
0.1	15
0.5	15
1.0	20
5.0	100
10.0	200

Tabla 5 Número de ciclos para la secuencia de ensayo (Delgado H., 2020)

Mantener configurada la temperatura de la cámara y permitir que el espécimen se condicione a la temperatura del ensayo especificada con cada tolerancia $\pm 0.3^\circ$. Usar el espécimen de monitoreo para determinar el momento en que el espécimen alcanza la temperatura especificada de ensayo.

INDICADOR	LÍMITE
Error estándar del esfuerzo aplicado	$\leq 10\%$
Error estándar promedio de la medición de deformaciones	$\leq 10\%$
Coefficiente de variación de las mediciones de deformación	$\leq 30\%$
Desviación estándar de las mediciones del ángulo de fase	≤ 3 grados

Tabla 6 Límites recomendados para los indicadores de calidad de los datos (Delgado H., 2020)

Ejecutar en ensayo y verificar que los resultados cumplan con los límites de la tabla anterior. Con el resultado de todas las temperaturas de ensayo, construir las isotermas de valor módulo dinámico, si alguna se cruza es indicador de que el ensayo realizado a esa temperatura no se ejecutó correctamente y es necesario repetirlo.

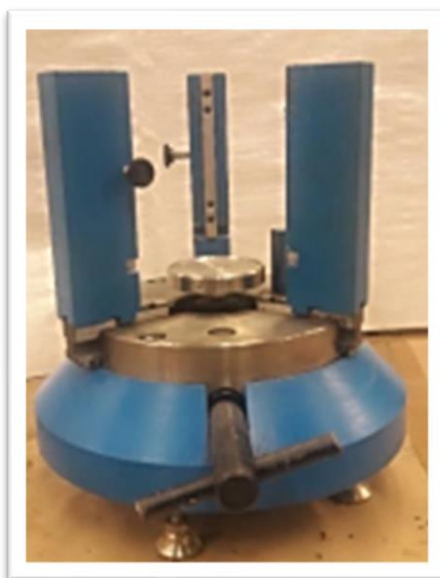


Figura 17 Dispositivo donde se colocan los pines y se verifica el sistema de medición (Ayala, 2019)

El coeficiente de variación (CV) del módulo dinámico entre especímenes de ensayo debe ser menor o igual a 15% en cada una de las frecuencias”.

2.7.1.6 Método de prueba para determinar la gravedad específica bruta y densidad de la mezcla asfáltica compactada (Gmb).

Según el manual (Ayala Y., 2018), la metodología de la prueba para determinar un Gmb de la mezcla propone un método que “tiene como principal objetivo determinar la gravedad específica bruta y densidad de la mezcla asfáltica ya compactada, la cual se utiliza para conocer las propiedades volumétricas, así como determinar el peso específico de la mezcla.

Es necesario contar con un baño capaz de sumergir una canastilla que contenga dentro un espécimen y mantener una temperatura de 25°C, como se mencionó en el método anterior, el espécimen debe estar elaborado según el diseño solicitado referente al nivel de tránsito estimado.

Se registra el peso del espécimen seco a temperatura ambiente (importante registrar con aproximación de 0.1 gr), al igual que registrar la temperatura ambiente a la que se encuentre,

sumergir completamente el espécimen en la canastilla y registrar el peso, dentro de los 15s siguientes extraerlo, secarlo con una franela húmeda y registrar el peso obtenido (SSS).

$$Gmb = \frac{A}{B - C}$$

Donde:

Gmb (adimensional): gravedad específica bruta de la mezcla a 25°C; reportar este valor con aproximación de 0.001 (3 decimales).

A (g): masa del espécimen seco al aire, con aproximación de 0.1g (1 decimal)

B (g): masa saturada superficialmente seca, con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

C (g): masa del espécimen sumergido en agua con aproximación de 0.1 g (1 decimal)

Para el cálculo de la densidad de la mezcla compactada.”

$$\text{densidad} = Gmb * \text{densidad del agua}$$

Para el cálculo de la absorción de la mezcla asfáltica

$$\text{absorción (\%)} = \frac{B - A}{B - C} (100)$$



Figura 18 Colocación de Parafilm, para especímenes con absorción mayor a 2.0% (Ayala Y., 2018)

2.7.1.7 Método de prueba para determinar la gravedad teórica máxima de la mezcla asfáltica (Gmm).

Según el manual (Ayala Y., 2018), la metodología de la prueba para determinar el Gmm de la mezcla “propone un método para la determinación de la gravedad teórica máxima de la mezcla asfáltica es posiblemente la prueba más importante que se realiza para definir las características volumétricas de la mezcla asfáltica debido a que el cálculo del volumen de vacíos es la proporción que existe entre Gmb y el Gmm.

Para realizar esta prueba se obtiene la mezcla asfáltica en forma suelta y consiste en saturar de agua el picnómetro y aplicar el vacío, con el fin de extraer todo el aire que contiene la mezcla.

Es decir; si se considera la mezcla asfáltica en tres fases, fase sólida, asfalto y aire, al aplicar una energía de compactación, el volumen de la fase sólida y el asfalto se mantienen constantes; en cambio, la fase del volumen es la única que cambia gracias a la expulsión del aire durante el proceso de compactación. La consecuencia de mantener el peso constante y disminuir el volumen de la mezcla es un aumento en la densidad, tomando en cuenta que la densidad límite de la mezcla es máxima cuando el volumen de vacíos de aire es cero.

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

Donde:

Gmm: gravedad específica máxima de las muestras

A: masas de la muestra seca, g

B: masa del picnómetro con agua a 25°C, g

C: masa del picnómetro con agua y muestra a 25°C, g”

2.8 Materiales pétreos

En el diseño de una mezcla asfáltica en caliente es de suma importancia hacer una buena selección de materiales pétreos los cuales componen entre el 90 al 95 por ciento en peso y el restante se constituye por el cemento asfáltico según sea seleccionado para dicha mezcla y uso, cabe mencionar que la calidad de la mezcla depende de las calidades de los materiales seleccionados y su comportamiento respecto a carga aplicada a la adherencia entre ellos y la reacción con el asfalto, con esto se deriva la importancia de una buena selección y manejo de los materiales pétreos, se obtendrá como resultado una buena distribución granulométrica habiendo como mínimas variaciones en el porcentaje según el tamaño del agregado ya que cualquier cambio en las propiedades en estos materiales pueden generar cambios significativos en las propiedades del producto final que es la mezcla asfáltica, por todo esto es necesario llevar un control en los agregados antes de entrar a la planta de producción al igual que en el resultado de la producción;

-Control de agregados en trituración

-Acopio de agregados en planta y en banco de trituración

Materiales pétreos, como son definidos según (SCT, NCMT405033/08, 2008) “calidad de mezclas asfálticas para carreteras”, son materiales pétreos naturales los cuales pueden ser sujetos a tratamiento y pruebas de disgregación, cribado, trituración o lavado para fines de conocer el comportamiento de la mezcla al adicionarle el aglutinante de un material asfáltico.

2.8.1 Tipos de Materiales Pétreos

Según (Lifeder, 2022), los materiales pétreos se pueden clasificar de acuerdo con su procedencia y las técnicas utilizadas para su uso;

2.8.1.2 Agregados naturales.

Son aquellos que se utilizan con las modificaciones mínimas posibles, adaptándose al empleo según su utilización.

2.8.1.3 Agregados de trituración.

Como su nombre lo dice, son el resultado de una trituración de rocas de cantera o de las granulometrías de rechazo de los agregados naturales, estos materiales se pueden obtener según las exigencias de tamaño solicitado.

2.8.1.4 Agregados artificiales.

Son los subproductos de procesos industriales, como desechos procedentes de demoliciones, los cuales pueden ser utilizados y reciclados siempre y cuando cumplan con las especificaciones establecidas.

Para que sean materiales pétreos aceptables utilizados en una mezcla asfáltica de alto desempeño, deben cumplir favorablemente con la especificación solicitada según el proyecto en el que se trabaje.

2.8.2 Clasificación según su tamaño

La clasificación que menciona (SCT, NCMT202002/19, 2019) “según el tamaño del agregado se determina con las granulometrías mediante el análisis de tamices de una muestra de agregado consiste pasar la muestra total por la serie de tamices, los cuales están graduados por tamaños específicos.

Dichos tamices están graduados de acuerdo con el tamaño de su abertura. Con esto se puede clasificar materiales gruesos, los cuales se quedan retenidos en los tamices superiores, las partículas medias en los tamices medianos y las partículas finas pasan a los tamices inferiores. Así con esto se determina qué.

El agregado que retiene el tamiz 3” (76mm) se considera fragmento de roca; lo que se retiene en el tamiz #4 (4.75mm) a tamices superiores se consideran partículas gruesas (grava); las partículas retenidas en el tamiz #200 (0.075mm) a tamices superiores se consideran arena y lo que pasa el tamiz #200 (0.075mm) se considera material muy fino (filler).

Para la determinación de una granulometría aceptable para una mezcla asfáltica de alto desempeño se parte de fracciones uniformes las cuales se mezclan en las proporciones adecuadas. Los análisis granulométricos se realizan por tamizado, según el diseño de mezcla la cual se va a evaluar se hace el acomodo de juegos de tamices.

El tamaño máximo de los agregados se presenta en un porcentaje menor del porcentaje total de la mezcla por consideraciones al espesor de la capa extendida, trabajabilidad, segregación, etc. Por otra parte, las partículas finas que pasan el tamiz #200 (0.075mm) como antes se mencionó llamado filler deben formar parte mínima en el porcentaje total ya que es parte fundamental para la unión de partículas en conjunto con el ligante asfáltico."

2.8.3 Ensayes de Laboratorio para Agregados Pétreos

2.8.3.1 análisis granulométrico de agregados finos y gruesos.

El manual para agregados (Ayala, 2019), menciona que “en esta prueba se determina la distribución de tamaños de las partículas de agregados finos y gruesos por medio de los tamices bien graduados, esta distribución de tamaño se realiza principalmente para obtener el cumplimiento de las partículas con la especificación que se tiene en el diseño de la mezcla densa, tiene como objetivo el proveer datos necesarios para el control de la producción de la mezcla.

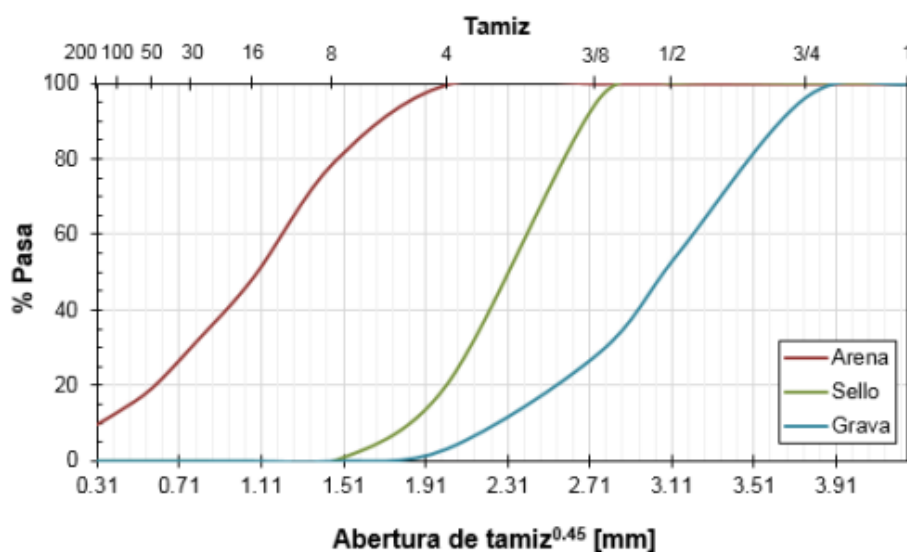


Figura 19 Tendencias de curvas granulométricas respecto al tamiz y al porcentaje de partículas que pasan (Ayala, 2019)

2.8.3.2 Gravedad Específica y Absorción del Agregado Fino.

En el procedimiento descrito en el manual (Ayala, 2019) únicamente hace referencia al método gravimétrico. En esta prueba el agua es de suma importancia, ya que se puede determinar la gravedad específica de la masa del agregado respecto a la masa del volumen del agua, con esta relación se determina la gravedad específica y la absorción del agregado fino.

La gravedad específica es adimensional y se expresa como gravedad específica bruta (G_{sb}) y gravedad específica aparente (G_{sa}). Teniendo como objetivo obtener una densidad mayor a 2.400 (adimensional), siendo este el volumen que ocupa en la mezcla asfáltica y la absorción el contenido de asfalto, el cual es absorbido por el material fino.

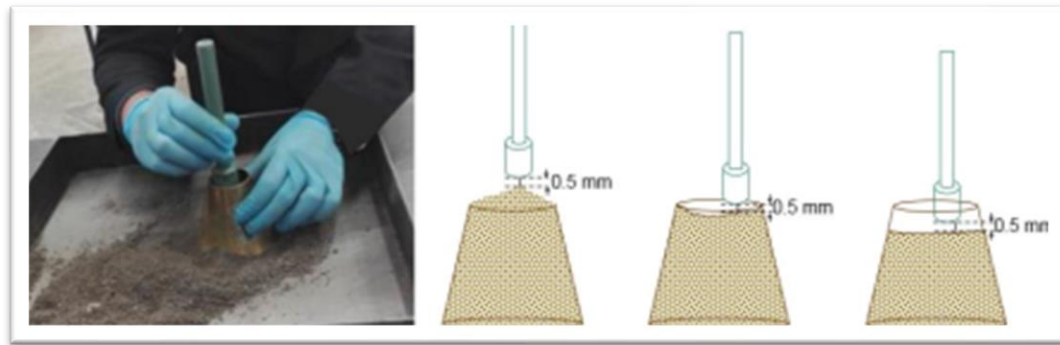


Figura 20 Especificación de la compactación del material fino (Ayala, 2019)

2.8.3.3 Valor de Equivalente de Arena en el agregado Fino.



Figura 21 Equipo para determinar equivalente a material fino, probetas, pisón e irrigador (autoría propia)

(Ayala, 2019) determina “que la prueba permite determinar el contenido y actividad de los materiales finos o arcillosos presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en agitar un cilindro que contenga una muestra del material pétreo que pasa la malla No. 4, mezclada con una solución que permite separar la arena de la arcilla

La solución se disuelve en 454g de coluro de calcio en 1.9l de agua destilada, se enfría la solución al aire libre, hasta alcanzar la temperatura ambiente y después se pasa a través de papel filtro. Se agregan 47g de formaldehído y 2047g de glicerina, mezclándose bien y diluyéndose con agua destilada hasta completar 3.2L de líquido.

El agitado de la muestra se puede hacer de forma manual agitando vigorosamente el cilindro en posición horizontal de un lado a otro en sentido longitudinal durante 90 ciclos den un tiempo de 30s con una carrera aproximada de 20cm, y con el equipo se utiliza el agitador eléctrico, colocando el cilindro en los sujetadores y procede a la agitación midiendo el tiempo y el número de ciclos”.

2.8.3.4 Valor de Azul de Metileno de una Arcilla.

El manual para materiales (Ayala, 2019) “determina la prueba de azul de metileno (MBV) se realiza para determinar el contenido de arcilla en el material que pasa el tamiz No. 200 en las arenas. El índice de azul da una idea de la cantidad de arcilla o contaminación presente en el material fino (filler) antes mencionado y es utilizado en la fabricación de mezclas asfálticas y el cual estando contaminado puede tener una influencia dañina en el desempeño de la mezcla asfáltica.”

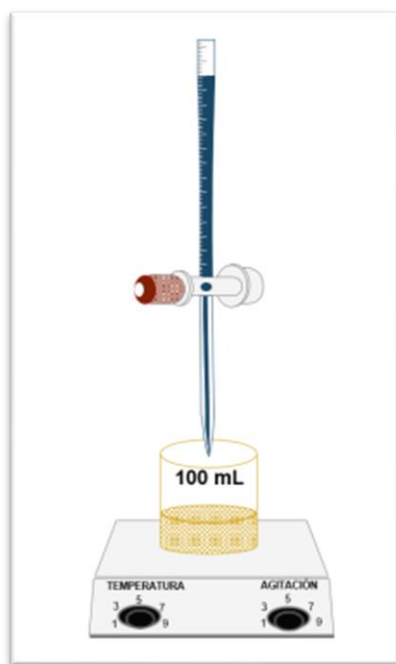


Figura 22 Equipo para prueba, bureta sobre vaso de precipitado y agitador (Ayala, 2019)

2.8.3.5 Contenido de Vacíos no Compactados del Agregado Fino.

El manual de agregados (Ayala, 2019) presenta dos métodos de prueba.

Muestra seca al horno de 190 ± 0.2 g la cual deberá ser separada y combinada como sigue:

Tamaño de fracción individual	Masa (g)
2.36 mm (No.8) a 1.18mm (No.16)	44 ± 0.2
1.18 mm (No.16) a 600 μm (No.30)	57 ± 0.2
600 μm (No.30) a 300 μm (No.50)	72 ± 0.2
300 μm (No.50) a 150 μm (No.100)	17 ± 0.2
Total	190 ± 0.2

Tabla 7 Muestra de ensayo, método A (Ayala, 2019)

Muestra seca al horno de 190 ± 0.2 g la cual deberá ser separada y combinada como sigue:

Tamaño de fracción individual	Masa (g)
2.36 mm (No.8) a 1.18mm (No.16)	190 ± 1
1.18 mm (No.16) a 600 μm (No.30)	190 ± 1
600 μm (No.30) a 300 μm (No.50)	190 ± 1

Tabla 8 Muestra de ensayo, método B (Ayala, 2019)

El contenido de vacíos no compactados es la diferencia entre el volumen de la medida del cilindro y el volumen absoluto del agregado fino contenido en la medida. En esta prueba se realizan por triplicado, tomando en cuenta la gravedad específica bruta para obtener un resultado el cual influye en el contenido de vacíos que existe en la angularidad, esfericidad y textura del agregado fino comparado con otros a los mismos tamaños.

2.8.3.6 Gravedad Específica y Absorción del Agregado Grueso.

Se determina en el manual (Ayala, 2019) que “este método se emplea a los agregados gruesos que se utilizan en la mezcla asfáltica; permite determinar la gravedad específica promedio (adimensional) en el agregado grueso sin tomar en cuenta los vacíos entre partículas, así como la absorción (gravedad específica aparente), la cual se determina remojando en agua el agregado y se calcula el cambio en la masa de un agregado debido al agua absorbida en el espacio de los poros de todas las partículas de la muestra comparada con la condición seca. Así al fabricar la mezcla se tenga un mejor control en la absorción del asfalto.”



Figura 23 Determinación de gravedad específica y absorción del material grueso “grava” (Autoría propia)

2.8.3.7 Resistencia a la Degradación del Agregado Grueso por Abrasión e Impacto en la Máquina de los Ángeles.

(Ayala, 2019) determina “que este método se utiliza para conocer la resistencia a la abrasión o desgaste de los agregados a elegir con un tamaño máximo menor a 37.5mm (1 1/2”), utilizando la Máquina de los Ángeles, se obtiene un indicador para conocer la resistencia al impacto de las cargas durante la fabricación, tendido y compactación de la mezcla.”

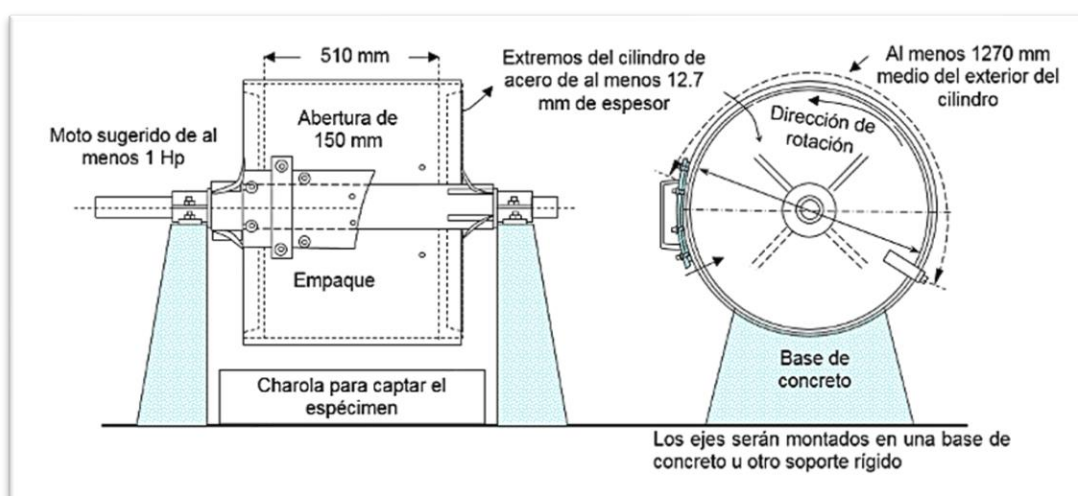


Figura 24 maquinaria de los ángeles para determinar la resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto (Ayala, 2019)

2.8.3.8 Resistencia a la degradación del Agregado Pétreo Grueso por Abrasión en la Máquina Micro-Deval.

Para esta prueba, el manual de agregados (Ayala, 2019) “determina la pérdida por abrasión en presencia del agua durante una hora y de una carga abrasiva, el cual se ejerce con las bolas de acero en la máquina Micro-Deval. Algunos materiales tienen características aceptables, pero en el contacto con el agua pierden resistencia y solidez, lo que en un futuro puede ocasionar desintegración, ya siendo parte de la mezcla asfáltica.”



Figura 25 Máquina micro-deval, capaz de determinar la resistencia a la abrasión y durabilidad del agregado pétreo (Autoría propia)

2.8.3.9 Resistencia al Intemperismo Acelerado de los Agregados.

Esta prueba determina la degradación por intemperismo en materiales pétreos por medio del sulfato de sodio o sulfato de magnesio, sometiéndola a varios ciclos de saturación y secado.

Se determina la influencia de los cambios bruscos de temperatura que sufrirá el agregado al momento de estar tendido como carpeta asfáltica, con ello se observan los cambios que sufrirá, al igual que las características del material si es o no es apto para el diseño de la mezcla asfáltica.

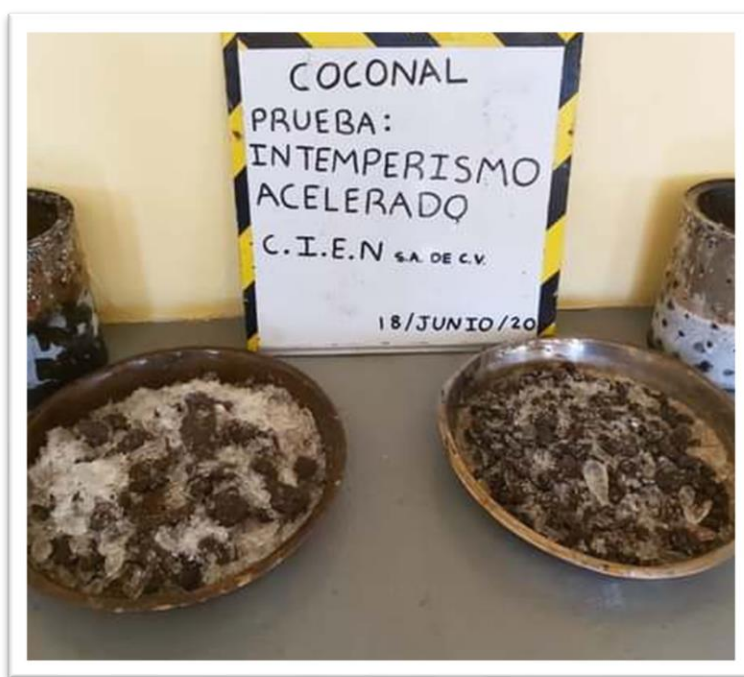


Figura 26 Material pétreo expuesto al sulfato de magnesio o sulfato de sodio (CIEN, 2020)

2.8.3.10 Determinar el porcentaje de partículas fracturadas en agregado grueso.

La importancia de contar con un alto contenido de partículas fracturadas consiste en maximizar la resistencia al corte incrementando la fricción interna entre partículas en mezclas de agregados ligados o no ligados (Ayala, 2019)

El método empleado en el manual de ensayos para laboratorio tiene como principal objetivo determinar la resistencia al corte incrementando la fricción interna entre partículas en la mezcla, se inspecciona cada partícula cuidadosamente y se visualiza si la partícula tiene una o más caras fracturadas, considerando una partícula fracturada cuando un 25% o más del área aparece fracturada.

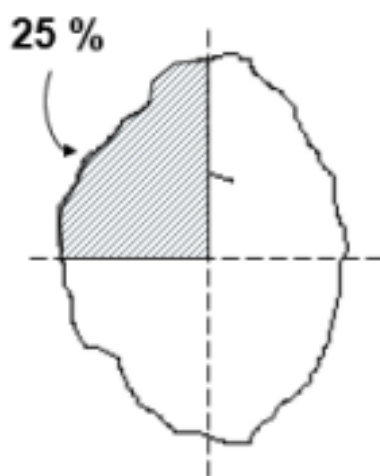


Figura 27 Vista de la sección transversal máxima de la partícula a inspeccionar (Ayala, 2019)

Se debe inspeccionar cada cara de cada partícula para determinar si cada cara cumple con el criterio de caras fracturadas. Separar las partículas en tres categorías; partículas con dos o más caras fracturadas, partículas con una cara fracturada y partículas sin caras fracturadas.

2.8.3.11 Determinación de Porcentaje de Partículas Planas y Alargadas del Agregado Grueso.

Este método tiene como objetivo determinar la cantidad en porcentaje de partículas con caras largas y aplanadas en los agregados gruesos, los cuales se pretendan usar en la carpeta asfáltica. Si este porcentaje es significativo, puede perjudicar la carpeta asfáltica.



Figura 28 Equipo para determinación de partículas largadas y planas del agregado grueso (Autoría propia)

2.9 Materiales asfálticos

Definición de asfalto

Para (Gonzales Biviano, 2019) menciona que” ASTM (American Society for Testing and Materials) define al asfalto como un cementante de color oscuro negro en el que sus componentes predominantes son los asfáltenos que pueden ser naturales como residuos en la refinación del petróleo crudo”

Al mencionar que como resultado de la refinación del petróleo se obtiene un material viscoso, impermeable y altamente adherente a materiales pétreos, estas cualidades son perfectas para que en combinación de las características particulares de los materiales pétreos se obtenga una mezcla asfáltica de alta calidad.

Por otra parte, en la clasificación de los materiales asfálticos se encuentran las emulsiones asfálticas, cementos asfálticos y asfaltos rebajados, la utilización de cada uno de ellos depende de las necesidades en las cuales se emplee.

Por lo general, el cemento asfáltico se utiliza en la elaboración de las mezclas asfálticas en caliente, así también es el componente principal en la elaboración de las emulsiones y los asfaltos rebajados. Las emulsiones en combinación con agua se utilizan para los riegos y estabilizaciones, así como en la elaboración de mezclas en frío, y el asfalto rebajado se utiliza en la elaboración de mezclas en frío, para imprecación de subbases y bases hidráulicas.

La viscosidad en el asfalto es de suma importancia, ya que se puede considerar como una clasificación más. Esta varia respecto a la temperatura a la que sea necesario exponerlo para obtener el resultado deseado, el principal componente que produce buena adherencia con los materiales pétreos son las resinas siendo estos los principales ligantes así pueden recubrir a la perfección los materiales pétreos.

Esta clasificación respecto a la viscosidad dinámica se obtiene del resultado de calentar el cemento asfáltico a una temperatura de sesenta grados Celsius (60°C), tomado en cuenta las zonas en las que se va a trabajar ya que la temperatura ambiente puede modificar las características que se desean. A medida que la temperatura descende el asfalto se vuelve más rígido, a temperaturas muy bajas el asfalto puede volverse más frágil, agrietarse y quebradizo, por esto es de suma importancia conocer el comportamiento de la viscosidad de dicho asfalto y con ello así se obtienen las clasificaciones mostradas en la tabla 9.

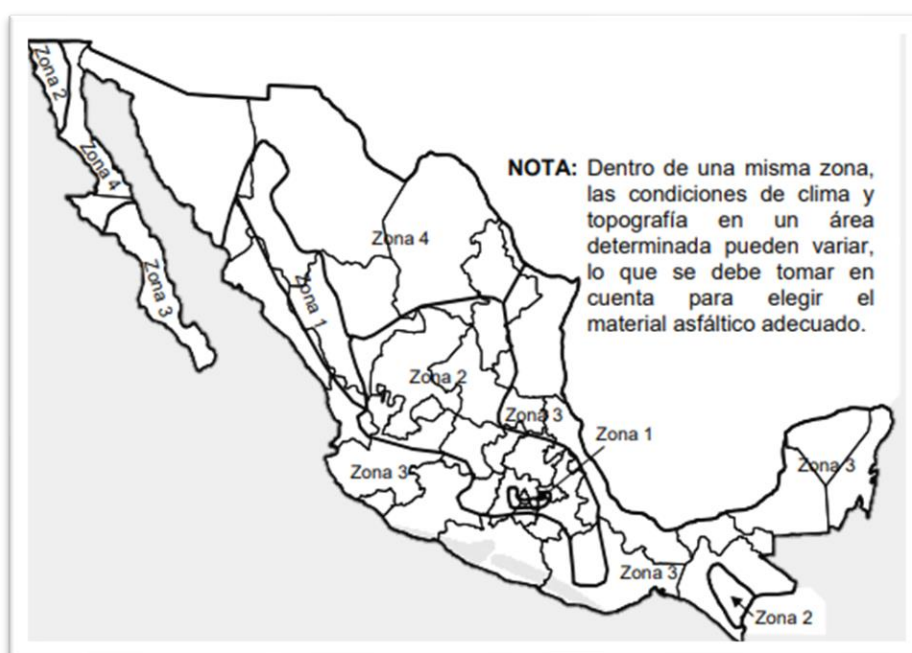


Figura 29 Equipo para determinación de partículas largas y planas del agregado grueso (SCT, NCMT405001/22, 2022)

CLASIFICACIÓN	VISCOSIDAD A 60°C	USO
AC- 5	50+- 10	En la elaboración de mezclas en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 1. En la elaboración de emulsiones que se utilicen para riegos de impregnación, liga, o poreo y en estabilizaciones
AC- 10	100 +- 20	Elaboración de mezclas asfálticas en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 2 En la elaboración de emulsiones asfálticas utilizadas en carpetas, morteros de mezclas en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de la región indicada como zona 2
AC-20	200+-40	En la elaboración de mezclas en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 3 En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones como zona 3 y 4.
AC-30	300+-60	En la elaboración de carpetas de mezclas en caliente dentro de las regiones indicadas como zona 4 En la elaboración de emulsiones asfálticas que se utilicen en carpetas y morteros de mezcla en frío, así como en carpetas por el sistema de riegos, dentro de las regiones indicadas como zonas 3 y 4 En la elaboración de asfaltos rebajados, en general se utilizan en mezclas frías, así como en riegos de impregnación

Tabla 9 Clasificación de los cementos asfálticos según su viscosidad dinámica a 60° C (SCT, NCMT405001/22, 2022)

La (SCT, NCMT405001/22, 2022) clasifica a las emulsiones en dos tipos: “de rompimiento rápido y rompimiento lento, el primero se utiliza para riegos de liga y carpeta por el sistema de riegos, para el segundo se emplean para carpetas de mezcla en frío elaboradas en planta, estas son utilizadas principalmente cuando el contenido de finos en la mezcla es igual al 2 por ciento o menor, así como en el cuidado de carpetas ya existentes, como puede, ser bacheos, renivelaciones y sobre carpetas.

CLASIFICACIÓN	CONTENIDO DE CEMENTO ASFÁLTICO EN MASA %	TIPO	POLARIDAD
EAR-55	55	Rompimiento rápido	Aniónica
EAR-60	60		
EAM-60	60	Rompimiento medio	
EAM-65	65		
EAL-55	55	Rompimiento lento	
EAL-60	60		
EAI-60	60	Para impregnación	
ECR-60	60	Rompimiento rápido	Catiónica
ECR-65	65		
ECR-70	70		
ECM-65	65	Rompimiento medio	
ECL-65	65	Rompimiento lento	
ECI-60	60	Para impregnación	
ECS-60	60	Sobreestabilizada	

Tabla 10 Clasificación de emulsiones según su tipo y su contenido de asfalto (SCT, NCMT405001/22, 2022)

CLASIFICACIÓN	VELOCIDAD DE FRAGUADO	TIPO DE SOLVENTE
FR-3	Rápida	Nafta, gasolina
FM- 1	Media	Queroseno

Tabla 11 Clasificación de asfaltos según su velocidad de fraguado y el tipo de solvente (SCT, NCMT405001/22, 2022)

Según la combinación de cemento con un solvente se obtienen estos asfaltos rebajados como en la anterior tabla si el asfalto se combina con gasolina será un asfalto de curado rápido, si se combina con queroseno será de curado medio y al combinarse con diésel será de curado lento.

La fluidez de un asfalto se obtiene según la cantidad de solvente, al igual que el fraguado y la dureza que se necesite según la selección del mismo, como más adelante se describirán las pruebas de aceptación que se deben realizar.”

2.10 Especificaciones y Ensayes de Laboratorio para el Material Asfáltico

Son de importancia fundamental los ensayes realizados a los materiales asfálticos para así conocer las propiedades que darán buen resultado en un diseño de mezcla asfáltica y determinar, por ejemplo, la impermeabilidad, durabilidad etc., la función del asfalto es proporcionar rigidez a la mezcla asfáltica permitiendo que las partículas de agregado pétreo permanezcan unidas para una mejor vida útil.

2.10.1 Punto de inflamación

En esta prueba, la (SCT, MMMP405020/02, 2002) determina que “su principal función es determinar la temperatura mínima a la que el asfalto produce flamas instantáneas al estar en contacto directo con el fuego, al igual de conocer el inicio de su combustión.

Esta prueba consiste en colocar la muestra de asfalto en una copa Cleveland abierta, en donde la temperatura aumenta paulatinamente de 14 a 17°C/min, hasta alcanzar una temperatura de 60°C abajo del punto de inflamación probable hasta que logra pasar una flama por la superficie completa la muestra y en el mismo tiempo se forman flamas instantáneas. La temperatura correspondiente a dicha flama se conoce como punto de inflamación, si se continúa aumentando 2°C hasta producir flama por lo menos cada 5 segundos dicha temperatura, el resultado se denomina punto de combustión.



Figura 30 Punto de inflamación Cleveland del asfalto (autoría propia)

2.10.2 Viscosidad Dinámica

Esta norma (INVIAS, 2012) “describe el procedimiento para medir la viscosidad del ligante asfáltico a una temperatura elevada. Con esta prueba se determina el tiempo que tardan en pasar 20ml de material asfáltico a través de un tubo capilar al vacío con condiciones de presión y temperaturas preestablecidas, corregido por el factor de calibración del viscosímetro a utilizar.

El principal objetivo de la prueba es determinar la consistencia de los materiales asfálticos mediante las características del flujo a una temperatura de 60° C (140°F). Es aplicable a materiales asfálticos que tengan una viscosidad de 4.2 a 20000 Pa·s (42 a 200000P).

La relación entre el esfuerzo cortante aplicado y la velocidad de corte se llama coeficiente de viscosidad; este coeficiente es una medida de resistencia del líquido a fluir, y se llama comúnmente viscosidad del líquido denominado pascal-segundo.”

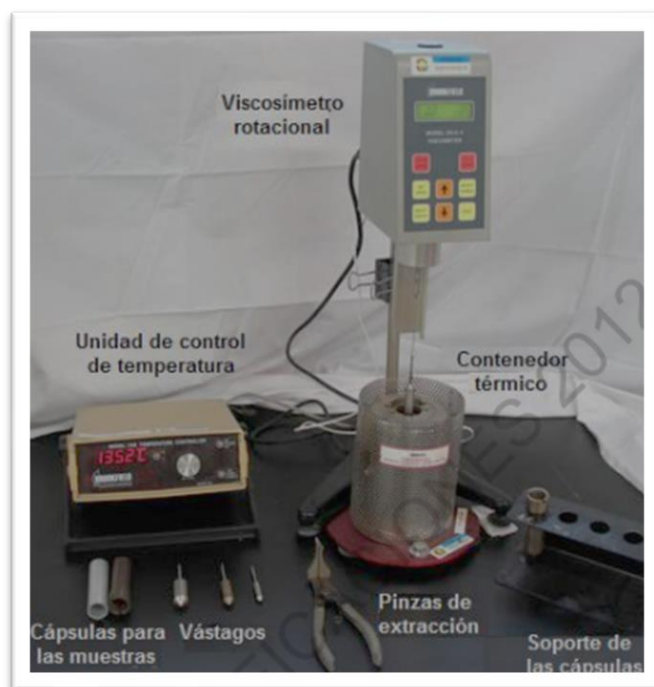


Figura 31 Viscosímetro rotacional (INVIAS, 2012)

2.10.3 Punto de Reblandecimiento

Este manual (SCT, MMMP405009/00, 2000) “describe que la prueba permite conocer la consistencia de los cementos asfálticos mediante un anillo y una bola de acero determinados en un baño maría de agua o glicerina a una temperatura indicada; con este procedimiento se denomina el punto de reblandecimiento a la medición de temperatura en grados Celsius que arroja al instante en el que se produce el contacto entre la masa, el material y la placa de referencia situada a 25 mm por debajo de la probeta.

Solo se realiza a los materiales asfálticos bituminosos, ya que no tienen una temperatura de fusión fija y definida, por lo que al calentarse cambian su estado gradualmente desde una consistencia quebradiza, pastosa a otra más blanda y fluida, por esta razón este procedimiento debe realizarse con condiciones muy estrictas”.

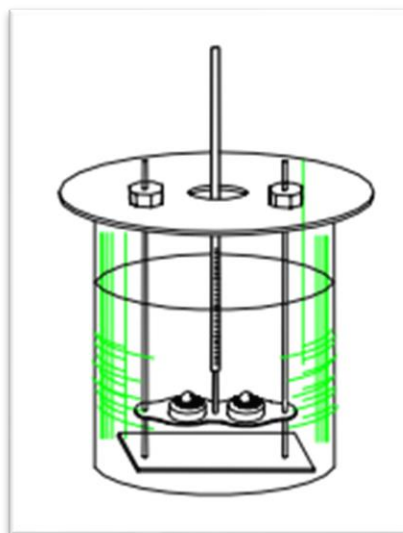


Figura 32 Montaje del sistema de soporte, aros y esferas (SCT, MMMP405009/00, 2000)

2.10.4 Recuperación Elástica por Torsión

El IMT (SCT, MMMP405024/21, 2021) menciona lo relacionado con la capacidad de recuperación lo siguiente: “describe el procedimiento que se realiza a los cementos asfálticos modificados o cementos asfálticos según su grado de desempeño (PG) para determinar la capacidad de recuperación elástica.

Para el procedimiento se describe que; un cilindro de acero con dimensiones específicas se sumerge en la muestra del ligante modificado, mediante un dispositivo de torsión se gira el cilindro 180° y se determina la deformación angular, después de 30 minutos se observa el ángulo recuperado y se observa la capacidad de recuperación”.

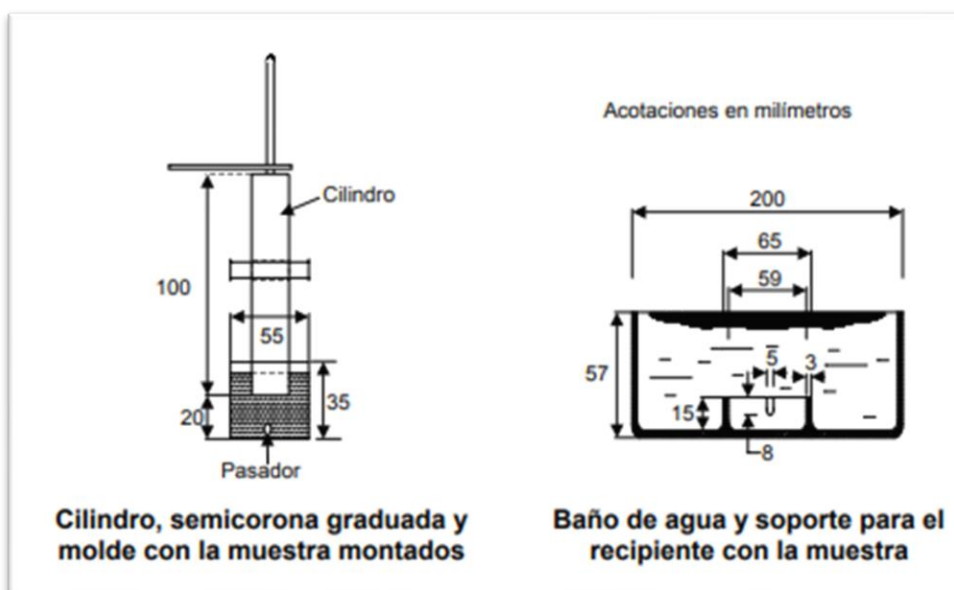


Figura 33 Recipiente con la muestra y baño de agua para el ensayo (SCT, MMMP405024/21, 2021)

2.10.5 Recuperación Elástica en Ductilómetro

Y respecto a la prueba (SCT, MMMP405024/21, 2021), “la prueba que permite conocer la recuperación elástica al residuo de la prueba de película delgada y de los residuos de asfaltos obtenidos por la destilación, como lo son las emulsiones, que al igual que los asfaltos son de suma importancia.

La prueba consiste en estirar una muestra que no exceda los 130°C a una velocidad uniforme de 5cm/min y sin vibraciones perjudiciales, de tal manera que durante la prueba la muestra permanezca sumergida en el agua ubicada a no menos de 2.5cm del nivel de agua en el fondo y sobre ella; debido a estas características se hace uso del ductilómetro durante un tiempo determinado y haber alcanzado los 20cm de deformación se corta por la mitad, se deja en reposo desligando el mecanismo del ductilómetro por una hora y finalmente se observa cuanto los dos extremos cortados se toquen, en ese momento se lee la deformación y el desplazamiento de la mordaza”

2.10.6 Módulo Reológico de Corte Dinámico

Este manual (SCT, MMMP405025/02, 2002) describe esta prueba solo es aplicable a los cementos asfálticos con módulos en el rango de 0.1 a 1000 kPa, los que se obtienen en forma típica entre 5 y 85°C. Este corte dinámico es el resultado de la división de la tensión máxima entre la deformación máxima y ante la carga oscilatoria sinusoidal. Por otra parte, permite determinar el módulo reológico de corte dinámico y el ángulo fase, como son propiedades viscoelásticas lineales de un cemento asfáltico sometiendo el asfalto a esfuerzos de torsión utilizando el reómetro dinámico de corte, el cual cuenta con un sistema de prueba:

- plato base metálico con superficies pulidas.
- Platos oscilatorios de 8 mm o 25 mm a una no altura de 2 a 5 mm
- Cámara ambiental capaz de controlar una temperatura de muestra con aproximación de $\pm 0.01^\circ\text{C}$
- Controlador de temperatura capaz de mantener una temperatura con aproximación de $\pm 0.01^\circ\text{C}$ rangos de prueba de 5 a 8°C
- Detector de temperatura
- Detector térmico de referencia
- Dispositivo de carga con rendimiento total del sistema a una torsión de 100 N(m) será menor de 2 mrad/N(m)
- Sistema de control y registro de datos, registrando (temperatura, frecuencia, ángulo de giro y torsión)

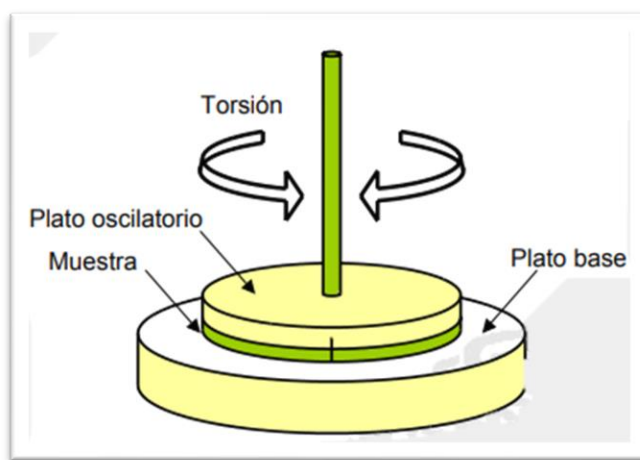


Figura 34 Reómetro de corte dinámico típico (SCT, MMMP405025/02, 2002)

2.10.7 Perdida por Calentamiento y Pruebas Después de Partícula Delgada y Aire de Horno

Estas pruebas mencionadas en (SCT, MMM405027/22, 2022) “describen y permiten conocer el método con el cual se puede estimar el endurecimiento que sufren los cementos asfálticos que en pequeñas partículas se someten a los efectos de calor y de aire similares a las que ocurren durante su fabricación con el objeto de evaluar así su envejecimiento inicial. El ensayo consiste en someter a una muestra de cemento asfáltico a un proceso de calentamiento para producir un residuo, según el tipo de cemento asfáltico que se esté utilizando se le realizan diferentes pruebas como sigue;

- Cementos asfálticos normales
- Prueba para pérdida de masa
- Viscosidad dinámica
- Penetración respecto al cemento asfáltico original
- Ductilidad
- Cementos asfálticos modificados
- Prueba para pérdida de masa
- Penetración del residuo
- Penetración que conserva respecto al cemento asfáltico modificado original
- Ductilidad
- Recuperación elástica en ductilómetro
- Punto de reblandecimiento
- Módulo reológico de corte dinámico
- Ángulo fase
- Pruebas después del envejecimiento en vasija de presión, temperatura y aire

El objetivo de este ensayo es permitir hacer una simulación en los cambios entre la relación del esfuerzo y formación que sufre un cemento asfáltico (cambios reológicos) durante su envejecimiento (oxidación) a largo plazo. Cabe mencionar que esta prueba no es aplicable si se quiere simular la velocidad relativa de envejecimiento.

Se obtiene una muestra de cemento envejecido mediante el proceso de envejecimiento del cemento asfáltico en horno rotatorio de película delgada (RTFO), en bandejas de acero inoxidable y acondicionado a una temperatura de, dentro de la principal vasija que cuenta con dispositivos de control en presión y temperatura, está diseñada para mejorar la difusión del aire en el cemento asfáltico. Posteriormente, el residuo que se obtiene se somete a un proceso de vacío donde se le extraen todas las burbujas de aire atrapadas para con esto realizar la prueba para conocer su grado (PG).

2.10.8 Método de ensayo de penetración

La norma (SCT, MMMP405006/00, 2000) “Describe el procedimiento de prueba para determinar la consistencia de los materiales asfálticos, así como de los residuos por destilación de las emulsiones y asfaltos rebajados mediante la penetración vertical de una aguja en una muestra de prueba de dichos materiales bajo condiciones establecidas de masa, tiempo y temperatura.



Figura 35 Equipo para penetración de asfalto, penetrómetro (autoría propia)

Se utiliza el aparato de penetración o penetrómetro para asfaltos, el cual es capaz de sujetar una aguja de acero inoxidable totalmente endurecida y pulida mediante un casquillo de bronce o de acero inoxidable sobresaliendo entre 40 y 45 mm de la aguja.”

La norma menciona diferencias permisibles entre los valores de penetración considerados para el cálculo de resultados, como se muestra en la tabla siguiente.

Unidades 1×10^{-1} mm (Grados de penetración)	
Valor de penetración	Diferencias permisibles
0-49	2
50-149	4
150-24	6
250 o más	8

Tabla 12 Valores permisibles en resultados de penetración. (SCT, MMMP405006/00, 2000)

CAPÍTULO III DESARROLLO

3.1 Actividades de muestreo y separación de material pétreo

Se procede a ubicar el banco seleccionado de materiales pétreos denominado “banco Monteverde”, en el cual se hace la revisión visual de los materiales que se están produciendo para posteriormente muestrear cada material (figura 37), descartando que el material primario se observe contaminado o de mala calidad (figura 36).



Figura 36 Producción de trituración Monteverde (autoría propia)

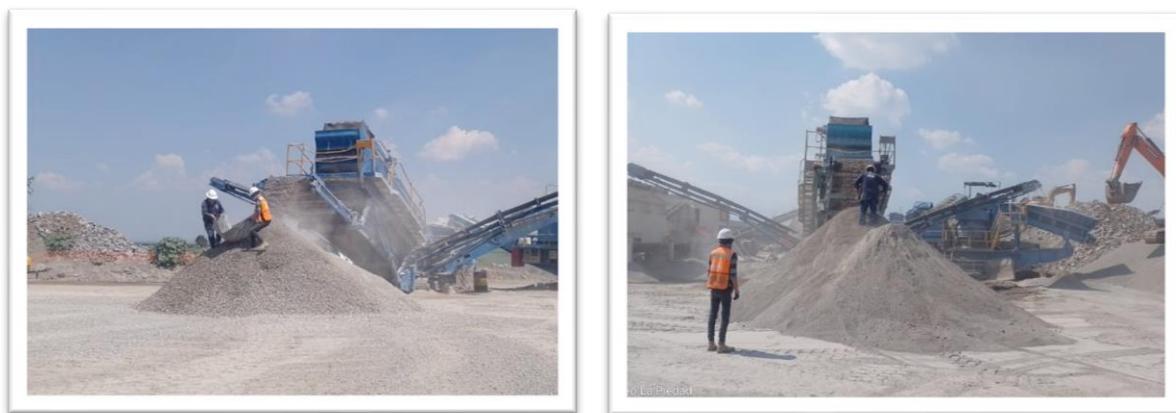


Figura 37 Muestreo de agregados pétreos (autoría propia)

La muestra del material recibida en laboratorio debe ser representativa (figura 39), la cual se trata, se reduce y se separa mediante el cribado en dos fracciones como se menciona en la norma M.MMP.4.04.003/18¹¹, el material retenido en la malla No. 4 (4.75 mm) se prepara y cuartea según procedimiento de la anterior norma de acuerdo a la porción del tamaño nominal del material pétreo grueso (figura 38), y el material que pasa la malla No. 4 se refiere al material pétreo fino al cual se aplica mismo método de cuarteo pero diferente procedimiento de ensaye.



Figura 38 Cuarteo y masa volumétrica del material pétreo (autoría propia)



Figura 39 Preparación de la muestra para pérdida de humedad (autoría propia)

¹¹ M.MMP.4.04.003/18 Materiales pétreos para mezclas asfálticas

Posteriormente, el material se criba manualmente por todas las mallas solicitadas en la norma N.CMT.4.04/08¹² (figura 40), obteniendo una granulometría completa por duplicado de cada material, obteniendo como resultado el análisis granulométrico de agregados.

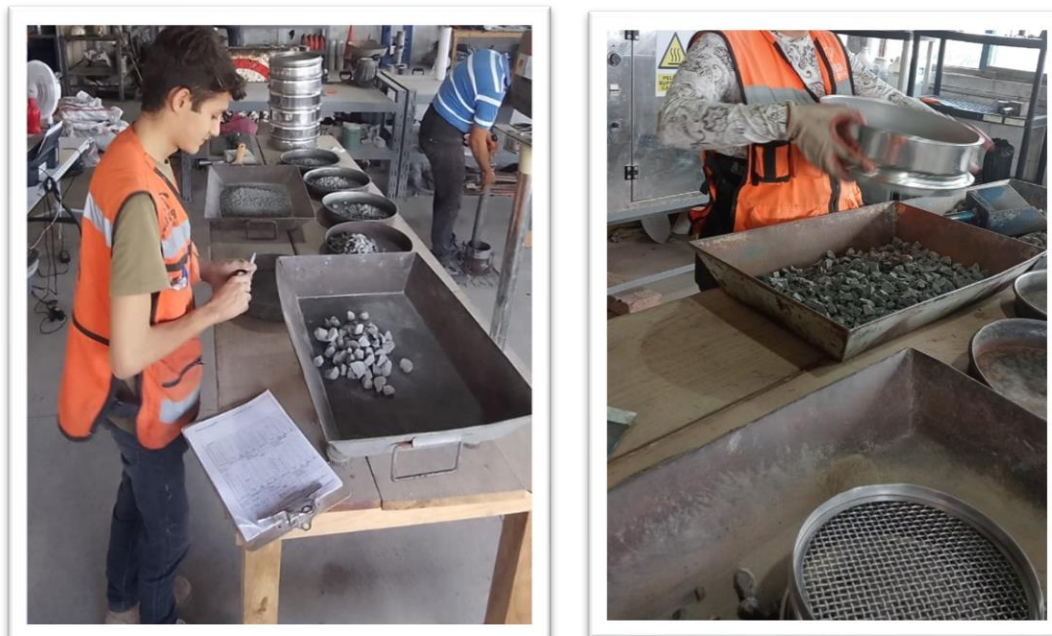


Figura 40 Granulometrías de agregados pétreos (autoría propia)

Se pretende determinar la calidad completa de los materiales pétreos a utilizar en la mezcla asfáltica, conociendo las características particulares y posteriormente el comportamiento en conjunto para así determinar el diseño y aplicarlo en la mezcla.

El resultado de agrados finos y gruesos se muestra en los siguientes formatos CALIDAD DE AGREGADOS PETREOS GRUESO.pdf y CALIDAD AGREGADOS PETREOS FINO.pdf

Se realiza una propuesta granulométrica para la mezcla densa de alto desempeño TMN 1/2” (12.5mm), considerando los resultados antes obtenidos de los materiales pétreos y obtener una

¹² Materiales para pavimentos

propuesta en seco sin adicionarle asfalto, la cual se puede observar en la imagen 41 dentro de los parámetros solicitados.

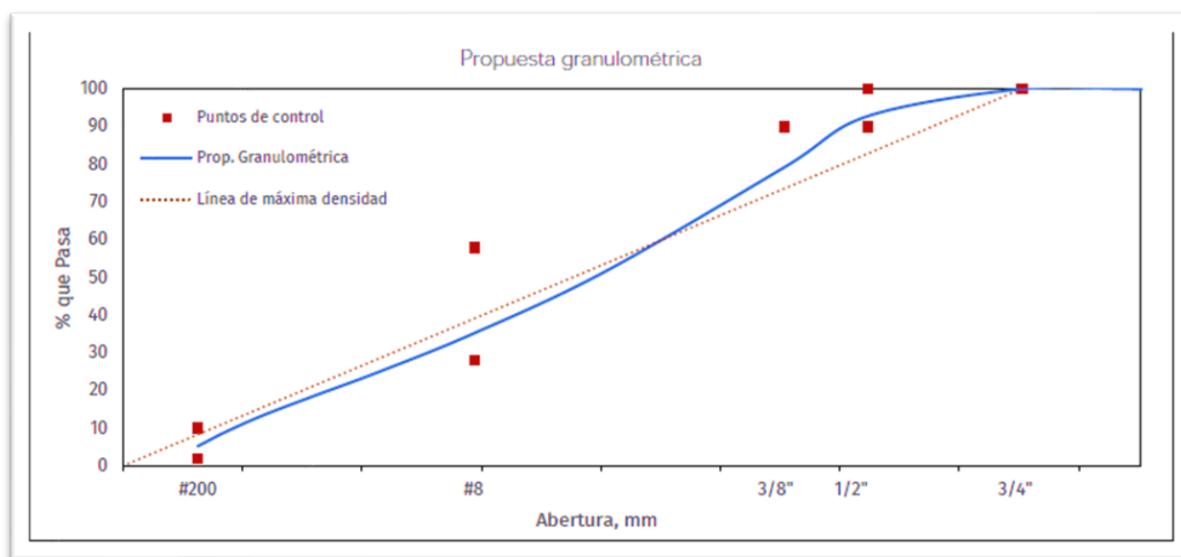


Figura 41 Propuesta granulométrica en seco (autoría propia)

En el siguiente formato se presentan los parámetros solicitados y los resultados de las granulometrías, especificando los retenidos parciales, particularmente adicionando el 2% de filler.

CALIDAD AGREGADOS PETREOS FINO.pdf

3.2 Procedimientos empleados y actividades desarrolladas para materiales pétreos

Método para la gravedad específica y absorción del agregado fino

Este método es una medida importante que indica la cantidad de vacíos presentes en el material, lo cual puede afectar la resistencia y durabilidad de la mezcla asfáltica. Una gravedad específica más baja puede indicar la presencia de vacíos y porosidad en el agregado lo que afectaría negativamente la calidad del pavimento. Refiriéndose a la absorción del agregado fino, se habla de la capacidad para retener agua, un alto nivel de absorción puede provocar problemas de adherencia entre el asfalto y el agregado lo que resulta en una mezcla asfáltica menos duradera y con mayor propensión a daños por humedad. Por lo tanto, es importante controlar la absorción del agregado fino para garantizar la calidad de la mezcla asfáltica y la durabilidad del pavimento en este diseño.

Para este método se requiere tener 500gr de material en condición SSS (seco superficialmente saturado) y preparado como lo menciona la norma N.CMT.4.04/08, se utiliza un molde de cono truncado (figura 42b), se vacía la muestra del agregado fino hasta que sobresalga y posteriormente se deja caer el pisón para compactar ligeramente el agregado fino con 25 golpes (figura 43a), se hace un lado el material suelto alrededor de la base del cono, se levanta el molde verticalmente. Como resultado de esta prueba el material, ya una vez retirado el molde debe de caer sólo en un extremo sin existencia de exceso de humedad ni falta de humedad, lo que determina una condición SSS adecuada.

Se tiene preparado el picnómetro con agua a 23 ± 2 ° (figura 42a), se registra el peso del picnómetro lleno hasta la línea de aforo para cuestiones de cálculo, en el momento y sin demora vaciar el material en condición SSS como se mencionó anteriormente con el picnómetro a la mitad de la línea de llenado, se agita y se gira de 15 a 20 minutos para eliminar las burbujas de aire (figura 43b), y se incrementa lentamente agua hasta la línea de aforo para obtener el peso de agua y material. Del mismo material en condición SSS se registran el dato seco y húmedo de los 500 g los cuales se meten al horno para pérdida de humedad a una temperatura de 110 ± 5 °C.

Con este procedimiento se determina la gravedad específica y absorción del agregado fino y el resultado se presenta en el siguiente formato. [DENSIDAD Y ABSORCION DE ARENAS .pdf](#)



Figura 42 Aforo de picnómetro (a), cono truncado y pisón (b), (autoría propia)



Figura 43 Determinación de gravedad específica (a) y absorción del material fino (b), (autoría propia)

Método para determinar el equivalente de arena

Se realiza para evaluar la limpieza y la forma de las partículas finas en el agregado fino que se utilizará en la mezcla asfáltica.

Preparar una muestra representativa del agregado fino que se va a analizar; esa muestra debe estar seca y libre de contaminantes.

Ya que está el material tamizado por la malla #4 (4.75 mm), se humedece un poco para evitar la pérdida del material fino en el ambiente Se realiza con el método B de acuerdo a la pág. 31 del manual (Ayala, 2019). Observando la condición óptima del material mediante el rollito en la palma, se toma la cápsula y se llena 3 veces, se tienen preparadas las probetas con 4 ± 1 mm de la solución de trabajo (figura 44a), posteriormente se vacía el material fino mediante un embudo para evitar que se derrame, se golpea la probeta con movimientos energéticos para sacar las burbujas de aire atrapadas y favorecer el humedecimiento de la muestra total, se deja reposar sin manipulación de la probeta durante 10 ± 1 minuto (figura 44b).

Ya que paso el tiempo de reposo de 10 minutos se procede a la agitación que consta en tapar la probeta y remover suavemente el material del fondo e inicia el proceso de agitación el cual se realiza con el agitador mecánico, agitando durante 45 ± 1 segundos (figura 45a), posteriormente comienza el procedimiento de irrigación el cual consta de colocar la probeta sobre la mesa de trabajo y remover el tapón una vez ya tomada del agitador mecánico, se mantiene la probeta vertical sin despegarla de la mesa, se introduce el tubo irrigador dentro del material hasta la parte inferior de la probeta aplicando suaves punzadas, al mismo tiempo se hace girar el tubo irrigador para remover el material del fondo (figura 45b), así todo el material arcilloso subirá y dejará solo las partículas más gruesas en la parte inferior de la probeta, se continúa con el movimiento del irrigador hasta llenar las 15 in del de la probeta graduada, retira el irrigador por completo y se deja la probeta en reposo por 20 minutos ± 15 segundos.

Pasando los 20 minutos de reposo se registra la primera lectura como el nivel superior de arcilla. Después se coloca el pisón sobre la probeta y se baja suavemente hasta descansar sobre la arena y se registra la segunda lectura como valor de la arena que tiene dicha probeta.

El equivalente de arena se reporta como un valor de número entero redondeando al siguiente valor superior, se divide la lectura de la arena entre la lectura de la arcilla y da como resultado el equivalente de arena como se observa en el siguiente formato. EQUIVALENTE DE ARENA .pdf



Figura 44 Preparación de probetas (a), y primera lectura de material (b), (autoría propia)



Figura 45 Agitador mecánico (a) y proceso de irrigación para equivalente de arena (b), (autoría propia)

Método para determinar el valor azul de metileno de una arcilla

Para este procedimiento se necesita obtener material que pase la maya # 200 (0.075) mm y secar a una temperatura de 110 ± 5 °C. Así como la solución de azul de metileno, la cual tiene 1 ± 0.01 g de azul de metileno y 100 ml de agua, esto se coloca en la bureta graduada y ajustada a la altura requerida.

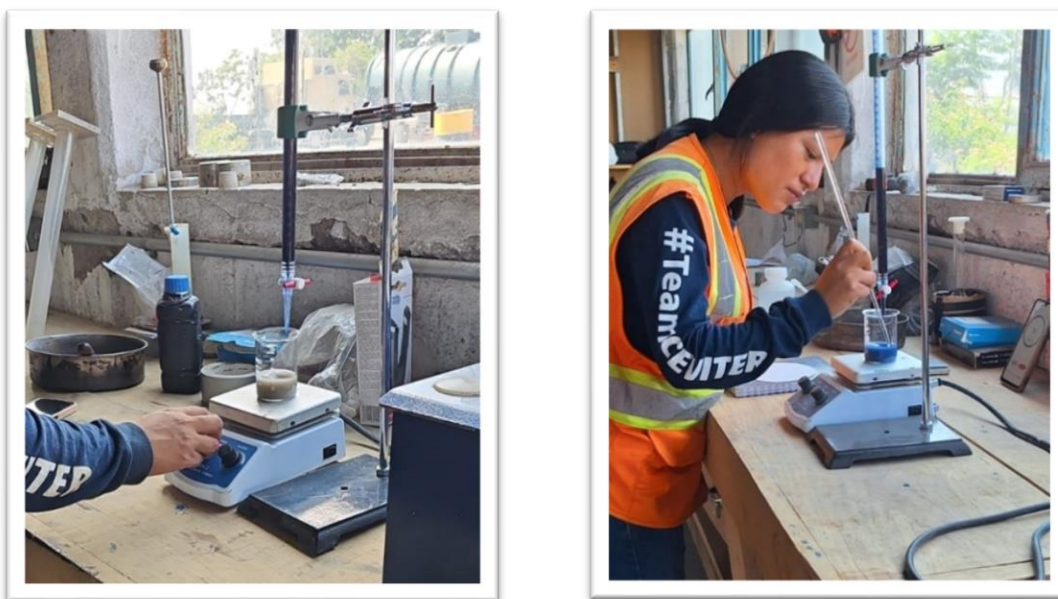


Figura 46 Agitación de la arcilla (a) y toma de la muestra en el primer minuto (b), (autoría propia)

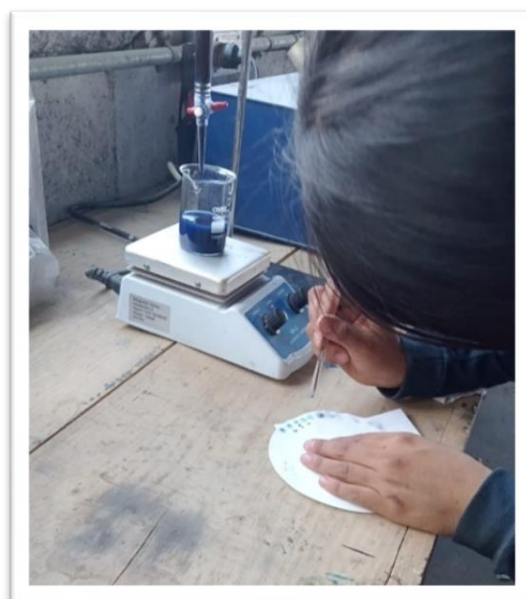


Figura 47 Terminación de la prueba (autoría propia)

Siguiendo el procedimiento en el apartado 5 del manual de ensayo de laboratorio (Ayala, 2019), colocar 1.0 ± 0.05 g de la muestra seca en un vaso de precipitado de 100 ml, añadir 30 ± 0.1 g de agua destilada y posteriormente agregar la barra magnética, esto se coloca sobre el agitador magnético e inicia la agitación hasta que la arcilla se disperse uniformemente (figura 46a), aproximadamente 5 minutos, con la suspensión aún en agitación añadir 1.01 mm de la solución de azul de metileno a la suspensión y agitarla durante 1 minuto sin detener la agitación. Retirar una gota de la suspensión con la punta de varilla de vidrio y colocarla en el papel filtro (figura 46b), esto se ejecuta varias veces hasta que se forme un Halo azul alrededor de la gota posteriormente al alcanzar el punto final continuar la agitación durante 5 minutos adicionales y volver a tomar una muestra para comprobar el fin del ensayo (figura 47). Se obtiene por el valor de azul de metileno reflejado en el formato siguiente. AZUL DE METILENO .pdf

Método de prueba para determinar el contenido de vacíos no compactados del agregado fino

Para este procedimiento se obtiene una muestra de acuerdo con el manual (Ayala, 2019) en el apartado 6 y como lo indica el método, se necesita una masa adecuada de cada retenido en cada maya solicitada en la tabla 13

Tamaño de fracción individual	Masa (g)
2.36 mm (No.8) a 1.18mm (No.16)	44± 0.2
1.18 mm (No.16) a 600 µm (No.30)	57 ± 0.2
600µm (No.30) a 300 µm (No.50)	72 ± 0.2
300 µm (No.50) a 150 µm (No.100)	17 ± 0.2
Total	190 ± 0.2

Tabla 13 Apartado 6, método A, (Ayala, 2019)

Para esta prueba se debe conocer el volumen y la masa del cilindro, el cual ya se tiene previamente. La muestra de material se debe lavar y secar al horno a masa constante a una temperatura de 110 ± 5 °C, ya a temperatura ambiente se tamiza y se separa en fracciones de acuerdo con la tabla 9, ya teniendo las masas exactas se combina formando una masa total de 190 ± 0.2 g.

Posteriormente se coloca el soporte de embudo con el medidor cilíndrico sobre la placa de vidrio en una plataforma uniforme y a nivel. Con el dedo se bloquea la salida del embudo, se vierte la mezcla y se libera el embudo dejando llenar el medidor cilíndrico (figura 48), al finalizar nivelar el material sobrante con una espátula sin realizar ningún movimiento al cilindro, cepillar el agregado fino remanente en el exterior del medidor cilíndrico y registrar la masa del cilindro (figura 49), recuperar toda la muestra del agregado fino en el recipiente, homogenizar nuevamente y repetir el procedimiento para obtener una segunda y tercera medición.



Figura 48 Equipo y vaciado de material en el molde cilíndrico, (autoría propia)

Para el cálculo final de esta prueba se debe conocer el valor de la gravedad específica y absorción del agregado del mismo material, como se muestra en el siguiente formato.

ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.pdf



Figura 49 Primer lectura del cilindro con material, (autoría propia)

Método de prueba para determinar la gravedad específica y absorción del agregado grueso

Para este procedimiento se desecha el material que pasa la malla número #4 (4.75 mm) y se trabaja con las partículas gruesas, para este diseño se trabaja con tamaño nominal de 19 mm lo que corresponde a 3 kg mínimo de la muestra cómo se menciona en el apartado 7 del manual (Ayala, 2019), el material debe estar lavado para eliminar el polvo adherido en el agregado grueso (figura 50), posteriormente las partículas se sumergen en agua a temperatura ambiente por un periodo de 24 ± 4 horas.

Pasando el tiempo, se busca la condición saturada superficialmente seca (SSS) envolviendo todas las partículas en una franela semi húmeda grande, se gira y se remueven las partículas entre sí para evitar evaporación del agua de los poros del agregado durante el proceso de secado superficial.



Figura 50 Preparación de la muestra para saturación de 24 hrs., (autoría propia)

Se coloca el agregado sobre la balanza y se registra la masa en condición saturada superficialmente seca (figura 51), posteriormente se coloca la muestra en la canastilla y se sumerge en el baño de agua con una temperatura de 23 ± 2 °C, se agita ligeramente la canastilla para eliminar posibles burbujas de aire atrapadas y se registra la segunda masa sumergida en el agua.

Teniendo estas dos masas, el material ingresa al secado en horno a una temperatura de $110 \pm 5^\circ\text{C}$ posteriormente se deja enfriar y cuando alcance la temperatura ambiente se registra la última masa del agregado, la cual es seca y se podrán realizar los cálculos para determinar la gravedad específica y la absorción del agregado como se muestra en el siguiente formato. DENSIDAD Y ABSORCION DE GRAVAS .pdf

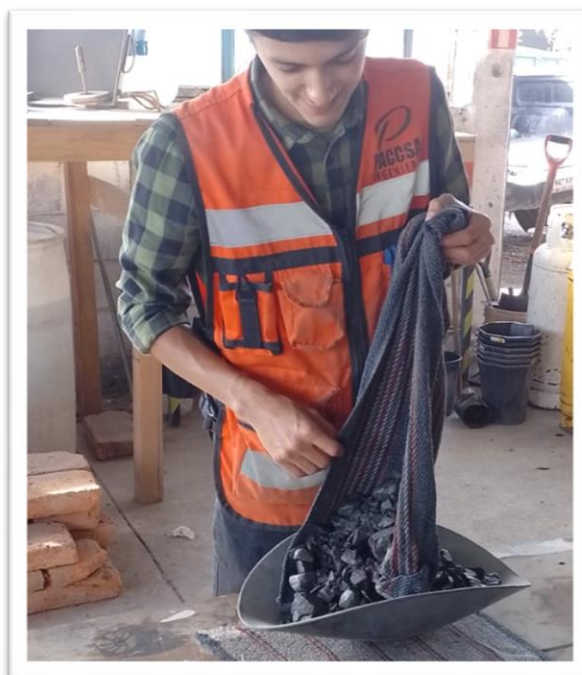
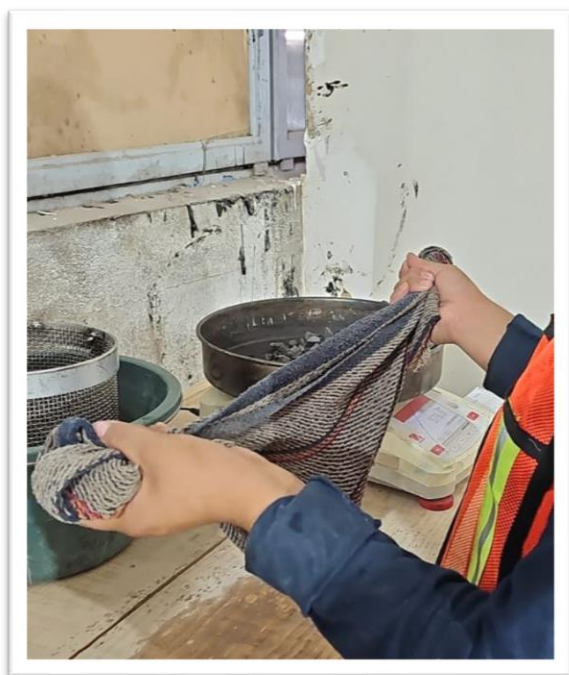


Figura 51 Condición saturada superficialmente seca, primera lectura de masa, (autoría propia)

Método de prueba para determinar la resistencia a la degradación del agregado grueso por abrasión e impacto en la máquina de Los Ángeles



Figura 52 Tambor de máquina de los ángeles, (autoría propia)

Para esta muestra en el apartado 8.4 del manual (Ayala, 2019), se especifica la masa y la abertura de la malla según el rango de tamaños que es necesario para utilizar en el proyecto.

Sólo se utilizan agregados gruesos con un tamaño máximo menor a 37.5 mm una 1:30 pulgadas para evaluar su resistencia a la grave degradación utilizando la máquina de Los Ángeles (figura 52). Se utiliza como indicador de la tecnicidad del material para resistir el impacto de las cargas durante la fabricación.

Se tamiza el agregado grueso se lava para retirar el material fino y se seca en horno a una temperatura de 110 ± 5 °C, posteriormente se separan las fracciones individuales por tamaño y se combinan de acuerdo con la granulometría elegida mencionada en el manual. Esta muestra se coloca en la máquina de Los Ángeles y se hace girar el tambor a una velocidad de 30 a 33rpm (revoluciones por minuto) durante 500 revoluciones. Se debe retirar la carga ahora sí va manualmente antes de retirar el material para evitar perder material durante la descarga (figura 53). Posteriormente se separa la muestra sobre una malla más grande que la malla de # 12 (1.7

mm) se tamiza la porción más fina en la malla #12 y se lava el material utilizando una malla más fina que la pudiera pasar, después se lleva al horno a una temperatura de 110 ± 5 °C. Una vez que el agregado alcance la temperatura ambiente se registra la masa de la muestra final como se muestra en el siguiente formato. DESGASTE DE LOS ANGELES .pdf



Figura 53 Material lavado y seco y la carga abrasiva, (autoría propia)

Método para determinar la resistencia a la degradación del agregado pétreo mediante la máquina Micro-Deval

Se emplea este método para determinar la resistencia por abrasión y durabilidad del agregado en presencia de agua, se agrega la muestra preparada con una carga abrasiva de bolas magnéticas de acero inoxidable, el operador asegura el recipiente y se coloca en la maquina Micro-Deval (figura 54), así detectar cambios en las propiedades del agregado como parte del control y garantía del agregado. Los resultados se muestran en el siguiente formato. [DESGASTE MICRO DEVAL .pdf](#)



Figura 54 material retenido lavado listo para ingresar a la máquina Micro-Deval, (autoría propia)

Método para la resistencia al intemperismo acelerado

Esta prueba se determina la degradación por intemperismo de los materiales pétreos utilizados en la mezcla, consiste en someter a varios ciclos de saturación y secado los diferentes tamaños de la fracción de agregados gruesos, mediante el empleo de una solución saturada de sulfato de sodio o magnesio, medir la diferencia de su masa antes y después de haber sido sometido a este tratamiento.

Colocar la muestra en una charola de peltre que contenga las sales quedando totalmente cubiertas (figura 55), mantener de un periodo de 16 a 18 horas a una temperatura de $21\text{ }^{\circ}\text{C}$, al finalizar el periodo escurrir las muestras, secarlas en el horno a una temperatura de $110 \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a masa constante repetir este proceso de inmersión y secado hasta completar 5 ciclos, al terminar el último ciclo lavar las muestras hasta eliminar todo el sulfato de sodio y secar nuevamente en el horno, una vez enfriadas a temperatura ambiente cribar cada muestra con la malla de menor tamaño según la granulometría y registrar el retenido en las mallas utilizadas desechando el material que pasa.

Se reportan los pesos en el siguiente formato ANEXO\INTEMERISMOACELERADO.pdf



Figura 55 Agregado expuesto a sulfato de sodio, (autoría propia)

Método para determinar el porcentaje de partículas fracturadas en el agregado grueso

El resultado de este método consiste en maximizar la resistencia al corte incrementando la fricción interna entre partículas en la mezcla, así con esto se realiza una inspección por tamaño de cada partícula (figura 56).

Los resultados se muestran en el siguiente formato. [PARTICULAS FRACTURADAS .pdf](#)

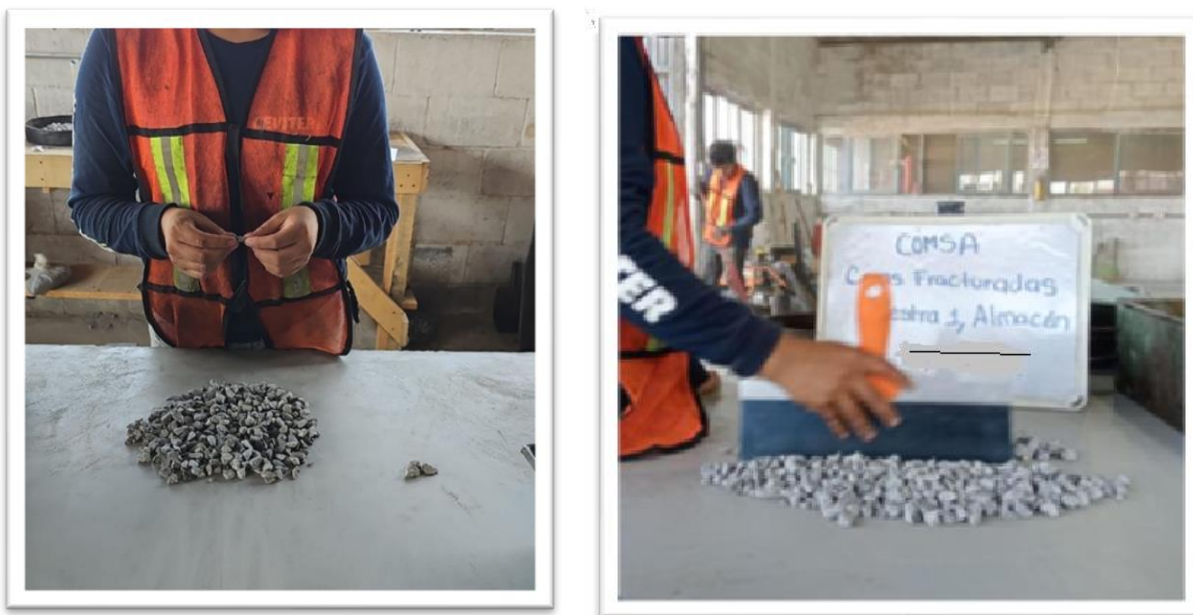


Figura 56 Revisión visual de la muestra para determinar partículas fracturadas (autoría propia)

Método para determinar el porcentaje de partículas planas y alargadas

Así como en el anterior ensayo el método de prueba para determinar partículas planas y alargadas del agregado grueso se realiza para conocer el comportamiento que tendrá la mezcla. En este ensayo se busca contar con partículas esféricas (figura 58), evitar las partículas planas y alargadas debido a que pueden presentar tendencia a fracturarse durante la construcción y bajo la acción del tránsito (figura 57), se pasan una a una las partículas de agregado grueso en el calibrador con la especificación 1:5, determinar la masa necesaria para la muestra, se registra la masa total y la masa retenida y se calcula el porcentaje retenido parcial de cada fracción, así obteniendo los cálculos en el siguiente formato. PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS .pdf



Figura 57 Determinación de partículas lajeadas (autoría propia)

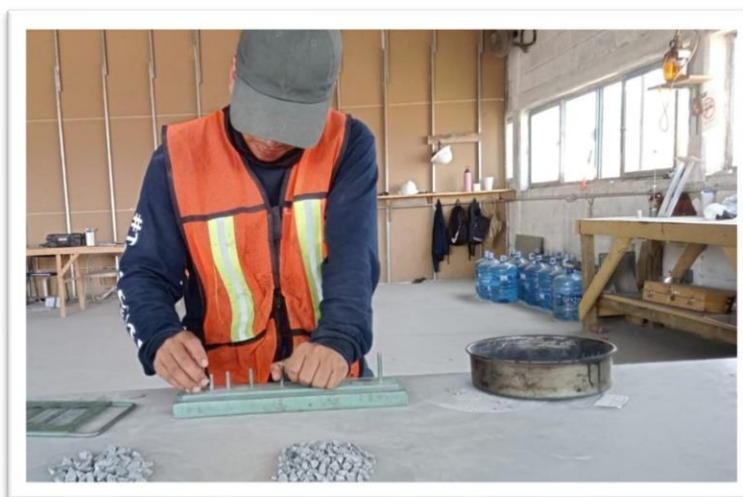


Figura 58 Determinación de partículas alargadas (autoría propia)

De acuerdo a los resultados obtenidos en los ensayos de los materiales pétreos del banco Monteverde que conforman el diseño, se determina que son adecuados para ser utilizados en la producción de mezcla asfáltica de alto desempeño, al cumplir con las características indicadas en la especificación particular.

3.3 Procedimientos empleados y actividades desarrolladas para el asfalto

Se utilizó un asfalto modificado tipo PG 76V-22 el cual se analizó y se comprobaron los datos emitidos por el proveedor (figura 59), los cuales se encuentran en el siguiente formato, CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ASFALTO (2).pdf

PRODUCTO: ASFALTO STYLINK® MODIFICADO CON POLIMERO TIPO I CLASIFICACION PG 76V-22			
LOTE:		MT29-092T-A	
PRUEBA	UNIDAD	VALOR	METODO DE ANALISIS
AL PRODUCTO ORIGINAL			
(1) Viscosidad Rotacional Brookfield @ 135 °C	Pa·s	1.945	ASTM D4402
(3) Punto de Inflamacion Cleveland	°C	> 230	ASTM D92
(1) Punto de Reblandecimiento	°C	65.20	ASTM D36
(1) Penetración @ 25 °C, 100 g, 5 s	dmm	46	ASTM D5
(1) Recuperación Elástica por Torsión @ 25 °C	%	67	MAC-019
(2) Separación, diferencia anillo y esfera	°C	0.8	ASTM D7173
(1) Módulo Reológico de Corte Dinámico @ 76 °C	kPa	2.270	ASTM D7175
AL PRODUCTO DESPUES DE RTFO			
(2) Pérdida de Masa por Calentamiento @163 °C	%	-0.53	ASTM D2872
(2) Recuperación Elástica Ductilómetro @ 25 °C	%	88	ASTM D6084
(2) Módulo Reológico de Corte Dinámico @ 76 °C	kPa	6.010	ASTM D7175
(1) Respuesta Elástica, RE a 3.2 Kpa en MSCR	%	66.88	ASTM D7405
(1) Jnr a 3.2 kPa en MSCR	kPa ⁻¹	0.299	ASTM D7405
(1) MSCR Clasificación SuperPAVE Tipo Trafico	S,H,V,E	V	ASTM D7405
AL PRODUCTO DESPUES DE PAV			
(3) Rigidización @ 31 °C	kPa	1500	ASTM D7175
(3) Rigidez de Flexión S(t) @ -12 °C	Mpa	130.5	ASTM D6648
(3) Valor "m" @ -12 °C	---	0.3095	ASTM D6648
(1) Prueba realizada por el Laboratorio de Control y Aseguramiento de Calidad en planta.			
(2) Prueba realizada por el Laboratorio de Control y Aseguramiento de Calidad en planta por cada 3 lotes producidos.			
(3) Prueba realizada a una muestra típica por el Laboratorio Central/Regional.			

Figura 59 Datos de proveedor asfalto modificado, (autoría propia) *Módulo reológico de corte dinámico*

Se determina cada valor de cada prueba, considerando el asfalto original y si es factible utilizarlo en conjunto con los agregados pétreos que ya se han ensayado anteriormente, obteniendo como resultado el diseño de la mezcla para este proyecto.

Para ensayar el asfalto se realizan pruebas rápidas, las cuales determinan su grado PG y son mencionadas en el capítulo anterior en el apartado 2.10. Los resultados obtenidos se especifican en el siguiente formato. [DETERMINACIÓN DEL GRADO PG DE ASFALTO.pdf](#)



Figura 60 Muestreo de asfalto modificado, (autoría propia)

Teniendo la prueba de asfalto identificada y lista en laboratorio (figura 60), se llena el “vaso abierto Cleveland” y posteriormente se realiza la prueba que consiste en llenar un vaso de bronce con un determinado volumen de asfalto, se calienta con un aumento de temperatura normalizado como se menciona en el capítulo anterior. Este asfalto libera vapores que son combustibles a lo que resulta el punto de inflamación.

Se registra con un punto de inflamación en grados Celsius con aproximación de 2 °C, la temperatura leída en el termómetro cuando al pasar al aplicador se produzca una pequeña flama instantánea o destello, en cualquier punto de la superficie de la muestra (figura 61). Se continúa incrementando la temperatura de 5 a 6 °C por minuto y se detiene hasta que por lo menos la flama dure 5 segundos registrando en el formato la temperatura alcanzada como el punto de combustión en grados centígrados con aproximación de 2 °C.



Figura 61 Punto de inflamación Cleveland del asfalto, (autoría propia)

De la muestra que se tiene en laboratorio, se toma una porción de volumen apropiada mayor a lo que se crea necesario para llenar los anillos, se calienta el asfalto y se agita de manera continua hasta adquirir la fluidez que permite el vaciado en los anillos, cuidando que la temperatura alcanzada no exceda los 130 °C y que esta operación se realiza en un lapso menor de 60 minutos (figura 62).

Se calientan los anillos a una temperatura aproximadamente igual a la de la muestra y posteriormente se vierte en los anillos el cemento asfáltico, se cubre adecuadamente para protegerlos del polvo y se deja enfriar durante aproximadamente 30 minutos para que recobre su consistencia sólida, enseguida se corta el exceso del material asfáltico con la espátula o el cuchillo. Posteriormente se llena el vaso de vidrio hasta una altura de 10 cm, se colocan los porta anillos y el termómetro cuidando que la parte inferior del bulbo quede al mismo nivel de la parte inferior de los anillos, el agua debe ser potable a $5 \pm 1^\circ\text{C}$ si el punto de reblandecimiento esperado es menor a 80°C , como lo es en este caso.

Se colocan los anillos en el soporte y con las pinzas las esferas, ya colocando el vaso en el fuego se incrementa uniformemente la temperatura del líquido a razón de $5^\circ\text{C}/\text{minuto}$ con una tolerancia de $\pm 0.5^\circ\text{C}$ en lecturas hechas cada minuto después de los primeros 3 minutos. Se registra la temperatura en el momento en que el material asfáltico que está en anillo toque la placa inferior del soporte con aproximación de $\pm 0.5^\circ\text{C}$, las temperaturas registradas no deben diferir entre sí en más de 1°C para evitar repetir la prueba.

Como resultado se reporta, al punto de reblandecimiento del cemento asfáltico el promedio de las temperaturas registradas durante los 3 minutos con aproximaciones de 0.5°C .

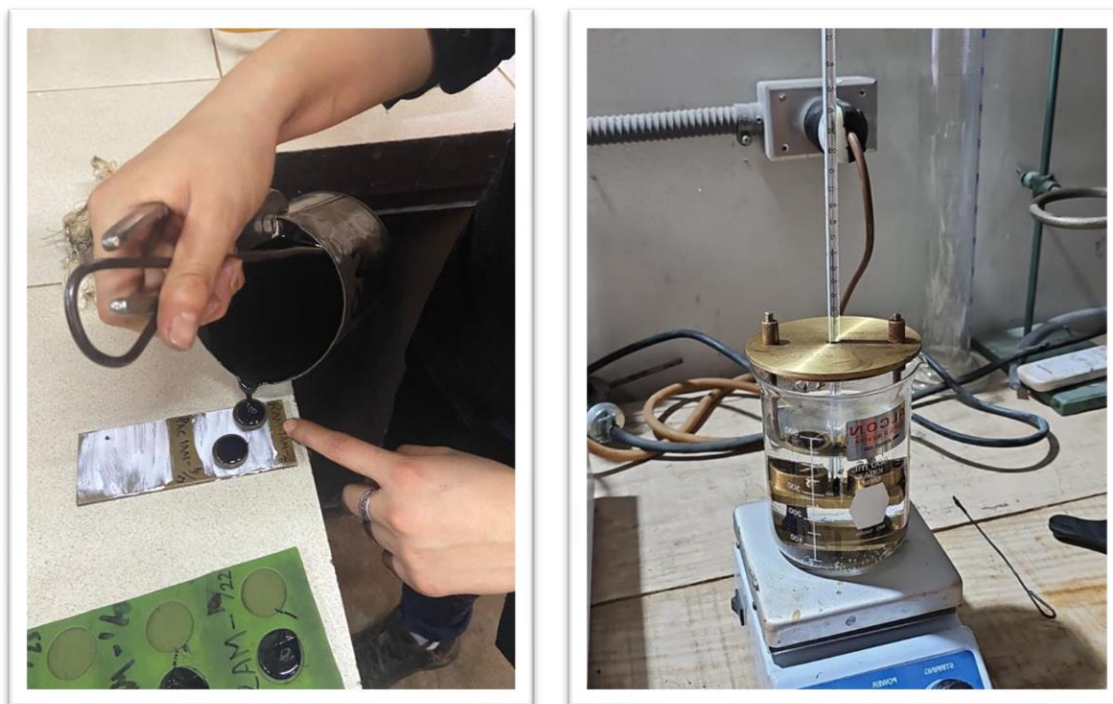


Figura 62 Punto de reblandecimiento, (autoría propia)

De la muestra general de asfalto que se obtuvo se llena la cápsula de penetración cubriendo adecuadamente para protegerla del polvo y se deja enfriar hasta que alcance la temperatura ambiente, posteriormente se coloca la cápsula de penetración que contiene la muestra de prueba dentro del recipiente de manejo para introducirlos posteriormente en el baño de agua y mantenerse a una temperatura de 25°C , se sumerge dicho recipiente completamente y se mantiene así por un tiempo de 2 horas con objeto de que el producto asfáltico adquiera esa temperatura, se coloca el penetrómetro en una superficie plana firme, se le acopla la aguja, finalmente se nivela perfectamente el penetrómetro, el recipiente se saca del baño el cual contiene la cápsula de penetración cuando tenga agua suficiente para cubrir completamente la cápsula se coloca en el recipiente y la cápsula sobre la base del penetrómetro de tal manera que la muestra quede bajo la aguja se ajusta la altura de la aguja hasta que haga contacto con la superficie de la muestra lo que se hace es coincidir la punta de la aguja con la de su imagen reflejada en la superficie de la muestra (figura 63).

Se hace coincidir la manecilla del penetrómetro con el cero de su carátula y se libera la aguja únicamente durante 5 segundos, se registra en décimas de milímetro, se deben realizar por lo menos tres penetraciones sobre puntos diferentes de la superficie de la muestra con una separación de 10 mm como mínimo entre sí, posteriormente se limpia cuidadosamente la aguja después de cada penetración sin desmontarla para ajustar la temperatura 25 °C y se regresa la muestra al baño para realizar la siguiente penetración.

El resultado se reporta como el promedio de las profundidades a las que haya entrado la aguja por lo menos en 3 penetraciones expresadas en décimas de milímetro y con aproximación a la unidad a esto se conoce como grado de penetración, es importante mencionar que en el reporte se considera la temperatura, la masa y el tiempo de penetración con lo que se realizó la prueba.



Figura 63 Penetración del asfalto, (autoría propia)

De la muestra de cemento asfáltico obtenida en el inicio se toma una porción de volumen ligeramente mayor al necesario para llenar el molde de la muestra del aparato de torsión agitando en forma continua hasta que adquiera la fluidez suficiente para facilitar su vaciado en dicho molde, cuidando que la temperatura no exceda de 130 °C y que esta operación se realiza en un lapso menor de 30 minutos, mientras se coloca el molde para la muestra dentro del baño de agua en una posición estable y fija.

Una vez preparada la muestra cómo se especifica anteriormente, se vierte en el molde formando un chorro delgado que se mueva por toda la circunferencia del molde, evitando la formación de burbujas de aire y en cantidad suficiente que permita el enraizamiento de dicho molde usando como referencia la marca grabada sobre el cilindro metálico a 10 mm de su base inferior cuando se introduzca la muestra es decir que el cilindro metálico quede sumergido dentro de la muestra precisamente estos 10 mm. Se enfría el molde, la muestra y el cilindro metálico durante 1 hora como mínimo hasta alcanzar la temperatura ambiente, por otra parte, se prepara el baño a una temperatura de 25 ± 0.1 °C durante al menos 90 minutos con el fin de equilibrar la temperatura y posteriormente introducir la muestra verificando que el nivel de líquido del baño esté por encima del recipiente de la muestra.

Se introduce el pasador en el espacio que tiene el cilindro metálico y con ayuda se hace girar dicho cilindro 180° en el sentido de las manecillas del reloj, es decir, se lleva la barra indicadora 180° a cero en un tiempo comprendido de 3 y 5 segundos. Hecho esto se retira inmediatamente el pasador para que no interfiera con el desarrollo posterior de la prueba, transcurridos 30 minutos ± 15 segundos se registra la lectura indicada por la barra sobre la semi corona graduada como el valor del ángulo recuperado.

Para el reporte del resultado de la prueba el porcentaje de recuperación con respecto al ángulo inicial de 180° multiplicado por 100 es la recuperación elástica por torsión del cemento asfáltico utilizado (figura 64).



Figura 64 Recuperación elástica por torsión, (autoría propia)

De la muestra tomada al inicio se obtiene una porción para llenar el molde de silicón (aproximadamente 10g). Se pone a calentar a una temperatura no mayor de 163°C agitando todo el tiempo, sin que se formen burbujas de aire. En la cámara de calentamiento se introducen los platos a una temperatura de 45°C hasta alcanzar dicha temperatura y puedan adherirse correctamente, posteriormente se desmonta el plato superior y se vacía la muestra sobre el centro de forma continua, cubriéndolo aproximadamente 15 mm por encima del plato, utilizando una jeringa o gotero, se deja reposar el plato hasta que la muestra endurezca y se monta el plato nuevamente en el reómetro.

Se acercan entre sí los platos montados en el reómetro para presionar la muestra, hasta que la distancia entre los platos sea 0.05mm, se recorta cuidadosamente el exceso de la muestra que sobresale del perímetro del plato superior.

La prueba se iniciará cuando se haya mantenido la temperatura de prueba en un rango de $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ por al menos 10 minutos; una vez alcanzada la temperatura se aplican a la muestra 10 ciclos de una deformación o esfuerzo, posteriormente otros 10 ciclos en las mismas condiciones y se registran las lecturas correspondientes (figura 65).

Una vez obtenidas las dos lecturas, el sistema de control y registro de datos del reómetro obtiene el módulo complejo y el ángulo fase, se pueden obtener diferentes mediciones para verificar que se haya preparado adecuadamente la prueba.

Se reporta el resultado de esta prueba, el valor del módulo reológico de corte dinámico en KPa y el ángulo fase en ($^{\circ}$), ambos con aproximación de un décimo.



Figura 65 Módulo reológico de corte dinámico, (autoría propia)

Como resultado de la evaluación de las pruebas de laboratorio para el asfalto que se describieron anteriormente se obtuvieron los resultados descritos en el siguiente formato.

CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO.pdf

3.4 Procedimientos empleados y actividades desarrolladas para la mezcla asfáltica

Considerando los resultados de los materiales pétreos y ya obtenida la curva dentro de los parámetros, en conjunto con la verificación del asfalto, se procede a realizar la mezcla asfáltica homogenizada para determinar la evaluación específica de pruebas de laboratorio que solicita en protocolo AMAAC nivel III para validación del diseño.

Se toma la muestra de la bachada de mezcla asfáltica expulsada por la planta ya con el asfalto integrado (figura 66).

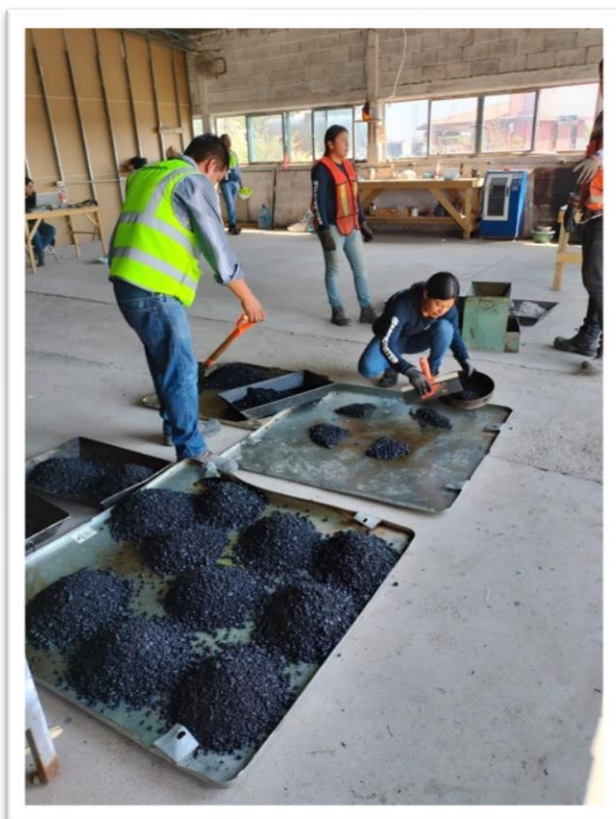


Figura 66 Muestreo y cuarteo de la mezcla asfáltica, (autoría propia)

Se registra el peso de la muestra y se procede a realizar el lavado en el equipo llamado rotarex para retirar todo el material asfáltico y obtener el material pétreo (figura 67), y posteriormente determinar el contenido asfáltico y la granulometría correspondiente (figura 68).



Figura 67 Lavado de muestra en el rotarex, (autoría propia)



Figura 68 granulometría del material pétreo de la mezcla asfáltica, (autoría propia)

Se evaluaron las características granulométricas de cada fracción de material además de sus gravedades específicas y absorción, una vez determinada la granulometría de diseño se realizaron los ensayos para determinar el comportamiento volumétrico de la mezcla con diferentes contenidos de cemento asfáltico (figura 69). Además, se realizaron los ensayos de relación de resistencia a la tensión indirecta (TSR) (figura 70a), susceptibilidad a la deformación permanente (rueda de Hamburgo) y módulo dinámico como lo solicita AMAAC nivel III

Durante el diseño volumétrico de la mezcla asfáltica se elaboraron especímenes de 150 mm de diámetro compactados con 100 kg y una presión de 600 kPa, de acuerdo al procedimiento descrito en la normativa ASTM D2041, así determinar la gravedad específica teórica máxima y densidad de la mezcla con diferente contenido de cemento asfáltico así observar su comportamiento volumétrico.



Figura 69 Especímenes para determinación de propiedades volumétricas, (autoría propia)

Los resultados de la mezcla asfáltica se presentan en el siguiente formato [PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LA MEZCLA.pdf](#) y de manera grafica en el formato [GRAFICOS D ELA MEZCLA.pdf](#)

Para iniciar la evaluación, se determina la resistencia al daño inducido por humedad en la mezcla asfáltica compactada mediante la relación de tensión indirecta de una serie de especímenes acondicionados contra especímenes no acondicionados y obtenidos como lo muestra el manual de ensayos para laboratorio mezclas asfálticas en caliente (MAC parte 1) (figura 70b), los resultados obtenidos se muestran en el siguiente formato. [TSR.pdf](#)



Figura 70 Muestra (a) y ensayo de tensión indirecta a 25°C (b), para determinación de TSR, (autoría propia)

Ensayo de deformación permanente con rueda de Hamburgo (RCH) (figura 71), detectar una falla prematura debido a la debilidad en la estructura del agregado pétreo, rigidez equivocada del asfalto o algún daño por humedad que pueda presentarse, los resultados obtenidos se presentan en el siguiente formato. [RUEDA DE HAMBURGO \(RCH\).pdf](#)



Figura 71 Ensayo de rueda de Hamburgo, (autoría propia)

La evaluación del módulo dinámico se realiza en condición de la mezcla ya compactada ejerciendo una carga axial de compresión sinusoidal cíclica (figura 72), en rango de temperaturas y frecuencias de cargas establecidos; los resultados obtenidos se expresan en el siguiente formato. MODULO DINÁMICO.pdf y verificación del ensayo completo.

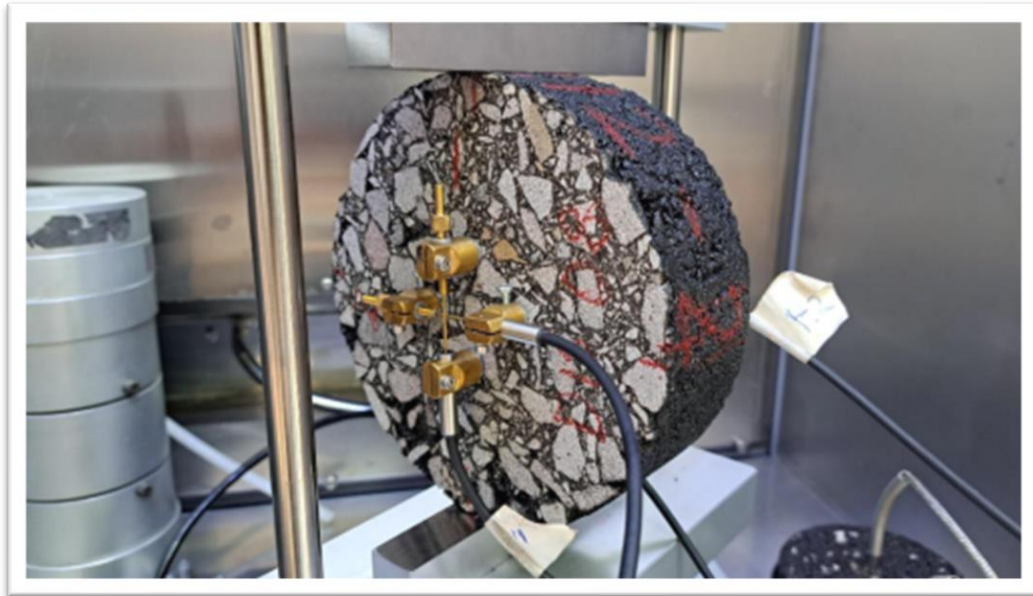


Figura 72 Ensayo para determinar el módulo dinámico, (autoría propia)

El diseño de la mezcla asfáltica en caliente de alto desempeño (protocolo AMAAC) hasta nivel III, con material pétreo con tamaño nominal de 12.5mm (1/2”), compuesto por grava de 19mm (3/4”) y arena mezclada con polvo de trituración del banco “Monteverde”, las proporciones se determinaron como lo solicita la planta a partir de las granulometrías de los agregados en las tolvas en caliente, quedando de la siguiente manera: fracción 19=8%, fracción 14=20%, fracción 7=32%, fracción 5=38%, filler recuperado 2% lo que da como resultado el 100% de la composición de la mezcla asfáltica.

CAPITULO IV RESULTADOS

Para determinar el diseño de la mezcla asfáltica densa, protocolo AMAAC nivel III se analizaron los agregados pétreos, el material asfáltico y la calidad de la mezcla, es decir, estos dos materiales en conjunto. En este capítulo se pretende desglosar los resultados antes obtenidos y concentrar un análisis realizando una comparativa de los resultados ante los rangos solicitados por AMAAC, con el fin de evaluar el comportamiento y características de los materiales individuales, así como en conjunto y con ello obtener el resultado favorable para el diseño de mezcla.

4.1 Resultados de la mezcla asfáltica analizada

En las siguientes tablas se muestra el resultado de todas las pruebas que se evaluaron para realizar el diseño de la mezcla densa de alto desempeño según los requerimientos de protocolo AMAAC nivel III, tomados de “control y aseguramiento de calidad para mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa de alto desempeño” (A.C., 2016), que en seguida se anexa.

[PA-MA 02 2016 control calidad.pdf](#)

En la tabla 15 y 16 se muestran los resultados de las pruebas realizadas a los materiales pétreos (finos y gruesos), A.C., Asociación Mexicana del asfalto(2016) establece los requerimientos del protocolo AMAAC en la evaluación para el material pétreo indicado en el apartado E.1.1, características de material en banco de materiales (tabla 1), características de la calidad de la fracción gruesa (tabla 3), reportando también los resultados de la granulometría en la tabla 2 utilizando los puntos de control del apartado tamaño nominal de 12.5 (1/2”) mencionados en el archivo anteriormente adjunto.

TABLA RESUMEN DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE MATERIALES PETREOS						
PRUEBA	NORMATIVA	REQUERIMIENTO		RESULTADO OBTENIDO	ESTATUS	RESULTADOS
		MÍN	MÁX			
Equivalente de arena %	ASTM D2419	50		62	Cumple	<u>EQUIVALENTE DE ARENA. pdf</u>
Azul de metileno mg/g	AMAAC RA-05		15	4	Cumple	<u>AZUL DE METILENO.pdf</u>
Abrasión de los Ángeles %	ASTM C131		30	14	Cumple	<u>DESGASTE DE LOS ANGELES.pdf</u>
MicroDeval %	ASTM D6928		18	15	Cumple	<u>DESGASTE MICRO DEVAL.pdf</u>
Intemperismo acelerado	ASTM C88		20	24	Cumple	<u>ANEXO\INTEMERISMOACELERADO.pdf</u>
Densidad del grueso	ASTM C127	2.4		2.692	Cumple	<u>DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO. pdf</u>
Densidad del fino	ASTM C128	2.4		2.766	Cumple	<u>DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE ARENAS. pdf</u>
Absorción del grueso %	ASTM C127	Reportar		2.1	Cumple	<u>DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE AGREGADO GRUESO. pdf</u>
Absorción del fino %	ASTM C128	Reportar		1.0	Cumple	<u>DENSIDAD Y ABSORCIÓN DE ARENAS. pdf</u>
Partículas alargadas y lajeadas %, relación 5:1	ASTMD4791	10	35	22.5	Cumple	<u>PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS.pdf</u>
Angularidad del agregado fino %	ASTM C1252	40		50	Cumple	<u>ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.pdf</u>
Caras fracturadas %	ASTM D5821	90		100	Cumple	<u>PARTICULAS FRACTURADAS. pdf</u>

Tabla 14 Resultados, requerimientos y formatos con cálculos de las pruebas de laboratorio para materiales pétreos de la mezcla (autoría propia)

En la tabla anterior se observan los resultados de los materiales pétreos analizados con base en los requerimientos solicitados, el estatus de cada uno es aceptable en el rango, pero si no están en los rangos pueden ser importantes en el comportamiento de la mezcla, es decir, si en las pruebas de equivalente de arena y azul de metileno indican el nivel de contaminación en el material fino. Un resultado por debajo del rango mínimo indicaría un porcentaje considerable de materia orgánica en la arena, lo que se consideraría una arena no aceptable y de mala calidad. Ante esta situación y antes de descartar el uso del material se debe verificar nuevamente las pruebas y el muestreo en el almacenamiento. De lo contrario si se obtiene un resultado por encima del mínimo se determina que el material es de buena calidad, entre más alejado se encuentre el resultado del rango mínimo mejor componente es para la mezcla.

En el caso de la prueba de densidad y absorción, una de las más importantes en el comportamiento de la mezcla, ya que dependiendo de la absorción de los materiales, es la que presentará la mezcla respecto al material asfáltico, si se tiene una mayor absorción en la mezcla el consumo será mayor, siendo que en el diseño se establece un porcentaje de asfalto a utilizar y existe un cambio drástico en el valor, será un agravante para que la mezcla se comporte de diferente manera, recomendable con los valores diariamente en observación apegados a los rangos del diseño.

Al ser las partículas gruesas un agregado fundamental en la mezcla, deben cumplir con los porcentajes adecuados para tener buen agarre entre las partículas finas y gruesas, de lo contrario la mezcla perdería la consistencia característica de una carpeta. Las partículas entre más lajas sean se vuelven más sensibles al rompimiento, lo que ocasiona una deficiencia fundamental en la composición de la mezcla.

Los materiales pétreos son susceptibles a cambios en sus características por la veta natural del banco de trituración, por lo que al terminarse el almacén de reserva es probable que presenten algún cambio, lo que se espera sea mínimo para evitar que se aleje de los rangos solicitados. Manteniendo una calidad estricta apegada a las normas de muestreo y al proceso de elaboración de las pruebas se podrá determinar a la perfección las características reales de los materiales existentes utilizados. Todo esto con la finalidad de que la mezcla mantenga la misma composición y características propuestas en el diseño elaborado.

En la tabla 16 se muestran las especificaciones de las mallas a utilizar y los parámetros que deben ser respetados para reportar la granulometría general. Los datos mostrados son resultados de las granulometrías realizadas a los materiales muestreados en base a los manuales de la SCT y la normativa vigente.

La granulometría es considerada la prueba más importante de la mezcla, ya que mediante esta se define el comportamiento de la mezcla de alto desempeño, al inicio del diseño se tienen resultados de granulometrías en seco de todos los materiales a utilizar analizados individualmente, posteriormente ya incrementando el asfalto pueden cambiar de forma mínima el comportamiento general, una vez analizada la granulometría de la mezcla después del lavado, es importante cuidar cada partícula por diminuta que sea hasta pesar la muestra lavada y registrar el peso lavado y el peso inicial el cual nos dará el contenido asfáltico utilizado

El retenido en el cribado de cada malla es el valor en la curva reportado, que en el mejor de los casos debe permanecer al centro de los parámetros solicitados como se muestra en la tabla mencionada.

Suele pasar que en la estructura de la mezcla algunos parámetros se disparen, estos datos se dividen en dos tipos; materiales finos en la parte inferior y materiales gruesos en la parte superior. si alguno de los valores se dispara hacia un extremo la mezcla sufre un cambio drástico y se deben modificar los porcentajes de los materiales contrarios para que el juego de la gráfica funcione manteniéndose al centro.

Estos cambios pueden ser ocasionados por modificaciones en los estratos o simplemente en un muestreo o en una ejecución mal elaborada de la prueba que no se realice de acuerdo con la normativa, y con esto se perjudica el comportamiento de la mezcla. Cuando se observa un cambio o un salto en los valores importantes, como que estén fuera de los rangos, hay que realizar otra vez el muestreo y la prueba de lavado para realizar nuevamente la granulometría y al obtener los resultados se realiza la comparación entre valores, si se comporta de mejor manera es aceptable, si no, se realiza un promedio entre la dos o si es necesaria una tercera para obtener el valor y debe permanecer dentro de los rangos solicitados.

Si no cumplir en base al diseño, causa una consecuencia grave a la que se debe dar seguimiento desde los materiales pétreos o descartar alguna falla en la planta de producción.

Los tamaños más críticos dentro de la mezcla son en la malla número 8 y en la malla de $\frac{1}{2}$ " ya que son mallas intermedias que por el tamaño puede retener más material afectando el porcentaje final generando un quiebre en la curva saliendo del parámetro establecido. Como se mencionó anteriormente puede ser generado por un mal cuarteo o una clasificación en el material ya sea en el banco o en la planta.

Si la mezcla presenta mayor retenido en la malla número 8 es posible que este "delgada" lo que se considera que falta más agregado grueso para darle firmeza a la mezcla, pero al observar esto se debe poner atención a las mallas más finas para realizar movimientos en el material grueso, en el caso de la malla de $\frac{1}{2}$ " puede desfasar en la granulometría y tener mucha arena en ella lo que evita que la mezcla tenga cuerpo y afecte los vacíos de aire en la mezcla así como el Gmm y el Gmb, derivado a que la composición cambia notablemente. Así también se puede ver afectada la absorción del asfalto en la mezcla, ya que al tener más arena tiene mayor absorción y viceversa con el agregado grueso lo que afecta en el agregado óptimo respecto a la mezcla y respecto al pétreo, su afectación llega a ser tan grave que generar un gasto económicamente mayor a lo establecido por el cliente.

Para observar mejor los puntos de quiebre de las granulometrías realizadas es necesario contar con un formato de apoyo en Excel donde se vacíen los porcentajes obtenidos junto con los parámetros ya establecidos y poder observar los comportamientos de la gráfica. Trabajar sobre el documento para realizar algún cambio si es necesario o modificar algunos porcentajes a esto se le conoce como una curva teórica del comportamiento granulométrica de la mezcla como se observa en el documento adjunto en la tabla correspondiente.

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA GRANULOMETRIA DE LA MEZCLA						
DESIGNACIÓN DE LA MALLA	ABERTURA mm	REQUERIMIENTO		RESULTADO OBTENIDO	ESTATUS	RESULTADO GRAFICO
		LÍM. INF.	LÍM. SUP.			
1 ½"	37.5			100.0	Cumple	<u>CURVA TEÓRICA DE LA</u> <u>MEZCLA.pdf</u>
1"	25.0			100.0	Cumple	
¾"	19.0	100	100	100.0	Cumple	
½"	12.5	90	100	92.8	Cumple	
3/8"	9.5		90	79.2	Cumple	
Núm. 4	4.75			51.5	Cumple	
Núm. 8	2.36	28	58	35.2	Cumple	
Núm. 16	1.18			25.1	Cumple	
Núm. 30	0.6			18.4	Cumple	
Núm. 50	0.3			13.3	Cumple	
Núm. 100	0.15			8.9	Cumple	
Núm. 200	0.075	2	10	5.2	Cumple	

Tabla 15 Resultados de la granulometría de los agregados y puntos de control de la gráfica (autoría propia)

En la tabla 17 de este capítulo se muestran los resultados de la evaluación realizada al asfalto modificado utilizado en la mezcla de alto desempeño, se observan dos rangos para cumplir, uno por AMAAC y el otro por certificado de calidad del lote del que se tomó la muestra del asfalto, y se ve la calidad que el proveedor asegura, para AMAAC se encuentra en el apartado E.1.2 tabla 6 del documento adjunto en el que se mencionan los parámetros necesarios para la calidad del material asfáltico según su clasificación.

Al realizar las pruebas de la muestra los resultados obtenidos son utilizados para liberar dos puntos importantes del asfalto, el primero confirmar que los datos presentados por el proveedor sean las correctas y en segundo punto que al obtener los valores del asfalto estén dentro de los rangos que solicita protocolo AMAAC. El muestreo se realiza cuando llega el autotank de asfalto a la planta, por lo que para usarse debe liberarse y se lleva por lo menos cuatro horas en obtener los resultados de las pruebas mencionadas en el capítulo anterior, si alguna de las pruebas rápidas no cumple o está por debajo o por encima de los parámetros se debe verificar que se alargue el tiempo de liberación. Es muy extraño, pero si se verifica nuevamente alguna prueba que no cumplió y continua con el mismo resultado se estipula que el asfalto viene de mala calidad, este resultado se reporta con el proveedor para poder verificar en conjunto y determinar si el asfalto es de buena o mala calidad para ser utilizado

Si se pasa por alto el resultado de una prueba fuera del rango y se utiliza el asfalto puede causar problemas en las características de la mezcla, en la elaboración, en el proceso constructivo y afectar especialmente en la vida útil esperada del pavimento, desde los conductos de la planta por la consistencia y temperatura que presenta, en la adherencia entre pétreos y asfalto, así como la flexibilidad de este pavimento.

Para la tabla 18 mostrada en seguida, se obtuvieron los rangos en el apartado E.1.3 y E.1.4 del archivo control y aseguramiento de calidad para mezclas asfálticas en caliente de granulometría densa de alto desempeño adjunto al inicio del capítulo donde se establece la calibración de la granulometría de diseño y la calibración de la mezcla asfáltica en las tablas 7, 7.1 y 8 respectivamente, con lo que se evalúan las características generales de la mezcla asfáltica densa de alto desempeño.

Estos datos representan la mezcla en general con todos los materiales homogenizados; al diseñarse, se ejecutan las pruebas, se analizan los materiales utilizados en el diseño y se registran los valores obtenidos, que serán los parámetros a utilizar en la mezcla durante toda la obra. Los parámetros importantes y que protocolo AMAAC establece son en los siguientes:

Vacíos de la mezcla compactada %	4
Vacíos en el agregado mineral (VAM) %	13
Vacíos llenos de asfalto (VFA)%	65-75
Proporción de polvo	0.6-1.3
TSR, %	85 mín.
Rueda cargada de Hamburgo	10mm@20000 Pas
Módulo dinámico	4500 mín.

Todos los valores se analizan con la mezcla terminada, si alguno de estos no está dentro del valor establecido ocasionado por algunas causas mencionadas según la composición de los agregados, en estas pruebas ya se debió de analizar y pasar un primer filtro en la granulometría para evitar que estos datos se desfacen de los parámetros, ya que algún incumplimiento es de gran importancia y puede llegar a no utilizarse la mezcla correspondiente a esta composición, al no cumplir con alguno de los porcentajes de evaluación solicitados.

Probablemente al no cumplir con alguno de estos parámetros presentados en la tabla 18 sea consecuencia de gravedad de una mala ejecución de las pruebas de pétreos o de asfalto en laboratorio, considerando que puede presentar algún cambio en los resultados de la mezcla respecto a estos parámetros pero dentro de los rangos establecidos, de lo contrario se desecha por lo menos el camión que contenga esta mezcla, se realizan los cambios necesarios donde sea necesario y se analizan los resultados apegados al diseño principal.

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DEL ASFALTO MODIFICADO						
PRUEBA	NORMATIVA	VALOR DEL CERTIFICADO	RANGO AMAAC	RESULTADO OBTENIDO	ESTATUS	RESULTADOS
Viscosidad rotacional Pa·s	ASTM D4402	1.945		1.822	Cumple	<u>CALIDAD DEL CEMENTO</u> <u>ASFÁLTICO. pdf</u>
Punto de inflamación Cleveland °C	ASTM D92	>230		240	Cumple	
Punto de reblandecimiento °C	ASTM D36	65.20	48 mín	60	Cumple	
Penetración dmm	ASTM D5	46		62.6	Cumple	
Recuperación elástica por torsión %	MAC-019	67	30 mín	65	Cumple	
Separación de anillo y esfera °C	ASTM D7173	0.8	2 máximo	0.5	Cumple	
Modulo reológico de corte dinámico KPa	ASTM D7175	2.270		2.270	Cumple	
Temperatura de mezclado °C		175-190		178	Cumple	
Temperatura de compactación °C		163-175		168	Cumple	

Tabla 16 Resultados de la evaluación del asfalto respecto a los datos del certificado de calidad del proveedor (autoría propia)

TABLA RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LAS PROPIEDADES DE LA MEZCLA				
PRUEBA	REQUERIMIENTO	RESULTADO OBTENIDO	ESTATUS	RESULTADOS
Contenido de asfalto respecto a la mezcla %		5.20	Cumple	<u>RESULTADO DEL DISEÑO. pdf</u> <u>PROPIEDADES VOLUMETRICAS DE LA MEZCLA.pdf</u>
Contenido de asfalto respecto al agregado		5.49	Cumple	
Peso volumétrico de la mezcla, Gmb		2.440	Cumple	
Gravedad específica máxima de la mezcla, Gmm		2.542	Cumple	
Vacíos de la mezcla compactada %	4.0	4.0	Cumple	
Vacíos en el agregado mineral (VAM) %	13 mín.	15.4	Cumple	
Vacíos llenos de asfalto (VFA)%	65-75	73.9	Cumple	
Proporción de polvo	0.6-1.2	1.1	Cumple	
TSR, %	85 mín.	93	Cumple	<u>TSR.pdf</u>
Rueda cargada de Hamburgo	10mm@20000 Pas	2.6	Cumple	<u>RUEDA DE HAMBURGO (RCH). pdf</u>
Módulo dinámico	4500 mín.	8005.3	Cumple	<u>MÓDULO DINÁMICO. pdf</u>

Tabla 17 Resultados de las propiedades evaluadas de la mezcla y parámetros a respetar (autoría propia)

4.1 Resultados de diseño de carpeta asfáltica

Con el análisis presentado anteriormente en este capítulo se determina que todos los resultados de las pruebas realizadas en pétreos del banco Monteverde, cemento asfáltico modificado PG 76 y producto terminado la mezcla asfáltica, están dentro de los parámetros solicitados por Protocolo AMAAC nivel III para una mezcla densa de alto desempeño. Se determina que los materiales son de buena calidad para ser empleados en el diseño antes analizado y evaluado, ya que los rangos obtenidos cumplen en su totalidad con lo solicitado.

Se obtuvieron los siguientes resultados

Peso volumétrico de la mezcla compacta (Gmb)	2.440
Gravedad específica Teórica Máxima de la mezcla (Gmm)	2.542
Vacíos del agregado mineral (VAM), %	15.4
Vacíos llenos de asfalto (VFA), %	73.9
Proporción del polvo	1.1
Susceptibilidad al daño inducido por humedad (TSR), %	93
Susceptibilidad a la deformación permanente (RCH), mm	2.6
Módulo dinámico a T _{-20°C} y Frec. = 10Hz, MPa	8005.3

Tabla 18 Resultados de la mezcla asfáltica (autoría propia)

Los resultados de volumetría y granulometría se observan en los siguientes formatos [DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA.pdf](#) y [RESULTADO DE DISEÑO.pdf](#)

El presente diseño solo corresponde a los materiales antes analizados, si sucede un cambio en ellos podrá afectar en el comportamiento, por lo que se deben mantener materiales con las mismas características.

Conclusión

Posterior a la evaluación de los materiales en sitio (requisito dentro del protocolo AMAAC) se diseña la mezcla asfáltica específica: siendo esto de suma importancia: el no alterar las cantidades y/o especificaciones de los materiales ya se realiza en particular a las necesidades del proyecto. Se obtuvo el diseño de una mezcla de alta calidad cumpliendo con los requerimientos AMAAC nivel III, lo que indica que es rigurosa su evaluación en cuanto a las características de los materiales y como es el caso del banco Monteverde, de excelente calidad, lo que permitió desarrollar el diseño para obtener la mezcla de alto desempeño sin modificaciones en ellos.

Si bien se explicó la exigencia del protocolo AMAAC para el desarrollo de un diseño y conocer toda la seguridad necesaria en el control de calidad de acuerdo con los parámetros especificados. Al ser estos parámetros muy rigurosos, es más sencillo observar cualquier cambio en la característica de los materiales y así tener la certeza de la calidad en general de la mezcla asfáltica.

Con los resultados obtenidos en la evaluación se demuestra con certeza que el diseño para mezcla asfáltica de alto desempeño en el que se trabajó cumple con todos los requerimientos solicitados por AMAAC para un nivel III, considerando que si se mantienen estas características en los materiales pétreos y asfálticos ofrecerá una vida útil esperada de no menos de 20 años, dando alojamiento a los 7 mil automóviles por año solicitados para dicho diseño. Considerando que, al aplicar la mezcla en sitio, se asegura un buen control en la calidad usando la normativa vigente correspondiente al proceso constructivo y generar la mejor relación esperada entre el diseño utilizado y el proceso de aplicación de la mezcla en campo.

Al utilizar este diseño propuesto en la elaboración de la mezcla solo es válido para los materiales pétreos que se analizaron y el cemento asfáltico utilizado a lo largo de esta evaluación. Ya que si se aplica con otros materiales pueden cambiar el comportamiento de la mezcla presentada en este diseño.

Competencias desarrolladas

Diseño y construcción de pavimentos

- Identifica los conceptos básicos de mecánica de suelos para aplicar conceptos a ejemplos prácticos
- Reconoce las características de los agregados y los asfaltos para determinar el comportamiento en su utilización en un proyecto de carretera y normatividad vigente
- Reconoce y aplica los métodos de diseño de los pavimentos flexibles

Mecánica de suelos

- Reconoce los sistemas de exploración y muestreo para la extracción de muestras de suelos
- Reconoce el cálculo de las relaciones de pesos y volúmenes de los suelos, para la determinación de pesos volumétricos
- Reconoce los procedimientos de las pruebas de granulometría y límites de consistencia a muestras de suelos gruesos y finos para la clasificación de suelos

Geología

- Conoce la clasificación, características y propiedades físicas de los materiales formadores de las rocas, para identificar la clasificación de las rocas en la corteza terrestre de acuerdo con su origen
- Identifica los procesos de intemperismo y la erosión, para conocer los problemas que presenta a las estructuras

Fundamentos de investigación

- Aplicar herramientas metodológicas de investigación para elaborar escritos académicos de calidad que incidan en su formación profesional

Referencias

- Agudelo Ospina, J. (2002). *Diseño Geométrico de vías*.
<https://doi.org/https://snavarro.wordpress.com/wp-content/uploads/2011/08/disec3b1o-geomc3a9trico-de-vc3adas-john-jairo-agudelo.pdf>
- Arce, M. y. (s.f.). *Metodologías de Control de Plantas Asfálticas*. Obtenido de
<file:///C:/Users/HP/OneDrive/Documentos/9911/RESIDENCIAS%20ATS/PROYECTO%20RESIDENCIAS/PROYECTO%20TITULACI%C3%93N/TITULACI%C3%93N%20MAY%2002/Metodolog%C3%ADa%20de%20control%20de%20plantas%20asf%C3%A1lticas.pdf> visto
- Ayala Y., D. H. (2018). *Manual de ensayos para laboratorio, mezclas asfálticas en calinete parte 1*. IMT.
<https://doi.org/https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt516.pdf>
- Ayala, Y. D. (2019). *Manual de ensayos para laboratorio*. IMT.
<https://doi.org/https://imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt551.pdf>
- Baneo Guerrero, D. (julio de 2016). *Mejoramiento de carreteras*.
<https://doi.org/https://es.slideshare.net/alidani70/mejoramiento-de-carreteras>
- Bitafal. (22 de Mayo de 2020). *Pavimentos flexibles*. Grupo Bitafar .
<https://doi.org/https://bitafal.com.uy/conceptos-basicos-sobre-pavimentos-flexibles/>
- Chimborazo, W. (2012). *Diseño de Mezclas Asfálticas Mediante el Método Superpave*.
<https://doi.org/http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/760/1/ti887.pdf>
- CIEN. (22 de junio de 2020). *Intemperismo acelerado*. CIEN .
https://doi.org/https://m.facebook.com/story.php?id=167101993656427&story_fbid=1168820300151253&locale=ms_MY
- Científica, M. (s.f.). *Mecánica Científica*. Obtenido de https://mecacisa.com/wp-content/uploads/productos/pdf/25_0591.pdf
- Cuevas, A. y. (15 de Mayo de 2023). *Intituto Mexicano del Transporte*. Obtenido de publicación bimestral de divulgación externa: <https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=523&IdBoletin=188>
- Delgado H., F. M. (2020). *Manual de Ensayos pra Laboratorio, Mezclas asfálticas en caliente parte 2*. IMT.
<https://doi.org/https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt603.pdf>
- Díaz Derbez, O. (13 de Junio de 2022). *Evaluación de rap en mezclas asfálticas calientes*. tecnológico de Monterrey .
https://doi.org/file:///C:/Users/HP/OneDrive/Documentos/9911/RESIDENCIAS%20ATS/PROYECTO%20RESIDENCIAS/PROYECTO%20TITULACI%C3%93N/DiazDerbez_TesisMaestr%C3%ADapdfa.pdf
- E-asphalt. (Octubre de 2005). *Planta asfáltica 1015 transportable*. Obtenido de <https://www.e-asfalto.com/fracchia/plantas.htm>
- Escalante, V. N. (2017). *Pavimentos semirígidos*. Academicoprofesional de ing. civil .
<https://doi.org/https://pdfcoffee.com/pavimento-semirrigido-proyect-pdf-free.html>

- Garnica Anguas, P. D. (2005). *Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de mezclas asfálticas*. IMT y SCT .
<https://doi.org/https://www.imt.mx/archivos/publicaciones/publicaciontecnica/pt271.pdf>
- Gonzales Biviano, G. (2019). *Usos de asfalto en construcción*. UNAM .
<https://doi.org/http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/16789/Tesis.pdf?sequence=1>
- Guerra, G. A. (7 de Mayo de 2017). *Mantenimiento y Rehabilitación de Carreteras*. Obtenido de
<https://es.scribd.com/document/369317537/Mezclas-Asfálticas-en-Caliente>
- Ingeniería, P. (27 de Abril de 2017). *P.A.C.C.S.A Ingeniería* . Obtenido de
<https://pacsaingenieria.com.mx/>
- INVIAS. (2012). Determinación de viscosidad del asfalto empleando un viscosímetro rotacional . En *INVIAS, Materiales y mezclas asfálticas y prospección de pavimentos* (págs. E-717). INVIAS. Obtenido de <https://www.da-lab.co/wp-content/uploads/2021/04/INV-717-13.pdf>
- Lazo Hinrichs, R. (septiembre de 2012). Metodología Superpave. *EMB construcción*. Obtenido de
<https://www.emb.cl/construccion/articulo.mvc?xid=1692&ni=metodologia-superpave-para-el-desarrollo-de-pavimentos-asfalticos-de-alto-desempeno>
- Lifeder. (15 de 12 de 2022). *Materiales pétreos* . Lifeder.
<https://doi.org/https://www.lifeder.com/materiales-petres/>
- Mejías, L. (Julio de 2021). *Pavimento* . Caripito estado de meonjas .
<https://doi.org/https://es.scribd.com/document/513839492/TEMA-1-PAVIMENTO>
- Pérez García, C. (2009). *Implementación del protocolo AMAAC en la red federal* . AMAAC.
<https://doi.org/https://es.scribd.com/doc/206363114/10-Aplicacion-del-protocolo-AMAAC-en-la-red-federal-carreteras>
- Rico, A. (2012). *La ingeniería de los suelos en las vías terrestres* (2 ed.). Limusa.
- Rodriguez, S. (9 de Febrero de 2023). *Slideshare*. Obtenido de características de los pavimentos :
<https://es.slideshare.net/slideshow/caractersticas-de-los-pavimentospdf/255791682>
- SCT. (15 de 08 de 2000). *MMMP405009/00*. SCT. [https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-009-00.pdf#:~:text=Este%20Manual%20describe%20el%20procedimiento%20de%20prueba%20para, conforme%20al%20Manual%20M%C2%B7MMP%C2%B74%C2%B705%C2%B7001%20Muestreo%20de%20Materiales%20Asf%C3%A1lticos.](https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-009-00.pdf#:~:text=Este%20Manual%20describe%20el%20procedimiento%20de%20prueba%20para,conforme%20al%20Manual%20M%C2%B7MMP%C2%B74%C2%B705%C2%B7001%20Muestreo%20de%20Materiales%20Asf%C3%A1lticos.)
- SCT. (09 de 12 de 2002). *MMMP405020/02*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-020-02.pdf>
- SCT. (09 de 12 de 2002). *MMMP405024/02*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-024-02.pdf>
- SCT. (09 de 12 de 2002). *MMMP405025/02*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-025-02.pdf>

SCT. (09 de 12 de 2002). *NCMT405003/02*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/n-cmt-4-05-003-02.pdf>

SCT. (08 de 12 de 2008). *NCMT405033/08*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-003-08.pdf>

SCT. (28 de 03 de 2019). *NCMT202002/19*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-19.pdf>

SCT. (23 de 11 de 2022). *MMM405027/22*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-027-22.pdf>

SCT. (23 de 11 de 2022). *NCMT405001/22*. SCT. <https://doi.org/https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-4-05-001-22.pdf>

Solorio, R. G. (Diciembre de 2018). *Un protocolo para la gestión de activos carreteros en México*. Instituto Mexicano del Transporte . <https://doi.org/https://imt.mx/resumen-boletines.html?IdArticulo=476&IdBoletin=175>

Suarez, J. (2003). *Caracterización de asfaltos con tecnología SUPERPAVE y analisis de ahuellamiento*. Obtenido de <https://repositorio.uniandes.edu.co/server/api/core/bitstreams/44373e8a-739e-4601-aced-0ca84858d41a/content>

Sucapuca, R. (22 de Marzo de 2017). *Scribd company*. Obtenido de <https://es.slideshare.net/epiclove/08-estabilometro-hveem>

Téllez, M. (10 de Marzo de 2024). *google earth*. Obtenido de <https://earth.google.com/web/search/michoacan+la+piedad/@20.33073685,-102.0443851,1759.01672188a,4215.80606334d,35y,0h,0t,0r/data=CigijgokCcY2bLc3tTJAEcc2bLc3tTLAGTNmolEobUBAISq2kAs2nFDA>

Tranportes, S. d. (28 de Febrero de 2024). *Normas oficiales mexicanas*. Obtenido de <https://www.sct.gob.mx/carreteras/direccion-general-de-servicios-tecnicos/normativa/normas-oficiales-mexicanas/>

Transorte, S. d. (2019 de 03 de 28). *Características d elos materiales*. Obtenido de <https://normas.imt.mx/normativa/N-CMT-2-02-002-19.pdf>

transportes, S. d. (09 de 12 de 2002). *Métodos de muestreo*. Obtenido de Recuperación elastica : <https://normas.imt.mx/normativa/M-MMP-4-05-026-02.pdf>

Transportes, S. d. (14 de Julio de 2020). *SCT,IMT*. Obtenido de Construcción : <https://normas.imt.mx/normativa/N-CTR-CAR-1-04-009-20.pdf>

Wulf Rodriguez, F. (2008). *Análisis de pavimento asfáltico modificado con polímero*. Universidad Autral de Chile . <https://doi.org/http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2008/bmfciw961a/doc/bmfciw961a.pdf>

Anexos

- [DENSIDAD Y ABSORCION DE ARENAS .pdf](#)
- [EQUIVALENTE DE ARENA .pdf](#)
- [AZUL DE METILENO .pdf](#)
- [ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.pdf](#)
- [DENSIDAD Y ABSORCION DE GRAVAS .pdf](#)
- [DESGASTE DE LOS ANGELES .pdf](#)
- [DESGASTE MICRO DEVAL .pdf](#)
- [PARTICULAS FRACTURADAS .pdf](#)
- [PARTICULAS ALARGADAS Y LAJEADAS .pdf](#)
- [CERTIFICADO DE CALIDAD DEL ASFALTO \(2\).pdf](#)
- [CALIDAD DEL CEMENTO ASFÁLTICO.pdf](#)
- [CALIDAD AGREGADOS PETREOS GRUESO.pdf](#)
- [ANGULARIDAD DEL AGREGADO FINO.pdf](#)
- [CURVA TEORICA DE MEZCLA.pdf](#)
- [DETERMINACIÓN DEL GRADO PG DE ASFALTO.pdf](#)
- [PROPIEDADES VOLUMÉTRICAS DE LA MEZCLA.pdf](#)
- [GRAFICOS D ELA MEZCLA.pdf](#)
- [TSR.pdf](#)
- [RUEDA DE HAMBURGO \(RCH\).pdf](#)
- [MODULO DINÁMICO.pdf](#)
- [VERIFICACIÓN MODULO DINÁMICO.pdf](#)
- [DISEÑO DE MEZCLA ASFALTICA.pdf](#)
- [RESULTADO DE DISEÑO.pdf](#)
- [PA-MA 02 2016 control calidad.pdf](#)

Anexos

Carta laboral CARTA LABORAL MAYRA TELLEZ. pdf**Asunto:** Carta laboral

La Piedad, Michoacán, 14 agosto 2023.

Ing. José Antonio Vega González
Jefatura de Ingeniería Civil
P R E S E N T E

Me refiero a la Obra: **"MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE UNA CARRETERA DEL TRAMO QUE ABARCA DE ECUANDUREO A LA PIEDAD, MICHOACÁN"**. Para la cual la Empresa P.A.C.C.S.A. INGENIERIA, S.A. DE C.V. esta subcontratada para efectuar el control de calidad de la obra que contrató la empresa COMSA S.A. DE C.V. en consorcio con IMAPEX S.A. DE C.V.

Por medio del presente hago constar que la trabajadora Mayra Alejandra Téllez Díaz, ha laborado en esta empresa desde fecha 01 de agosto 2022 al día de hoy, en el puesto de auxiliar de laboratorio, desempeñando actividades referentes al área de control de calidad tanto en laboratorio como en obra, de igual manera se le ha brindado la asesoría de nuestros ingenieros y técnicos para la elaboración de su proyecto para titulación denominado: "Seguimiento, diseño y control de calidad de mezcla asfáltica de alto desempeño (Protocolo AMAAC Nivel III) empleado en la carretera Ecuandureo la piedad Michoacán"

Sin otro particular, aprovecho para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Ing. Francisco Javier Meza Ovalle
Gerente General
P.A.C.C.S.A. INGENIERIA, S.A. de C.V.

c.c.p. Archivo

VIVEROS DE ASIS No. 4,
COL. VIVEROS DE LA LOMA
54080 TLALNEPANTLA, EDO. MÉX.
paccca@yahoo.com.mx
contacto@pacccsaingenieria.com

TELS: 53626442
53626834
53626635



Carta laboral de autorización CARTA LABORAL DE AUTORIZACIÓN. PDF

Asunto: Carta laboral

La Piedad, Michoacán, 14 agosto 2023.

Ing. José Antonio Vega González
Jefatura de Ingeniería Civil
P R E S E N T E

Me refiero a la obra: **“MODERNIZACIÓN Y AMPLIACIÓN DE UNA CARRETERA DEL TRAMO QUE ABARCA DE ECUANDUREO LA PIEDAD, MICHOACÁN “.** Para la cual la empresa P.A.C.C.S.A. INGENIERIA, S.A DE C.V esta subcontratada para efectuar el control de calidad de la obra que contrato la empresa COMSA S.A DE C.V en consorcio con IMAPEX S.A DE C.V

Por medio de la presente autorizo que la trabajadora Mayra Andrea Téllez Díaz, haga uso de la información con fines de titulación mediante estancias

Sin otro particular, aprovecho para enviarle un cordial saludo.

ATENTAMENTE

Ing. Francisco Javier Meza Ovalle
Gerente General
P.A.C.C.S.A. INGENIERIA, S.A. de C.V.

c.c.p Archivo

VIVEROS DE ASIS No. 4,
COL. VIVEROS DE LA LOMA
54080 TLALNEPANTLA, EDO. MÉX.
paccsa@yahoo.com.mx
contacto@paccsaingenieria.com

TELS: 53626442
53626834
53626635

