

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BAJA CALIFORNIA

FACULTAD DE INGENIERÍA, MEXICALI



MAESTRÍA Y DOCTORADO EN CIENCIAS E INGENIERÍA

TÍTULO:

“ANÁLISIS DE CALIDADES DE BANCOS PÉTREOS PARA LA ELABORACIÓN
DE UNA BASE DE DATOS QUE FACILITE LOS PROCESOS DE DISEÑO DE
MEZCLAS ASFÁLTICAS DEL MUNICIPIO DE MEXICALI, B.C.”

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

PRESENTA:

DIRECTOR: DR. ALEJANDRO MUNGARAY MOCTEZUMA

ALUMNA: ING. CYNTHIA CAROLINA MARTÍNEZ LAZCANO

MEXICALI, B. C.

JULIO DE 2016

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	6
1.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	7
1.2	DEFINICION DE LA NECESIDAD	8
1.3	ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS	8
1.4	JUSTIFICACIÓN	9
1.5	HIPÓTESIS	10
1.6	CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	10
1.7	ESTRUCTURA DE CONTENIDO	11
2.	DISCUSIÓN TEÓRICO PRÁCTICA	14
2.1	MARCO CONCEPTUAL	14
2.1.1	AGREGADOS	14
2.1.2	PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS	14
2.1.3	PROPIEDADES DE CONSENSO	15
2.1.4	PROPIEDADES DE LA FUENTE DE ORIGEN	15
2.1.5	COMPORTAMIENTO DEL AGREGADO MINERAL	16
2.1.6	FORMA, TAMAÑO Y TEXTURA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS	18
2.1.7	CONTENIDO DE POLVO MINERAL (FILLER) EN LA MEZCLA	18
2.1.8	IMPORTANCIA DEL AGREGADO Y SU CALIDAD EN LA MEZCLA ASFÁLTICA	20
2.2	DISCUSION EN EL AMBITO INTERNACIONAL	21
2.2.1	NORMATIVA ASTM	22
2.2.2	MÉTODO AASHTO	22
2.2.3	SHRP - MÉTODO SUPERPAVE	22
2.2.4	MÉTODO HVEEM	23
2.2.5	MÉTODO MARSHALL	23
2.3	ÁMBITO NACIONAL	24
2.3.1	NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE- SCT	26
2.3.2	ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO A.C. (PROTOCOLO AMAAC)	26
2.4	ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN EN EL PAÍS	27
2.4.1	INVESTIGACIONES EN EL SUROESTE DE MÉXICO	28
2.5	AMBITO ESTATAL	29
2.5.1	ACCESO A LA INFORMACION SOBRE CALIDADES PETREOS EN EL ESTADO	29
2.5.2	NORMAS TÉCNICAS DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN PARA OBRAS DE VIALIDADES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA	30
2.6	AMBITO LOCAL: DESCRIPCION DEL CASO DE ESTUDIO	31

2.6.1	AGREGADOS PETREOS Y UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES EN MEXICALI B. C.....	31
2.6.2	ESTUDIOS PREVIOS EN MATERIA DE AGREGADOS O MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO.....	36
2.7	DESCRIPCION DE LOS PROCESOS ACTUALES DE DISEÑO.....	37
3.	METODOLOGÍA DE ANÁLISIS E INTEGRACIÓN DE BASE DE DATOS	39
3.1	M1: DETERMINACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL PÉTREO	39
3.2	ENSAYES DE LABORATORIO	40
3.3	ENSAYOS PARA DETERMINAR CALIDAD DEL AGREGADO PÉTREO FRACCIÓN GRUESA Y FINA DEL MATERIAL PÉTREO	43
3.3.1	ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (ASTM, 2006)	43
3.3.2	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM, 2012).....	43
3.3.3	DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM, 2012)	44
3.3.4	EQUIVALENTE DE ARENA EN SUELOS Y AGREGADO FINO (ASTM, 2009).....	45
3.3.5	PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS DE AGREGADO GRUESO (ASTM, 2010).....	46
3.3.6	AZUL DE METILENO PARA MATERIAL QUE PASA LA MALLA NÚMERO 200 (AMAAC , 2010)	47
3.3.7	PARTÍCULAS FRACTURADAS O TRITURADAS EN AGREGADOS GRUESOS (ASTM, 2001)	48
	49	
3.3.8	INTEMPERISMO ACELERADO UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM, 2005).....	49
3.3.9	RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM, 2006).....	50
3.3.10	CONTENIDO DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO (AASHTO, 2011)	51
3.3.11	RESISTENCIA DEL AGREGADO PÉTREO GRUESO A LA DEGRADACIÓN MEDIANTE EL EQUIPO MICRO DEVAL (ASTM, 2010).....	52
3.4	M3: COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO CON LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN PROTOCOLO AMAAC Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS DE ACCESO PUBLICO.	53
4.	RESULTADOS	54
4.1	LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES.....	54
4.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO	56
4.3	ENSAYES DE LABORATORIO	56
4.3.1	BANCO 1.....	57
4.3.2	BANCO 2.....	58
4.3.3	BANCO 3.....	60

4.3.4	BANCO 4.....	61
4.3.5	BANCO 5.....	63
4.3.6	BANCO 6.....	64
4.3.7	BANCO 7.....	65
4.3.8	BANCO 8.....	66
4.4	COMPARATIVA DE RESULTADOS CON LOS PARÁMETROS DE PROTOCOLO AMAAC Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS	68
4.5	ELABORACIÓN DE PLATAFORMA DIGITAL DE ACCESO PÚBLICO.....	71
5.	CONCLUSIONES.....	72
5.1	HIPÓTESIS	72
5.2	TEÓRICAS	72
5.3	RESULTADOS DE LABORATORIO	72
5.4	COMPARATIVA ENTRE RESULTADOS DE LABORATORIO Y PROTOCOLO AMAAC	73
5.5	METODOLOGÍA EMPLEADA	74
5.6	APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN	74
5.7	LIMITANTES	74
5.8	LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN	75
6.	BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA	76

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen 2.1 Agregado producto de Trituración (a) y Agregado Redondeado (b)	17
Imagen 2.2 Dilatación de dos partículas de agregados cuando están sometidas a esfuerzos de corte	18
Imagen 2.3 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali - San Felipe.....	35
Imagen 2.4 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali- Tijuana	36
Imagen 2.5 Etapas de construcción de una carretera y descripción de la intervención de la base de datos	38
Imagen 3.1 Selección y acarreo de material pétreo.....	40
Imagen 3.2 Formato para registro de resultados en ensayos de laboratorio	42
Imagen 3.3 Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos	43
Imagen 3.4 Densidad, Densidad Relativa, y Absorción del Agregado Grueso.....	44
Imagen 3.5 Densidad, Densidad Relativa, y Absorción del Agregado Fino	45
Imagen 3.6 Equivalente de Arena en Suelos y Agregado Fino	46
Imagen 3.7 Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas de Agregado Grueso	47
Imagen 3.8 Azul de Metileno para material que pasa la malla número 200	48
Imagen 3.9 Partículas Fracturadas o Trituradas en Agregados Gruesos.....	49
Imagen 3.10 Intemperismo Acelerado utilizando Sulfato de Sodio	50
Imagen 3.11 Resistencia a la Degradación de Agregado Grueso por Abrasión en la Máquina de Los Ángeles	51
Imagen 3.12 Contenido de Vacíos del Agregado Fino	52
Imagen 3.13 Resistencia del Agregado Pétreo Grueso a la Degradación Mediante el Equipo Micro Deval	52
Imagen 4.1 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali - San Felipe.....	55
Imagen 4.2 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali- Tijuana	55
Imagen 4.3 Prototipo para representación digital de la herramienta en el portal de la Facultad de ingeniería, Mexicali.	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Propiedades del material pétreo en Zona Suroeste de México	29
Tabla 2.2 Ubicación de los bancos de material pétreo de Mexicali B.C	35
Tabla 3.1 Requisitos de calidad de la fracción gruesa y fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.....	41
Tabla 4.1 Ubicación de los bancos de material pétreo de Mexicali B.C	54
Tabla 4.2 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 1	57
Tabla 4.3 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 1	58
Tabla 4.4 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 2	59
Tabla 4.5 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 2.	59
Tabla 4.6 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 3.	60
Tabla 4.7 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 3.	61

Tabla 4.8 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 4.	62
Tabla 4.9 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 4.	62
Tabla 4.10 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 5	63
Tabla 4.11 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 5.	64
Tabla 4.12 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 6.	64
Tabla 4.13 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 6	65
Tabla 4.14 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 7	65
Tabla 4.15 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 7	66
Tabla 4.16 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 8.	67
Tabla 4.17 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 8.	67
Tabla 4.18 Resultados en pruebas para requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.	69
Tabla 4.19 Resultados en pruebas para requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.....	70

1. INTRODUCCIÓN

Las infraestructuras de transporte terrestre y particularmente la infraestructura vial son fundamentales en el desarrollo económico y social. El nivel de calidad percibido por el usuario es determinado principalmente por el pavimento. A nivel mundial se invierte anualmente más de 400 mil millones de dólares en la construcción y el mantenimiento de pavimentos; tareas que aumentan en un 10% el impacto ambiental generado por la circulación de los vehículos (Torres-Machi, Chamorro, Yepes, & Pellicer, 2014). En ese sentido las carreteras son de vital importancia para la sociedad, por ello la necesidad de un buen desempeño de las mezclas asfálticas, la cual depende en gran medida de la calidad de los materiales con la que está constituida, los procesos constructivos y el diseño de la estructura de pavimento. La funcionalidad primordial en un pavimento se identifica de acuerdo al acabado con el que cuenta su superficie de rodadura y de los materiales con los que está hecha. Es por ello que las mezclas asfálticas deben cumplir con los siguientes aspectos para que garanticen seguridad y comodidad a los usuarios sin descuidar la economía:

- Proporcionar comodidad y estabilidad al usuario.
- Permitir la visibilidad optima al usuario.
- Adherencia del neumático a la superficie de rodadura.
- Desgaste mínimo de los neumáticos de los vehículos.
- Drenar el agua de lluvia.
- Distribuir hacia las capas inferiores las cargas producidas por el tránsito de una manera correcta.
- La resistencia a la rodadura (consumo de gasolina).

Las propiedades de los agregados son factores decisivos para obtener una mezcla asfáltica eficiente. De ahí la pertinencia de realizar una investigación dedicada al análisis de la calidad del agregado pétreo y plasmar los resultados en una

herramienta que sea útil como elemento de planeación al elaborar mezclas asfálticas. La presente investigación analiza muestras de material de ocho bancos ubicados dentro del municipio de Mexicali, a los cuales se les realizan pruebas para determinar si cumplen con los requisitos mínimos que deben tener las fracciones gruesas y finas del agregado de acuerdo a lo que establece la Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. en el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa, mismo que contiene la metodología necesaria para diseñar una mezcla asfáltica ha utilizarse en la construcción de pavimentos donde se desee obtener altos niveles de desempeño.

En particular la elaboración de esta base de datos, abocada al análisis de calidades del material pétreo será de gran interés para el sector de la construcción de carreteras y vialidades de altas especificaciones, así como proveedores de materiales para pavimentación y contratistas de producción de agregados para mezclas asfálticas en caliente del municipio de Mexicali B.C.

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El municipio de Mexicali, presenta una problemática en cuanto al crecimiento poblacional y su concentración en zonas metropolitanas, lo que hace incrementar la necesidad de más y mejores vialidades que permitan ahorros de tiempo de traslado de personas y mercancías en los grandes centros de población. Cada año el gobierno invierte grandes sumas de dinero en la rehabilitación y mantenimiento de las vialidades. Sin embargo, la pavimentación no es el único problema, sino también el mantenimiento de las vialidades existentes y nuevas, es por ello que en los últimos años se le ha dado importancia al tema de la rehabilitación de estas. (Vega, 2014).

El deterioro que presentan las vialidades se debe en gran medida a que los pavimentos son sometidos a diferentes tensiones durante su vida útil, por ello un diseño adecuado del pavimento hará que su desempeño se lleve a cabo de

manera eficiente durante su vida útil con la que fue diseñada y las cargas no superarán los límites permisibles evitándose o disminuyendo la aparición de fallas en el pavimento (Williams, 2010).

1.2 DEFINICION DE LA NECESIDAD

Por lo anterior surge la necesidad de analizar detenidamente los materiales con los que están constituidas las vialidades, los procesos constructivos y el diseño de la estructura de pavimento. Como parte de la etapa de diseño y dentro del control de calidad de los materiales en la etapa constructiva ya que son factores decisivos para obtener una mezcla asfáltica eficiente y por lo tanto un pavimento que cumpla con las expectativas al momento de su diseño. Asimismo debido a que el municipio de Mexicali no cuenta con un acervo al alcance del público en general, que proporcione un informe de medición en relación a la calidad del agregado y las propiedades de estos. Se ve reflejada la necesidad de realizar un análisis que muestre las calidades del material pétreo de los bancos del municipio de Mexicali, B.C. y de esta manera tener información confiable que indique la situación de cada uno de estos, los cuales son utilizados para la elaboración de las mezclas asfálticas empleadas en la construcción de las vialidades del municipio.

1.3 ESTABLECIMIENTO DE OBJETIVOS

El objetivo general del presente trabajo de investigación es analizar la calidad de los agregados pétreos producidos por los bancos de explotación de Mexicali que se utilizan en la elaboración de mezclas asfálticas en las vialidades de la ciudad para la generación de una base de datos que muestre la calidad de los mismos. Dicho objetivo se divide en los siguientes objetivos específicos:

OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar los bancos de materiales que producen agregado para utilizarse en mezclas asfálticas.

Elaboración de ensayos de laboratorio establecidos en la metodología de Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa.

Comparar los resultados obtenidos en las pruebas con los parámetros establecidos en los Requisitos de calidad de la fracción gruesa y fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa, especificados por Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³.

1.4 JUSTIFICACIÓN

Las propiedades de los agregados son factores decisivos para obtener una mezcla asfáltica eficiente, no cualquier agregado puede emplearse de la manera adecuada para formar carpetas: de ahí la necesidad de conocer sus características físicas para saber si es apto o no. Es por ello que la calidad de una mezcla asfáltica está ligada estrechamente a la calidad de los agregados que la constituyen, ya que los agregados minerales constituyen entre el 80% y el 90% del volumen total o 94% a 95% de la masa de mezcla de asfalto en caliente (HMA). Por esta razón, es importante maximizar la calidad de los agregados minerales para garantizar el correcto desempeño de las carreteras de nuestra ciudad. La calidad de los agregados minerales para materiales de pavimentación de calles en general, ha sido especificada por la dureza, solidez (durabilidad), la limpieza, la forma de las partículas, la angulosidad, textura superficial, y absorción. Es importante contar con mezclas asfálticas eficientes que cumplan con los requerimientos establecidos en la normativa del sector transporte. En este sentido el diseño de mezclas asfálticas tiene por objeto lograr propiedades volumétricas adecuadas en las carpetas asfálticas de las vialidades y carreteras, ya que de

estas propiedades volumétricas depende el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. Una adecuada superficie de rodamiento permite que los costos de operación y de transporte sean menores y que la seguridad y comodidad del usuario sea mayor (Harrigan, 2005).

De acuerdo al inventario de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes 2014, el municipio de Mexicali cuenta con veinticinco bancos de materiales pétreos para distintos usos, de los cuales diecinueve de ellos extraen material para crear mezclas asfálticas; actualmente se encuentran en operación solamente ocho (SCT, 2014). En este sentido, se utilizan estos materiales para evaluar la calidad del agregado y determinar si estos cumplen con los parámetros establecidos en Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa.

La importancia de la presente investigación radica en que actualmente el municipio de Mexicali no cuenta con información al alcance del público, que proporcione un informe de medición en relación a la calidad del agregado y las propiedades de estos. De manera que el desarrollo de la presente investigación permitirá generar información útil al alcance de la sociedad. Asimismo dicha información podría replicarse en futuros proyectos similares.

1.5 HIPÓTESIS

Una base de datos que proporcione información sobre la calidad de los agregados del municipio de Mexicali, facilita el proceso de diseño de mezclas asfálticas eficientes.

1.6 CONSIDERACIONES METODOLÓGICAS PARA EL DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El método de investigación utilizado fue un método mixto cualitativo-cuantitativo.

En la primera etapa de la presente investigación se utilizó metodología cualitativa

la cual hace referencia a la investigación documental. Misma que consistió en indagación de fuentes bibliográficas especializadas en agregados y su importancia en el diseño y buen desempeño de las mezclas asfálticas.

La segunda etapa de la investigación consistió en la determinación de los bancos que producen material para elaborar mezclas asfálticas en caliente en el municipio de Mexicali, así como la aplicación de las pruebas de laboratorio establecidas en Protocolo AMAAC.

La tercer etapa de la investigación consiste en el análisis e interpretación de los datos obtenidos de las pruebas de laboratorio. Asimismo en esta etapa se compararon dichos los resultados con los parámetros establecidos en el Protocolo antes mencionado.

En la cuarta etapa se elaboró una base de datos que refleja la calidad de los agregados pétreos en relación a los requisitos mínimos del protocolo AMAAC para los bancos de materiales de la ciudad de Mexicali B.C.

La última de la presente investigación etapa consistió en crear una plataforma digital que permite la consulta de dicha base de datos disponible para el público general.

1.7 ESTRUCTURA DE CONTENIDO

En el primer capítulo se da una introducción al tema de investigación, en este caso vemos como las propiedades de los agregados son factores decisivos para obtener una mezcla asfáltica eficiente. Y de ahí se desprende la importancia o pertinencia de dicha investigación así como el objetivo que se tiene al realizar un análisis de la calidad del agregado pétreo y con esto crear una base de datos que funcione como herramienta, siendo un elemento en la planeación en el diseño de mezclas asfálticas para los tendidos de la ciudad de Mexicali.

Asimismo en este apartado se enuncian las consideraciones metodológicas para el desarrollo de la presente investigación.

En el segundo capítulo se presenta un panorama sobre los agregados pétreos en general mediante una discusión teórico-práctica, esto para comprender algunos conceptos sobre los agregados, propiedades, su comportamiento, forma y tamaño, así como la influencia de estos en el buen desempeño de las mezclas asfálticas, aunque no dependen exclusivamente de ellos, si se presentan características en estos que influyen en el buen desempeño de la mezcla. Por ello se resalta la importancia de la selección de los agregados y su relación con las mezclas asfálticas. En este apartado se muestra como investigaciones y discusiones sobre el tema desde el ámbito Internacional, Nacional, hasta llegar al ámbito local, recalcan la importancia que tienen agregados de buena calidad en el desempeño de las mezclas, y por lo tanto el contar con información confiable al alcance del diseñador sobre la calidad de los materiales empleados es importante.

El tercer capítulo describe las metodologías de análisis e integración de base de datos empleadas, la suma de estas tres sub-metodologías permitieron el desarrollo de la investigación en su lado práctico para el análisis de las calidades de los materiales pétreos y la generación de la base de datos. Las metodologías individuales se dividen en M1: que comprende la determinación y localización de bancos a utilizar, M2: integra la selección del material pétreo, realizando muestreo en el lugar y llevarlo al laboratorio de ingeniería civil, el cual es un laboratorio certificado por el Programa de Laboratorio con Reconocimiento AMAAC-IMT, para la realización de las pruebas. En la metodología M3: se hace un análisis comparativo de los resultados obtenidos con los requisitos mínimos que establece el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa de alto desempeño, así como la metodología empleada para la generación de la base de datos y determinación de la estructura con la que se presenta la información en la página de internet.

En el cuarto capítulo se presentan los resultados obtenidos en cada una de las metodologías empleadas, donde encontramos la georreferenciación de los bancos, los ensayos de calidad de las fracciones gruesa y fina elaborados a los materiales y los resultados obtenidos en estas pruebas, así como la comparación con los requisitos establecidos en el Protocolo AMAAC para las fracciones gruesa y fina del material. Asimismo con la integración de esta información se genera una base de datos con las calidades de los materiales pétreos de los bancos analizados y se representa de manera digital para que sea de acceso al público general.

En el capítulo 6 se exhiben las conclusiones de la presente investigación, en cuanto a la aceptación o rechazo hipótesis planteada, las conclusiones que se tuvieron al revisar la literatura, así como una vez obtenidos los resultados de las pruebas y compararlos con los parámetros se emiten conclusiones y recomendaciones en base a estos, asimismo en este apartado se plantean la aportación, limitantes y líneas futuras de la investigación.

2. DISCUSIÓN TEÓRICO PRÁCTICA

2.1 MARCO CONCEPTUAL

Para el desarrollo de la presente investigación es necesario el entendimiento de ciertos conceptos como los son los agregados, tipos de agregados, sus propiedades y la relación que tiene estas en el desempeño de las mezclas asfálticas, así como la revisión de literatura en relación a las discusiones a nivel internacional y nacional al respecto, por lo que en el siguiente apartado se abordan estos temas.

2.1.1 AGREGADOS

Los agregados son también referidos como roca, material granular, agregado mineral y consisten de cualquier material duro e inerte usado en la producción de mezcla asfáltica. Es importante mencionar que la calidad de la mezcla asfáltica depende de la calidad de los materiales que la constituyen y a su vez la capacidad de carga de la carpeta es proporcionada esencialmente por los agregados, de esto se deriva la importancia de una adecuada selección y manejo de los materiales pétreos que serán utilizados para elaborar una mezcla asfáltica. Los agregados influyen de manera muy importante en la construcción y conservación de los pavimentos, tanto en la calidad, como en su volumen y costo. Las propiedades y sus características resultan ser significativos en la vida útil del pavimento, ya que estos influyen en el comportamiento y por consiguiente es la causa de las fallas que se puedan presentar porque no presentan la calidad apropiada (Crespin, Santa Cruz, & Torres, 2012)

2.1.2 PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

La determinación de las propiedades y desempeño de los materiales se logra a partir de un conjunto de ensayos o pruebas establecidas para comprobar que dichos materiales funcionen correctamente de acuerdo a rangos, límites y/o valores estándares para condiciones similares o equivalentes (Ulloa, 2011).

Para fines de esta investigación tenemos que las propiedades del agregado mineral son importantes en el desempeño de mezclas asfálticas, ya que criterio de agregados está directamente incorporado en el procedimiento que plantea Protocolo AMAAC. Al respecto, dos tipos de propiedades de agregados se especifican de alta consideración, que son las propiedades de consenso y propiedades de origen, que comentaremos a continuación.

2.1.3 PROPIEDADES DE CONSENSO

Las propiedades de consenso son: angularidad del agregado grueso; angularidad del agregado fino; partículas alargadas y aplanadas; y equivalente de arena.

La angularidad del material grueso y fino es una prueba que se hace con la finalidad de asegurar un alto grado de fricción interna entre los agregados y por lo tanto evitar la formación de roderas. Para la forma de las partículas (alargadas y planas) se tiene como objetivo evitar el uso de agregados que pueden presentar problemas de fractura durante el manejo, construcción y vida útil. Las fallas que trata de prevenir son: deformaciones permanentes y grietas por fatiga. Por ultimo otra propiedad de consenso importante es el equivalente de arena ya que limita la cantidad de arcilla en el agregado para asegurar un buen contacto agregado-asfalto. Con el objetivo de evitar el desgranamiento de las mezclas por pérdida de adherencia. Son importantes estas propiedades en relación a factores como nivel de tránsito y posición en la estructura del pavimento en donde se pretenda utilizar el agregado.

2.1.4 PROPIEDADES DE LA FUENTE DE ORIGEN

Además de las propiedades de consenso, los expertos viales pensaron que había otras características críticas del agregado. Aun cuando éstas son relevantes en el

proceso de diseño de la mezcla, podrían también usarse como un control de aceptación de la fuente de origen.

Las propiedades que se consideraron fueron: la tenacidad mediante la prueba de desgaste de Los Ángeles; la durabilidad a través de la prueba de intemperismo acelerado; y la prueba de materiales deletéreos. (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005).

La prueba de Desgaste de los Ángeles estima la resistencia a la abrasión y a la degradación mecánica del agregado grueso durante el manejo, construcción y vida útil. Es una condicionante para evitar fallas como: formación de baches y desgranamientos.

La propiedad de durabilidad que se realiza a través de la prueba de Intemperismo nos indica la resistencia del agregado al Intemperismo para trata evitar desgranamientos y formación de baches.

Por último la prueba de materiales deletéreos nos ayuda a determinar el porcentaje en peso de los contaminantes tales como arcilla, madera, limo, etc.

2.1.5 COMPORTAMIENTO DEL AGREGADO MINERAL

Independientemente de la fuente (métodos de procesamiento u origen mineralógico) se espera que el agregado provea un resistente y durable esqueleto pétreo para tolerar las repetidas aplicaciones de carga. Agregados de textura rugosa, de estructura cubica dan más resistencia que los redondeados. Aunque una pieza de agregado redondeado podría poseer la misma resistencia interna de una pieza angular, las partículas angulares tienden a cerrarse más apretadamente, resultando una fuerte trabazón de las partículas, a diferencia de lo que ocurre con las partículas redondeadas, ya que tienden a deslizarse unas sobre otras (ver imagen 2.1). Para asegurar una mezcla de materiales resistente a emplear en la elaboración de un

concreto asfáltico, se deben especificar propiedades del agregado que mejoren la fricción interna de la mezcla de agregados; esto se logra normalmente recurriendo a porcentajes de caras fracturadas en el material grueso que integra la mezcla. Esto sin olvidar que el comportamiento de la mezcla asfáltica no depende solo del agregado mineral se deben de tomar otros elementos como el asfalto, aditivos, así el funcionamiento o desempeño de esta se entiende mejor considerando que el cemento asfáltico y el agregado mineral actúan como un sistema (Garnica Anguas, Delgado Alamilla , & Sandoval Sandoval , 2006).

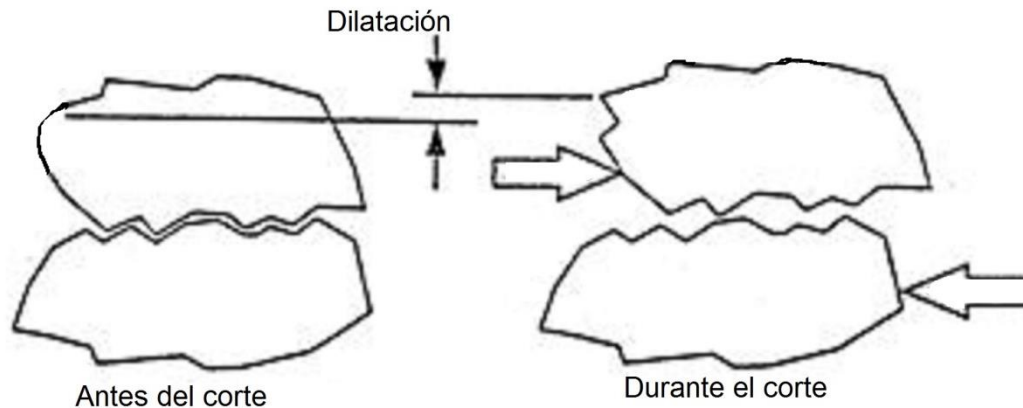
Imagen 2.1 Agregado producto de Trituración (a) y Agregado Redondeado (b)



Fuente. Instituto Mexicano del Transporte

A fin de asegurar una mezcla de materiales resistentes, se han especificado las propiedades del agregado que mejoran la fricción interna, una componente de la resistencia al corte. En general, algunos materiales resistentes, con una mayor densificación y un alto ángulo de fricción interna, tienden a dilatarse más que los materiales más débiles. La última consideración en la compresión de las propiedades de corte del agregado, es el concepto de dilatancia. Al someter una masa de agregados a tensiones de corte, las partículas deben fracturarse o arrastrarse unas sobre otras si un desplazamiento ha de producirse (ver imagen 2.2). Este fenómeno se llama dilatación, pues resulta en una expansión o incremento del volumen de la masa de agregados. Para ello, normalmente se recurre a los porcentajes de caras fracturadas en el material grueso que integra la mezcla de agregados. Como las arenas naturales tienden a ser redondeadas, con una baja fricción interna, su aporte a las mezclas es con frecuencia limitado (Garnica, Gómez , & Delgado, 2003).

Imagen 2.2 Dilatación de dos partículas de agregados cuando están sometidas a esfuerzos de corte



Fuente. Instituto Mexicano del Transporte

2.1.6 FORMA, TAMAÑO Y TEXTURA DE LOS AGREGADOS PÉTREOS

Para un buen desempeño de la mezcla asfáltica, la textura de la superficie del agregado juega un papel extremadamente importante. Particularmente en espesores gruesos de capas de asfalto y en climas calientes o en donde se requiera textura superficial rugosa. La forma de la partícula es muy importante. Las mezclas asfálticas elaboradas con agregados angulares son menos susceptibles a las deformaciones plásticas que las mezclas asfálticas elaboradas con materiales con caras lisas o de canto rodado procedentes de río, sin triturar.

2.1.7 CONTENIDO DE POLVO MINERAL (FILLER) EN LA MEZCLA

El polvo mineral junto con el ligante forman una masa asfáltica o mastico cuya calidad tiene una importancia fundamental en el comportamiento reológico, impermeabilidad, y durabilidad de la mezcla asfáltica. Los factores que intervienen para conseguir un buen mastico son diversos:

a) La relación Polvo Mineral / Asfalto de manera que cuanto más alta es ésta relación, más elevada es la viscosidad de masa y más rígida es la mezcla.

b) La Finura del Polvo Mineral y su afinidad por el agua. Estos dos factores están relacionados en muchos casos, pero también pueden ser bastante independientes. Cuando el polvo mineral tiene afinidad por el agua puede producirse una degradación, en el tiempo, de la estructura íntima de la mezcla que se pondría de manifiesto por una menor estabilidad, con riesgo de deformaciones inesperadas; y por una clara caída de la resistencia conservada en ensayo de inmersión –compresión. Con éste ensayo puede detectarse con aceptable precisión el riesgo de degradación de la mezcla por la acción del agua sobre sus componentes minerales más finos.

El riesgo de sensibilidad al agua del mortero de la mezcla puede deberse no solamente a la naturaleza del polvo mineral sino también a ciertas composiciones químicas de algunos asfaltos.

El polvo mineral tiene un papel fundamental en el comportamiento de las mezclas asfálticas por su elevada superficie específica, en función de su naturaleza, finura, actividad y proporción en la que entra a formar parte de la mezcla. Puede ser el contenido en los áridos procedente de la trituración de los mismos, un producto comercial de naturaleza pulverulenta como el cemento o la ceniza volante procedente de central térmica o un polvo en general calizo especialmente preparado para este fin.

El Polvo Mineral o Filler forma parte del esqueleto mineral y por lo tanto soporta las tensiones por rozamiento interno o por contacto entre las partículas, además cumple con las siguientes funciones:

- Rellena los vacíos del esqueleto de agregados gruesos y finos, por lo tanto impermeabiliza y densifica el esqueleto.

- Sustituye parte del asfalto que de otra manera sería necesario para conseguir unos huecos en mezcla suficientemente bajos.
- Proporciona puntos de contacto entre agregados de mayor tamaño y los encaja limitando sus movimientos, aumentando así la estabilidad del conjunto.
- Facilita la compactación, actuando a modo de rodamiento entre los áridos más gruesos.
- Hace la mezcla más trabajable al envolver los áridos gruesos y evitar su segregación (Padilla, 2004).

2.1.8 IMPORTANCIA DEL AGREGADO Y SU CALIDAD EN LA MEZCLA ASFÁLTICA

La durabilidad de los pavimentos está en función directa de la calidad de sus agregados pétreos, de los asfaltos, su diseño y competencia en la elaboración, traslado, colocación y compactación de las mezclas asfálticas, no es una tarea rutinaria, requiere de un control total de las variables (Medina, 2015).

El país líder en la construcción de pavimentos asfálticos usando mezcla en caliente es Estados Unidos, donde desde hace varios años se encuentran desarrollando el sistema Superpave, que especifica todos los componentes de la mezcla y realiza el análisis y diseño soportado en ensayos de laboratorio (Avellanada, 2015).

La práctica de diseño de mezclas asfálticas ha recurrido a diferentes métodos para establecer un diseño óptimo en laboratorio; los comúnmente más utilizados son el método Marshall, y el Hveem. Siendo el primero el más común en la práctica mexicana. La práctica actual del diseño de mezclas asfálticas deja ver la importancia de lograr propiedades volumétricas adecuadas en la carpeta asfáltica terminada, ya que de esto depende en gran medida el desempeño de la superficie de rodamiento en su vida de servicio. De ahí, la trascendencia de simular de manera adecuada en el laboratorio la densificación que ocurre en campo, bajo la

acción vehicular y de esta forma llegar a fórmulas de trabajo que permitan dosificar mezclas que exhiban un mejor comportamiento en condiciones específicas de tránsito y clima (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005).

Aunque la revisión de la literatura no revela grandes relaciones entre la mineralogía y el desempeño general de las mezclas asfálticas en caliente. Si hay relación entre la mineralogía del agregado y propiedades de pulimento/fricción.

La influencia, se enfoca hacia la fuente de origen, propiedades tales como tenacidad (Resistencia a la abrasión), durabilidad (Intemperismo acelerado) y materiales deletéreos, las cuales están ligadas al tipo de falla de fisuras, baches y desprendimientos.

Con base a esto, podemos mencionar que la mayoría de los agregados son resistentes a la degradación durante la producción (almacenamiento, manejo y mezcla) y construcción (transporte, colocación y compactación). La resistencia a la abrasión del agregado minimiza los problemas de control en la construcción y asegura que la mezcla tenga las propiedades más cercanas al diseño (Garnica Anguas, Delgado Alamilla , & Sandoval Sandoval , 2006).

2.2 DISCUSION EN EL AMBITO INTERNACIONAL

Al revisar la literatura se encontró que el país líder en la construcción de pavimentos asfálticos usando mezcla en caliente es Estados Unidos, donde desde hace varios años se encuentran desarrollando el sistema Superpave, este sistema especifica todos los componentes de la mezcla y realiza el análisis y diseño soportado en ensayos de laboratorio. Hasta la fecha este es el sistema más avanzado de especificación de los materiales, diseño de mezclas asfálticas y su análisis.

En este apartado se presentan la normativa que rige a nivel Internacional la calidad de los agregados a emplearse en mezclas asfálticas, así como los métodos de diseño más empleados internacionalmente.

2.2.1 NORMATIVA ASTM

A nivel internacional la normativa con la cual se rigen diversos métodos de diseño es la American Society for Testing and Materials (ASTM), establecida en 1898, es una de las mayores organizaciones del mundo que desarrolla normas aplicables a materiales, productos, sistemas y servicios. ASTM desarrolla, publica, y distribuye estándares para materiales, productos, sistemas y servicios para aproximadamente 100 sectores del mercado (ASTM International, 2016) .

2.2.2 MÉTODO AASHTO

La aplicación del Método AASHTO-72 se mantuvo hasta mediados del año 1983, cuando se determinó que, aun cuando el procedimiento que se aplicaba alcanzaba sus objetivos básicos, podían incorporársele algunos de los adelantos logrados en los análisis y el diseño de pavimentos que se habían conocido y estudiado desde ese año 1972. Por esta razón, en el período 1984-1985 el SubComité de Diseño de Pavimentos junto con un grupo de Ingenieros Consultores comenzó a revisar el "Procedimiento Provisional para el Diseño de Pavimentos AASHTO-72", y a finales del año 1986 concluye su trabajo con la publicación del nuevo "Manual de Diseño de Estructuras de Pavimentos AASHTO '86", y sigue una nueva revisión en el año 1993, por lo cual, hoy en día, el método se conoce como Método AASHTO-93 (Corredor, 2008).

2.2.3 SHRP - MÉTODO SUPERPAVE

En 1987 el Strategic Highway Reserch Program (SHRP) comenzó el desarrollo de un nuevo sistema para especificación de materiales asfálticos que obtuvo como resultado el sistema conocido como SUPERPAVE (Superior Perfoming Asphalt

Pavement), hasta la fecha este es el sistema más avanzado de especificación de los materiales, diseño de mezclas asfálticas y su análisis.

Iniciando el desarrollo de un nuevo sistema para especificar materiales asfálticos, el producto final del programa es un nuevo sistema llamado Superpave (Superior Performing Asphalt Pavement). Representa una tecnología provista de tal manera que pueda especificar cemento asfáltico y agregado mineral; desarrollar diseños de mezclas asfálticas; analizar y establecer predicciones del desempeño del pavimento. Este método evalúa los componentes de la mezcla asfáltica en forma individual (agregado mineral y asfalto), y su interacción cuando están mezclados (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005).

2.2.4 MÉTODO HVEEM

El método Hveem que fue desarrollado por Francis N. Hveem, el ensayo Hvemmm en su forma actual surgió de investigaciones del Departamento de Carreteras de California en 1940. Este método también tiene como objetivo principal la determinación del contenido de asfalto óptimo para una combinación específica de agregados, como también nos da valores sobre las propiedades de la mezcla. Este método implica un análisis de densidad/vacíos y de estabilidad, así como la determinación de la resistencia de la mezcla al hinchamiento por la presencia de agua. Las principales ventajas del método es el uso del procedimiento de compactación por amasado que representa de manera general la densificación de un pavimento real. Sin embargo, la desventaja de este método es el equipo de ensayo, ya que su precio es más elevado y menos portable que el equipo Marshall, además de que algunas propiedades volumétricas relacionadas con la durabilidad no son consecuentemente determinadas (Tinoco, 2011)

2.2.5 MÉTODO MARSHALL

El concepto del método Marshall en el diseño de mezclas para pavimentación fue formulado por Bruce Marshall, ingeniero de asfaltos del Departamento de

Autopistas del estado de Mississippi. El Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos, a través de una extensiva investigación y estudios de correlación, mejoró y adicionó ciertos aspectos al procedimiento de prueba Marshall, a la vez que desarrolló un criterio de diseño de mezclas.

El método original únicamente es aplicable a mezclas asfálticas en caliente para pavimentación, que contengan agregados con un tamaño máximo de 25 mm (1") o menor. El método Marshall modificado se desarrolló para tamaños máximos arriba de 38 mm (1.5"), y está pensado para diseño en laboratorio y control en campo de mezclas asfálticas en caliente, con graduación densa. Debido a que la prueba de estabilidad es de naturaleza empírica, la importancia de los resultados en términos de estimar el comportamiento en campo se pierde cuando se realizan modificaciones a los procedimientos estándar.

El método Marshall utiliza especímenes de prueba estándar de 64 mm (2 ½") de alto y 102 mm (4") de diámetro; se preparan mediante un procedimiento para calentar, combinar y compactar mezclas de asfalto- agregado (ASTM D1559). Los dos aspectos principales del método Marshall son la densidad-análisis de vacíos, y la prueba de estabilidad y flujo de los especímenes compactados; cabe mencionar que este proceso de diseño no tiene especificado pruebas para agregados minerales ni para cementos asfálticos (Garnica, Delgado, & Sandoval, 2005).

2.3 ÁMBITO NACIONAL

En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes (SCT) es la Secretaría de Estado encargada de administrar, controlar y operar los medios y métodos de transporte conocidos y por conocerse; así como sus fines de uso. Proporciona a nivel nacional un Inventario de Materiales Pétreos el cual contiene información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos de materiales pétreos para construcción y mantenimiento de carreteras.

Estos inventarios de bancos solamente mencionan el nombre del banco, tipo de material que produce (triturado, cribado, lavado, etc), kilometraje donde se encuentra ubicado, usos probables y volumen. Sin embargo no proporcionan información sobre las calidades de los materiales de explotación. Asimismo la SCT cuenta con un catálogo de secciones estructurales para pavimentos para las carreteras de la República Mexicana, con el que se pretende cubrir de manera práctica la necesidad de una guía útil para recomendar y verificar que se proponga una estructura de pavimento, en este se regionaliza la República Mexicana en cuanto a tipos de materiales que componen el terreno natural, las temperaturas mínimas y máximas, y la precipitación pluvial. Esta información es importante ya que sirvió de punto de partida para los diseños de las secciones estructurales de pavimentos que se presentan en este catálogo, incluso los datos de regionalización pueden utilizarse como información de carácter general para otro tipo de estudios o proyectos, sin embargo dicho catalogo tampoco menciona calidades de materiales, solamente recalca la importancia de contar con dicha información para el diseño de las vialidades.

MÉTODOS DE DISEÑO

Actualmente existen diversos métodos de diseño de mezclas asfálticas en México, desde su inicio han tenido gran difusión y aceptación el método Marshall, que es uno de los más utilizados en la actualidad, dicho método fue desarrollado por Bruce Marshall, ex Ingeniero de Bitúmenes del Departamento de Carreteras del Estado de Mississippi. El ensayo Marshall surgió de una investigación iniciada por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en 1943. Sin embargo, en México se describió por primera vez en las Normas de construcción de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes en 1981. El objetivo principal del método Marshall es determinar el contenido óptimo de asfalto para la combinación de agregados. Una de sus ventajas es el valor que le asigna a las propiedades densidad/vacíos del material asfáltico. Debido a la importancia de dichas propiedades, es posible garantizar que las proporciones volumétricas de los componentes de la mezcla se encuentren dentro de los rangos que nos aseguren

una mezcla asfáltica duradera. Sin embargo, diversos estudios han concluido que por la naturaleza empírica de los procedimientos de laboratorio del método Marshall, los resultados encontrados son altamente discutidos hoy en día (Garnica, Flores, Gómez, & Delgado, 2005).

En el país se utilizan diferentes normativas a nivel federal y estatal en el ámbito de las mezclas asfálticas. Como lo es las Normativa para la Infraestructura del Transporte (SCT), de carácter Federal y las Normas Técnicas de Proyecto y Construcción para Obras de Vialidades del Estado de Baja California, de carácter Estatal.

2.3.1 NORMATIVA PARA LA INFRAESTRUCTURA DEL TRANSPORTE- SCT

La Normativa para la Infraestructura del Transporte, es el conjunto de criterios, métodos y procedimientos para la correcta ejecución de los trabajos que realiza la Secretaria de Comunicaciones y Transportes, tiene como objetivos la uniformidad de estilo y calidad en las obras públicas y en los servicios relacionados con ellas.

Establecer los criterios y procedimientos para la concesión de la infraestructura para el transporte.

Orientar la selección y aplicación de los criterios, métodos y procedimientos más convenientes para la realización de los estudios y proyectos; la ejecución, supervisión, aseguramiento de calidad, operación y mitigación del impacto ambiental de la infraestructura. Las Normas proponen valores específicos para diseño, las características y calidad, de los materiales y de los equipos de instalación (SCT, 1999) .

2.3.2 ASOCIACIÓN MEXICANA DEL ASFALTO A.C. (PROTOCOLO AMAAC)

Ante la necesidad de una cultura de calidad en los productos asfálticos a nivel nacional y con el interés común de realizar la investigación así como la enseñanza

de las técnicas de vanguardia respecto a los asfaltos, la Asociación Mexicana del Asfalto A.C. adopta la metodología Superpave para el diseño de mezclas asfálticas de alto desempeño, quedando el 7 de agosto de 1997 constituido e integrado el Primer Consejo Directivo AMAAC.

El protocolo AMAAC, está basado en la caracterización de materiales y diseño volumétrico así como ensayos de desempeño cubriendo de esta manera 4 niveles. La secuencia de las etapas que corresponde a cada uno de los niveles de diseño es el antes mencionado de acuerdo al Protocolo AMAAC PA-MA01/2013.

Este método está orientado a mezclas asfálticas de granulometría densa o mejor conocidas como mezclas de alto desempeño, además de que este contiene la metodología necesaria para diseñar una mezcla asfáltica que se utilice en la construcción de pavimentos para carreteras en donde se desee obtener altos niveles de desempeño.

Se refiere a la mezcla asfáltica elaborada en caliente resistente a las deformaciones plásticas, al fenómeno de fatiga y al daño por humedad, cuyo comportamiento es superior al de las mezclas asfálticas convencionales (Venegas, 2015).

2.4 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN EN EL PAÍS

La Secretaría de Comunicaciones y Transportes, cuenta con un “Catálogo de secciones estructurales para pavimentos para las carreteras de la República Mexicana”. Este fue desarrollado gracias a la iniciativa de la Dirección General de Servicios Técnicos, de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

Con este catálogo se pretende cubrir de manera práctica la necesidad de una guía útil para recomendar y verificar que se proponga una estructura de pavimento mínima en los estudios y proyectos de pavimentos nuevos y rehabilitación de los

existentes. Para ello se regionaliza la República Mexicana en cuanto a tipos de materiales que componen el terreno natural, las temperaturas mínimas y máximas, y la precipitación pluvial. Esta información es importante ya que sirvió de punto de partida para los diseños de las secciones estructurales de pavimentos que se presentan en este catálogo, incluso los datos de regionalización pueden utilizarse como información de carácter general para otro tipo de estudios o proyectos.

En relación a la caracterización de materiales el catálogo menciona que es necesario verificar que los materiales que se utilizarán para construir las capas del pavimento cumplan con las características mecánicas establecidas en este catálogo.

Asimismo se indican las características mecánicas de los materiales que se utilizan en este documento. Si los materiales disponibles no cumplen con los valores mínimos, las secciones presentadas en este catálogo no serán aplicables (Secretaría de Comunicaciones y Transportes).

2.4.1 INVESTIGACIONES EN EL SUROESTE DE MÉXICO

La Asociación Mexicana de Ingeniería de Vías Terrestres, A.C., presenta una investigación sobre la Aplicación del Control de Calidad en el Sureste de México, en esta encontramos un estudio del material pétreo de las áreas de Yucatán, Campeche y Quintana Roo (Medina, 2015).

Donde Medina (2015) hace un análisis de las 3 zonas de estudio encontrando que la Península de Yucatán corresponde a una plataforma de roca caliza de origen sedimentario y cuenta con propiedades que van en los siguientes rangos (ver tabla 2.1).

Tabla 2.1 Propiedades del material pétreo en Zona Suroeste de México

	Densidad %	Absorción %	Desgaste %
Yucatán	2.0 a 2.4	5 a 7	27 a 38
Campeche	2.3 a 2.5	3 a 6	28 a 40
Quintana Roo	2.1 a 2.3	5 a 8	30 a 40

Fuente.- AMIVTAC 2015.

Dicha investigación concluye mencionando que el diseño de los pavimentos y de las mezclas asfálticas y su adecuado comportamientos obliga al conocimiento, selección y empleo de los agregados pétreos y de los asfalto, se requiere la sensibilidad y experiencia de los técnicos para obtener pavimentos y carpetas asfálticas duraderos y de calidad. Así como la incorporación de las técnicas del Protocolo AMAAC, permitirán carpetas asfálticas resistentes a las acciones del tránsito pesado, siendo necesario un conocimiento regional de los materiales, su clima, así como un proceso de actualización y adaptación al cambio. Finalmente, el conocimiento de los agregados pétreos y de los asfaltos en el empleo de mezclas y riegos asfálticos deberá contribuir a la calidad de la infraestructura y al progreso y desarrollo de México (Medina, 2015).

2.5 AMBITO ESTATAL

2.5.1 ACCESO A LA INFORMACION SOBRE CALIDADES PETREOS EN EL ESTADO

En Baja California no contamos con información pública sobre las calidades de los materiales pétreos utilizados en mezclas asfálticas. En este sentido con fines de elaboración de un proyecto de obras de infraestructura urbana son utilizadas como guía las Normas Técnicas de Construcción de Pavimentos para obras de Vialidades del Edo. de B. C., en estas se encuentran los requisitos de los materiales a emplearse así como mencionan que el proyecto o la autoridad correspondiente establecerán los materiales a utilizar. Basándose en los

requerimientos del proyecto la información sobre los bancos es tomada del Inventario de Materiales Pétreos de B.C., el cual solamente contiene información básica sobre localización y aprovechamiento de bancos sin considerar calidades o información sobre sus propiedades.

2.5.2 NORMAS TÉCNICAS DE PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN PARA OBRAS DE VIALIDADES DEL ESTADO DE BAJA CALIFORNIA

Con la finalidad de obtener un ordenamiento urbano acorde a la dinámica de crecimiento de las localidades del Estado, en el marco del Plan Estatal de Desarrollo Urbano, la Ley Orgánica de la Administración Pública del Estado y la Ley de Obras Públicas, Equipamiento, Suministros y Servicios Relacionados con la Misma, la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas convocó a la elaboración de las Normas Técnicas para Proyecto y Construcción de Obras de Infraestructura Vial, cuyo principal objetivo reside en regular y facilitar la ejecución de los trabajos respectivos, tanto a las dependencias de la administración pública como a las empresas privadas.

Las “Normas Técnicas de Proyecto y Construcción para Obras de Vialidades del Estado de Baja California” (primera edición) fueron elaboradas recopilando y adecuando la normatividad conocida que se aplica en diversas dependencias federales, estatales y municipales que tienen competencia directa o indirectamente en proyectos y construcción de vialidades, tales como la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, la Secretaría de Desarrollo Social, la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas y la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos; además fueron enriquecidas con las experiencias de organismos encargados de la planeación, proyecto, construcción, mantenimiento y operación de las vialidades, tanto internacionales, como municipales y estatales (Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado, 2004)

2.6 AMBITO LOCAL: DESCRIPCION DEL CASO DE ESTUDIO

Una vez considerados los ámbitos Internacional y Nacional en materia de agregados, se llega al eje donde centra la presente investigación, tratándose la ciudad de Mexicali como área de estudio, por lo que en este apartado se muestra que estudios realizados anteriormente, muestran indicios sobre la calidad del agregado de algunas zonas, así como el tipo de rocas desde su origen y características físico-químicas.

2.6.1 AGREGADOS PETREOS Y UBICACIÓN DE LOS BANCOS DE MATERIALES EN MEXICALI B. C.

La geología de Baja California ha sido estudiada por varios investigadores, uno de los más destacados es Russell Gordon Gastil, quien realizó un trabajo muy completo sobre esta zona. Menciona que las formaciones geológicas del Municipio de Mexicali que se conocen, se dieron a través de la evolución de las geoformas que constituyen el paisaje actual, y de un relieve que se caracteriza por ser tectónico en su parte Occidental y acumulativo en la porción Oriental del Municipio y en el área de la Laguna Salada (Gastil, Phillips, & Allison, 1975).

Dentro del área comprendida por el municipio de Mexicali, existen cinco tipos de roca. De estas la que predomina es la roca sedimentaria, en segundo orden están las rocas ígneas intrusivas y extrusivas, siguiendo las rocas de tipo metamórficas y metasedimentarias.

De acuerdo a su roca de origen se reconocen tres categorías principales de rocas: ígneas, sedimentarias y metamórficas; Las ígneas se subdividen en intrusivas y extrusivas. Por otro lado están las metasedimentarias que son de origen metamórfico y sedimentario.

Roca Sedimentaria

Este tipo de roca se compone de material que se deriva de la desintegración por intemperismo y erosión de las rocas ígneas y metasedimentarias. Se ubican en gran

parte del Municipio, tanto en llanuras al Noreste como en las bajadas, dunas y llanuras localizadas entre las sierras de Juárez, Cucapáh y El Mayor. También se localizan en las bajadas de las sierras Las Pintas, San Felipe, Valle Santa Clara y Valle San Felipe. En la parte Oriental de la Sierra de Juárez se encuentran algunas zonas con roca de tipo volcanosedimentaria, formada en el Jurásico Superior, que pueden ser conglomerados o roca metamórfica tipo Gneis. Dentro de las rocas sedimentarias se encuentran las arenas y las gravas (Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali, 1995).

Roca Ígnea Intrusiva

Este tipo de rocas es bastante apreciable en el área de la Sierra de Juárez, gran parte de la Sierra Cucapáh (a excepción de su parte Suroeste) y la parte Noroeste y Sur de la Sierra El Mayor. Así como también en una pequeña parte de la zona Norte de la Sierra Las Tinajas y la bajada Norte de la misma. También en la Sierra San Felipe se presenta este tipo de roca. Estas rocas son de origen volcánico que no lograron emerger, formándose en el Cretácico, de hecho gran parte de la estructura de la península la constituye este tipo de rocas que conforman una gran estructura conocida como batolito (Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali, 1995).

Roca Ígnea Extrusiva

Estas son de origen volcánico solidificadas en la superficie, formándose principalmente en el Plioceno. Se presentan en el área de las sierras de Las Tinajas y Las Pintas, así como una pequeña porción de la parte Occidental de la Sierra San Felipe. Esta región reviste gran importancia por presentar un alto porcentaje de rocas de origen volcánico como basalto, las cuales son adecuadas para uso en la construcción (Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali, 1995).

Rocas Metamórficas

Este tipo de roca resulta de la alteración de otras rocas bajo condiciones de gran presión y temperatura, asociadas con grandes profundidades. Dentro del Municipio se localizan en el Norte y Sur de la Sierra Cucapáh, al Sur y parte central de la Sierra El Mayor. También es factible encontrarlas en algunas áreas del Norte de la Sierra Las

Tinajas y del Norte y Suroeste de la Sierra Las Pintas, así como en pequeñas porciones de la parte Norte de la Sierra San Felipe. La piedra laja, es un tipo de roca metamórfica que existe en las áreas antes mencionadas, esta puede ser utilizada en la construcción como parte de la cimentación ó como ornamento (Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali, 1995).

Rocas Metasedimentarias

Son sedimentos metamorfizados, los cuales se constituyen en roca debido a la fuerte deformación que comprenden las etapas de la acción metamórfica, haciendo que cambie la estructura original de sus elementos; son las rocas más antiguas que se han identificado, pertenecen a la era Paleozoica formadas hace más de 200 millones de años. Se localizan en pequeñas porciones, principalmente en las sierras de Las Pintas y Las Tinajas, aunque también es factible encontrarlas en la Sierra San Felipe; en las sierras de Las Pintas y Las Tinajas se han reportado gran cantidad de depósitos minerales de oro, plata, plomo, cobre y tungsteno. Cabe la posibilidad de que en otras sierras que presentan este tipo de roca también contengan importantes yacimientos de metales preciosos (Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali, 1995).

Así como el agregado es clasificado de acuerdo a su roca de origen, de igual manera existen diferentes fuentes del agregado:

Agregados Naturales

Son los agregados que presentan un ligero o nulo proceso antes de ser utilizados.

Agregados Procesados

Son aquellos que requieren de un proceso como trituración, cribado y/o lavado para remover finos antes de su uso.

Agregados Manufacturados o Sintéticos

Son agregados de productos o sub productos de procesos físicos o químicos, la ventaja de la utilización de estos agregados es que presentan alta resistencia al deslizamiento tanto como un uso productivo de residuos.

Agregados de Reciclados

Los agregados de reciclado son los que se obtienen del lugar o depósitos de desecho (Zárate, 2007).

Ubicación de la zona de estudio

El área de estudio está definida por los límites político-administrativos del Municipio de Mexicali, el cual se localiza entre los 30°57'40" y los 32°43'00" de latitud Norte, y entre los 115°21'50" y los 115°40'20" de longitud Oeste (Péridico Oficial del Estado de Baja California, 1995-B).

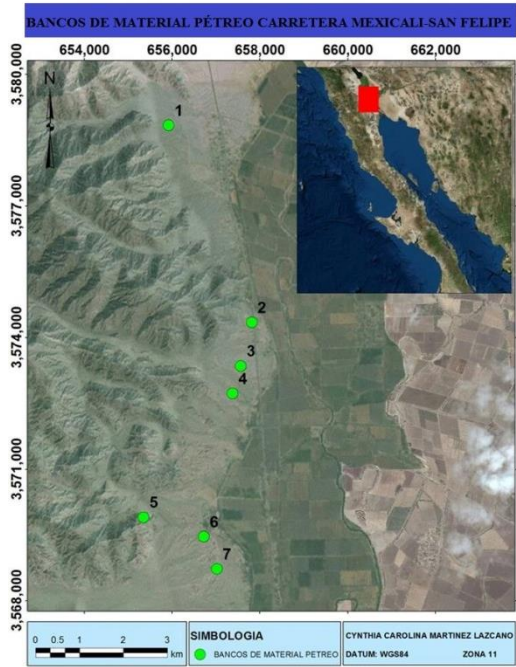
Para fines de esta investigación se analizan los bancos de material pétreo del Inventario de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes 2014, los cuales se georreferencia y se le asigna un nombre de carácter numérico, esto de acuerdo a la distancia entre si y la cercanía a la mancha urbana del municipio de Mexicali, como se muestra a continuación (ver tabla 2.2, imagen 2.3 y 2.4).

Tabla 2.2 Ubicación de los bancos de material pétreo de Mexicali B.C

No. DE BANCO	COORDENADA GEOGRÁFICA	
	E	N
1	655920	3578843
2	657816	3574349
3	657566	3573357
4	657380	3572729
5	655351	3569904
6	656726	3569461
7	657021	3568728
8	630934	3600139

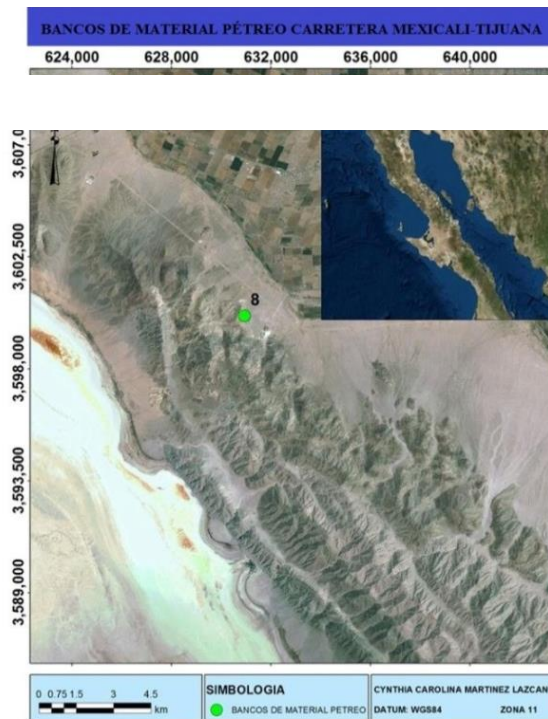
Fuente. Elaboración Propia

Imagen 2.3 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali - San Felipe



Fuente. Elaboración Propia

Imagen 2.4 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali- Tijuana



Fuente. Elaboración Propia

2.6.2 ESTUDIOS PREVIOS EN MATERIA DE AGREGADOS O MEZCLAS ASFÁLTICAS EN LA ZONA DE ESTUDIO

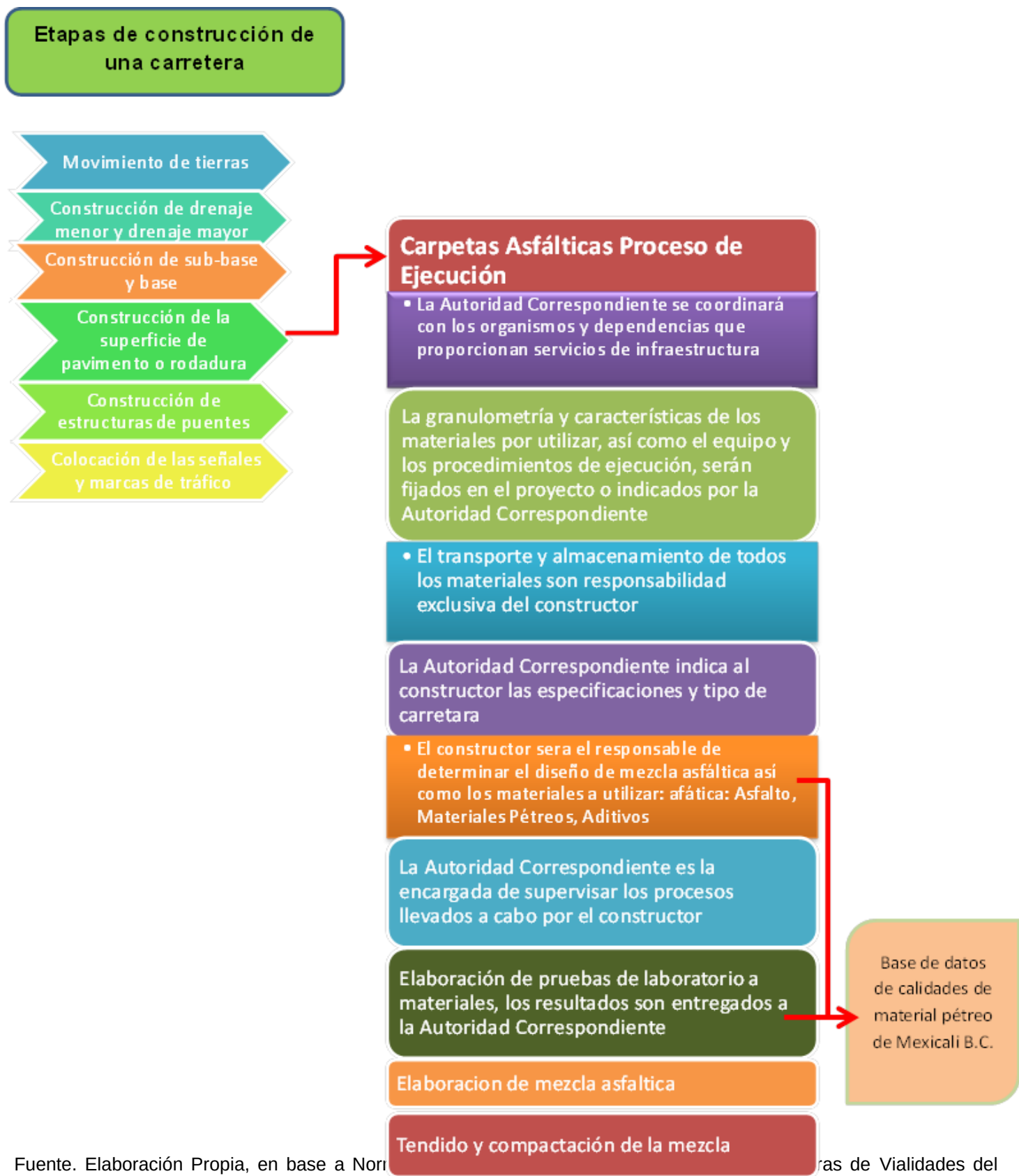
En relación al municipio de Mexicali y la información registrada en cuanto a la calidad del material pétreo con el que se cuenta en la zona, encontramos en investigaciones anteriores al realizarse las pruebas respectivas a algunos agregados pétreos de la región utilizados para pavimentos, los resultados indican que estos no cumplen con el porcentaje mínimo de equivalente de arena, resistencia a la degradación mediante máquina de los Ángeles y desgaste Microdeval, factores que influyen en la elaboración de mezclas asfálticas (Valenzuela, 2015).

Al ver que los materiales evaluados no cumplieron en ninguno de los casos con la prueba de resistencia a la degradación, surge la incertidumbre en relación si los materiales con los que cuenta el municipio de Mexicali, tienen la calidad necesaria para cumplir con los requisitos de diseño para mezclas asfálticas de alto desempeño. Por ellos se realiza un estudio más a fondo empleando todos los bancos de material activos en la zona y así realizar las pruebas que indica el Protocolo AMAAC como requisitos de calidad.

2.7 DESCRIPCION DE LOS PROCESOS ACTUALES DE DISEÑO

En el siguiente diagrama se detalla la cadena de procesos para la construcción de una carretera, así como la intervención de la base de datos con las calidades del material pétreo del municipio de Mexicali B.C. la cual se da durante la etapa de construcción de la superficie de rodadura o pavimento, el Constructor es quien determina los agregados que utilizará, dependiendo de las características y especificaciones que le da la Autoridad Correspondiente, este tiene la obligación de realizar las pruebas de laboratorio necesarias y entregar los resultados a esta, quien supervisa que todas las actividades y requisitos estén en conformidad al proyecto. La base de datos con las calidades del material pétreo le ayudara al constructor para facilitar el proceso de diseño de la mezcla asfáltica así como la elección del banco de material a utilizar. En este sentido el constructor optimiza tiempo, debido a que cuenta con un panorama sobre la situación de calidad de los bancos de materiales y su ubicación, así como el tiempo de duración en realizar las pruebas o ensayos correspondientes (ver imagen 2.5).

Imagen 2.5 Etapas de construcción de una carretera y descripción de la intervención de la base de datos



Fuente. Elaboración Propia, en base a Normas de Vialidades del Estado de Baja California.

3. METODOLOGÍA DE ANÁLISIS E INTEGRACION DE BASE DE DATOS

Para el análisis e integración de base de datos se realizó una metodología de análisis que comprende la suma de tres metodologías individuales llevadas a cabo a lo largo del periodo de investigación. La primer metodología consiste en la determinación de los bancos que producen material para elaborar mezclas asfálticas en caliente en el municipio de Mexicali. La segunda metodología consiste en la aplicación de las pruebas de laboratorio establecidas en Protocolo AMAAC a las muestras tomadas de los bancos previamente identificados. La tercer metodología consiste en la comparación de los resultados obtenidos en las pruebas con los parámetros establecidos en el Protocolo antes mencionado, así como la generación de una base de datos y la estructura de la plataforma digital la cual es de acceso público.

$$\text{Metodología de Análisis} = M1+M2+M3$$

3.1 M1: DETERMINACIÓN Y LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIAL PÉTREO

La localización de los bancos consistió en la búsqueda y análisis de los bancos de material pétreo del Inventario de la Secretaria de Comunicaciones y Transportes 2014, los cuales se georreferencian y se les asigna un nombre de carácter numérico, esto de acuerdo a la distancia entre si y la cercanía a la mancha urbana del municipio de Mexicali.

M2: ENSAYES DE LABORATORIO

Se realizaron los ensayos de laboratorio establecidos en el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa.

Aunado a estos ensayos se incluyen las pruebas de Práctica Estándar para la reducción de muestras de las pruebas de tamaño del agregado mediante la normativa ASTM C702/11, ASTM C136/06 como Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos, ASTM C 127/ 12 como Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa, y absorción del agregado grueso así como la prueba ASTM D 2419/ 09 como Método de prueba para el valor de equivalente de arena en suelos y agregado fino.

3.2 ENSAYES DE LABORATORIO

Una vez identificados los bancos de materiales pétreos se procede a la selección de este, así como el muestreo y acarreo del material al laboratorio de Ingeniería Civil de la UABC, el cual cuenta con la certificación del Programa de Laboratorio con Reconocimiento AMAAC-IMT (ver imagen 3.1).

Imagen 3.1 Selección y acarreo de material pétreo



Fuente. Elaboración Propia

Posteriormente se realizaron las pruebas enmarcadas por los requerimientos establecidos en la metodología de Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para el diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa (ver tabla 3.1). Aunado a estos ensayos se incluyen las pruebas de: Práctica estándar para la reducción de muestras de las pruebas de tamaño del agregado mediante la normativa ASTM C702/11, ASTM C136/06 como Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. ASTM C 127/ 12 como Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa, y absorción del agregado grueso así como la prueba ASTM D 2419/ 09 como Método de prueba para el valor de equivalente de arena en suelos y agregado fino.

Tabla 3.1 Requisitos de calidad de la fracción gruesa y fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa

Característica	Procedimiento Normativo	Especificación Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³
Desgaste Los Ángeles	ASTM C131	30 máx. (capas estructurales) 25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval	AASHTO T 327/ ASTM D6928	18 máx. (capas estructurales) 15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado	AASHTO T 104/ ASTM C 88	15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, (2 caras o más)	ASTM D 5821	90 mín.
Partículas planas y alargadas	ASTM D 4791	5 a 1, 10% máx. (suma)
Equivalente de arena	ASTM D 2419	50 mín. (capas estructurales) 55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad	AASHTO T 304	40 mín.
Azul de metileno	Recomendación AMAAC RA-05	15 máx. (capas estructurales) 12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013.

Esta información se registra en reportes individuales, de cada banco de material y por cada ensaye realizado a estos, con la finalidad de conjuntar dichos registros en una base de datos que una la información de todos los bancos (ver imagen 3.2).

Imagen 3.2 Formato para registro de resultados en ensayos de laboratorio

HOJA DE REGISTRO



UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BAJA CALIFORNIA
LABORATORIO DE INGENIERIA CIVIL
INTEMPERISMO
ASTM C88-05

Banco: _____

Lugar: _____

Procedencia: _____

Solución de trabajo _____

Fecha de Inicio _____

Fecha de Terminó _____

PREPARACION DE LA MUESTRA 1		
Pasa malla, mm	Retiene en malla, mm	Cantidad, g
3/4	1/2	
1/2	3/8	

PREPARACION DE LA MUESTRA 2		
Pasa malla, mm	Retiene en malla, mm	Cantidad, g
3/8	4	

Ensaye	No.1	No.2
Masa inicial, g		
Masa final, g		
% Intemperismo		
% promedio		

Fuente. Elaboración Propia

3.3 ENSAYOS PARA DETERMINAR CALIDAD DEL AGREGADO PÉTREO FRACCIÓN GRUESA Y FINA DEL MATERIAL PÉTREO

3.3.1 ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO DE AGREGADOS GRUESOS Y FINOS (ASTM, 2006)

Este método nos ayuda a determinar la distribución de tamaños de agregados finos y gruesos por medio de mallas. Es usado principalmente para determinar la granulometría de los materiales pétreos. Los resultados obtenidos de este método son usados para determinar el cumplimiento de la distribución de las partículas contra los requerimientos de la especificación en partícula (ver imagen 3.3).

Imagen 3.3 Análisis Granulométrico de Agregados Gruesos y Finos



Fuente. Elaboración Propia

3.3.2 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO GRUESO (ASTM, 2012)

Esta prueba tiene como objetivo determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso, la densidad relativa, y la absorción del agregado grueso. Así como la absorción es la propiedad de las partículas del

agregado de absorber agua por sus poros. Una absorción elevada indica que el agregado es poroso de bajo peso específico. Cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado grueso o fino según sea el caso (no incluye el volumen de vacíos entre las partículas), la densidad relativa (gravedad específica), y la absorción del agregado grueso o fino. Dependiendo del procedimiento usado, la densidad kg/m^3 (lb/ft^3) se expresa como seca al horno (SH), saturada y superficialmente seca (SSS), o como densidad aparente. De cualquier manera, la densidad relativa (gravedad específica), es una cantidad adimensional, se expresa como SH, SSS o como densidad relativa aparente (gravedad específica aparente). La densidad SH y la densidad relativa SH se determinan después de secar el agregado. La densidad SSS, la densidad relativa SSS y la absorción se determinan después de sumergir el agregado en agua por una duración preestablecida (ver imagen 3.4).

Imagen 3.4 Densidad, Densidad Relativa, y Absorción del Agregado Grueso



Fuente. Elaboración propia

3.3.3 DENSIDAD, DENSIDAD RELATIVA Y ABSORCIÓN DEL AGREGADO FINO (ASTM, 2012)

Este método cubre la determinación de la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, la gravedad específica bruta o gravedad específica aparente saturada-superficialmente seca (SSD) y la absorción son determinadas

después de saturar el agregado (ver imagen 3.5).

Imagen 3.5 Densidad, Densidad Relativa, y Absorción del Agregado Fino



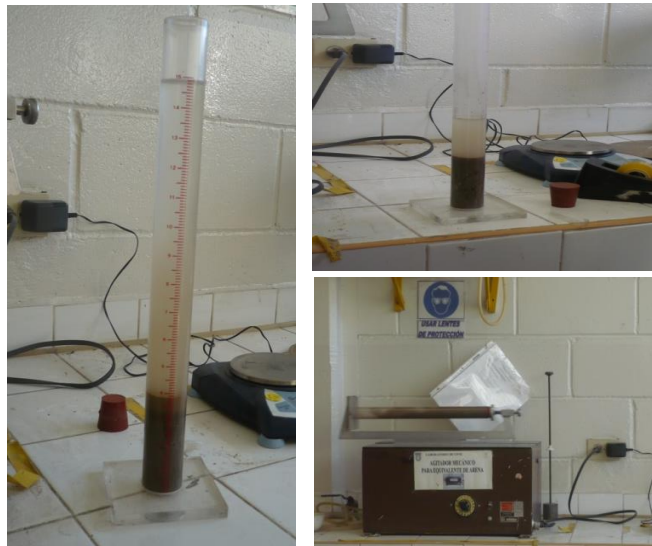
Fuente. Elaboración propia

3.3.4 EQUIVALENTE DE ARENA EN SUELOS Y AGREGADO FINO (ASTM, 2009)

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

Este método tiene la intención de servir como un ensaye rápido de correlación en campo. El propósito de este método de prueba es indicar bajo condiciones estándar, las proporciones relativas de arcilla o finos plásticos y polvos de suelos granulares y agregados finos que pasan la malla No. 4. (4,75 mm). El término “equivalente de arena” expresa el concepto de que muchos suelos granulares y agregados finos son mezclas de partículas gruesas deseables, arena, con arcilla o finos plásticos y polvo, no deseables (ver imagen 3.6).

Imagen 3.6 Equivalente de Arena en Suelos y Agregado Fino



Fuente. Elaboración propia

Este método de ensaye asigna un valor empírico a la cantidad relativa, fina y característica del material arcilloso presente en el espécimen de prueba. Un valor mínimo de equivalente de arena sirve para limitar la cantidad permisible de partículas finas en un agregado. Este método de prueba provee de un método rápido de campo para determinar cambios en la calidad de los agregados durante la producción o colocación.

3.3.5 PARTÍCULAS PLANAS, ALARGADAS O PLANAS Y ALARGADAS DE AGREGADO GRUESO (ASTM, 2010)

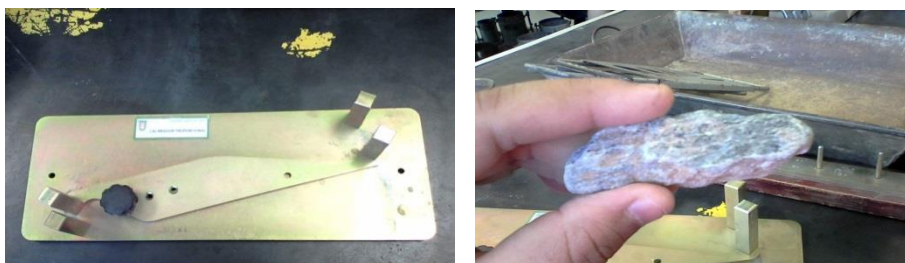
Este método de prueba cubre la determinación de los porcentajes de planas, alargadas o alargadas y planas de agregado grueso. Permite determinar el contenido de partículas de formas alargadas y lajeadas que se encuentran presentes en los materiales pétreos empleados en mezclas asfálticas. La prueba consiste en separar el retenido en la malla No. 4 de una muestra de materiales

pétreos, para determinar la forma de cada partícula, empleando un calibrador (ver imagen 3.7).

Las partículas de agregado planas o alargadas, para algunos usos en construcción, pueden interferir con la consolidación y provocar dificultad para colocar los materiales.

Este método de prueba provee un medio para verificar el cumplimiento con las especificaciones que limitan tales partículas, o para determinar las características relativas a la forma del agregado grueso.

Imagen 3.7 Partículas Planas, Alargadas o Planas y Alargadas de Agregado Grueso



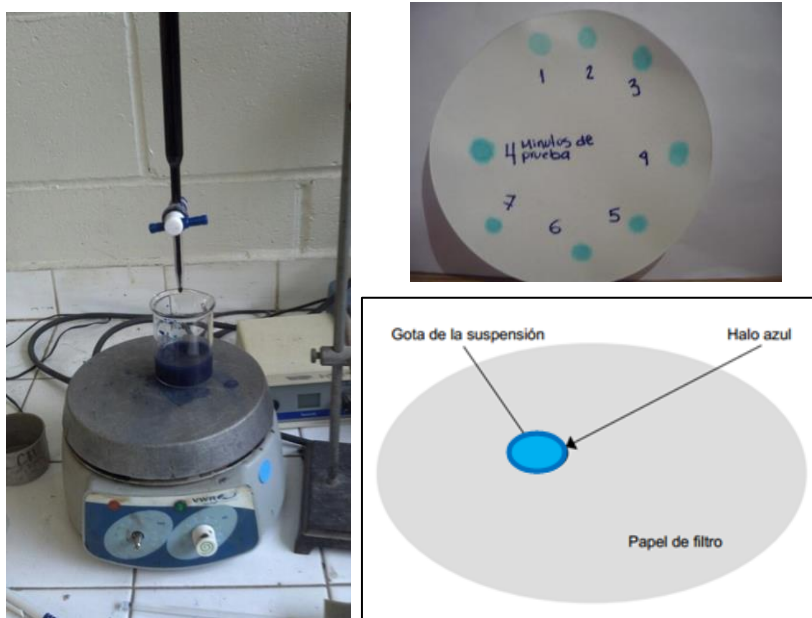
Fuente. Elaboración propia

3.3.6 AZUL DE METILENO PARA MATERIAL QUE PASA LA MALLA NÚMERO 200 (AMAAC , 2010)

Esta prueba ayuda a determinar el grado de reactividad de los agregados finos que son utilizados para la fabricación de mezclas asfálticas. Se busca estipular la cantidad de azul de metileno necesario para saturar finos, que pasan la malla No. 200. Esta prueba se desarrolla porque en el equivalente de arena no se mide la calidad de arcilla contenida, lo cual podría repercutir en daño inducido por humedad. El objetivo es analizar la reacción de los finos; en esta prueba se añade dosificaciones controladas de azul de metileno, hasta saturar los finos. Entre

mayor sea la cantidad de azul de metileno retenida por ellos, serán más reactivos, lo cual proporciona un índice indirecto de su potencialidad expansiva (ver imagen 3.8).

Imagen 3.8 Azul de Metileno para material que pasa la malla número 200



Fuente. Elaboración propia

3.3.7 PARTÍCULAS FRACTURADAS O TRITURADAS EN AGREGADOS GRUESOS (ASTM, 2001)

Este método de prueba cubre la determinación del porcentaje (por masa o por conteo) de los agregados gruesos en una muestra que consiste en partículas fracturadas que cumplen los requerimientos especificados. Este ensayo se realiza en materiales retenidos en la malla 4. Normalmente desarrollado en gravas que necesitan triturarse para obtener caras fracturadas. Una cara fracturada es una cara que expone el interior de la partícula de grava (ver imagen 3.9).

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

Otro propósito es proveer estabilidad para tratamientos superficiales de agregados mediante el incremento de la fricción y textura del agregado utilizado carpetas asfálticas delgadas (Garnica, P; Delgado, H; Sandoval, C, 2006).

Imagen 3.9 Partículas Fracturadas o Trituradas en Agregados Gruesos.



Fuente. Elaboración propia

3.3.8 INTEMPERISMO ACELERADO UTILIZANDO SULFATO DE SODIO (ASTM, 2005)

Este método de prueba proporciona información útil en la evaluación de la sanidad de los agregados cuando no hay información adecuada disponible en los registros de servicios del material expuesto a las condiciones de intemperismo actual. Sirve para estimar la sanidad del agregado cuando está sujeto a la acción de intemperismo en concreto u otras aplicaciones, realizado por inmersión repetida en solución de sulfato de sodio o de magnesio (ver imagen 3.10).

Imagen 3.10 Intemperismo Acelerado utilizando Sulfato de Sodio



Fuente. Elaboración propia

3.3.9 RESISTENCIA A LA DEGRADACIÓN DE AGREGADO GRUESO POR ABRASIÓN EN LA MAQUINA DE LOS ÁNGELES (ASTM, 2006)

Este ensayo ayuda a determinar la resistencia a la degradación de los agregados minerales por la acción de la abrasión, por medio de la máquina de los ángeles.

Esta prueba ha sido usada como un indicador de la calidad relativa o competencia de varios tipos de agregado que tienen composición mineral similar. Los resultados no permiten validar automáticamente la comparación para ser usadas indistintamente entre agregados de diferente origen, composición o estructura. Asignar límites de especificación con extremo cuidado tomando en consideración el tipo de agregado disponible y su historial de comportamiento en usos específicos (Garnica Anguas, Delgado Alamilla , & Sandoval Sandoval , 2006).

Esta nos da una medida de la degradación de los agregados minerales de granulometría estándar resultado de una combinación de acciones que involucran abrasión o desgaste, impacto y molienda en un cilindro hueco de acero giratorio que contiene un número especificado de esferas de acero, el número depende sobre todo de la granulometría de la muestra (ver imagen 3.11).

Imagen 3.11 Resistencia a la Degradación de Agregado Grueso por Abrasión en la Maquina de Los Ángeles



Fuente. Elaboración propia

La resistencia a la abrasión es una condicionante para evitar fallas como: formación de baches, y desgranamientos, entre otras deformaciones que pueda presentar el pavimento (Alarcon & Alvarez, 2011).

3.3.10 CONTENIDO DE VACÍOS DEL AGREGADO FINO (AASTHO, 2011)

Este método provee el porcentaje de vacíos bajo condiciones estandarizadas de una muestra de agregados finos menores de 2.36 mm (malla No. 8) en estado suelto. Esta medida depende de la forma y textura de la partícula de agregado fino (ver imagen 3.12). Un contenido de vacíos alto indica una alta angularidad, menos partículas esféricas o superficies con texturas rugosas o combinación de esos. Cuando se mide el contenido de vacíos en una muestra tal como se recibe del banco, este puede ser un indicador del efecto en la trabajabilidad de la mezcla en la que podría usarse. La información del contenido de vacíos de estos tres métodos debería ser útil como un indicador de propiedades tales como: relación agua-cemento en concreto hidráulico; factores de flujo, bombeo, o trabajabilidad cuando se forman morteros o lechadas; o en concreto asfáltico, el

efecto del agregado fino en la estabilidad de la porción del agregado fino de una base de agregado grueso (Garnica, P; Delgado, H; Sandoval, C, 2006).

Imagen 3.12 Contenido de Vacíos del Agregado Fino



Fuente. Elaboración propia

3.3.11 RESISTENCIA DEL AGREGADO PÉTREO GRUESO A LA DEGRADACIÓN MEDIANTE EL EQUIPO MICRO DEVAL (ASTM, 2010)

Esta prueba nos ayuda a determinar la resistencia de un agregado pétreo al desgaste por abrasión, utilizando el equipo Micro-Deval. Tiene como objetivo la determinación de la resistencia a la abrasión y durabilidad de los agregados gruesos (ver imagen 3.13).

Imagen 3.13 Resistencia del Agregado Pétreo Grueso a la Degradación Mediante el Equipo Micro Deval



Fuente. Elaboración propia

3.4 M3: COMPARACIÓN DE RESULTADOS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE LABORATORIO CON LOS PARÁMETROS ESTABLECIDOS EN PROTOCOLO AMAAC Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS DE ACCESO PUBLICO.

Se realizó una comparación entre los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio y los parámetros que se establecen como Requisitos mínimos en las fracciones gruesas y finas del material pétreo establecidos en el Protocolo AMAAC. Con esta información se generó una base de datos y determino la estructura para la plataforma digital la cual es de acceso público.

4. RESULTADOS

4.1 LOCALIZACIÓN DE BANCOS DE MATERIALES

De manera inicial se determinaron los bancos de materiales que producen agregado para utilizarse en mezclas asfálticas, para lo cual se utiliza el Inventario de Bancos de Materiales 2014, realizado por la Subsecretaría de Infraestructura y la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. A pesar de que este inventario cuenta con 25 bancos que producen material para mezclas asfálticas, solamente 8 de estos se encuentran en operación.

Una vez ubicados los bancos a estudiar, se georreferenciaron y se les asignó un nombre de carácter numérico, esto de acuerdo a la distancia entre si y la cercanía a la mancha urbana del municipio de Mexicali, como se muestra a continuación (ver tabla 4.1, imagen 4.1 Y 4.2).

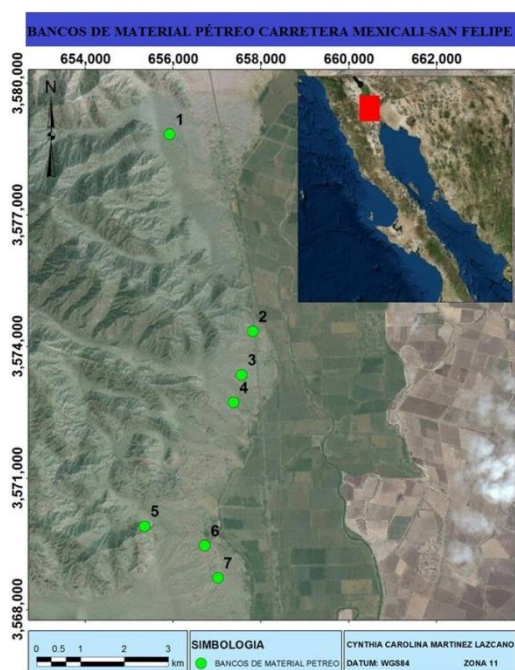
Tabla 4.1 Ubicación de los bancos de material pétreo de Mexicali B.C

BANCOS DE MATERIAL PÉTREO MUNICIPIO DE MEXICALI B.C.

No. DE BANCO	COORDENADA GEOGRÁFICA	
	E	N
1	655920	3578843
2	657816	3574349
3	657566	3573357
4	657380	3572729
5	655351	3569904
6	656726	3569461
7	657021	3568728
8	630934	3600139

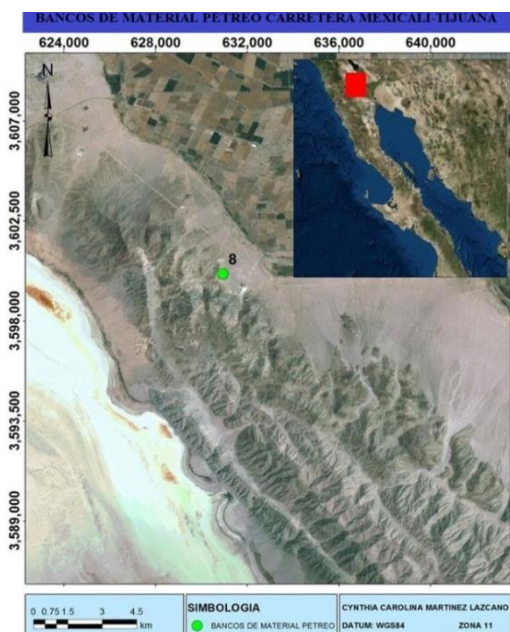
Fuente. Elaboración Propia

Imagen 4.1 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali - San Felipe



Fuente. Elaboración Propia

Imagen 4.2 Ubicación de bancos de material pétreo carretera Mexicali- Tijuana



Fuente. Elaboración Propia

4.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS DE PRUEBAS DE LABORATORIO

La manera más común para hacer uso del asfalto en la elaboración de mezclas, realizando la mezcla de este junto con un agregado pétreo de características conocidas. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado puede emplearse de la manera adecuada para formar carpetas: de ahí la necesidad de conocer sus características físicas para saber si es apto o no.

Los agregados constituyen el mayor volumen de la mezcla asfáltica, además contribuyen a la estabilidad mecánica, soportan la carga del tráfico y al mismo tiempo transmiten la carga a la sub-base a una unidad de presión considerablemente reducida. Por lo cual se espera que estos materiales sean de calidad uniforme, triturados y cribados a tamaños según sea necesario, deben estar compuestos de roca sólida y duradera o fragmentos de roca o escoria, con o sin arena u otro agregado mineral inerte y cuidadosamente dividido. Todo el material debe estar libre de arcilla, materia orgánica y otras sustancias perjudiciales que afecten la estabilidad de la mezcla asfáltica.

En las tablas del siguiente apartado se presentan los resultados obtenidos en las pruebas para determinar requisitos de calidad tanto en la fracción gruesa como en la fracción fina del material pétreo, con relación a los límites establecidos en Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para mezclas de granulometría densa.

4.3 ENSAYES DE LABORATORIO

A continuación se presentan los resultados obtenidos en cada banco de material pétreo analizado en base a los requisitos mínimos establecidos para las fracciones gruesa y fina en Protocolo AMAAC, asimismo se emiten recomendaciones de cada banco analizado.

4.3.1 BANCO 1

En relación a los resultados tenemos valores elevados en la prueba de Desgaste con Maquina de los Ángeles, Equivalente de Arena bajo, un valor elevado en Partículas Planas y Alargadas, lo que son aspectos negativos dentro de los límites establecidos en el Protocolo, dentro de las características positivas que se encontraron vemos que tiene arena con buena angularidad, filler libre de arcillas, limos o materia orgánica. El material en general puede tener una buena unión en cuanto al acomodo de partículas, pero posiblemente con tendencia a triturarse en un proceso de densificación (ver tablas 4.2 y 4. 3).

Tabla 4.2 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 1

CARACTERÍSTICA	BANCO 1		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	55.13	30 máx. (capas estructurales)
			25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	$\frac{3}{4}$	17.990	18 máx. (capas estructurales)
	$\frac{3}{8}$	23.650	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	1.84	15 máx. para sulfato de sodio
			20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	$\frac{3}{4}$	100	90 mín.
	$\frac{1}{2}$	93.509	
	$\frac{3}{8}$	100	
Partículas planas y alargadas, %	$\frac{3}{4}$	3.572	5 a 1, 10% máx. (suma)
	$\frac{1}{2}$	6.711	
	$\frac{3}{8}$	3.099	

Fuente. Elaboración propia

.Tabla 4.3 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 1

CARACTERÍSTICA	BANCO 1	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	30	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	48.24	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	3	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.3.2 BANCO 2

En cuanto a los resultados obtenidos en el banco número 2 podemos ver que la fracción gruesa del material pétreo no cumple el ensayo de Desgaste de los Ángeles, así como en el ensayo Microdeval en material de 3/8 los resultados obtenidos superan los máximos permisibles por las especificaciones establecidas en el protocolo AMAAC para capas de rodadura. Pero tiene aspectos positivos a resaltar como son:

- Arena con buena angularidad
- Filler libre de arcillas, limos o materia orgánica
- Equivalente de arena bueno
- Grava 100 % triturada con bajo valor de partículas planas y alargadas

En general, el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño. (ver tablas 4.4 y 4.5).

.Tabla 4.4 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 2

CARACTERÍSTICA	BANCO 2		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	32.65	30 máx. (capas estructurales) 25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	10.612	18 máx. (capas estructurales) 15 máx. (capas de rodadura)
	3/8	15.086	
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	0.78	15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	3/4	100	90 mín.
	1/2	100	
	3/8	100	
Partículas planas y alargadas, %	3/4	3.574	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	1.537	
	3/8	0.704	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.5 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 2.

CARACTERÍSTICA	BANCO 2	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	61	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	50.67	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	3	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.3.3 BANCO 3

En el banco número 3 se observa que la fracción gruesa del material pétreo no cumple el ensayo de Desgaste de los Ángeles ya que el porcentaje es mucho mayor al máximo establecido, en el ensaye de Microdeval en material de 3/8 de igual manera se excede de los límites establecidos en protocolo AMAAC para capas de rodadura. Como aspectos positivos se encontró arena con buena angularidad, filler libre de arcillas, limos o materia orgánica, resultados en equivalente de arena buenos, grava 100 % triturada con bajo valor de partículas planas y alargadas, en general el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño. (Ver tablas 4.6 y 4.7).

Tabla 4.6 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 3.

CARACTERÍSTICA	BANCO 3		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	45.46	30 máx. (capas estructurales) 25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	14.845	18 máx. (capas estructurales) 15 máx. (capas de rodadura)
	3/8	21.069	
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	2.35	15 máx. para sulfato de sodio 20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	3/4	100	90 mín.
	1/2	100	
	3/8	100	
Partículas planas y alargadas, %	3/4	0.753	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	1.134	
	3/8	0.188	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.7 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 3.

CARACTERÍSTICA	BANCO 3	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	68	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	49.13	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	3	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.3.4 BANCO 4

En general el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño tiene buenos resultados en angularidad de arenas, azul de metileno, equivalente de arena y un porcentaje aceptable en partículas planas alargadas, por el contrario presenta un valor elevado en desgaste lo que nos indica poca resistencia a la abrasión (ver tablas 4.8 y 4.9).

Tabla 4.8 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 4.

CARACTERÍSTICA	BANCO 4		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	44.75	30 máx. (capas estructurales)
			25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	¾	14.904	18 máx. (capas estructurales)
	3/8	20.240	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	3.64	15 máx. para sulfato de sodio
			20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	¾	97.930	90 mín.
	½	N/A	
	3/8	99.380	
Partículas planas y alargadas, %	¾	0.496	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	N/A	
	3/8	3.169	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.9 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 4.

CARACTERÍSTICA	BANCO 4	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	76	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	45.97	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	3	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia.

4.3.5 BANCO 5

Al analizar los resultados se encuentra que la fracción gruesa del material pétreo no cumple el ensayo de Desgaste de los Ángeles, de igual manera en el ensayo de Microdeval para material de 3/8 el resultado excede los límites establecidos en protocolo AMAAC para capas de rodadura, además en los requisitos de calidad para la fracción fina del material la prueba de equivalente de arena nos arroja un porcentaje por debajo al mínimo indicado en la especificación del protocolo. En general, el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño (ver tablas 4.10 y 4.11).

Tabla 4.10 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 5

CARACTERÍSTICA	BANCO 5		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	45.34	30 máx. (capas estructurales)
			25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	10.793	18 máx. (capas estructurales)
	3/8	17.829	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	4.72	15 máx. para sulfato de sodio
			20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	3/4	97.639	90 mín.
	1/2	98.948	
	3/8	99.672	
Partículas planas y alargadas,	3/4	2.293	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	1.298	
	3/8	3.793	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.11 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 5.

CARACTERÍSTICA	BANCO 5	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	43	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	45.62	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	5	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.3.6 BANCO 6

Los resultados en Desgaste con Maquina de los Ángeles resultaron por arriba del límite establecido en las especificaciones del Protocolo. En general, el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño. Tiene una buena agularidad en arenas, un filller libre de arcillas, limos o materia orgánica, así como un valor aceptable en la prueba de partículas planas y alargadas. (ver tablas 4.12 y 4.13).

Tabla 4.12 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 6.

CARACTERÍSTICA	BANCO 6		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles, %	Granulometría B	42.65	30 máx. (capas estructurales)
			25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	13.710	18 máx. (capas estructurales)
	3/8	18.500	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	2.1	15 máx. para sulfato de sodio
			20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	3/4	97.870	90 mín.
	1/2	83.960	
	3/8	97.770	
Partículas planas y alargadas, %	3/4	0.538	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	4.140	
	3/8	3.039	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.13 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 6

CARACTERÍSTICA	BANCO 6	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	51	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	52.93	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	2	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.3.7 BANCO 7

En el banco número 7 al analizar resultados se obtuvo que la fracción gruesa del material pétreo no cumple el ensayo de Desgaste de los Ángeles. El resto de las pruebas arroja resultados dentro de los límites establecidos en el protocolo AMAAC. En general el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño (ver tablas 4.14 y 4.15).

Tabla 4.14 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 7

CARACTERÍSTICA	BANCO 7		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles, %	Granulometría B	31.25	30 máx. (capas estructurales)
			25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	8.828	18 máx. (capas estructurales)
	3/8	13.832	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	2.49	15 máx. para sulfato de sodio

			20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	3/4	99.881	90 mín.
	1/2	99.223	
	3/8	99.695	
Partículas planas y alargadas, %	3/4	0.879	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	2.030	
	3/8	0.539	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.15 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 7

CARACTERÍSTICA	BANCO 7	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	62	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	49.32	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	9	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.3.8 BANCO 8

Como indican los resultados se encontraron aspectos negativos en la prueba de Desgaste con Maquina de los Ángeles ya que es un poco elevado, así como en desgaste en húmedo con prueba Microdeval, dentro de lo positivo se encontró una arena con buena angularidad, filler con valor de azul de metileno aceptable, equivalente de arena bueno y grava un 99 % triturada con bajo valor de partículas planas y alargadas. En general, el material puede ser utilizado en capas estructurales de mezcla asfáltica utilizando un diseño que garantice un buen desempeño (ver tablas 4.16 y 4.17).

Tabla 4.16 Requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 8.

CARACTERÍSTICA	BANCO 8		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	38.17	30 máx. (capas estructurales)
			25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	21.420	18 máx. (capas estructurales)
	3/8	24.810	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	0.16	15 máx. para sulfato de sodio
			20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	¾	100	90 mín.
	½	N/A	
	3/8	98.500	
Partículas planas y alargadas, %	¾	4.495	5 a 1, 10% máx. (suma)
	½	N/A	
	3/8	2.115	

Fuente. Elaboración propia

Tabla 4.17 Requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa del banco número 8.

CARACTERÍSTICA	BANCO 8	ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	47	50 mín. (capas estructurales)
		55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	51.72	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	3	15 máx. (capas estructurales)
		12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración propia

4.4 COMPARATIVA DE RESULTADOS CON LOS PARÁMETROS DE PROTOCOLO AMAAC Y ELABORACIÓN DE BASE DE DATOS

Una vez registrados los resultados que se obtuvieron en los ensayos de laboratorio se realizó un análisis de estos y se compararon con los parámetros establecidos en los Requisitos de calidad de la fracción gruesa y fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa, especificados por Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³.

Después del análisis de resultados se elabora una base de datos que integra la información en relación a las calidades de cada banco de material pétreo del municipio de Mexicali B.C., en comparación a los requisitos mínimos establecidos en Protocolo AMAAC. Esta base de datos tiene la función de ser una herramienta de apoyo que facilite el proceso de diseño de mezclas asfálticas, como se ha visto la calidad de los materiales es un factor importante en el buen desempeño de la mezcla y tener al alcance esta información ayuda al constructor a optimizar tiempo en el proceso de elaboración de mezclas asfálticas, esto debido a que cuenta con un panorama sobre la situación de calidad de los bancos de materiales y su ubicación, factores importantes en la toma de decisiones al momento de elegir un banco de material. Asimismo esta base de datos ayuda al diseñador a optimizar tiempo destinado a la elaboración de ensayos para determinar propiedades y calidad de los agregados (ver tablas 4.18 y 4.19).

Tabla 4.18 Resultados en pruebas para requisitos de calidad de la fracción gruesa del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.

CARACTERÍSTICA	BANCO 1		BANCO 2		BANCO 3		BANCO 4		BANCO 5		BANCO 6		BANCO 7		BANCO 8		ESPECIFICACIÓN PROTOCOLO AMAAC PA-MA 01/2013 ³
Desgaste Los Ángeles , %	Granulometría B	55.13	Granulometría B	32.65	Granulometría B	45.46	Granulometría B	44.75	Granulometría B	45.34	Granulometría B	42.65	Granulometría B	31.25	Granulometría B	38.17	30 máx. (capas estructurales)
																	25 máx. (capas de rodadura)
Desgaste Microdeval, %	3/4	17.990	3/4	10.612	3/4	14.845	3/4	14.904	3/4	10.793	3/4	13.710	3/4	8.828	3/4	21.420	18 máx. (capas estructurales)
	3/8	23.650	3/8	15.086	3/8	21.069	3/8	20.240	3/8	17.829	3/8	18.500	3/8	13.832	3/8	24.810	15 máx. (capas de rodadura)
Intemperismo acelerado, %	Sulfato de sodio	1.84	Sulfato de sodio	0.78	Sulfato de sodio	2.35	Sulfato de sodio	3.64	Sulfato de sodio	4.72	Sulfato de sodio	2.1	Sulfato de sodio	2.49	Sulfato de sodio	0.16	15 máx. para sulfato de sodio
																	20 máx. para sulfato de magnesio
Caras fracturadas, % (2 caras o más)	3/4	100	3/4	100	3/4	100	3/4	97.930	3/4	97.639	3/4	97.87	3/4	99.881	3/4	100	90 mín.
	1/2	93.509	1/2	100	1/2	100	1/2	NA	1/2	98.948	1/2	83.960	1/2	99.223	1/2	NA	
	3/8	100	3/8	100	3/8	100	3/8	99.380	3/8	99.672	3/8	97.770	3/8	99.695	3/8	98.500	
Partículas planas y alargadas, %	3/4	3.572	3/4	3.574	3/4	0.753	3/4	0.496	3/4	2.293	3/4	0.538	3/4	0.879	3/4	4.495	5 a 1, 10% máx. (suma)
	1/2	6.711	1/2	1.537	1/2	1.134	1/2	NA	1/2	1.298	1/2	4.14	1/2	2.03	1/2	NA	
	3/8	3.099	3/8	0.704	3/8	0.188	3/8	3.169	3/8	3.793	3/8	3.039	3/8	0.539	3/8	2.115	

Fuente. Elaboración Propia

Tabla 4.19 Resultados en pruebas para requisitos de calidad de la fracción fina del material pétreo para mezclas asfálticas de granulometría densa.

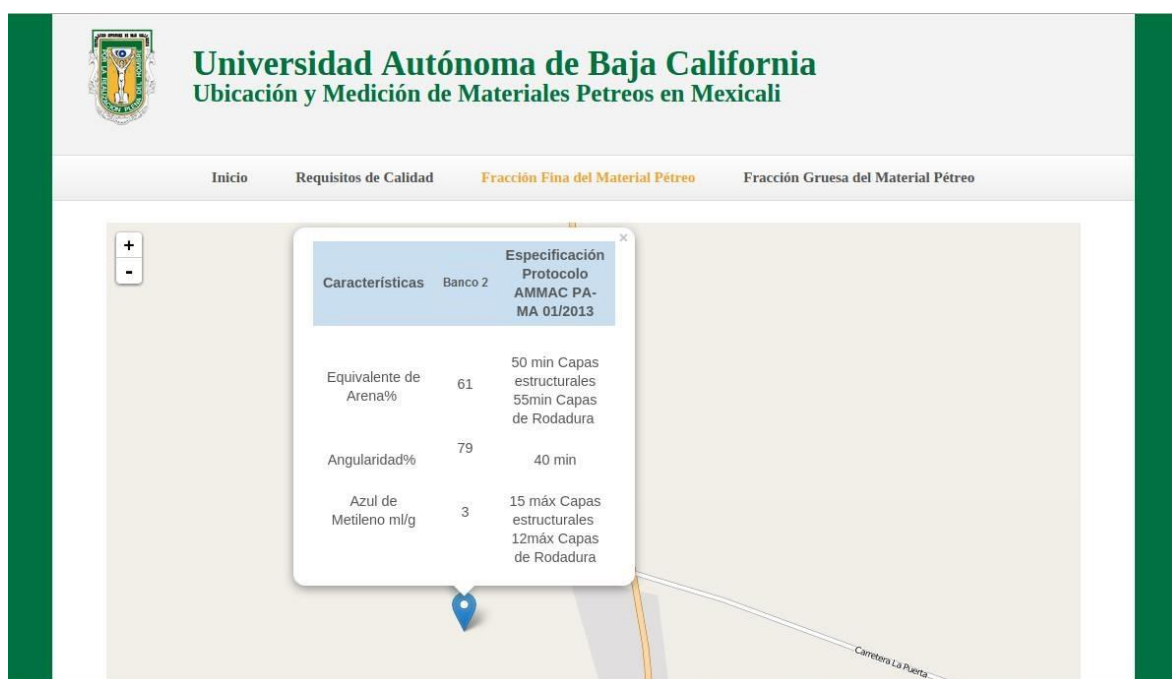
CARACTERÍSTICA	BANCO 1	BANCO 2	BANCO 3	BANCO 4	BANCO 5	BANCO 6	BANCO 7	BANCO 8	ESPECIFICACION PROTOCOLO AMAAC PA- MA 01/2013 ³
Equivalente de arena, %	30	61	68	76	43	51	62	47	50 mín. (capas estructurales)
									55 mín. (capas de rodadura)
Angularidad, %	48.24	50.67	49.13	45.97	45.62	52.93	49.32	51.72	40 mín.
Azul de metileno, ml/g	3	3	3	3	5	2	9	3	15 máx. (capas estructurales)
									12 máx. (capas de rodadura)

Fuente. Elaboración Propia

4.5 ELABORACIÓN DE PLATAFORMA DIGITAL DE ACCESO PÚBLICO

Por último se diseñó de la estructura de la herramienta y generación de la plataforma digital, la cual estará al alcance del público en general, teniendo como ubicación el portal del programa educativo de Ingeniero Civil de la Facultad de Ingeniería (ver tabla 4.3).

Imagen 4.3 Prototipo para representación digital de la herramienta en el portal de la Facultad de ingeniería, Mexicali.



Fuente, Elaboración Propia

5. CONCLUSIONES

5.1 HIPÓTESIS

En relación a la hipótesis planteada esta es aceptada de manera que se ha comprobado por medio de un trabajo cualitativo, la importancia de una base de datos como elemento de planeación en el diseño de mezclas asfálticas, abocada al análisis de calidades de los materiales pétreos de Mexicali B.C.

5.2 TEÓRICAS

Al realizar una revisión teórica se destaca en diversas investigaciones la importancia de conocer las características de los materiales empleados en la elaboración de mezclas asfálticas, ya que es un factor importante para garantizar un correcto funcionamiento o desempeño de estas ante condiciones como tránsito o clima adverso. Se debe entender que las propiedades físicas y mecánicas que se desarrollan en una mezcla asfáltica cambian en función del material que se emplea en su fabricación.

5.3 RESULTADOS DE LABORATORIO

Después de realizar los ensayos correspondientes al material y compararlo con lo establecido en las especificaciones del Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ podemos observar que el común denominador es un alto valor en la prueba de Desgaste mediante Maquina de los Ángeles, lo que nos mide la resistencia a cargas abrasivas en las gravas, esta propiedad no se puede mejorar por medios mecánicos al ser considerada una propiedad de origen. Esta propiedad estima la resistencia a la abrasión y a la degradación mecánica del agregado grueso durante el manejo, construcción y vida útil. Es una condicionante para evitar fallas como: formación de baches, y desgranamientos, entre otras deformaciones que pueda presentar el pavimento. La resistencia a la abrasión del agregado minimiza

los problemas de control en la construcción y asegura que la mezcla tenga las propiedades más cercanas al diseño.

En cuanto a las demás propiedades evaluadas, en general, los bancos presentan materiales triturados que van del 90 al 100% con partículas que presentan una buena relación ancho/altura y altura/longitud por lo cual se esperaría un buen comportamiento en el proceso de densificación de la mezcla (compactación).

Ninguno de los bancos evaluados presenta problemas en el agregado fino por lo cual se presume que el material es producto de trituración ya que en todos presenta un valor de angularidad que va por encima del 40% y los valores de azul de metileno no nos indican presencia de materiales perjudiciales (arcillas, limos o materia orgánica).

Generalizando el material producto de los bancos activos de la ciudad de Mexicali presenta buenas características para ser utilizado para diseño de mezclas de alto desempeño en capas estructurales, siempre y cuando el diseño de la misma presente resultados óptimos en el desempeño a las cargas solicitadas.

5.4 COMPARATIVA ENTRE RESULTADOS DE LABORATORIO Y PROTOCOLO AMAAC

Al reunir los resultados de los ensayos en una base de datos y compararlos con los parámetros establecidos por Protocolo AMAAC, tenemos una herramienta de apoyo que facilita el proceso de diseño de las mezclas asfálticas, ya que le permite al constructor tener un panorama de la situación de cada banco de material del municipio y así minimizar tiempos en la elaboración de ensayos de laboratorio.

5.5 METODOLOGÍA EMPLEADA

La metodología empleada en el desarrollo de la investigación puede ser utilizada o reproducida para el análisis de materiales en otras áreas de estudio, esto se debe a que fundamentalmente se basa en los requisitos establecidos en Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³.

5.6 APORTACIONES DE LA INVESTIGACIÓN

Se creó una base de datos que permite al sector consultar la calidad de los bancos de material pétreo del municipio de Mexicali B.C. con base los requisitos mínimos que deben tener las fracciones gruesas y finas del agregado de acuerdo a lo que establece la Asociación Mexicana del Asfalto, A.C. en el Protocolo AMAAC PA-MA 01/2013³ para diseño de mezclas asfálticas de granulometría densa. En este sentido esta base de datos funciona como una herramienta de apoyo que facilita el proceso de diseño de mezclas asfálticas, como se ha visto la calidad de los materiales es un factor importante en el buen desempeño de la mezcla y tener al alcance esta información ayuda al constructor a optimizar tiempo, esto debido a que cuenta con un panorama sobre la situación de calidad de los bancos de materiales y su ubicación. Así como la optimización de tiempo destinado a la elaboración de ensayos para determinar propiedades y calidad de los agregados.

5.7 LIMITANTES

Una de las limitantes fue el que no estaban activos todos los bancos de materiales para mezclas asfálticas, esto debido a que algunos son de uso temporal dependiendo de la demanda de infraestructura, lo que acoto la investigación al análisis de 8 bancos.

Otra limitante fue el tiempo que lleva la elaboración de algunos ensayos, debido a que el equipo con el que se cuenta en el laboratorio utilizado solo permite la elaboración de un banco a la vez en algunas pruebas.

5.8 LÍNEAS FUTURAS DE INVESTIGACIÓN

Como seguimiento a la presente investigación, podría emplearse a nivel estatal para realizar un análisis de las calidades del material pétreo de los demás municipios del estado.

De acuerdo a los resultados de las pruebas realizadas a los bancos se determinó que el material no pasa la prueba de resistencia a la abrasión, esta propiedad de origen no se puede mejorar por medios mecánicos, pero se pudiera con investigaciones posteriores proponer materiales alternativos, tratamiento, u otro proceso que ayude en el buen desempeño de los tendidos asfálticos en la ciudad de Mexicali B.C.

6. BIBLIOGRAFÍA Y NORMATIVA

- AASTHO. (2011). Método estándar de prueba para la determinación del contenido de vacíos del agregado fino. Estados Unidos : AASTHO.
- Alarcon, J., & Alvarez, M. (2011). Caracterización no convencional de la fracción pulverulenta (filler) de los agregados pétreos para mezclas asfálticas. Mexico: AMAAC.
- AMAAC . (2010). Determinación del valor de azul de metileno para material que pasa la malla número 200. AMAAc.
- AMAAC. (2013). Protocolo AMAAC PA-MA 01/20133. MEXICO: AMAAC.
- ASTM. (2001). Método estándar de prueba para la determinación del porcentaje de partículas fracturadas o trituradas en agregados gruesos. Estados Unidos : ASTM.
- ASTM. (2005). Método estándar para la prueba de intemperismo acelerado utilizando sulfato de sodio o sulfato de magnesio. Estados Unidos : ASTM.
- ASTM. (2006). Método de prueba estándar para determinar la resistencia a la degradación de agregado grueso de tamaño pequeño por abrasión en la Maquina de los Ángeles. Estados Unidos : ASTM.
- ASTM. (2006). Método de prueba para el análisis granulométrico de agregados gruesos y finos. Estados Unidos : ASTM.
- ASTM. (2009). Método de prueba para el valor de equivalente de arena en suelos y agregado fino. Estados Unidos : ASTM.
- ASTM. (2010). Método de prueba estándar para la determinación de partículas planas, alargadas o planas y alargadas de agregado grueso. Estados Unidos : IMT.
- ASTM. (2010). Método de prueba para determinar la resistencia del agregado pétreo grueso a la degradación mediante el equipo Micro Deval. Estados Unidos : ASTM.
- ASTM. (2012). Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa, y absorción del agregado fino. Estados Unidos: ASTM.

- ASTM. (2012). Método de prueba estándar para densidad, densidad relativa, y absorción del agregado grueso. Estados Unidos: ASTM.
- ASTM International. (2016). ¿Qué es ASTM International?
- Avellanada, W. (2015). Control de Calidad en Mezclas Asfálticas Calientes.
- Barrantes, E. (2005). Método Superpave. BITUMIX CVV Especialidades Asfálticas.
- Corredor, G. (2008). Experimento Vial de la AASHO y las guías de diseño AASHTO. Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Crespin, R., Santa Cruz, I., & Torres, P. (2012). Aplicación del método Marshall y granulometría Superpave en el diseño de mezclas asfálticas en caliente con asfalto clasificación grado de desempeño. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Garnica Anguas, P., Delgado Alamilla, H., & Sandoval Sandoval, C. (2006). Influencia de la Granulometría en las propiedades volumétricas de la Mezcla Asfáltica. Querétaro: IMT.
- Garnica, P., Delgado, H., & Sandoval, C. (2005). Análisis de varianza del efecto de algunos factores que influyen en la deformación permanente de mezclas asfálticas. Querétaro: IMT.
- Garnica, P., Delgado, H., & Sandoval, C. D. (2005). Análisis comparativo de los métodos Marshall y Superpave para compactación de Mezclas Asfálticas. Querétaro: IMT.
- Garnica, P., Flores, M., Gómez, J., & Delgado, H. (2005). Caracterización geomecánica de mezclas asfálticas. Queretaro: IMT.
- Garnica, P., Gómez, J., & Delgado, H. (2003). Algunos aspectos de la densificación de Mezclas Asfálticas con el Compactador Giratorio. Querétaro: IMT.
- Garnica, P.; Delgado, H.; Sandoval, C. (2006). Influencia de la Granulometría en las Propiedades Volumétricas de la Mezcla Asfáltica. Querétaro: IMT.
- Gastil, R., Phillips, R., & Allison, E. (1975). Reconnaissance Geology of the State of Baja California, México. EUA: Geological Society of America, Memoir.

- Harrigan. (2005). Aggregate Properties and the Performance of Superpave-Designed Hot Mix Asphalt. Washintong, D.C.: National Cooperative Highway Research Program.
- Lazo, R. (2012). Metodología Superpave para el desarrollo de Pavimentos Asfálticos de Alto desempeño. EMB Construcción.
- Medina, Z. (2015). Aplicación del Control de Calidad en el Sureste de México. Yucatán: AMIVTAC.
- Padilla, A. (2004). Deformaciones Plásticas en capas de Rodadura en Pavimentos Asfálticos. Barcelona: UPC- Commons.
- Péridico Oficial del Estado de Baja California, R. H. (1995-B). Péridico Oficial del Estado de Baja California. Péridico Oficial del Estado de Baja California.
- Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali. (1995). Plan de Ordenamiento Ecológico del Municipio de Mexicali. México: Plan de Desarrollo Municipal de Mexicali.
- SCT. (1999). Propósito de la Normativa para la Infraestructura del Transporte. México: SCT.
- SCT, S. d. (2014). Inventario de bancos de materiales. Mexico, DF.: SCT.
- Secretaría de Comunicaciones y Transportes. (s.f.). Catálogo de secciones estructurales para pavimentos para las carreteras de la República Mexicana. México: SCT.
- Secretaría de Infraestructura y Desarrollo Urbano del Estado. (2004). Normas Técnicas de Proyecto y Construcción para obras de Vialidades del Estado de Baja California. Baja California: SIDUE.
- Tinoco, M. (2011). Aplicación y revisión del Protocolo AMAAC 2008 mediante el análisis del estado del arte de las mesclaas asfálticas y el seguimiento del tramo de prueba Sta Rosa a La Barca del Km 13 al 17. Hidalgo: Universidad Michoacana de San Nicolasde Hidalgo.
- Tinoco, M. (2011). Historia y evaluación de las mezclas asfálticas en las canaleras de México. México, DF: AMAAC.

- Torres-Machi, C., Chamorro, A., Yepes, V., & Pellicer, E. (2014). Current models and practices of economic and environmental evaluation. Chile: Journal of Construction .
- Ulloa, A. (2011). Guía de pruebas de laboratorio y muestreo en campo para la verificación de calidad en materiales de un pavimento asfáltico. Métodos y Materiales, Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales, 39-50.
- Valenzuela, M. (2015). "Evaluación de las propiedades volumétricas de mezclas asfálticas de alto desempeño elaboradas con agregado mineral del municipio de Mexicali, B.C.". Mexicali : UABC.
- Vega, F. (2014). Plan Estatal de Desarrollo 2014 - 2019. Baja California: Gobierno del Estado de Baja California.
- Venegas, J. (2015). Manual de Diseño de mezclas Asfálticas en Caliente de Granulometría Densa de Alto Desempeño con Protocolo AMAAC. Instituto Politécnico Nacional.
- Williams, C. (2010). Evaluation of Hot Mix Asphalt Moisture Sensitivity Using the Nottingham Asphalt Test Equipment . Iowa: Institute for Transportation Iowa State University.
- Zárate, M. (2007). Diseño de pavimentos flexibles segunda parte. México, DF: AMAAC.
- Zuñiga, R. (2015). Mezcla Asfáltica en caliente. Chile: Dirección de Vialidad Ministerio de Obras Públicas .